

بررسی اثر القای پلی‌پلوئیدی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و برخی خصوصیات فیتوشیمیایی و مورفولوژیکی خشخاش ایرانی (*Papaver bracteatum* Lindl.)

سید هادی مدنی^۱، بهمن حسینی^{۲*}، قاسم کریمزاده^۳ و امیر رحیمی^۴

۱- دانشجوی دکترای گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، پست الکترونیک: b.hosseini@urmia.ac.ir

۳- دانشیار، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه زراعت، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۷

تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۷

چکیده

خشخاش ایرانی (*Papaver bracteatum* Lindl.) از گیاهان دارویی متعلق به تیره خشخاش بوده که به دلیل دارا بودن آلکالوئیدهای بنزیل ایزوکوئینولین در صنایع داروسازی، کاربرد فراوانی دارد. القای پلی‌پلوئیدی از موضوعات جالب توجه در اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهان دارویی می‌باشد. در این تحقیق، از تیمار کلشی سین در ۵ غلظت (۰، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد) و سه زمان ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت، با سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای با هدف مطالعه تغییرات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی در گیاهان پلی‌پلوئید و مقایسه آن با گیاهان دیپلوئید استفاده گردید. برای تعیین سطح پلوئیدی گیاهان، بررسی‌های میکروسکوپی، مورفولوژیکی و شمارش کروموزومی انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که غلظت ۰/۲٪ کلشی سین در مدت زمان تیمار ۴۸ ساعت با بازدهی ۳۲٪ مناسب‌ترین تیمار برای تولید گیاهان پلی‌پلوئید است. القای پلی‌پلوئیدی باعث ایجاد تغییرات معنی‌دار در افزایش ترکیب‌های فیتوشیمیایی مانند فنل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان کل در گیاهان پلی‌پلوئیدی نسبت به دیپلوئید گردید؛ همچنین شاخص تراکم روزنه در گیاهان پلی‌پلوئید نسبت به دیپلوئید کاهش معنی‌داری را نشان داد. تعداد کروموزوم در گیاهان دیپلوئید و تتراپلوئید به ترتیب برابر با ۱۴ ($2n=2x=14$) و ۲۸ ($2n=4x=28$) ثبت گردید. بنابراین می‌توان گفت، افزایش سطح پلوئیدی موجب افزایش ترکیب‌های فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی در گیاه دارویی خشخاش ایرانی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: خشخاش ایرانی (*Papaver bracteatum* Lindl.)، پلی‌پلوئیدی، فنل، کلشی سین.

مقدمه

(1975). تمام اندام گیاه حاوی ماده مؤثره‌ای از نوع آلکالوئیدی است که مهمترین ترکیب را تبائین و به مقدار بسیار کم مورفین و کدئین تشکیل می‌دهند که در صنایع داروسازی کاربرد فراوانی دارند (Neubauer & Mothes,

خشخاش ایرانی با نام علمی *Papaver bracteatum* Lindl. از تیره Papaveraceae برای اولین بار توسط Lindley در سال ۱۸۲۱ شناخته شد (Coffman et al.,

محسوب می‌شوند (Zhang et al., 2007). در رابطه با القای پلی‌پلوئیدی و تأثیرات آن بر مباحث میکروسکوپی، مورفولوژیکی، فیتوشیمیایی و همچنین سیتوژنتیک خشخاش ایرانی اطلاعات کمی در دسترس است. این تحقیق با هدف تکمیل یک دستورالعمل بهینه‌سازی شده برای القای پلی‌پلوئیدی در خشخاش ایرانی و در نهایت بهره‌گیری آن برای تولید گیاهان تتراپلوئید با ویژگی‌های فیتوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی بالاتر در جهت مقاومت به انواع تنش‌ها اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و کشت

این تحقیق در سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۹۴ در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه اجرا شد. بذره‌های خشخاش ایرانی از کوهپایه‌های اطراف ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی جمع‌آوری شدند. با توجه به مشکلات مرتبط با جوانه‌زنی طبیعی بذره‌های خشخاش ایرانی، از جیبرلین ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در شرایط تاریکی به مدت ۶ ساعت برای بهبود جوانه‌زنی بذرها استفاده گردید. سپس بذره‌های خشخاش ایرانی در بستر خاکی در گلدانهای بزرگ (قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر) با ترکیب خاک، پیت ماس و ماسه (۱:۱:۲) کشت شدند. پس از کشت بذرها، گلدان‌ها در شرایط دمایی 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد، با شدت نور ۳۰۰۰ لوکس قرار گرفتند. چهار هفته بعد از جوانه‌زنی گیاهچه‌ها، در مرحله ۴ تا ۶ برگگی، تیمار کلشی‌سین با غلظت‌های ۰، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۵ درصد برای مدت زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی با اعمال بر نوک شاخساره‌ها توسط تکنیک گلوله پنبه‌ای انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی

(1963). تبائین ۹۸٪ کل آلکالوئیدهای خشخاش ایرانی را تشکیل داده و بین ۰/۷ تا ۱/۳ درصد ماده خشک ریشه را شامل می‌شود و از ترکیب‌های اصلی گیاه خشخاش ایرانی می‌باشد (Neubauer & Mothes, 1963). تبائین به راحتی به کدئین تبدیل شده و اعتیادآور نیست و داروهای درمان اعتیاد مانند نالوکسون (Naloxone) و نالترکسون (Naltrexone) از آن ساخته می‌شوند (Palevitch & Levy, 1983). از آنجا که تولید جهانی خشخاش به علت نیاز به کشت آن در تولید کدئین توجیه شده است، هر گونه گیاهی که قادر به تولید کدئین یا پیش‌سازهای آن بدون تولید همزمان مواد مخدر دیگری مانند مورفین باشد، دارای ارزش بالایی است. دو برابرسازی ژنوم‌ها (پلی‌پلوئیدی) به‌عنوان یک ابزار تکاملی مهم در گیاهان گل‌دار شناخته شده است (Soltis & Soltis, 1999). گیاهان با سطوح پلوئیدی بالاتر اغلب سلول‌های بزرگتر، برگ‌های ضخیم‌تر، رشد کندتر، میزان آب بیشتر و تأخیر در گلدهی ولی افزایش دوره رشد را نشان می‌دهند (Kondorosi et al., 2000). القاء پلی‌پلوئیدی در گیاهان اغلب موجب تولید واریته‌های جدید با کیفیت متمایز می‌شود و از سوی دیگر از طریق دو برابر شدن سطح کروموزومی، افزایش تعداد نسخه‌های ژنی بیان‌کننده ترکیب‌های مواد مؤثر و افزایش جثه گیاه، موجب افزایش ترکیب‌های ثانویه و دارویی آن می‌شود. مؤثرترین ماده به‌منظور تحریک پلی‌پلوئیدی، کلشی‌سین می‌باشد که از بذر پدازه و گل‌های گیاه گل‌حسرت (*Colchicum autumnale*) استخراج می‌شود (Arzani, 2001). برای القای پلی‌پلوئیدی از کلشی‌سین در بسیاری از گیاهان مانند پالونیا (*Paulownia tomentosa*) (Tang et al., 2010)، بذرالبنج مشبک (*Hyoscyamus reticulatus*) (Madani et al., 2015) و زرین‌گیاه (*Dracocephalum kotschy*) (Zahedi et al., 2014) استفاده شده است. با این حال، در بسیاری از گونه‌های گیاهی، کلشی‌سین باعث تأثیرات جانبی مانند عقیم شدن، رشد غیرطبیعی، زیان‌های کروموزوم یا بازآرایی و جهش ژن می‌گردد (Lockett, 1989)؛ همچنین تولید گیاهان تتراپلوئید به‌عنوان مانع در آمیزش اینترپلوئیدی

۱۲ میکرولیتر از محلول رنگی PI و ۶ میکرولیتر از محلول RNase برای حذف RNA به محلول اولیه اضافه شد و با استفاده از دستگاه فلوسایتومتری PAS III (Partec, Germany) مجهز به لامپ لیزر در طول موج ۴۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. برای شمارش کروموزوم‌ها، ابتدا یک سانتی متر از برگ‌های جوان گیاهان جدا گردید و در محلول ۰/۲٪ وزنی به حجمی کلشی‌سین به مدت ۲/۵-۴ ساعت در دمای ۳۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد در شرایط تاریکی قرار داده شد (Farjaminezhad *et al.*, 2011). در ادامه، به‌منظور تثبیت سلول‌ها در مرحله تقسیم میتوزی از محلول کارنوی حاوی سه قسمت الکل اتیلیک خالص و یک قسمت استیک اسید گلاسیال استفاده گردید. برای هیدرولیز، نمونه‌ها درون ظرف حاوی اسید کلریدریک یک نرمال به مدت ۱۵ دقیقه و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد درون حمام آب گرم قرار داده شدند. برای رنگ‌آمیزی، نمونه‌های هیدرولیز شده به مدت ۵۰ دقیقه درون محلول استوفریک هماتوکسیلین در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد درون حمام آب گرم قرار داده شدند و در نهایت نمونه‌های تهیه شده زیر میکروسکوپ نوری (Olympus CX21, Olympus America Inc.) قرار گرفت و شمارش کروموزوم انجام شد.

استخراج فنل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان (DPPH) کل

به‌منظور استخراج عصاره بافت برگ برای سنجش فنل و فلاونوئید کل، برگ دوم نمونه‌های گیاهان دیپلوئید و تتراپلوئید جداگانه در هاون چینی با نیتروژن مایع ساییده و خرد شدند. ۰/۵ گرم از هر نمونه همگن شده با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰٪ مخلوط و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه اولتراسونیک قرار داده شد و بعد عصاره‌ها از کاغذ صافی عبور داده شد. سنجش مقدار فنل کل با استفاده از معرف Folin-Ciocalteu و استاندارد گالیک اسید انجام شد (Ebrahimzadeh *et al.*, 2008). برای سنجش فلاونوئید

با بکارگیری سه تکرار (هر تکرار ۱۰ گیاهچه) برای هر تیمار (۹۰ ریزنمونه) انجام شد. اثر کلشی‌سین بر روی رشد، نمو و زنده مانی ریزنمونه‌ها پس از گذشت ۱۰ روز از اعمال تیمارها مورد ارزیابی قرار گرفت.

مطالعات میکروسکوپی

پس از گذشت ۱ ماه برای مشاهده تراکم روزنه‌ها، سه برگ بالغ و توسعه یافته و تا حد ممکن برگ‌های هم‌سن و هم‌اندازه از قسمت میانی هر یک از گیاهان تیمار شده و گیاهان دیپلوئید کنترل انتخاب و از هر بوته جدا شدند. سپس با استفاده از تکنیک لاک ناخن (Hamill *et al.*, 1992)، از اپیدرم سطح زیرین آنها نمونه برداری انجام گردید. مشاهده نمونه و عکس‌برداری توسط دستگاه میکروسکوپ نوری (Olympus CX21, Olympus America Inc.) مجهز به لنز مشبک با بزرگنمایی ۴۰x در واحد سطح انجام شد. با استفاده از این روش تعدادی از گیاهان مشکوک به پلی‌پلوئیدی تفکیک شدند.

تعیین سطح پلوئیدی

برای تعیین سطح پلوئیدی گیاهان مذکور از تکنیک فلوسایتومتری و سیتوژنتیکی استفاده شد. مطالعات فرایند فلوسایتومتری با استفاده از رنگ PI (Propidium Iodide) رنگ‌آمیزی شد و از گیاه نخودفرنگی (*Pisum sativum* cv. Ctirad 2C DNA = 9.09 pg) به‌عنوان گیاه استاندارد مرجع استفاده شد (Doležel *et al.*, 2007). در ادامه مقدار ۰/۰۳ گرم از نمونه تازه برگ گیاهی را با یک تیغ تیز (Otto, 1990; Doležel & Göhde, 1995) در یک میلی‌لیتر از محلول بافر LBO1 (lysis buffer) روی پتری شیشه‌ای خرد کرده و بعد محلول سوسپانسیون حاصل از فیلتر نایلونی (۵۰ میکرومولار) عبور داده شد. در ادامه کار، پانزده دقیقه قبل از تزریق به دستگاه فلوسایتومتری، ۲ میلی‌لیتر از محلول دوم (Otto II) برای هر نمونه به همراه

نتایج

اثر غلظت‌های مختلف کلشی‌سین بر زنده‌مانی ریزنمونه‌ها پس از اعمال تیمار

اثر غلظت‌های مختلف کلشی‌سین بر درصد زنده‌مانی ریزنمونه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین درصد زنده‌مانی گیاهچه‌ها (۹۷/۷٪) در تیمار شاهد و کمترین آن در غلظت ۵٪ (۲۸/۸٪) مشاهده گردید (شکل ۱-الف). اثر زمان مختلف تیمار با کلشی‌سین بر درصد زنده‌مانی گیاهچه‌ها در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. تیمار زمانی ۲۴ ساعت با کلشی‌سین در مقایسه با ۷۲ ساعت تأثیر قابل توجهی بر میزان زنده‌مانی ریزنمونه‌ها داشت. به‌طوری‌که بیشترین زنده‌مانی در تیمار ۲۴ ساعت با میانگین ۷۰٪ و کمترین زنده‌مانی با میانگین تیمار ۷۲ ساعت با میانگین ۵۶/۶٪ می‌باشد. هرچند بین زمان‌های ۲۴ ساعت با زمان ۴۸ ساعت در این صفت اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۱-ب)، اما میزان زنده‌مانی گیاهچه‌ها در تیمار زمانی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت به‌ترتیب ۷۰/۰، ۶۴/۶ و ۵۶/۶ درصد کاهش یافت. نتایج آنالیز داده‌ها نشان داد که اثر متقابل غلظت در زمان بین تیمارها معنی‌دار نمی‌باشد. به‌طور کلی نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش غلظت و زمان تیمار کلشی‌سین، درصد زنده‌مانی گیاهچه‌ها به‌طور معنی‌داری به‌دلیل افزایش سمیت کلشی‌سین کاهش می‌یابد.

کل، از عصاره‌های برگ‌گی استخراج شده از روش رنگ‌سنجی و استاندارد کوئرستین استفاده شد. برای این منظور، ۲۵۰ میکرولیتر از عصاره استخراج شده در داخل لوله فالکون منتقل و بعد ۱۵۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵٪ به آن اضافه شد. پس از ۵ دقیقه ورتکس و اضافه کردن ۳۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰٪، لوله‌ها دوباره به مدت ۵ دقیقه ورتکس شدند. با اضافه کردن ۱۰۰۰ میکرولیتر سود ۱ مولار و رساندن آن به حجم ۵۰۰۰ میکرولیتر با آب دیونیزه، جذب نمونه‌ها در طول موج ۳۸۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO UV/Vis 2100 USA) سنجش و قرائت شد (Cheng et al., 2009). برای سنجش آنتی‌اکسیدان کل از DPPH (ترکیب رادیکالی پایدار چربی‌دوست)، ۱۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی به ۲ میلی‌لیتر محلول DPPH اضافه و در شرایط تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شد و بعد در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UNICO UV/Vis 2100 USA) سنجش و قرائت شد.

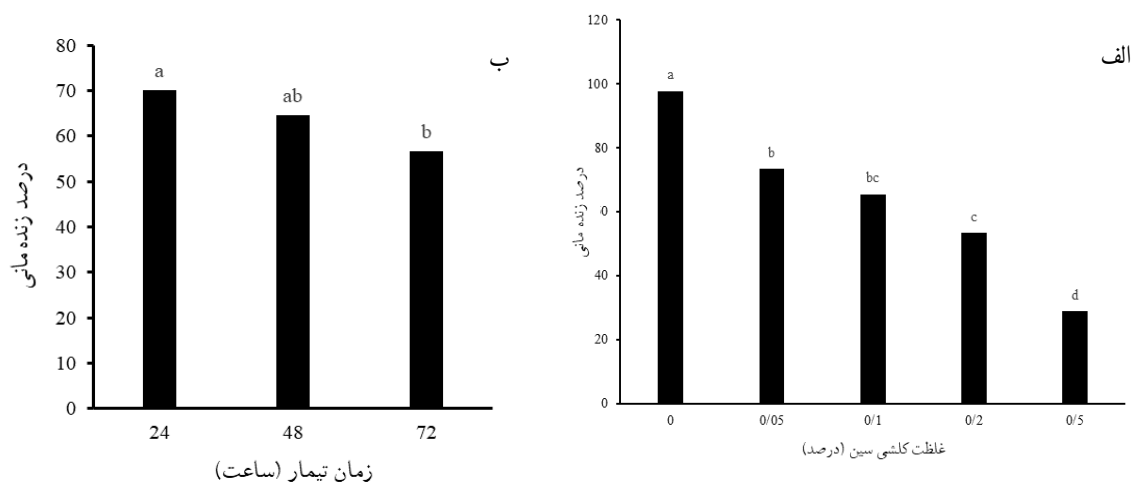
تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار رایانه‌ای SAS 9.2 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ انجام گردید.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس زنده‌مانی گیاهچه‌های تیمار شده با کلشی‌سین گیاه خشخاش ایرانی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
غلظت	۴	۵۷۹۸ ***
زمان	۲	۶۷۵ *
(غلظت×زمان)	۸	۶۴ ns
اشتباه آزمایشی	۳۰	۱۸۶
ضریب تغییرات (%)		۲۱/۴۲

* و **، به‌ترتیب نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ می‌باشد.



شکل ۱- اثر تیمارهای مختلف کلسی سین بر درصد زنده مانده گیاه خشخاش ایرانی: (الف) غلظت تیمار و (ب) زمان تیمار میانگین با حروف مشترک در هر شکل براساس آزمون دانکن، اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ ندارند.

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی از ویژگی‌ها در گیاهان دیپلوئید و تتراپلوئید گیاه خشخاش ایرانی

گیاهان دیپلوئید ±SE میانگین	گیاهان تتراپلوئید ±SE میانگین	ویژگی‌های بررسی شده
۶/۲۱±۰/۳۲a	۵/۱۰±۰/۲۸b	طول برگ (cm)
۱/۸۹±۰/۴۲b	۳/۸۳±۰/۴۶a	عرض برگ (cm)
۵۸/۸±۹/۴۸b	۱۷۵/۳±۲۰/۱۸a	تراکم روزنه (mm ²)
۲۳/۰۵±۱/۸۴b	۳۶/۸۲±۱/۹۱a	طول روزنه (μm)
۶/۹۳±۱/۲۳b	۱۷/۷۸±۲/۲۶a	عرض روزنه (μm)
۳۳۶۰/۲±۳۲۱/۸۲b	۵۱۸۳/۶±۷۴۳/۱۵a	مساحت برگ (mm)
۰/۳۳±۰/۰۵b	۰/۵۴±۰/۰۱a	ضخامت کلی برگ (μm)
۴/۴۸±۱/۱۵b	۶/۱۹±۱/۲۷a	آنتی‌اکسیدان کل (mg/gr)

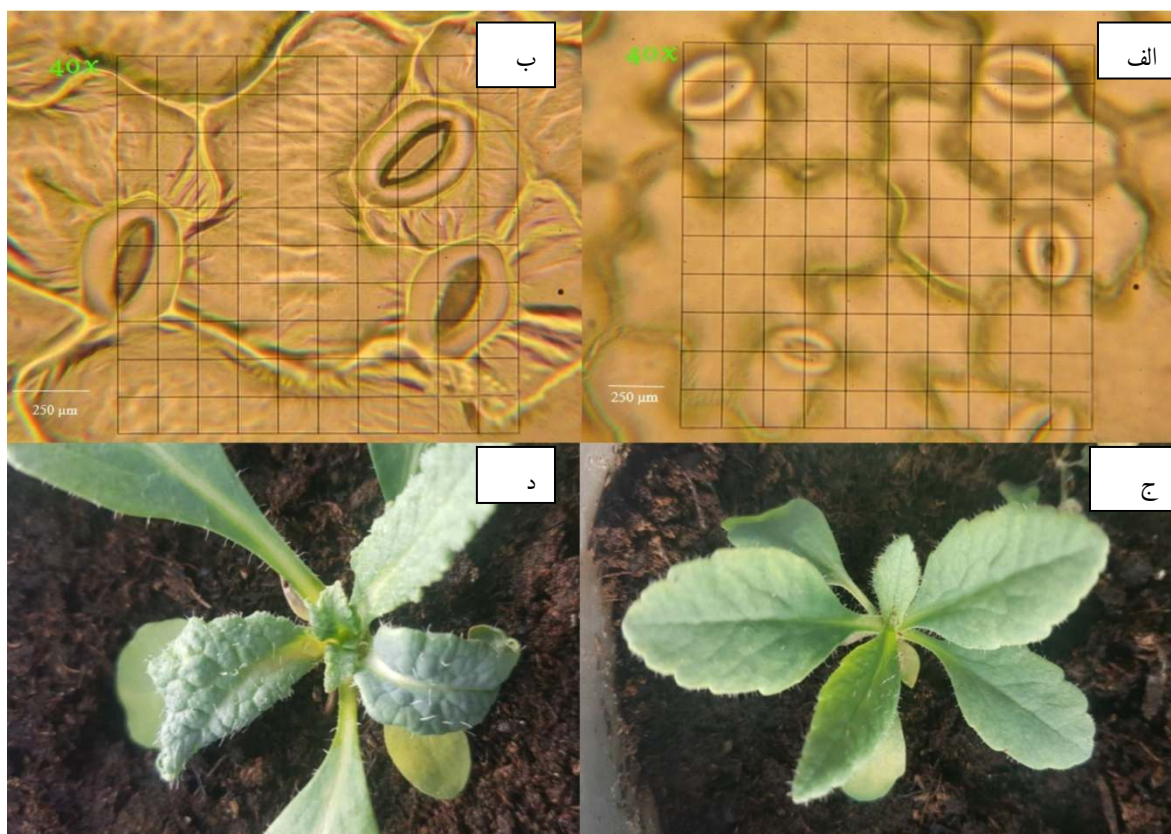
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ردیف در سطح احتمال ۱٪ آزمون DMRT فاقد تفاوت معنی داری بودند

همانند برگ‌های تیره، تغییر شکل یافته، چروک و ضخیم پس از اعمال تیمار همراه بود. بررسی شکل برگ در گیاه خشخاش ایرانی نشان داد که برگ‌های گیاهان تتراپلوئید از نظر اندازه (جدول ۲) دارای طول کمتری و عرض بیشتری نسبت به گیاهان دیپلوئید بودند. علاوه بر این، برگ‌های گیاهان تتراپلوئید چین‌خورده و ناصاف بودند و از لحاظ

تأثیر تتراپلوئیدی بر خصوصیات مورفولوژیکی و آناتومیکی نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده نشان داد که بجز تیمارهای شاهد بقیه تیمارها سبب ایجاد گیاهچه‌های تغییر یافته شدند. شناسایی گیاهچه‌های تغییر یافته با بررسی مشخصات و ویژگی‌های مورفولوژیکی از قبیل تأخیر در رشد، تفاوت در مساحت، ضخامت، شکل و رنگ برگ،

از گیاهان تتراپلوئید در مرحله توسعه کامل برگ ها، نشان داد که اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ در تعداد روزنه در واحد سطح برگ بین گیاهان دیپلوئید و تتراپلوئید وجود دارد (جدول ۲ و شکل ۲). گیاهان تتراپلوئید از لحاظ طول روزنه و عرض روزنه بزرگتر از همتای دیپلوئید خود بودند و اختلاف بین آنها معنی دار بوده است.

ضخامت، ضخیم تر از گیاهان دیپلوئید بودند (شکل ۲- ج و د). مقایسه سطح برگ (جدول ۲) نشان داد که گیاهان تتراپلوئید به طور معنی داری سطح برگ بزرگتری نسبت به گیاهان دیپلوئید دارند. همچنین در مقایسه تراکم روزنه در یک میلی متر مربع از نقاط مختلف موجود در سطح پشت برگ (آبکسیال) در ۱۰ نمونه از گیاهان دیپلوئید و ۱۰ نمونه



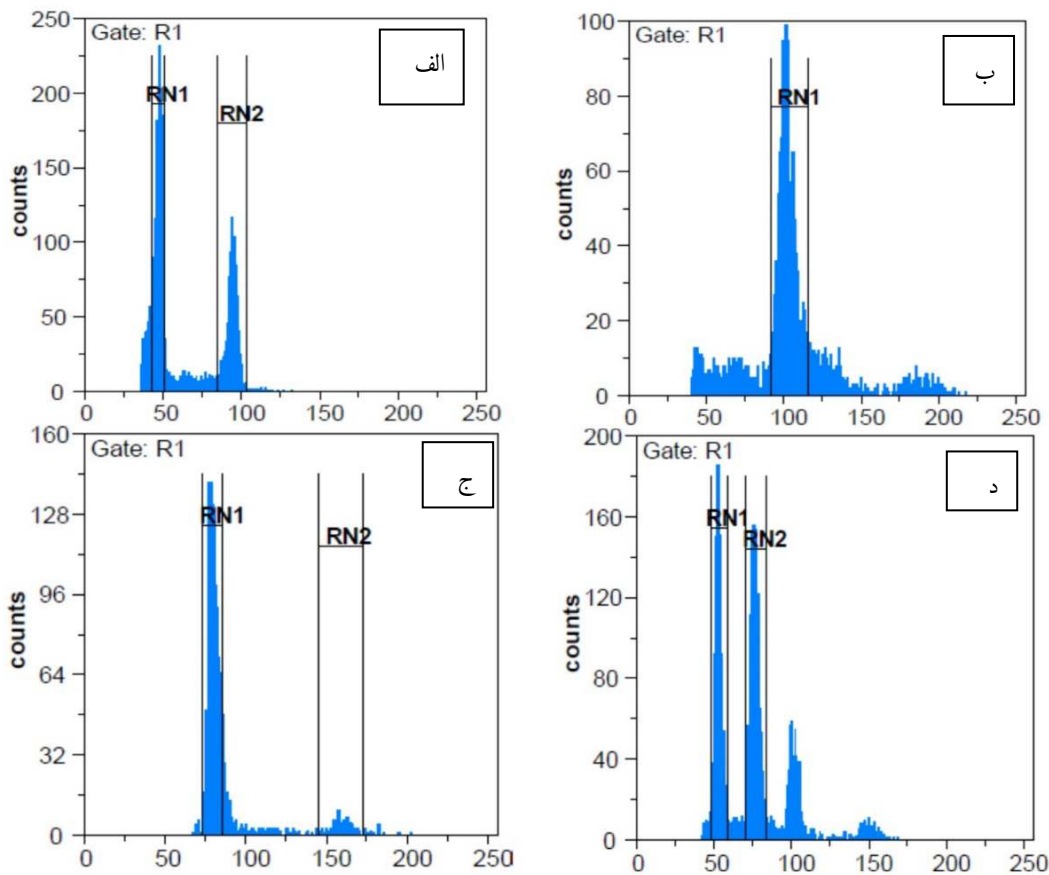
شکل ۲- مقایسه اندازه تراکم روزنه ها و تغییرات مورفولوژیکی بعد از اعمال تیمار در گیاه (الف - ج) دیپلوئید (ب-د) و تتراپلوئید خشخاش ایرانی (بزرگنمایی ۴۰x، میکروسکوپ نوری مجهز به لنز مشبک برای تصاویر روزنه)

نشان داد که میزان ژنوم در گیاهان تتراپلوئید دو برابر نمونه های دیپلوئید می باشد. همانطور که در شکل ۴ دیده می شود در گیاهان دیپلوئید اوج پیک در کانال ۵۰ می باشد که مربوط به $G1$ گیاهان دیپلوئید است (شکل ۳- الف و د)، در حالیکه اوج پیک تتراپلوئیدها در حدود ۱۰۰ (شکل ۳- ب) بود که حکایت از دو برابر شدن مقدار DNA نسبت به نمونه های دیپلوئید دارد. اوج پیک در گیاه استاندارد برای

ارزیابی گیاهچه های تغییر یافته بعد از تیمار توسط کلشی سین تأیید تولید گیاهان با افزایش سطح پلوئیدی از طریق فلوسایتومتری امکان پذیر می باشد. نتایج حاصل از آنالیز فلوسایتومتری ثابت نمود که اعمال تیمار در غلظت های مختلف کلشی سین با استفاده از تکنیک گلوله های پنبه ای در مرحله ۴ تا ۶ برگ لپه ای باعث تولید گیاه تتراپلوئید شده است. نتایج آنالیز فلوسایتومتری نمونه های تیمار شده و شاهد

بین گیاهچه های تیمار شده با کلشی سین بیشترین تغییر در گیاهچه ها در تیمار ۰/۲٪ کلشی سین و زمان ۴۸ ساعت با میانگین ۱۶ گیاهچه (۵۳/۳۴٪) مشاهده گردید و کمترین تغییر در گیاهچه ها در غلظت ۰/۱٪ در زمان ۲۴ ساعت با میانگین ۲ گیاهچه (۶/۷٪) بدست آمد.

G۱ در محدوده ۷۰ می باشد (شکل ۳- ج و د). اثر غلظت های مختلف کلشی سین بر درصد گیاهچه های تغییر یافته نشان داد که بیشترین درصد گیاهچه های تغییر یافته در تیمار ۰/۲٪ با میانگین ۳۵ گیاهچه (۳۸/۸۹٪) و کمترین گیاهچه غیرطبیعی در تیمار شاهد (صفر درصد) بدست آمد. اثر متقابل غلظت کلشی سین و زمان تیمار نشان داد که در



شکل ۳- تجزیه فلوسایتومتری هسته های سلولی خشخاش ایرانی در حالت دیپلوئید (الف)، تتراپلوئید (ب)، گیاه استاندارد (ج)

و گیاه دیپلوئید به همراه استاندارد (د)

تیمار و رسیدن به ۷۲ ساعت، تعداد گیاهان تغییر یافته به طور چشمگیری کاهش یافتند، به طوری که تعداد گیاهان تغییر یافته در زمان ۴۸ ساعت ۴۸ گیاهچه (۳۲٪) و زمان

اثر زمان تیمار کلشی سین بر گیاهچه های تغییر یافته نشان داد که با افزایش زمان تیمار از ۲۴ به ۴۸ ساعت درصد گیاهان تغییر یافته افزایش یافت، اما با افزایش زمان

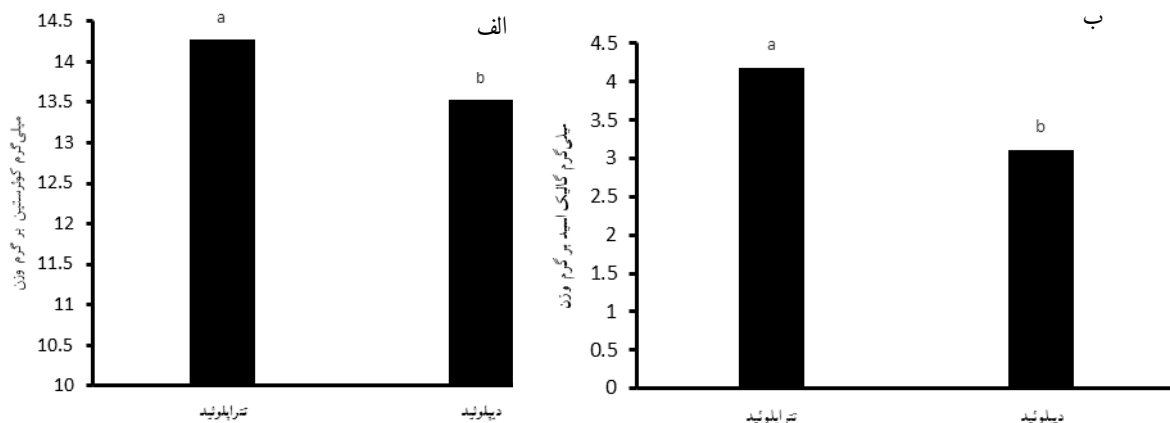
۷۲ ساعت ۱۶ گیاهچه (۱۰/۶۷٪) بودند.

فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان کل در گیاهان تتراپلوئید نسبت به دیپلوئید داشت. بر این اساس بیشترین میزان ترکیب‌های فلاونوئیدی در گیاهان تتراپلوئید با میزان ۱۴/۲۸ میلی‌گرم بر گرم و وزن نسبت به ۱۳/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن در گیاهان دیپلوئید بوده است (شکل ۴- الف). همچنین بیشترین میزان فنل در گیاهان تتراپلوئید با میزان ۴/۱۹ میلی‌گرم بر گرم و وزن نسبت به ۳/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن در گیاهان دیپلوئید بوده است (شکل ۴- ب). سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدان کل به روش DPPH در نمونه‌های حاصل نشان داد که گیاهان تتراپلوئید دارای بالاترین فعالیت با میزان ۶/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن در مقایسه با همتای دیپلوئید خود با میزان ۴/۴۸ میلی‌گرم بر گرم وزن بوده است (جدول ۲).

ارزیابی تغییرات پلوئیدی به روش سیتولوژیکی

در این بررسی، برای مشاهده کروموزوم از قسمت‌های بسیار جوان برگ و بخش‌های نزدیک به مریستم انتهایی استفاده شد. نتایج نشان داد که تعداد کروموزوم‌های سلول‌های سوماتیکی در گیاهان تتراپلوئید ($2n=4x=28$) خشخاش ایرانی در مقایسه با گیاهان دیپلوئید ($2n=4x=14$) دو برابر شده است.

اثر پلی‌پلوئیدی بر میزان فنل، فلاونوئید کل و آنتی‌اکسیدان براساس نتایج حاصل، در گیاه خشخاش ایرانی، افزایش سطح پلوئیدی تأثیر معنی داری ($P \leq 0.1$) را در میزان فنل،



شکل ۴- میزان فلاونوئید کل و فنل کل در گیاهان تتراپلوئید و دیپلوئید (شاهد) خشخاش ایرانی

کلشی‌سین در گیاهان تیمار شده بذرالبنج مشبک (*Hyoscyamus reticulatus*)، درصد مرگ و میر گیاهان افزایش یافت. به طوری که در غلظت ۰/۵٪ کلشی‌سین و تیمار ۴۸ ساعت و بیشتر از آن، همه گیاهان تیمار شده از بین رفتند. گیاهان تتراپلوئید در ابتدای رشد دارای دو برگ اولیه با ظاهر غیرعادی و نامناسب بودند، در حالیکه پس از

بحث

رابطه معکوس بین غلظت کلشی‌سین و بقاء ریزنمونه‌ها در این آزمایش مورد انتظار بود که با سایر بررسی‌های انجام شده در سایر گیاهان مختلف در شرایط طبیعی مطابقت داشت. همچنین در گزارش‌های ارائه شده توسط Madani و همکاران (۲۰۱۵)، مشاهده شد که با افزایش غلظت

رشد گیاهچه‌ها، برگ‌های بعدی از رشد و نمو عادی و معمولی همانند گیاه شاهد برخوردار بودند. کاهش رشد پلی پلوئیدها پس از تیمار با مواد ضد میتوزی، احتمالاً به دلیل کاهش سرعت و کم شدن تعداد تقسیم سلولی باشد که در نتیجه ایجاد اختلال در میزان اکسین در سلول‌های در حال تقسیم مریستمی، کاهش میزان تنفس و فعالیت تعداد زیادی از آنزیم‌هاست. برخی از بی‌نظمی‌های مشاهده شده در اندازه برگ، شکل، بافت و رنگ به نسبت تعداد تقسیمات سلولی همراه با اختلالات فیزیولوژیکی در ریزنمونه‌های تیمار شده مرتبط داده شده است و چنین بی‌نظمی معمولاً در جمعیت‌های تحت تیمار با کلشی‌سین مشاهده می‌شود (Dijkstra & Speckmann, 1980). بسیاری از محققان از جمله Zahedi و همکاران (۲۰۱۴) طی بررسی‌های خود کلشی‌سین را به‌عنوان یک ماده جهش‌زا معرفی کردند و تأثیرات آن را روی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه زربین گیاه (*Dracocephalum kotschyi*) به اثبات رساندند؛ که اینکار باعث ایجاد اختلال در فرایندهای فیزیولوژیکی سلول شده و نتیجه آن کاهش سرعت تقسیم سلولی و رشد و نمو گیاه در مراحل اولیه است (Palevitch & Levy, 1983). مطابق با این مشاهدات در این پژوهش و در این راستا Mensah و همکاران (۲۰۰۷) از طریق تیمار بذرهاي کنجد (*Sesamum indicum*) با کلشی‌سین توانستند از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و همچنین از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در گیاهان حاصل در مقایسه با گیاهان دیپلوئید تفاوت مشاهده کنند. البته افزایش سطح پلوئیدی در هسته اغلب باعث تغییرات آناتومیکی و ساختاری از قبیل تغییر تراکم روزنه، اندازه سلول و تعداد کلروپلاست در سلول می‌گردد (Castro *et al.*, 2003). تراکم روزنه‌ها به‌عنوان ابزار متمایزکننده در گیاهان با سطوح مختلف پلوئیدی در انواع گیاهان دیگر مورد استفاده قرار گرفته است. کاهش در تراکم روزنه‌ها در گیاهان تتراپلوئید در مقایسه با گیاهان دیپلوئید به‌وسیله یافته‌های متعددی اثبات شده است. در این تحقیق نیز میزان تراکم روزنه در هر میلی‌متر مربع در گیاهان تتراپلوئید نسبت

به گیاهان دیپلوئید کاهش معنی‌داری داشت که با نتایج محققان قبلی مطابقت دارد. در این آزمایش گیاهان دیپلوئید خشخاش ایرانی دارای ۱۴ عدد کروموزوم ($2n=14$) بودند که این نتایج با نتایج بدست‌آمده از تحقیق Milo و همکاران (۱۹۸۷) مطابقت دارد. گیاهان پلی پلوئید توانایی افزایش تولید و انباشتگی متابولیت‌های ثانویه را دارند. این عمل سبب افزایش مقاومت در برابر تنش‌های غیرزیستی در گیاهان می‌شود. در گیاه خشخاش ایرانی افزایش سطح پلوئیدی تأثیر معنی‌داری را در میزان فنل کل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان کل گیاهان تتراپلوئید نسبت به دیپلوئید داشت. بنابراین می‌توان گفت افزایش تعداد کروموزوم‌ها بر فنل کل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان کل اثر داشته است. این نتیجه با نتایج Kong و همکاران (۲۰۱۷) در گیاه دارویی پیچ امین‌الدوله (*Lonicera japonica*) و نتایج Griesbach و Kam (۱۹۹۵) در گیاه اطلسی می‌باشد که نشان دادند القای پلوئیدی سبب افزایش فنل کل، فلاونوئید و آنتی‌اکسیدان کل شد. افزایش تعداد کروموزوم‌ها و مقدار ژنهای وابسته می‌تواند در بعضی موارد بیان و غلظت متابولیت‌های ثانویه و مواد شیمیایی دفاعی را افزایش دهد، با این حال این مورد در همه گیاهان صادق نیست و ممکن است در بعضی موارد ارتباط مشخصی بین مقدار، تعداد کپی ژن، خاموش شدن ژن و بیان متابولیت‌های ثانویه وجود نداشته باشد و مکانیسم مولکولی دقیق که مشخص کند القای پلی پلوئیدی دقیقاً در کدام بخش متابولیت‌های ثانویه اثر می‌گذارد مبهم است (Buggs *et al.*, 2009). از آنجایی که منطقه مرکزی مریستم مسئول تولید سلول‌های انتهایی ساقه است، دو برابر کردن کروموزوم‌های این ناحیه، باعث ایجاد بافت پلی پلوئید انتهایی در منطقه تیمار شده می‌گردد. از این رو به نظر می‌رسد گیاهان پلی پلوئید خالص در نتیجه دو برابر شدن موفق و مناسب سلول‌های تیمار شده در تمام لایه‌های بافتی منطقه مرکزی در ناحیه مریستمی بوجود می‌آیند که در نهایت گیاهانی با سلول‌های تتراپلوئید همگن تولید می‌شود (Jones *et al.*, 2008). القای پلی پلوئیدی ضمن افزایش میزان DNA الگو، با تحریک مکانیسم‌هایی

- dioecious plants *Melandrium album* and *M. rubrum* using high-resolution flow cytometry. *Cytometry*, 19: 103-106.
- Ebrahimzadeh, M.A., Hosseinimehr, S.J., Hamidinia, A. and Jafari, M., 2008. Antioxidant and free radical scavenging activity of *Feijoa sallowiana* fruits peel and leaves. *Journal of Pharmacology-online*, 1: 7-14.
 - Farjaminezhad, R., Asghari, R., Zare, N. and Farjaminezhad, M., 2011. Study of karyological characteristics in several accessions of *Papaver bracteatum* Lindl. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 3(2): 47-58.
 - Griesbach, R. and Kam, K., 1995. The effect of induced polyploidy on the flavonols of *Petunia Mitchell*. *Phytochemistry*, 42(2): 361-363.
 - Hamill, S., Smith, M. and Dodd, W., 1992. In vitro induction of banana autotetraploids by colchicine treatment of micropropagated diploids. *Australian Journal of Botany*, 40(6): 887-896.
 - Jones, J.R., Ranney, T.G. and Eaker, T.A., 2008. A novel method for induction polyploidy in rhododendron seedlings. *Journal American Rhododendron Society*, 62(3): 130-135.
 - Kondorosi, E., Roudier, F. and Gendreau, E., 2000. Plant cell-size: growing by ploidy. *Current Opinion in Plant Biology*, 3: 488-492.
 - Kong, D., Yanqun Li, Y., Bai, M., Deng, Y., Liang, G. and Wu, H., 2017. A comparative study of the dynamic accumulation of polyphenol components and the changes in their antioxidant activities in diploid and tetraploid *Lonicera japonica*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112: 87-96.
 - Lockett, D., 1989. Colchicine mutagenesis is associated with substantial heritable variation in cotton. *Euphytica*, 42: 177-182.
 - Madani, H., Hosseini, B., Dehghan, E. and Rezaei-chiyaneh, E., 2015. Enhanced production of scopolamine in induced autotetraploid plants of *Hyoscyamus reticulatus* L. *Acta Physiologica Plantarum*, 37: 55-62.
 - Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Akomeah, P.A., Ikhajagbe, B. and Ajibolu, J., 2007. The effects of sodium azide and colchicines treatments on morphological and yield traits of sesame seed (*Sesame indicum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 6: 534-538.
 - Milo, J., Levy, A., Palevitch, D. and Ladizinsky, G., 1987. Thebaine content and yield in induced tetraploid and triploid plants of *Papaver bracteatum* Lindl. *Euphytica*, 36: 361-367.
 - Neubauer, D. and Mothes, K., 1963. *Über Papaver bracteatum* I. Mitteilung, ein neuer weg zur gewinnung von morphinanen auf pflanzlichef
- در سلول نسخه‌برداری و ترجمه را تحت تأثیر قرار داده و با افزایش یا کاهش بیان و یا حتی خاموشی ژن‌ها، بسیاری از صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک گیاه را تغییر می‌دهد. در خشخاش ایرانی بهترین روش تیمار با کلشی سین برای ایجاد تنوع مورفولوژیکی و تولید گیاهان تتراپلوئید، تیمار مریستم انتهایی به روش گلوله پنبه‌ای و در مرحله ظهور برگ‌های ۴ تا ۶ برگی با غلظت ۰/۲٪ محلول کلشی سین در زمان ۴۸ ساعت می‌باشد. به دلیل وجود تفاوت معنی دار بین گیاهان دیپلوئید و انواع تتراپلوئید خشخاش ایرانی از نظر اندازه و تراکم روزنه‌ها، بررسی‌های روزنه‌ای به‌عنوان روش مناسبی برای شناسایی گیاهان تتراپلوئید شناخته شد؛ به‌طوری که افزایش سطح پلوئیدی موجب افزایش ترکیب‌های بیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی در این گیاه شد.

منابع مورد استفاده

- Arzani, A., 2001. *Breeding Field Crops*. (Authored Pullman and Aysplar). Isfahan University Publication Center, 606p.
- Buggs, R.J.A., Doust, A.N., Tate, J.A., Kon, J., Soltis, K., Feltus, F.A., Paterson, A.H., Soltis, P.S. and Soltis, D.E., 2009. Gene loss and silencing in *Tragopogon miscellus* (Asteraceae): comparison of natural and synthetic allotetraploids. *Heredity*, 103: 73-81.
- Castro, C.M., Oliveira, A.C. and Carvalho, F.I.F.D., 2003. Changes on allele frequencies in colchicines-Treated *ryegrass* populations with RAPD markers. *Revista Brasileira de Agrociência*, 9(2): 107-112.
- Cheng, S., Xu, F. and Wang, Y., 2009. Advances in the study of flavonoids in *Ginkgo biloba* leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(13): 1248-1252.
- Coffman, C.B., Bare, C.E. and Gentner, W.A., 1975. Thebaine variations between germplasm sources within one collection of *Papaver bracteatum*. *Bulletin on Narcotics*, 27: 41-46.
- Dijkstra, H. and Speckmann, G.I., 1980. Auto tetraploidy in caraway (*Carum carvi* L.) for the increase of the aetheric oil content of the seed. *Euphytica Journal*, 29: 89-96.
- Doležel, J., Greilhuber, J. and Suda, J., 2007. Estimation of nuclear DNA content in plants using flow cytometry. *National Protocol*, 2: 2233-2244.
- Doležel, J. and Göhde, W., 1995. Sex determination in

- D.T., 2010. In vitro induction and identification of tetraploid plants of *Paulownia tomentosa*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 102: 213-220.
- Zahedi, A.A., Hosseini, B., Fattahi, M., Dehghan, E., Parastar, H. and Madani, H., 2014. Overproduction of valuable methoxylated flavones in induced tetraploid plants of *Dracocephalum kotschyi* Boiss. Botanical Studies, 55: 22.
- Zhang, J., Zhang, M. and Deng, X., 2007. Obtaining autotetraploids *in vitro* at a high frequency in *Citrus sinensis*. Plant Cell, Tissue and Organ culture, 89: 211-216.
- rohstoffbasis. Planta Medica, 11: 387-391.
- Otto, F.J., 1990. DAPI staining of fixed cells for high-resolution flow cytometry of nuclear DNA. Methods in Cell Biology, 33: 105-110.
- Palevitch, D. and Levy, A., 1983. Cultural and genetic factors affecting thebaine yield in *Papaver bracteatum* Lindl. Acta Horticulture, 132: 189-95.
- Soltis, D.E. and Soltis, P.S., 1999. Polyploidy: recurrent formation and genome evaluation of domesticated plants. American Journal of Botany, 80: 1491-1499.
- Tang, Z.Q., Chen, D.L., Song, Z.J., He, Y.C. and Cai,

Effects of polyploidy induction on antioxidant capacity and some phytochemical and morphological characteristics of Iranian poppy (*Papaver bracteatum* Lindl.)

S.H. Madani¹, B. Hosseini^{2*}, Gh. Karimzadeh³ and A. Rahimi⁴

1- Ph.D. student, Department of Horticulture, Urmia University, Urmia, Iran

2*- Corresponding author, Department of Horticulture, Urmia University, Urmia, Iran

E-mail: b.hosseini@urmia.ac.ir

3- Department of Biotechnology and Plant Breeding, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

4- Department of Agronomy, Urmia University, Urmia, Iran

Received: May 2018

Revised: December 2018

Accepted: December 2018

Abstract

Iranian poppy (*Papaver bracteatum* Lindl.) is one of the medicinal plants belonging to the Papaveraceae family, which is widely used in pharmaceutical industries due to the presence of benzyl isoquinoline alkaloids. The polyploidy induction is one of the most interesting issues in the breeding and biotechnology of medicinal plants. In this study, colchicine treatment was carried out in five concentrations (0, 0.05, 0.1, 0.2 and 0.5) and three duration times (24, 48, 72 hours) with three replications as a factorial in a completely randomized design under greenhouse conditions, which aimed at studying morphological and phytochemical changes in polyploid plants and comparing them with diploid ones. The Microscopic, morphological and chromosomal counts were used to determine ploidy level of plants. The results showed that the concentration of 0.2% of colchicine for 48 hours was the most suitable treatment for polyploidy induction. Polyploidy caused significant changes in the increasing phytochemicals amount such as phenol, flavonoids and total antioxidants (DPPH) and decreasing the stomatal density index in comparison with the diploid plants. The chromosomes number of the diploid and tetraploid plants was obtained 14 ($2n=2x=14$) and 28 ($2n=4x=28$), respectively. Therefore, it can be concluded that the increase in ploidy level increases the phytochemical and antioxidant compounds in Iranian poppy herb.

Keywords: *Papaver bracteatum* Lindl., polyploidy, phenol, colchicine.