

اثر پلی پلوئیدی در گیاهان باغی و زینتی

مریم جعفرخانی کرمانی^{*۱}

۱- دانشیار بخش کشت بافت و سلول پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران. البرز. ایران

* نویسنده مسئول: m.j.kermani@abrii.ac.ir

چکیده

اکثر گیاهان معمولا پلی پلوئید بوده و بیش از دو دسته کروموزوم دارند. اگر آن‌ها دارای سه، چهار، پنج، شش و ... دسته کروموزوم باشند به ترتیب تریپلوئید (۳x)، تتراپلوئید (۴x)، پنتاپلوئید (۵x)، هگزاپلوئید (۶x) و ... نامیده می‌شوند. مطالعه گیاهان پلی پلوئید نشان داده است که با افزایش تعداد کروموزوم‌ها، اگرچه ژن‌های جدید به گیاه افزوده نمی‌شود اما بیان ژن‌هایی که با خصوصیات فنوتیپی و اپی ژنتیکی گیاه مرتبط هستند تغییر می‌نماید. در مقاله حاضر ضمن اشاره به مزایا و معایب پلی پلوئیدی مثال‌هایی از القا پلی پلوئیدی در گیاهان باغی و زینتی با ذکر تغییرات القایی آورده شده است.

کلمات کلیدی: پلی پلوئیدی، دسته‌های کروموزومی، بیان ژن‌ها، گیاهان باغی، گیاهان زینتی

مقدمه

در طول دوره تکامل، پلی پلوئیدی در انعطاف پذیری و سازگار کردن گیاهان در محیط‌های جدید نقش بسیار مهمی داشته است. اما تحقیقات نشان داده‌اند که برخی پلی پلوئیدها پایدار نیستند (Comai, 2000; Mayer & Agulera, 1990) و در رقابت با والدین دیپلوئید خود یا به سوی diploidization یعنی از دست دادن دسته‌های کروموزومی اضافه رفته‌اند و یا به سوی subfunctionalization و neofunctionalization حرکت کرده‌اند. در subfunctionalization ژن‌های دوبل شده کد کننده فعالیت‌های موجود در گیاه می‌شوند در حالی که در neofunctionalization ژن‌های دوبل شده فعالیت‌های جدیدی را در گیاه کد می‌نمایند (Comai, 2005).

با توجه به نقش پلی پلوئیدی در تکامل گیاهان، به خوبی قابل درک است زمانی که بازدارنده‌های میتوزی در دهه ۱۹۳۰ کشف شدند بسیاری از به‌نژادگران برای ایجاد واریته‌های جدید گیاهی از آنها در به‌نژادی گیاهان زراعی و باغی استفاده نمایند. اما گذشت زمان نشان داد که با وجود ژن‌ها و کروموزوم‌های زائد که منجر به ناپایداری سوماتیکی و در نتیجه بافت‌های شیمی می‌شوند گیاهان با سطوح پلوئیدی بسیار بالا (اکتاپلوئیدی) ناهنجار و بد شکل می‌گردند (Ranny, 2000). با افزایش سطح پلوئیدی مواد ژنتیکی جدیدی به گیاه افزوده نمی‌شود بلکه فقط تعداد کپی‌هایی کروموزوم‌های موجود افزایش می‌یابد. این DNA اضافه در هر تقسیم سلولی باید تقسیم شود، همچنین سلول‌های با اندازه بزرگتر و یا هسته‌های بزرگتر معمولا در تعادل سلولی گیاه اثر منفی دارد به طوری که آناتومی برخی از گیاهان با سطوح پلوئیدی بسیار بالا نامتعارف می‌شود. علیرغم ایرادات ذکر شده پلی پلوئیدی در به‌نژادی بسیاری از گیاهان نقش مهمی داشته خصوصا پلی پلوئیدی در آلوپلوئیدها (گیاهانی که دارای دسته‌های کروموزومی از دو والد جداگانه هستند) بسیار ارزشمند است. زیرا در این گیاهان قدرت هتروزیگوسیتی به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

مزایای پلی‌پلوئیدی

در مجموع ۴ مزیت اصلی برای ایجاد پلی‌پلوئیدها وجود دارد:

۱) **افزایش قدرت هتروزیسی** که باعث می‌شود پلی‌پلوئیدها در مقایسه با والدین دیپلوئیدشان از قدرت هتروزیگوسیتی بیشتری برخوردار باشند. به طور طبیعی در هر تقسیم میوزی در نتاج F1 گیاهان دیپلوئید، نیمی از مکان‌های ژنی (loci) هتروزیگوس از بین می‌روند. در حالی که جفت شدن کروموزوم‌های همولوگ در آلپلوئیدها از نوترکیبی ژن‌ها جلوگیری نموده و هتروزیگوسیتی را در نسل‌های بعدی حفظ می‌نماید (Comai, 2005). همچنین تحقیقات نشان داده که هیبریدهای آتوپلی‌پلوئید قدرت هتروزیسی بیشتری نسبت به هیبریدهای دیپلوئید والدشان دارند در حالی که نتاج حاصل از خودگشتی آتوپلی‌پلوئیدها از قدرت کمتری نسبت به نتاج حاصل از دیپلوئیدهای خودگشتن دارند (Comai, 2005).

۲) **افزایش مواد ژنی** که نوعی محافظ در برابر موتاسیون‌های تخریبی می‌باشند. گامتهای هاپلوئید حاصل از گیاهان دیپلوئید در معرض خطر موتاسیون‌ها هستند در حالی که در گامت‌های دیپلوئید موجودات پلی‌پلوئید، آلل‌های مغلوب توسط آلل‌های غالب محافظت می‌شوند و کمتر در معرض موتاسیون‌های خودبخودی قرار می‌گیرند. طبق قوانین مندل در یک گیاه دیپلوئید هتروزیگوت (Aa) ۱/۴ نتاج هموزیگوت (aa) هستند در حالی که در یک گیاه آتوپلی‌پلوئید (AAAA) بین ۱/۲۲ تا ۱/۳۶ از نتاج هموزیگوت (aaaa) بوده و در یک گیاه آلپلی‌پلوئید (AaAa) فقط فقط ۱/۱۶ نتاج (aaaa) می‌باشند. این نقش محافظتی پلی‌پلوئیدها در گیاهانی که به طور خودگشتن تولید مثل می‌نمایند و یا در مناطقی قرار دادند که فقط امکان تلاقی‌های درون جمعیتی دارند بسیار ارزشمند است.

۳) **تسهیل تولید مثل** با از بین بردن سیستم‌های خودناسازگاری و یا افزایش تولید مثل غیر جنسی. پلی‌پلوئیدی با از بین بردن سیستم‌های خودناسازگاری باعث افزایش میزان خودباروری در گیاهان می‌شود. این مکانیزم هنوز به طور کامل شناخته شده نیست اما به عنوان مثال در گیاه آراییدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) با تعامل بین ژنوم والدین و در گیاه اطلسی (*Petunia hybrida*) تعامل بین آلل‌ها در دانه‌های گرده دیپلوئید حاصل از گیاه تتراپلوئید کاهش میزان خودناسازگاری و افزایش میزان خودباروری مشاهده شده است (Comai, 2000; Nasrallah et al., 2000; Entani et al., 1999). افزایش میزان تولید مثل غیر جنسی در گیاهان پلی‌پلوئید ارتباط نزدیکی با افزایش میزان آپومیکیسی در این گیاهان دارد. آپومیکیسی در زمانی که امکان تولید مثل جنسی وجود ندارد بقا موجودات را تضمین می‌نمایند.

۴) **افزایش اندازه پلی‌پلوئیدها:** معمولاً با افزایش سطح پلوئیدی اندازه سلول‌ها و بافت‌های گیاهان پلی‌پلوئید افزایش می‌یابد. ساده‌ترین فرضیه برای افزایش اندازه گیاهان پلی‌پلوئید این است که با افزایش تعداد کپی‌های ژن‌ها تولید پروتئین‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه حجم سلول بزرگتر می‌شود. اما تحقیقات اولیه نشان داد که با القا پلی‌پلوئیدی تعداد کلروپلاست‌ها و در نتیجه میزان فتوسنتز در سلول افزایش می‌یابد (Warner & Edwards, 1993) که منجر به افزایش اندازه سلول‌ها می‌شود. البته مکانیزم‌های تنظیم‌کننده اندازه سلول و یا تقسیم و تکثیر سلول‌ها هنوز ناشناخته است.

معایب پلی‌پلوئیدی

در مورد معایب پلی‌پلوئیدی ۳ اشکال اصلی گزارش شده است:

۱) **تغییر در ساختار سلولی و سیستم‌های کنترل کننده:** دابلینگ منجر به دوبر شدن حجم ژنوم هسته‌ای می‌شود اما پوشش هسته‌ای فقط ۱/۶ برابر افزایش می‌یابد اگرچه این تفاوت زیاد نیست اما تعادل سلول و در نتیجه برخی از فرایندهای کنترل کننده را تحت تاثیر قرار خواهد داد. البته Comai (۲۰۰۵) گزارش نموده است که افزایش مقدار DNA و در نتیجه افزایش اندازه سلول برای سلول‌هایی که متابولیسم آن‌ها بالا است یک مزیت محسوب می‌شود و برخی سلول‌های گیاهی به طور طبیعی دوبر شده تا نیازهای توسعه‌ای خود را برطرف سازند.

۲) **مشکلات مربوط به تقسیم‌های میتوزی و میوزی:** اگرچه مشکلات مربوط به تقسیمات میتوزی در جانوران و قارچ‌های پلی‌پلوئید به کرات گزارش شده است اما در مورد ناپایداری میتوزی گیاهان پلی‌پلوئید اطلاعات بسیار کم است. جالب توجه است که در مطالعات کروموزوم‌های در حال تقسیم میتوزی در گیاه علفی کانگو (*Brachiaria ruziziensis*) مشاهده شد که تعداد متعددی از دوک‌های کروموزومی در این گیاه آتوتتراپلوئید تشکیل می‌شود (Risso-Pascotta et al., 2005). بنابراین تقسیم میتوزی کمتر دچار اشکال می‌شود. بر طبق نظریه (Comai, 2005) حتی اگر سلول‌های انیوپلوئید از گیاهان پلی‌پلوئید تشکیل شوند به دلیل این که سرعت رشد آن‌ها از سلول‌های یوپلوئید اطرافشان کمتر است در طول زمان حذف می‌شوند.

تئوری‌ها و نظریه‌های متعدد بیان دارند که در تقسیم میوزی، آتوتتراپلوئیدها به جای تشکیل bivalents مجموعه‌های multivalent را تشکیل می‌دهند که منجر به تفکیک‌های ۳:۱ و ۲:۱ بجای تفکیک ۲:۲ می‌شود و در نتیجه آنیوپلوئیدها ایجاد می‌شوند. مطالعات Mastenbroek و همکاران در سال ۱۹۸۲ نشان داده است که در گیاه ذرت آتوتتراپلوئید برای تفکیک ۲:۲ ایجاد bivalents ضروری نمی‌باشد. اما در آلوپلی‌پلوئیدها تشکیل bivalents یک امر ضروری است زیرا در این موجودات کروموزوم‌های هر دو والد باید به نتاج انتقال یابند. البته موجودات آلوپلی‌پلوئید جهت حل این مشکل راهکارهای متعدد دارند. به عنوان مثال در گندم هگزاپلوئید یک ژن به نام *pairing homeologous 1* از جفت شدن کروموزوم‌های همولوگ در تقسیم میوزی ممانعت می‌نماید (Prieto et al., 2004).

۳) **ناپایداری اپی‌ژنتیکی:** در خصوص ناپایداری اپی‌ژنتیکی آتوپلی‌پلوئیدها مستندات کمی موجود است اما در خصوص ناپایداری اپی‌ژنتیکی آلوپلی‌پلوئیدها مطالعات زیادی انجام گرفته است. برخی از این مطالعات گزارش نموده‌اند که این تغییرات اپی‌ژنتیکی به دلیل ایجاد آنیوپلوئیدها و در نتیجه عدم بیان ژن‌های کنترل کننده فعالیت‌های گیاه پلی‌پلوئید می‌باشد. آنچه مسلم است همه تغییرات اپی‌ژنتیکی مخرب نیستند زیرا این تغییرات منجر به ایجاد تنوع و شکل‌پذیری در گیاه شده که در فرآیند گزینش پلی‌پلوئیدهای سازگار با محیط نقش موثر ایفا می‌نمایند.

پلی‌پلوئیدی در گیاهان باغی و زینتی

پلی‌پلوئیدی در گیاهان به طور طبیعی و به کرات اتفاق می‌افتد. Sun و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که بین ۵۰ تا ۸۰ درصد گیاهان گل‌دهنده از جمله بسیاری از گیاهان باغی پلی‌پلوئید هستند. به عنوان مثال توت‌فرنگی اکتاپلوئید، کیوی و خرمالو هگزاپلوئید، انگور تتراپلوئید و موز تریپلوئید می‌باشند که نوعی امتیاز در این گیاهان در جهت سازگاری با محیط‌های مختلف محسوب می‌شود. پلی‌پلوئیدها معمولاً خصوصیات فنوتیپی جدیدی را نشان می‌دهند که در والدین دیپلوئیدشان وجود ندارد و در مواردی حتی در گونه‌های مشابه هم مشاهده نشده است (Ramsey and Schemske, 2002). برخی از این صفات شامل رشد متراکم، مقاومت به خشکی، مقاومت به تنش‌ها، آپومیکسی، مقاومت به آفات، تغییر در زمان گل‌دهی، تغییر در اندازه و تغییر در حجم توده‌های زیستی است که آن‌ها را برای گزینش در برنامه‌های به‌نژادی مناسب می‌سازد (Comai, 2005; Lu et al., 2006; Laere et al., 2011; Osborne et al., 2003; Pires et al., 2004; Ranny 2006; Ramsey & Scemske, 2002; Tan et al., 2012; Viehmannova et al., 2012). برخی از پلی‌پلوئیدها ارتفاع کمتری نسبت به والدین خود دارند که می‌توان از آن‌ها به

عنوان پایه‌های کوتاه‌کننده استفاده کرد (Webster, 1996)، برخی دیگر میوه‌های بدون هسته تولید می‌کنند که در درختان با میوه‌های خوراکی همانند انگور، گریپ فروت، آناناس و موز بسیار مطلوب واقع شده‌اند (Sun et al., 2015)

القا پلی پلوئیدی با هدف ایجاد نئوپلی پلوئیدهای (neopolyploids) متفاوت از والدین در گیاهان باغی همراه با موفقیت‌های چشمگیری بوده است. Xue و همکاران در سال ۲۰۱۵ نشان دادند که در ارقام سیب گالا و هنفو (cv 'Galla' & 'Hanfu') *Mallus domestica* با افزایش سطح پلوئیدی و ایجاد گیاهان اتوتتراپلوئید علاوه بر این که مرفولوژی و فیزیولوژی برگ تغییر کرد مقاومت به شوری در گیاهان اتوتتراپلوئید افزایش یافت. آنها این افزایش مقاومت را به افزایش بیان ژن‌های aquaporin در پاسخ به تنش شوری دانستند. Aquaporins پروتئین‌های غشا پلاسمایی هستند که در انتقال آب در بافت‌های ریشه و برگ نقش اساسی دارند. مطالعات Allario و همکاران (۲۰۱۲) نشان داد که در پایه‌های لیمو ترش (Rangpur lime, *Citrus limonia*) گیاهان اتوتتراپلوئید مقاومت بیشتری به تنش خشکی در مقایسه با گیاهان دیپلوئید داشتند. آن‌ها نشان دادند هدایت گازها در برگ‌های گیاهان تتراپلوئید نسبت به دیپلوئید کمتر و تجمع اسید آسزیک در برگ‌ها و ریشه‌های این گیاهان بیشتر از گیاهان دیپلوئید بود. در این تحقیق با بررسی بیان ژن‌ها نتیجه‌گیری کردند که افزایش میزان اسید آسزیک در گیاهان تتراپلوئید با بیان ژن‌های مربوط به پاسخ به تنش خشکی از جمله CsNCED1 که یکی از مهمترین ژن‌های بیوسنتز اسید آسزیک است مرتبط می‌باشد، بنابراین تغییر در بیان ژن‌ها در این پایه لیموترش با کنترل تولید اسید آسزیک مقاومت به تنش خشکی را ایجاد می‌نماید.

ایجاد نئوپلی پلوئیدها علاوه بر این که در افزایش مقاومت به تنش‌های خشکی و شوری کاربرد داشته‌است به عنوان یک روش به‌نژادی در افزایش اندازه گیاه خصوصاً میوه در گیاهان باغی استفاده شده است. در توت (*Morus alba* L.) اتوتتراپلوئیدی با استفاده از کلشیسین توسط Dai و همکاران (۲۰۱۵) القا شد. آن‌ها نشان دادند که گیاهان اتوتتراپلوئید دارای ارتفاع درخت، اندازه برگ و اندازه میوه بزرگتری نسبت به گیاهان دیپلوئید والدشان بودند. در این تحقیق متوسط وزن میوه گیاهان تتراپلوئید ۸/۵۷ گرم بود که در مقایسه با متوسط وزن میوه گیاهان دیپلوئید (۵/۰۵ گرم) به طور معنی‌دار افزایش یافته بود. داده‌های ترانسکریپتومی نشان داد که از ۲۱۲۲۹ ژنی که بیان شده بود فقط بیان ژن در ۶۰۹ مورد (۲/۸۷٪) بین اتوتتراپلوئیدها و دیپلوئیدها متفاوت بود که در بین آن‌ها فقط ۳۰ ژن با بیوسنتز و هدایت سیگنالی هورمون‌های گیاهی از جمله سیتوکینین‌ها، جبرلین‌ها، اتیلین و اکسین‌ها ارتباط داشت و ۴۱ ژن دیگر که بیان متفاوت داشتند در فرآیند فتوسنتز نقش داشتند. Liu و همکاران در سال (۲۰۱۲) رقم تجاری عناب تتراپلوئید (*Ziziphus jujuba* cv Chenguang) که در سال ۲۰۰۹ در چین به عنوان رقم به‌نژاد شده جدید معرفی شده بود را با والد دیپلوئیدش مقایسه نمودند. آن‌ها گزارش کردند که گیاهان تتراپلوئید در مقایسه با گیاهان دیپلوئید فاصله میان‌گره کوتاه‌تر، روزنه‌های بزرگتر با تعداد کمتر، برگ‌های بزرگتر و ضخیم‌تر با تعداد کلروپلاست‌های بیشتر و میوه‌های درشت‌تر و با کیفیت میوه بهتر داشتند. Notsuka و همکاران در سال ۲۰۰۰ نتایج تحقیقات وسیعی که از سال ۱۹۸۴ در یکی از مراکز تحقیقاتی ژاپن بر روی القا پلی پلوئیدی در جهت به‌نژادی انگور صورت گرفته بود را بدین صورت گزارش کردند که ارقام انگور نئوتتراپلوئید ضمن برخورداری از قدرت رشد زیاد در طی سال‌های متمادی پایدار بودند. در این تحقیق بیان گردید که اگر چه در برخی خصوصیات فنوتیپی تفاوت معنی‌دار بین نئوتتراپلوئیدها و والدین دیپلوئیدشان وجود نداشت اما اندازه دانه‌های انگور بسته به رقم مورد مطالعه، در گیاهان تتراپلوئید بین ۱/۱ تا ۱/۵ برابر بزرگتر از والدین دیپلوئیدشان بود.

القا پلی پلوئیدی در گیاهان زینتی با هدف ایجاد ارقام تجاری جدید و متفاوت از والدین، از دیرباز مورد توجه به‌نژادگران بوده است. Kermani و همکاران (۲۰۰۳) با القا پلی پلوئیدی در ۴ رقم دیپلوئید و ۲ رقم تریپلوئید تجاری گل رز (*Rosa hybrida*) نشان دادند که ضخامت برگ‌ها در گیاهان تتراپلوئید و هگزاپلوئید بیشتر از والدین دیپلوئید و تریپلوئیدشان بود. همچنین برگ‌های نئوپلی پلوئیدها رنگ سبز پررنگ‌تر، نسبت عرض به طول برگ بیشتر و دانه‌های گرده با زنده ماننی بیشتری نسبت به والدین خود

داشتند. در این تحقیق گزارش شد که فاصله میان گره‌ها در گیاهان تتراپلوئید بلندتر از دیپلوئیدها بود اما فاصله میان گره‌ها در هگزاپلوئیدها کوتاه‌تر از تریپلوئیدها بود و تعداد گلبرگ‌ها در یکی از رزهای تتراپلوئید دو برابر والد دیپلوئیدش بود. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که اگرچه افزایش سطح پلوئیدی در ایجاد تغییرات مورفولوژیکی گیاه موثر است اما با افزایش باروری در گیاهان دوبل شده می‌توان روش افزایش سطح پلوئیدی را به عنوان یک راهکار به‌نژادی در انتقال ژن‌های افزایش مقاومت به تنش‌ها از گونه‌های وحشی رز به ارقام تجاری محسوب نمود، زیرا بسیاری از گونه‌های رز دیپلوئید هستند در حالی که ارقام تجاری تتراپلوئید می‌باشند و در برنامه‌های به‌نژادی بین این دو، معمولاً نتاج تریپلوئید عقیم و یا با باروری کم ایجاد می‌شوند که با افزایش سطح پلوئیدی گونه‌های وحشی دیپلوئید به تتراپلوئید و یا افزایش سطح پلوئیدی نتاج تریپلوئید به هگزاپلوئید این ایراد رفع می‌شود. در تحقیقات بعدی توسط Khosravi و همکاران (۲۰۰۸) رزهای تتراپلوئید از گونه‌های رز دیپلوئید (*Rosa persica*) گزارش شدند. Ahmadi و همکاران (۲۰۱۴) صفات مورفولوژیکی رزهای تجاری آیس برگ (*Rosa hybrida cv Iceberg*) را با هگزاپلوئیدهای حاصل از افزایش سطح پلوئیدی مقایسه کرده و گزارش نمودند که خصوصیات فنوتیپی این دو بسیار متفاوت است و زنده‌مانی دانه‌های گرده و جوانه زنی آن‌ها در گیاهان هگزاپلوئید تقریباً ۳ برابر والدین تریپلوئیدشان بود. در آن تحقیق با بررسی متابولیت‌های ثانویه در گیاهان هگزاپلوئید و تریپلوئید نشان دادند که میزان تولید برخی از آن‌ها در گیاهان هگزاپلوئید با میزان تولید آن‌ها در گیاهان تریپلوئید متفاوت بود. تفاوت بین گیاهان هگزاپلوئید و تریپلوئید در میزان تولید متابولیت‌های ثانویه را می‌توان به تفاوت در بیان ژن‌های کدکننده ترکیبات مورد مطالعه در آن تحقیق نسبت داد. افزایش تولید برخی از متابولیت‌های ثانویه که با تولید عطر و رایحه گل ارتباط دارند در به‌نژادی گیاهان زینتی از اهمیت ویژه برخوردار است.

القا پلی‌پلوئیدی همواره با بزرگ‌شدن اندام‌های گیاهی همراه نیست، Stanys و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که با القا تتراپلوئیدی در "به" ژاپنی (*Chaenomeles japonica* Thunb) اندازه میوه در گیاهان تتراپلوئید افزایش نیافت اما تولید بذر در آن‌ها کاهش داشت و در نتیجه نسبت گوشت میوه به وزن میوه افزایش یافت و میوه‌های بازار پسندتری ایجاد شدند. پژوهش‌های Sun و همکاران (۲۰۱۵) بر روی گلابی (*Pyrus communis*) نشان داد که کلون‌های متفاوت از نئوپلی‌پلوئیدهای حاصل از تیمارهای کلشیسین که دارای سطوح پلوئیدی مختلف (تتراپلوئید، تریپلوئید و میکسوپلوئید) بودند خصوصیات فنوتیپی متفاوت داشتند. بنابراین انجام آزمون‌های گزینش پس از القا پلی‌پلوئیدی برای شناسایی نئوپلی‌پلوئیدهای ارزشمند، لازم است.

منابع

- Ahmadi, T., Jafarkhani Kermani, M., Mashayekhi, K., Hasanloo, T and Shariatpanahi, M.E. 2014. Comparing plant morphology, fertility and secondary metabolites in *Rosa hybrida cv Iceberg* and its chromosome-doubled progenies. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 4 (11): 3840-3849.
- Allario, T., Brumos, J., Colmenero-Flores, J. M., Iglesias, D. J., Pina, J. A., Navarro, L., Talon, M., Ollitrault, P. and Morillon, R. 2012. Tetraploid Rangpur lime rootstock increases drought tolerance via enhanced constitutive root abscisic acid production. *Plant Cell and Environment*. 36 (4): 856-68.
- Comai, L. 2005. The advantages and disadvantages of being polyploid. *Nature* 6: 836-846.
- Comai, L. et al. 2000. Phenotypic instability and rapid gene silencing in newly formed Arabidopsis allotetraploids. *Plant Cell*. 12: 1551-1568.
- Dai, F., Wang, Z., Luo, G. and Tang, C. 2015. Phenotypic and transcriptomic analysis of autotetraploid and diploid Mulberry (*Morus alba* L.). *International Journal of Molecular Science*: 16: 22938-22956.
- Entani, T. et al. 1999. Relationship between polyploidy and pollen self-incompatibility phenotype in *Petunia hybrida* Vilm. *Biosciences Biotechnology and Biochemistry*. 63: 1882-1888.
- Kermani MJ, Sarasan V, Roberts AV, Yokoya A, Wentworth J and Sieber VK. 2003. Oryzalin-induced chromosome doubling in *Rosa* and its effects on plant morphology and pollen viability. *Theoretical Applied Genetics* 107: 1195-1200.

8. Khosravi P, Kermani MJ, Nematzadeh GA, Bihamta MR, Yokoya K. 2007. Role of mitotic inhibitors and genotype on chromosome doubling of *Rosa. Euphytica*. 160: 267-275.
9. Liu, P., Dai, L., Liu, M., Jiang, H, Zhao, Z. and Wang, J. 2012. 'Chenguang' a new tetraploid Chinese jujube cultivar. *Fruits*. 67: 293-296.
10. Lu, B., Pan, X., Zhang, L., Huang, B., Sun, L., Li, B., Yi, B., Zheng, S., Yu, X., Ding, R. and Chen, W. 2006. A genome-wide comparison of genes responsive to autopolyploidy in *Isatis indigotica* using *Arabidopsis thaliana* affymetrix genechips. *Plant Molecular Biology Reports*. 24: 197-204.
11. Mastenbroek, I., deWet, J. M. J. and Lu, C.-Y. 1982. Chromosome behavior in early and advanced generation of tetraploid maize. *Caryologia* 35: 463-470.
12. Mayer, V. W. and Aguilera, A. 1990. High levels of chromosome instability in polyploids of *Saccharomyces cerevisiae*. *Mutation Research*. 231: 177-186.
13. Mittelsten Scheid, O., Afsar, K. and Paszkowski, J. 2003. Formation of stable epialleles and their paramutation-like interaction in tetraploid *Arabidopsis thaliana*. *Nature Genet*. 34: 450-454
14. Mittelsten Scheid, O., Jakovleva, L., Afsar, K., Maluszynska, J. and Paszkowski, J. A. 1996. change of ploidy can modify epigenetic silencing. *Proc. National Academy of Sciences. USA*. 93: 7114-7119.
15. Nasrallah, M. E., Yogeeswaran, K., Snyder, S. and Nasrallah, J. B. 2000. *Arabidopsis* species hybrids in the study of species differences and evolution of amphiploidy in plants. *Plant Physiology*. 124: 1605-1614.
16. Notsuka, K., Tsuru, T. and Shiraishi, M. 2000. Induced polyploidy grapes via *in vitro* chromosome doubling. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 69 (5): 543-551.
17. Osborn, T.C., Pires, J.C., Birchler, J.A., Auger, D.L., Chen, Z.J., Lee, H.S., Comai, L., Madlung, A., Doerge, R.W., Colot, V. and Martienssen, R. 2003. Understanding mechanisms of novel gene expression in polyploids. *Trends in Genetics*. 19: 141-1471.
18. Paterson, A. H., Bowers, J. E. and Chapman, B. A. 2004. Ancient polyploidization predating divergence of the cereals, and its consequences for comparative genomics. *Proceeding of the National Academy of Sciences. USA*. 101: 9903-9908.
19. Pires, J.C., Zhao, J., Schranz, M.E., Leon, E.J., Quijada, P.A., Lukens, L.N. and Osborn, T.C. 2004. Flowering time divergence and genomic rearrangements in resynthesized Brassica polyploids (Brassicaceae). *Biology Journal of Linnean Society*. 82: 675-688.
20. Prieto, P., Shaw, P. and Moore, G. 2004. Homologue recognition during meiosis is associated with a change in chromatin conformation. *Nature Cell Biology*. 6: 906-908.
21. Ramsey, J. and Schemske, D.W. 2002. Neopolyploidy in flowering plants. *Annu. Review of Ecological Evolution and Systematics* 33: 589-639.
22. Ranney, T.G. 2006. Polyploidy: from evolution to new plant development. *Combined Proceedings of International Plant Propagators Society* 56: 137-142.
23. Risso-Pascotto, C., Pagliarini, M. S. and do Valle, C. B. 2005. Multiple spindles and cellularization during microsporogenesis in an artificially induced tetraploid accession of *Brachiaria ruziziensis* (Gramineae). *Plant Cell Reports*. 23: 522-527.
24. Stanys, V., Weckman, A., Staniene, G. and Duchovskis, P. 2006. *In vitro* induction of polyploidy in Japanese quince (*Chaenomeles japonica*). *Plant cell Tissue and Organ Culture*. 84: 263-268.
25. Sun, Q., Sun, H., Bell, R., Li, L., Zhou, G., Xin, L and Wei, Z. 2015. Field performance of vegetative form traits of neopolyploids produced by *in vitro* colchicine treatment in *Pyrus communis*. *Scientia Horticulturae* 193: 182-187.
26. Tan, F.Q., Tu, H., Liang, W.J., Long, J.M., Wu, X.M., Zhang, H.Y. and Guo, W.W. 2015. Comparative metabolic and transcriptional analysis of a doubled diploid and its diploid citrus rootstock (*C. junos* cv. Ziyang xiangcheng) suggests its potential value for stress resistance improvement. *BMC Plant Biology* 15, 89, <http://dx.doi.org/10.1186/s12870-015-0450-4>
27. Viehmannova, I., Travnickova, M., Spatenkova, E., Cerna, M. and Travnicek, P. 2012. Induced polyploidization and its influence on yield, morphological, and qualitative characteristics of microtubers in *Ullucus tuberosus*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 109: 83-90.
28. Wang, X., Shi, X., Hao, B., Ge, S. and Luo, J. 2005. Duplication and DNA segmental loss in the rice genome: implications for diploidization. *New Phytologist Trust*. 165: 937-946.
29. Warner, D.A. and Edwards, G.E. 1993. Effects of polyploidy on photosynthesis. *Photosynthesis. Research*. 35:135-147.
30. Webster, A.D. 1996. Cherry rootstock evaluation at East malling. *Acta Horticulturae*. 410: 247-255.
31. Xue, H., Zhang, F., Zhang, Z. H., Fu, J. F., Wang, F, Zhang, B. and Ma, Y. 2015. Differences in salt tolerance between diploid and autotetraploid apple seedlings exposed to salt stress. *Scientia Horticulturae*. 190: 24-30.

Effect of Polyploidy on Horticultural and Ornamental plants

M. Jafarkhani Kermani^{1*}

1-Tissue and Cell Culture Department at Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII). Alborz. Iran.

* Corresponding author: maryam.j.kermani@gmail.com and m.j.kermani@abrii.ac.ir

Abstract

Many plants are polyploids and possess more than two sets of chromosomes. If they have three, four, five, six and ... sets of chromosomes, they would be called triploid (3x), tetraploid (4x), pentaploid (5x), hexaploid (6x) and so on. Studying the polyploid plants has shown that although by increasing the number of chromosomes, new genes would not be incorporated into the plant's genome. However, expression of the genes which are related to phenotype and epigenetic characteristics of the plant would be modified. In the present investigation the advantages and disadvantages of polyploid plants and application of polyploidization in horticultural and ornamental plants are discussed.

Key words: Polyploid, chromosome sets, gene expression, horticultural plants, ornamentals

