

**بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر انتقال ژن بتا-گلوکورونیداز (GUS)
به واسطه آگروباکتریوم در گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum ammi*)**

Optimization of effective factors on β -glucuronidase (*GUS*) gene transformation by *Agrobacterium* to *Trachyspermum ammi*

معصومه نعمانی^۱، سید احمد سادات نوری^{۱*}، مسعود توحیدفر^۲ و حسین رامشینی^۱

Masoumeh Nomani¹, Seyed Ahmad Sadat Noori^{1*}, Masoud Tohidfar² and Hossein Ramshini¹

۱- دانشجوی دکترا، استاد و دانشیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

۲- دانشیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری های نوین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

1- Ph.D student, Professor and Associate Professor of Department of Agronomy and Plant breeding, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor of Department of Biotechnology – College of Life Science and Biotechnology - Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: noori@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۵)

چکیده

زنیان یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی ایران است. این گیاه حاوی خاصیت‌های دارویی بسیار مهمی از جمله ضد اختلالات گوارشی، ضد اسپاسم و تسکین دردهای روماتیسمی است. به منظور فرایبان بعضی از مواد مؤثره در این گیاه لازم است فرآیند انتقال ژن در آن بهینه شود. بدین منظور ریزنمونه هیپوکوتیل، دو سویه *Agrobacterium tomeffaciens* به همراه فاکتورهای اندازه‌گیری شامل مدت زمان تلقیح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ دقیقه) و طول دوره هم‌کشتی (۱، ۲ و ۳ روز) بررسی شدند. در این تحقیق از وکتور pBI121 حاوی ژن *GUS* به‌عنوان گزارشگر و ژن *nptII* به‌عنوان نشانگر گیاهی استفاده شد. به منظور تأیید انتقال ژن از واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR)، آزمون هستیتوشیمیایی *GUS* و RT-PCR استفاده شد. بر طبق نتایج حاصل، زمان تلقیح ۵ دقیقه و طول هم‌کشتی یک روز منجر به افزایش کارایی انتقال ژن شد. ضمن اینکه سویه LBA4404 کارایی بالاتری نسبت به GV3101 برای انتقال ژن از خود نشان داد. برای نخستین بار، مطالعه حاضر روش مؤثر و کارایی را برای انتقال ژن به گیاه دارویی زنیان ارائه می‌دهد که می‌تواند به‌عنوان یک روش کارآ در انتقال ژن مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی

آگروباکتریوم،
هیپوکوتیل،
ژن گزارشگر،
زنیان،
هم‌کشتی،

مقدمه

وارد گیاهان شوند (Welden and Schell, 1990). در مورد گیاهان دولپه‌ای انتقال ژن با آگروباکتریوم به ژنوم هسته‌ای سلول‌های گیاهی نسبت به سایر روش‌ها، بسیار کارا و مؤثر است (Binns, 1999; Gallie, 1998).

انتخاب سویه مناسب آگروباکتریوم به طور فزاینده‌ای کارآیی انتقال ژن و بیان پروتئین خارجی را افزایش داده، بنابراین فاکتور بسیار مهمی در طی فرآیند انتقال ژن است (Yadav et al. 2014). ژن‌های گزارشگر در بهینه‌سازی انتقال ژن تعدادی از گیاهان، برای تعیین عوامل مؤثر بر حداکثر تراریزش در گیاهان، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به طور عادی ژن *GUS* در بافت‌های گیاهی گیاهان عالی حضور ندارد. حساسیت این مارکر، آن را برای تایید انتقال ژن فاکتور بسیار مفیدی می‌سازد (Jefferson et al. 1987). انتقال ژن *GUS* با واسطه آگروباکتریوم در تعدادی از گیاهان دارویی انجام شده است (Nisha et al. 2003; Lievre et al. 2005; Puc et al. 2012). ولی تاکنون در مورد گیاه دارویی زنیان، تحقیقی انجام نشده است. یکی از مهمترین اهداف اصلاح گیاه دارویی زنیان، افزایش میزان تیمول با استفاده از روش‌های نوین ملکولی است. لذا بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر انتقال ژن در این گیاه حائز اهمیت فراوانی است. دستورالعمل حاضر برای نخستین بار بهینه‌سازی انتقال ژن *GUS* را در گیاه دارویی زنیان با کارآیی بالا ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، ضد عفونی بذر

بذر گیاه زنیان اکوتیپ قم از موسسه تحقیقاتی جنگل‌ها و مراتع ایران تهیه شد. به منظور ضد عفونی بذر، ابتدا بذرها در زیر هود لامینار در الکل ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه و سپس بلافاصله در هیپوکلریت سدیم ۱/۵ درصد به مدت ۵ دقیقه قرار گرفتند. سپس با آب مقطر استریل سه بار و هر

زنیان (*Trachyspermum ammi*) یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی ایران بوده که دارای خاصیت‌های دارویی فراوانی است. زنیان گیاهی یک‌ساله متعلق به خانواده چتریان بوده که در قسمت‌های مختلفی از ایران، هند، پاکستان و مصر رشد می‌کند (Hedge and Lamond, 1987). مهم‌ترین مناطق رشد این گیاه در ایران خوزستان، اصفهان، فارس، کرمان، خراسان و سیستان و بلوچستان است. قسمت عمده مورد استفاده گیاه بذر آن بوده که حاوی ماده مهم و ارزشمندی به نام تیمول است (Ballba et al. 1973). تیمول یک ترکیب فنولی مهمی بوده که در درمان بسیاری از بیماری‌ها همچون اختلالات گوارشی، فقدان اشتها، مشکلات تنفسی، آسم و به‌عنوان ضد عفونی کننده برای تمیز کردن زخم به‌کار می‌رود (Dwivedi et al. 2012). این ماده دارای خاصیت ضد باکتری (Singh and Singh, 2000) و ضد میکروبی (Sivropoulou et al. 1996) بالایی است. زنیان به طور سنتی در درمان بسیاری از بیماری‌ها در انسان و حیوان به‌کار می‌رود. این گیاه دارای خواص ضداسپاسم و ضدنفخ بوده و در درمان سوءهاضمه بسیار مفید است (Bentely and Trimen, 1999). اصلاح سنتی دارای محدودیت‌های فراوانی از جمله کمبود ژرم‌پلاس، عدم تلاقی بین‌گونه‌ای، زمانبر و هزینه‌بر بودن است که موجب شده روش‌های جدیدی همچون بیوتکنولوژی و مهندسی ژنتیک ابداع شود (Chauhan and Kanwar, 2012). مهندسی ژنتیک دارای نقش ارزشمندی در شناسایی و دستکاری‌های ژنتیکی آنزیم‌های دخیل در مسیر سنتز تولید فرآورده‌های مهم در گیاهان دارویی است. روش‌هایی همچون افزایش بیان ژنهای این مسیر، خاموشی ژنها منجر به تولید مطلوب متابولیت‌های ثانویه در واحد سطح در این گیاهان می‌شود. روش‌های ملکولی در بهبود صفات مهم گیاهان دارای اهمیت بالایی هستند. ژن‌های مطلوب می‌توانند با به‌کارگیری روش‌های مهندسی ژنتیک

(فیلتر سرسرنگی ۰/۲۲ میکرون) شده و در غلظت‌های ذکر شده به محیط انتخابی اضافه شدند.

تهیه ریزنمونه‌ها، تراریختی و باززایی گیاه

در ابتدا سویه‌های آگروباکتریوم در محیط کشت LB (Quelab) مایع همراه با کانامایسین (50 mg/l) و ریفامپیسین (75 mg/l) در انکوباتور در دمای ۲۸ درجه و با دور rpm ۲۰۰ به مدت ۲۴ ساعت کشت داده شدند. پس از طی این زمان ۲۰۰ میکرولیتر از باکتری‌های کشت شده را به ۵ میلی لیتر محیط کشت LB مایع جدید همراه با کانامایسین و ریفامپیسین در فالكون اضافه کرده و به مدت ۷ ساعت در انکوباتور تا رسیدن به OD=0.6 قرار داده شد و سپس برای تلقیح ریزنمونه‌ها استفاده شد.

از گیاهان بیست روزه در شرایط استریل و زیر هود لامینار، هیپوکوتیل‌ها جدا شده و سپس در زمان‌های مختلف در محیط تلقیح (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه) برای تعیین زمان مناسب قرار داده شدند. در ادامه ریزنمونه‌ها به محیط هم‌کشتی به مدت یک، دو و سه روز منتقل شدند.

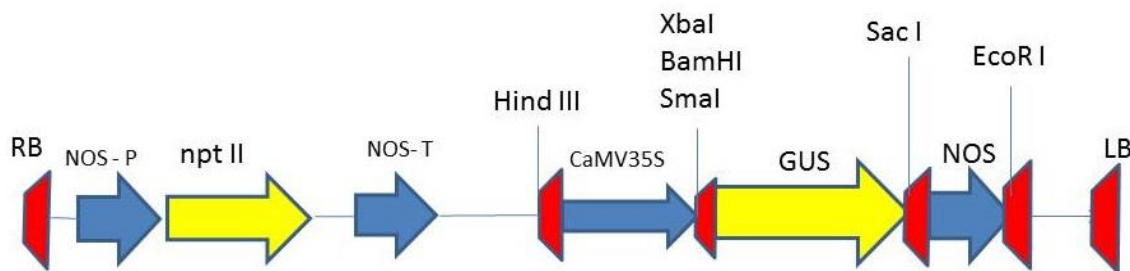
دفعه به مدت ۳ دقیقه شسته شدند. در ادامه بر روی کاغذ صافی استریل قرار داده شده تا خشک شوند و پس از انتقال به پتری‌دیش‌های حاوی محیط کشت MS (Murashige and Skoog, 1962) در شرایط ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۲۴ درجه در اتاق رشد نگهداری شدند.

سویه آگروباکتریوم و پلاسمید

در این مطالعه از دو سویه LBA4404 و GV3101 باکتری *Agrobacterium tumefaciens* حاوی پلاسمید دوگانه pBI121 که دارای ژن *GUS* با پیشبر CaMV35S و خاتمه دهنده NOS و همچنین از ژن نئومایسین فسفوترانسفراز (*nptII*) به‌عنوان نشانگر انتخابی گیاهی و مقاومت به کانامایسین با پیشبر و خاتمه دهنده NOS استفاده شد (شکل ۱).

بهبودسازی غلظت کانامایسین

به‌منظور تعیین غلظت مناسب کانامایسین برای گیاه، از غلظت‌های مختلف کانامایسین (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ mg/l) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در محیط انتخابی استفاده شد. آنتی‌بیوتیک‌ها قبل مصرف فیلتر استریل



شکل ۱- ساختار ناحیه T-DNA پلاسمید pBI121. NOS-P: پیشبر ژن نوپالین سینتاز، *nptII*: ناحیه کد کننده ژن نئومایسین فسفوترانسفراز، NOS-T: خاتمه‌دهنده رونویسی ژن نوپالین سینتاز، CAMV35S: پیشبر 35s ویروس موزایک گل کلم، *GUS*: ناحیه کد کننده ژن گزارشگر بتاگلوکورونیداز

Figure 1- Structure of T-DNA region of plasmid pBI121. NOS-P: Nopaline synthase gene promoter, *nptII*: coding region of Neomycin phosphotransferase gene, NOS-T: Nopaline synthase terminator, CAMV35S: 35s promoter of Cauliflower mosaic virus, *GUS*: coding region of the β -glucuronidase reporter gene.

درجه به مدت ۵ دقیقه انجام شد. برای آغازگرهای *nptII* برنامه چرخه حرارتی شامل واسرشت‌سازی اولیه در دمای ۹۴ درجه به مدت ۵ دقیقه، مرحله دوم شامل ۳۵ چرخه و دمای ۹۴ درجه به مدت ۱ دقیقه، ۶۰ درجه به مدت ۱ دقیقه و ۷۲ درجه به مدت ۴۵ ثانیه و مرحله نهایی در ۷۲ درجه به مدت ۵ دقیقه بود. برای آغازگرهای *vir G* شرایط برنامه PCR شامل واسرشت‌سازی اولیه در دمای ۹۴ درجه به مدت ۵ دقیقه، مرحله دوم شامل ۳۵ چرخه و دمای ۹۴ درجه به مدت ۱ دقیقه، ۵۸ درجه به مدت ۱ دقیقه و ۷۲ درجه به مدت ۱ دقیقه و مرحله نهایی در ۷۲ درجه به مدت ۵ دقیقه صورت گرفت. محصول پی‌سی‌آر روی ژل آگارز ۲ درصد بارگذاری شد.

آزمون رنگ‌آمیزی *GUS*

فعالیت هیستوشیمیایی *GUS* با استفاده از روش جفرسون و همکاران (۱۹۸۷) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های کوچک برگ‌ی از گیاهان تراریخته احتمالی و گیاه نرمال جدا شده و در تیوپ‌های ۱/۵ میلی‌لیتری منتقل شدند. سپس به آنها محلول X-*gluc* (5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -glucuronidase) اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه قرار گرفتند. سپس محلول از تیوپ حذف شده و گیاهان در اتانول ۷۰ درصد به مدت ۴ ساعت گذاشته شدند. در نهایت نمونه‌ها زیر میکروسکوپ مشاهده شدند.

RT-PCR

برای تایید نهایی تولید گیاهان تراریخته و بیان پایدار ژن، RNA گیاهان احتمالی تراریخته از برگ‌های جوان توسط تریزول (Invitrogen) استخراج شدند و بعد از تیمار با DNase با استفاده از کیت سنتز CDNA (Eurex)، تک رشته CDNA با استفاده از پرایمر (dt) Oligo و طبق دستورالعمل شرکت Eurex ساخته شد. برای ساخت رشته دوم و تکثیر CDNA از واکنش PCR با استفاده از آغازگرهای اختصاصی ژن (شرایط ذکر شده) استفاده شد. سپس CDNA سنتز شده با استفاده از دستگاه الکتروفورز بر روی ژل آگارز ۲ درصد در ولتاژ ۸۰ به مدت یک ساعت قرار داده شده و پس از رنگ‌آمیزی با اتیدیوم‌برماید، در دستگاه ژل داک در زیر نور UV مشاهده شد.

محیط هم‌کشتی شامل محیط MS (Duchefa) همراه با 2,4-D (2 mg/l) و کایتین (SIGMA) (0.5 mg/l) و همچنین آگار (7gr/l) و ساکارز (30gr/l) بود. بعد طی این زمان ریزنمونه‌ها به محیط القای کالوس‌دهی (محیط انتخابی) البته همراه 250 mg/l سفوتاکسیم (Duchefa) و 25 mg/l کانامایسین منتقل و در اتاق کشت قرار داده شدند. بعد از یک ماه و ظهور کالوس‌ها، مقادیر هورمون‌ها به منظور تولید کالوس‌های جنین‌زا کاهش یافت و در نهایت به منظور باززایی گیاه فقط از هورمون کایتین به میزان 0.2 mg/l به همراه مقادیر ثابت سفوتاکسیم و کانامایسین استفاده شد.

آزمون PCR

استخراج DNA ژنومی گیاهان با استفاده از کیت کایزن (DNase plant Mini Kit) انجام شد. به منظور تایید حضور ژن *GUS* از آغازگرهای اختصاصی این ژن استفاده شد. توالی آغازگرهای اختصاصی مورد استفاده عبارت بودند از:

آغازگر پیشرو 3'-ACCTCGCATTACCTTACGCTGAA-5'

و آغازگر معکوس 3'-AATCGCCGCTTTGGACATACC-5'

برای تضمین تراریخته بودن گیاه از آغازگرهای اختصاصی ژن *nptII* هم استفاده شد. توالی آغازگرهای اختصاصی این ژن هم عبارت بودند از:

آغازگر پیشرو 3'-GTCATCTCACCTTGCTCCTGC-5'

و آغازگر معکوس 3'-AAGAAGGCGATAGAAGGCG-5'

همچنین برای اطمینان از آلوده نبودن گیاهان تراریخته احتمالی به آگروباکتريوم، PCR با استفاده از آغازگرهای *VirG* صورت گرفت. توالی این آغازگرها هم عبارت بودند از:

آغازگر پیشرو 3'-ATGATTGTACATCCTTCACG-5'

و آغازگر معکوس 3'-TGCTGTTTTTATCAGTTGAG-5'

واکنش چرخه‌ای پلیمرز با استفاده از دستگاه چرخه حرارتی در حجم ۲۵ میکرولیتر انجام شد. شرایط بهینه شده با استفاده از آغازگر *GUS* طبق برنامه حرارتی زیر بود. مرحله اول شامل واسرشت‌سازی اولیه در دمای ۹۴ درجه به مدت ۵ دقیقه، مرحله دوم شامل ۳۵ چرخه و دمای ۹۴ درجه به مدت ۱ دقیقه، ۶۰ درجه به مدت ۱ دقیقه و ۷۲ درجه به مدت ۴۵ ثانیه و مرحله نهایی ۷۲

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این مطالعه از ۱۵ ریزنمونه و از یک آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو عامل شامل زمان تلقیح (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دقیقه) و زمان هم‌کشتی یک، دو و سه روز و با چهار تکرار استفاده شد. نتایج مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و با استفاده از نرم افزار SAS (version 9.3) تعیین شد و برای رسم نمودارها هم از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

فاکتورهای مؤثر بر انتقال ژن

نتایج بررسی ریزنمونه‌های گیاه زنیان در محیط کشت همراه با کانامایسین نشان داد که کانامایسین به شدت از باززایی گیاه زنیان جلوگیری کرده و در غلظت‌های بالاتر از 25mg/l باززایی مشاهده نشد. بیشترین تعداد گیاهان باززایی شده در نمونه‌های شاهد (بدون کانامایسین) وجود داشت. همچنین در غلظت‌های بالاتر از 25mg/l تفاوت معنی‌داری در نمونه‌ها مشاهده نشد. بنابراین این غلظت به‌عنوان غلظت بهینه در باززایی گیاه مورد استفاده واقع شد (شکل 2A). در بررسی زمان تلقیح ریزنمونه‌ها با آگروباکتریوم، نتایج حاصل در هر دو سویه آگروباکتریوم نشان داد که سویه LBA4404 با مدت زمان تلقیح ۵ دقیقه، بیشترین میزان باززایی و سویه GV3101 با مدت زمان تلقیح ۲۰ دقیقه کمترین میزان باززایی را نشان دادند. به‌طور کلی با افزایش زمان تلقیح امکان از بین رفتن ریزنمونه‌ها بیشتر شد (شکل 2B).

نتیجه‌های مربوط به هم‌کشتی و سویه باکتری نشان داد که در هر دو سویه آگروباکتریوم بیشترین درصد باززایی در طی ۲۴ ساعت هم‌کشتی دیده شد و با گذشت زمان میزان باززایی کاهش یافت، به‌طوری‌که پس از طی سه روز هم‌کشتی، باززایی به حداقل رسید. همچنین بیشترین میزان باززایی در سویه LBA4404 با هم‌کشتی ۱ روز و کمترین میزان باززایی در سویه LBA4404 با هم‌کشتی ۳ روز مشاهده شد (شکل 2C).

برطبق نتایج حاصل از مقایسه میانگین، میزان باززایی سویه LBA4404 به طور معنی‌داری نسبت به سویه GV3101 بیشتر بود که نشان دهنده توانایی بالای این سویه در انتقال ژن به گیاه زنیان می‌باشد (شکل 2D).

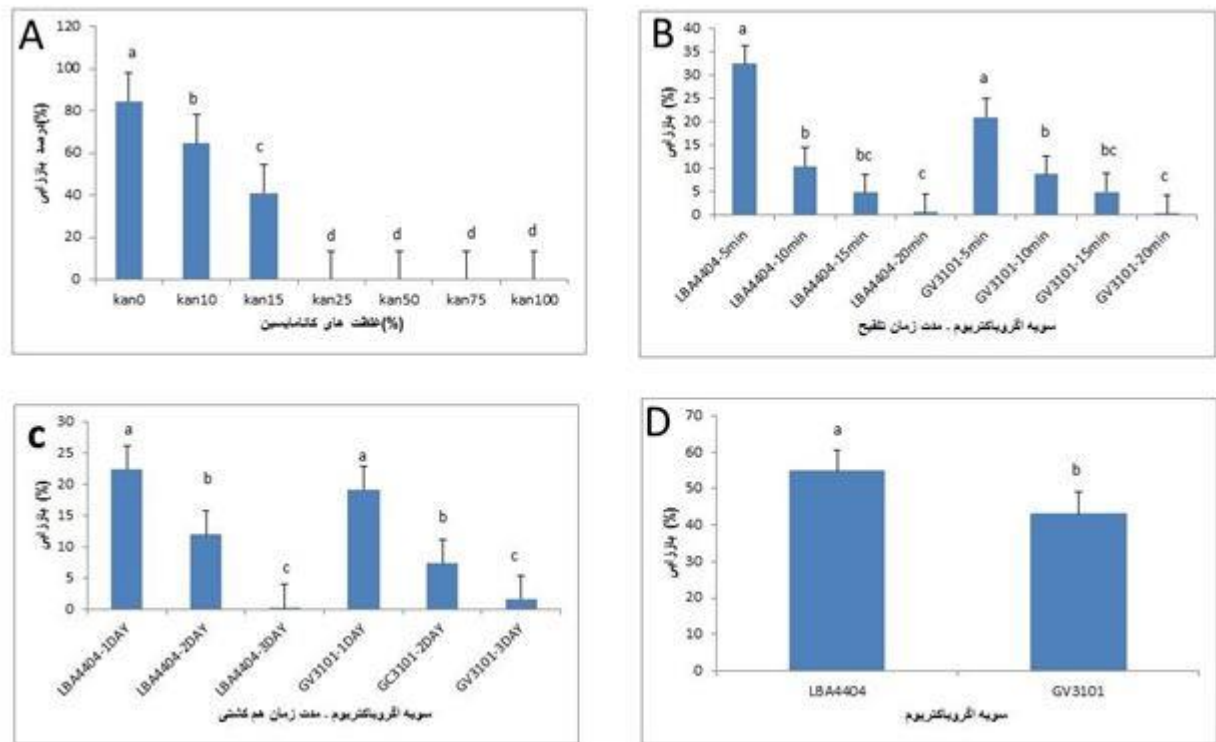
آزمون هیستوشیمیایی *GUS*

آزمون *GUS* جهت تأیید گیاه احتمالی تراریخته از غیر تراریخته انجام شد. گیاه غیر تراریخته به عنوان شاهد در نظر گرفته شد (شکل ۳). رنگ آبی در برگ گیاه تراریخته نشان‌دهنده فعالیت ژن *GUS* بود که شناسایی شد و هیچ رنگی در گیاه غیرتراریخت دیده نشد.

آزمایش‌های ملکولی گیاهان تراریخته

پس از استخراج DNA از برگ‌های جوان گیاهان تراریخته احتمالی، به منظور تأیید حضور ژن، از آغازگرهای اختصاصی ژن بتا-گلوکورونیداز و واکنش زنجیره‌ای پلیمراز استفاده شد. حضور ژن *GUS* در گیاهان با حضور قطعه ۴۵۰ جفت بازی روی ژل آگارز ۲ درصد تایید شد. این باند در گیاه غیر تراریخته و نمونه شاهد (آب) تکثیر نشد (شکل 3A). از تعداد ۸۵ گیاه بازآشده، ۵۲ گیاه باند مربوط به ژن *GUS* را نشان دادند که از این میان ۶۶ درصد و ۵۵ درصد به ترتیب مربوط به سویه‌های LBA4404 و GV3101 بود (جدول ۱).

برای تأیید دوباره گیاهان تراریخته احتمالی واکنش زنجیره‌ای پلیمراز با استفاده از آغازگرهای اختصاصی ژن *nptII* انجام شد و حضور قطعه ۴۷۰ بازی مربوط به ژن *npt II* بر روی ژل آگارز ۲ درصد تایید شد. این باند در نمونه گیاه غیر تراریخته و نمونه شاهد مشاهده نشد (شکل 3B). از تعداد ۸۵ گیاه بازآشده، ۴۳ گیاه باند مربوط به ژن *npt II* را نشان دادند که از این میان ۵۷ درصد و ۴۲ درصد به ترتیب مربوط به سویه‌های LBA4404 و GV3101 بود (جدول ۱). در ادامه، از کل گیاهان بازآشده، ۳۹ گیاه باندهای هر دو ژن *nptII* و *gus* را نشان دادند و از این میان ۵۵ درصد و ۳۵ درصد به ترتیب مربوط به سویه‌های LBA4404 و GV3101 بودند (جدول ۱).



شکل ۲- A: باززایی گیاه زنیان در غلظت‌های مختلف کانامایسین. B: باززایی گیاه تراریخته احتمالی بر اساس سویه‌های آگروباکتریوم و مدت زمان تلقیح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ دقیقه). C: باززایی گیاه تراریخته احتمالی بر اساس سویه‌های آگروباکتریوم و مدت زمان هم‌کشتی (۱، ۲ و ۳ روز). D: مقایسه میانگین مربوط به سویه‌های آگروباکتریوم در باززایی گیاه تراریخته احتمالی در شرایط مدت زمان تلقیح ۵ دقیقه و هم‌کشتی یک روز. حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری بین تیمارها بر طبق آزمون دانکن هستند ($P \leq 0.05$).

Figure 2- A: Plant regeneration of *Trachyspermum ammi* in various concentration of kanamycin. B: Regeneration of putative transgenic plants based on agrobacterium strains and inoculation times (5, 10, 15, 20 min). C: Regeneration of putative transgenic plants based on agrobacterium strains and co-cultivation times (1, 2, 3 days). D: Comparison of means of agrobacterium strains in regeneration of putative transgenic plants with inoculation 5 min and co-cultivation 1 day. The different letters indicate significant differences among treatment according to Duncan's test ($P \leq 0.05$).

مراحل مختلف باززایی گیاه تراریخته زنیان از تشکیل کالوس تا باززایی در شکل شماره ۴ نشان داده شده است

برای تأیید نهایی بیان پایدار ژن *GUS* در گیاه تراریخته زنیان، RT-PCR با استفاده از آغازگر ژن اختصاصی انجام شد (شکل ۵). بیان ژن *GUS* در چهار نمونه گیاه تراریخته که به طور تصادفی انتخاب شدند، تایید شد. البته در گیاه شاهد بانندی دیده نشده و بیان ژن در گیاه غیرتراریخته وجود نداشت.

جهت اثبات عدم وجود آلودگی باکتریایی از آغازگرهای اختصاصی ژن *virG* و واکنش زنجیره‌ای پلیمرز استفاده شد. آگروباکتریوم به عنوان کنترل مثبت باند ۸۵۰ جفت بازی را بر روی ژل نشان داد. گیاهان تراریخته بانندی نشان ندادند که نشان‌دهنده عدم آلودگی گیاهان و اثبات تراریخته بودن است (شکل 3C). از کل گیاهان باززا شده که برای هر دو ژن، پی‌سی‌آر مثبت بودند در حدود ۳۲ گیاه هیچ‌گونه آلودگی نشان ندادند و در نتیجه میزان باززایی گیاه تراریخته در حدود ۴۶ درصد و ۲۷ درصد به ترتیب برای سویه‌های آگروباکتریوم LB4404 و GV3101 بودند (جدول ۱).

شکل ۳ - نتایج مربوط به PCR و آزمون هیستوشیمیایی *GUS*: A: نتایج تکثیر ژن *GUS* لاین‌های ۱-۴: گیاهان تراریخته احتمالی؛ لاین ۵: کنترل مثبت (پلاسمید)؛ لاین ۶: گیاه غیر تراریخته؛ لاین ۷: کنترل منفی (آب)؛ لاین ۸: نشانگر مولکولی DNA (100 bp). B: نتایج تکثیر ژن *nptII* لاین‌های ۱-۴: گیاهان تراریخته احتمالی؛ لاین ۵: کنترل مثبت (پلاسمید)؛ لاین ۶: گیاه غیر تراریخته؛ لاین ۷: کنترل منفی (آب)؛ لاین ۸: نشانگر مولکولی DNA (100 bp). C: نتایج تکثیر ژن *virG* لاین‌های ۱-۴: گیاهان تراریخته احتمالی؛ لاین ۵: کنترل مثبت (پلاسمید)؛ لاین ۶: گیاه غیر تراریخته؛ لاین ۷: کنترل منفی (آب)؛ لاین ۸: نشانگر مولکولی DNA (100 bp). D: آزمون هیستوشیمیایی *GUS*، گیاه تراریخته احتمالی؛ E: گیاه غیر تراریخته (شاهد).

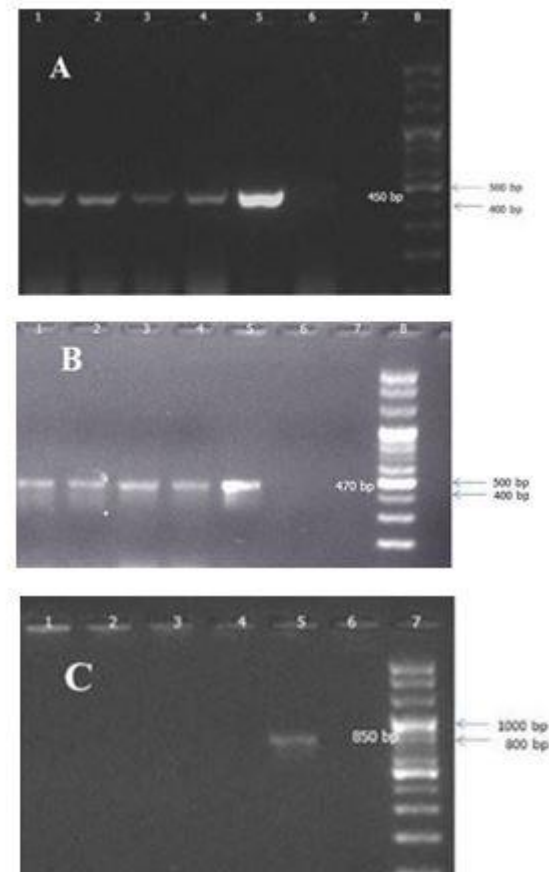
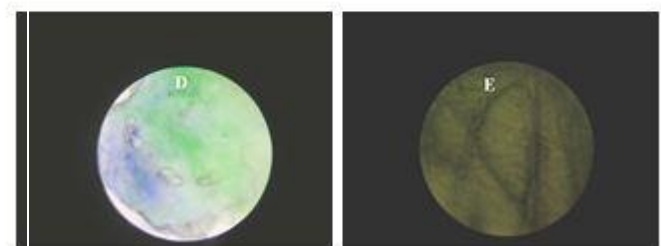


Figure 3- Results related to PCR and histochemical *gus* analysis. A: PCR product of *gus* gene, Lines 1-4: Putative transgenic plants, Line 5: Positive control (Plasmid), Line 6: non-transgenic plant, Line 7: Negative control (distilled water), Line 8: Molecular marker (100 bp). B: PCR product of *nptII* gene, Lines 1-4: Putative transgenic plants, Line 5: Positive control (Plasmid), Line 6: non-transgenic plant, Line 7: Negative control (distilled water), Line 8: Molecular marker (100 bp). C: PCR product of *Vir G* gene, Lines 1-4: Putative transgenic plants, Line 5: Positive control (Plasmid), Line 6: Negative control (distilled water), Line 7: Molecular marker (100 bp). D: Histochemical *GUS* assay, Putative transgenic plant, E: non-transgenic plant (control).

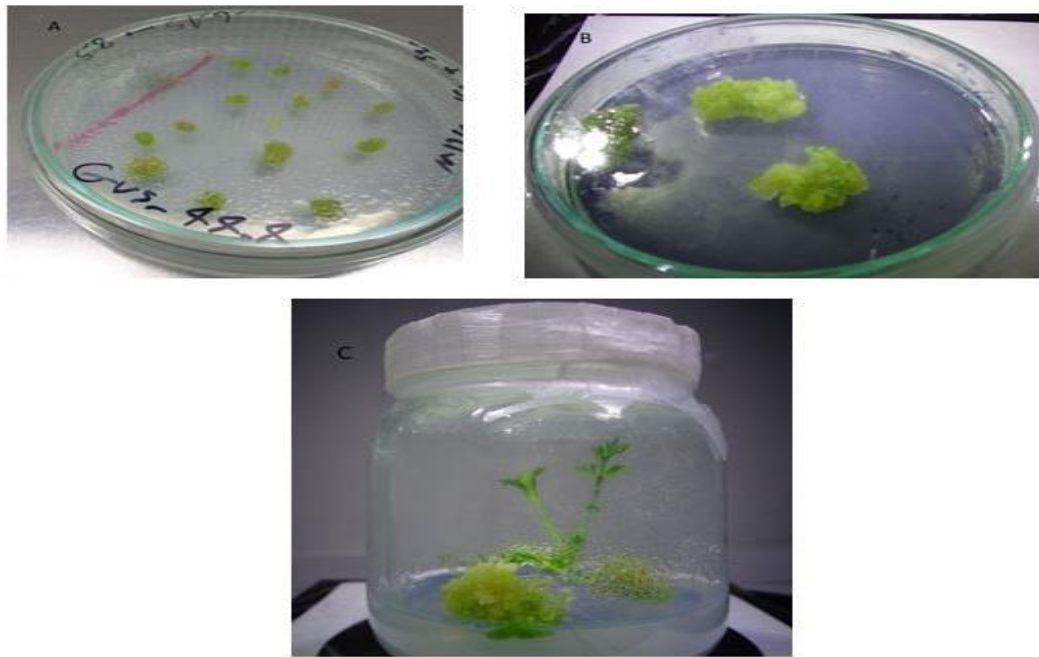


جدول ۱- نتایج پی‌سی‌آر گیاهان تراریخته احتمالی زنیان

Table 1- Results of the putative transgenic *Trachyspermum ammi* by PCR

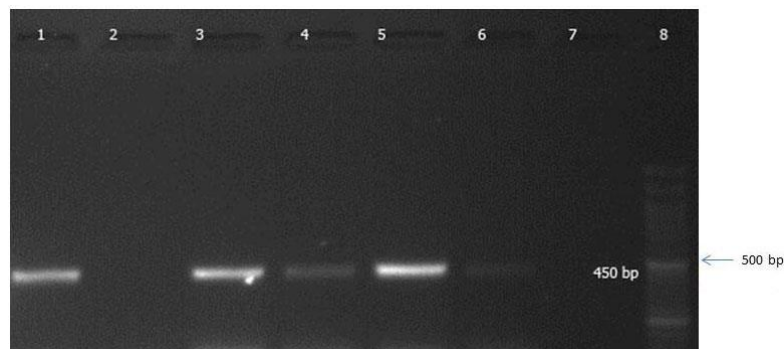
تعداد گیاهان تراریخته احتمالی (%)	تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت ^c <i>Vir G</i> (%)	تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت هر دو ژن <i>GUS</i> & <i>nptII</i> (%)	تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت ^b <i>nptII</i> (%)	تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت ^a <i>GUS</i> (%)	تعداد گیاهان باززایی شده مقاوم به کانامایسن	سویه آگروباکتریوم
۲۱ (46%)	4(8.8%)	۲۵ (55%)	۲۶ (57%)	۳۰ (66%)	۴۵	LBA4404
۱۱ (27%)	3(7.5%)	۱۴ (35%)	۱۷ (42%)	۲۲ (۵۵%)	۴۰	GV3101

- a: (تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت با ژن *gus* /تعداد گیاهان باززا شده مقاوم به کانامایسن) × ۱۰۰
 b: (تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت با ژن *nptII* /تعداد گیاهان باززا شده مقاوم به کانامایسن) × ۱۰۰
 c: (تعداد گیاهان پی‌سی‌آر مثبت با ژن *Vir G* /تعداد گیاهان باززا شده مقاوم به کانامایسن) × ۱۰۰



شکل ۴- انتقال ژن و باززایی گیاه دارویی زنیان A: رشد کالوس‌ها در محیط انتخابی همراه با کانامایسین و سفوتاکسیم B: تشکیل کالوس‌های جنین‌زا C: تولید گیاه تراریخته احتمالی

Figure 4- Gene transformation and Regeneration of *Trachyspermum ammi*. A: Growth of calli in selective media containing kanamycin and cefotaxime B: Embryogenic calluses E: putative transgenic plants.



شکل ۵- RT-PCR با استفاده از پرایمرهای اختصاصی ژن *gus*. لاین‌های ۳ و ۴ و ۵ و ۶ گیاه تراریخته؛ لاین ۱ کنترل مثبت (پلاسمید)، لاین ۲: گیاه غیر تراریخته، لاین ۷: کنترل منفی؛ لاین ۸: نشانگر ملکولی DNA (100bp).

Figure 5- RT-PCR analysis with *gus* specific primer. Lines 3,4,5,6: Putative transgenic plants, Line 1: Positive control (Plasmid), Line 2: non-transgenic plant, Line 7: Negative control (distilled water), Line 8: Molecular marker (100 bp)

بحث

میزان تیمول بالا (Mirza hosseini et al.2015) و دارای مقاومت بالایی به خشکی و شوری است. در ابتدا بر طبق آزمایشات اولیه، دستورالعمل مناسبی برای کالوس‌زایی و باززایی گیاه بهینه شد. محیط MS همراه با ترکیب هورمونی 2,4-D و Kin ترکیب مناسبی

برای انتقال ژن و تولید گیاهان تراریخته، باززایی مناسب و تنظیم هورمونی در کشت بافت و به تبع آن بهینه‌سازی شرایط مهم در انتقال از الزامات هر برنامه انتقال ژن است. در این مطالعه از اکوتیپ قم استفاده شد که دارای صفات مهم و مناسبی همچون

همچنین نتایج RT-PCR می‌توان نتیجه گرفت گیاهان باززایی شده در این بررسی، تراریخته هستند.

مطالعات زیادی در انتقال ژن در گیاهان دارویی با استفاده از سویه‌های اگروباکتریوم همراه با ژن نشانگر *npt II* انجام شده است از جمله در آزمایشی در گیاه *celery* از ریزنمونه‌های هیپوکوتیل و برگ لپه و سه سویه اگروباکتریوم EHA105، LBA4404 و GV3101 استفاده شد. بر طبق نتایج حاصل سویه‌های EHA105 و LBA4404 ۱۶ تا ۱۸ درصد کارایی انتقال ژن را نشان دادند اما GV3101 کارایی کمتر از ۵ درصد را نشان داد (Song et al.2007) که با نتایج حاصل از پژوهش ما برای تعیین سویه مناسب اگروباکتریوم مشابه بود. در تحقیقی بر روی گیاه دارویی *Digitalis purpurea* به منظور انتقال ژن از دو سویه اگروباکتریوم GV2260 و GV3101 با به‌کارگیری ریزنمونه برگ به منظور انتقال ژن *GUS* استفاده شد. که در این تحقیق سویه GV3101 دارای کارایی بالاتری (۶۰ درصد) نسبت به سویه دیگر (۵۲٫۱ درصد) بود (Li et al.2014). در آزمایشی بر روی گیاه *Coriandrum sativum* انجام شد دو روز هم کشتی ریزنمونه هیپوکوتیل با سویه اگروباکتریوم GV3850، ۲۳ درصد گیاهان مقاوم به کانامایسین و در نهایت ۶٫۶ درصد کارایی انتقال ژن را نشان داد (Wang and Kumar, 2004). در آزمایشی بر روی گیاه دارویی *Ocimum gratissimum* سویه باکتری LBA4404 حاوی پلاسمید pBI121 با ژن *GUS* حدود ۲۰ درصد فراوانی تراریختی را نشان دادند و به عنوان سویه مناسب معرفی شد (Khan et al.2015). در مطالعه دیگری بر روی گیاه دارویی *Withania somnifera Dunal* انتقال ژن گزارشگر *GUS* با سویه اگروباکتریوم GV3101 به مدت ۲۰ دقیقه تلقیح و دو روز هم‌کشتی انجام شد. که در حدود ۱۰/۶ درصد تراریختی نشان دادند (Mishra et al.2016). این مطالعه نخستین تحقیق برای انتقال ژن *GUS* به گیاه دارویی زنیان محسوب می‌شود که در آن به بررسی و بهینه‌سازی شرایط انتقال ژن به گیاه زنیان پرداخته شد. در این تحقیق ما روشی با کارایی بالا برای باززایی و انتقال ژن به گیاه دارویی زنیان ارائه دادیم که می‌تواند برای تحقیقات بیوتکنولوژی و انتقال ژن‌های مناسب به این گیاه ارزشمند و تنظیم مسیرهای تولید متابولیت‌های ثانویه به منظور افزایش ترکیبات مفید، بسیار مؤثر واقع شود.

برای کالوس‌دهی و تولید کالوس‌های جنین‌زا در گیاه دارویی زنیان بود و به‌منظور باززایی در محیط MS فقط از هورمون کایتین استفاده گردید. نقش مهم هورمون 2,4-D در کالوس‌زایی و جنین‌زایی در بسیاری از آزمایش‌ها نشان داده شده است (Jasrai et al.1991; Dudits et al.1992). در تحقیقی نشان داده شد که محیط MS همراه با 2,4-D منجر به تشکیل کالوس‌های جنین‌زا در گیاه *Foeniculum Vulgare* شد (Anzidei et al.2000). همچنین در تحقیقی نشان داده شد که باززایی در حضور کایتین رخ می‌دهد (Jha et al.1981). مقاومت به محیط کشت حاوی کانامایسین و باززایی، اولین مرحله در شناسایی گیاهان تراریخته است. در تحقیق حاضر غلظت مناسب کانامایسین 25 mg/l در نظر گرفته شد. *Agrobacterium tumefaciens* دارای دامنه میزبانی وسیعی در گیاهان دولپه‌ای بوده و سویه اگروباکتریوم فاکتور بسیار مهمی در کارایی انتقال ژن است. در این تحقیق از دو سویه اگروباکتریوم (LBA4404، GV3101) استفاده و کارایی انتقال ژن در هر دو سویه بررسی شد. آزمایشات پی‌سی‌آر با استفاده از پرایمرهای اختصاصی، حضور قطعی ژن‌ها را در گیاهان تراریخت اثبات کرد. بر طبق نتایج حاصل سویه‌های LBA4404 و GV3101 کارایی بالایی در انتقال ژن به گیاه زنیان دارند. البته سویه LBA4404 به دلیل بیماری‌زایی بالا و دامنه میزبانی با گیاه زنیان نسبت به سویه GV3101 از کارایی بالاتری برخوردار است. در بسیاری از آزمایش‌ها سویه LBA4404 به عنوان کارآمدترین سویه معرفی شده است (Tohidfar et al.2005; Yadav et al.2014). سویه‌های مختلف اگروباکتریوم توانایی متفاوتی در انتقال ژن به گونه‌های مختلف گیاهی و ژنوتیپ‌های متنوع درون یک گونه دارند (Gue et al.2012). کارایی انتقال ژن در این مطالعه ۴۶٪ بود که در مقایسه با بسیاری از گیاهان دارویی، مطلوب است. همچنین برای تعیین نهایی بیان ژن *GUS* در گیاهان تراریخت احتمالی از RT-PCR استفاده شد. بر طبق نتایج حاصل، بیان ژن در سطح RNA در چهار گیاه تراریخت که PCR مثبت بوده و به‌طور تصادفی انتخاب شدند، نیز تایید شده که بیانگر تلفیق ژن در گیاهان تراریخت است. بنابراین بر اساس نتایج حاصل از PCR حضور هر دو ژن *GUS* و *nptII* در گیاه و باززایی گیاه در محیط کشت حاوی کانامایسین و

منابع

- Anzidei M, Bennici A, Schiff S, Tani C, Mori B. 2000.** Organogenesis and somatic embryogenesis in *Foeniculum vulgare*: histological observations of developing embryogenic callus. *Plant Cell, Tissue and Organ culture* 61: 69-79.
- Ballba SI, Hilal SH, Haggag MY. 1973.** The volatile oil from the herb and fruits of *Carum Capticum* at different stages of growth. *Plant Med* 23: 312-320.
- Bentely R, Trimen H. 1999.** Medicinal Plants. Asiatic Publishing House, New Delhi, 107-115.
- Binns AN. 1990.** *Agrobacterium*- mediated gene delivery and the biology of hostrange limitations. *Physiologia Plantrum* 79(1): 135-139.
- Chauhan RD, Kanwar K. 2012.** Biotechnological advances in pomegranate (*punica granatum L.*). In vitro cellular and development biology- plant 579-594.
- Dudits D, Bogre L, Gyorgyey J. 1991.** Molecular and cellular approaches to the analysis of plant embryo development from somatic cells in vitro. *Journal of Cell Science* 99: 475-484.
- Dwivedi SN, Mishra RP, Alava S. 2012.** Phytochemistry, pharmacological studies and traditional benefits of *Trachyspermum Ammi* Sprague. *International Journal of Pharmacy and Life Science* 3(5): 1705- 1709.
- Gallie DR. 1998.** Controlling gene expression in transgenic. *Current Opintion of Plant Biology* 1:166-172.
- Guo M, Zhang YL, Meng ZJ, Jiang J. 2012.** Optimization of factors affecting *Agrobacterium* mediated transient expression of Micro-Tom tomatoes. *Genetics and molecular research* 11: 661-671.
- Hedge IC, Lamond JM, Rechinger KH, Alava R, Chamberlin DF, Engstrand L, Hernstadd I, Heyn CC, Leute GH, Mandenova I, Peev D, Pimenov MG, Snogerup S, Tamamschian SG. 1987.** Umbeliferra, In: Flora Iranica. (Rechinger. K.H. ed) Akademische Drusk-U. Verlagsanstalyt Graz, Austria, Vol:162.
- Jasrai YT, Barot SM, Mehta, AR. 1992.** Plant regeneration through somatic embryogenesis in hypocotyl explants of *Trachyspermum Ammi (L.) Sprague*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 29: 57-60.
- Jefferson R A, Kavanagh TA, Bevan MV. 1987.** GUS fusion: B-glucuronidase as a sensitive and versatile gene fusion marker in higher plants. *The European Molecular Biology Organization Journal* 6: 3901-3907.
- Jha TB, Roy SC, Mitra CC. 1981.** A brief review of in vitro studies on umbeliferous spice plants. In: Rao AN (Ed). *Proc Costed Symp on Tissue Culture of Economically Important Plant*, Singapore 94-97.
- Khan S, Fahim N, Singh P, Rahman L. 2015.** *Agrobacterium tumefaciens* mediated genetic transformation of *Ocimum gratissimum* : A medicinally important crop. *Industrial crop and products* 71: 138-146.
- Li Y, Gao Z, Piao CH, Lu K, Wang ZH, Cui M-L. 2014.** A stable and efficient *agrobacterium tumefaciens*- mediated genetic transformation of the medicinal plant *Digitalis purpurea L.* *Applied Biochemistry and Biotechnology* 172: 1807-1817.
- Lievre K, Hehn A, Minh Tran TL, Gravot A, Thomasset B, Bourgaud F, Gontier E. 2005.** Genetic transformation of the medicinal plant *Ruta Graveolens L.* by *Agrobacterium tumefaciens*- mediated method. *Plant Science* 168: 883-888.
- Mirza Hoseiny SM, Sadat Noori SA, Amanzadeh Y. 2015.** Evaluation of chemical components of 23 ecotypes of *Trachyspermum Ammi*. In: First International and 9th National Biotechnology Congress of Islamic Republic of Iran. Shahid Beheshty University, Tehran, Iran.
- Mishra S, Bansal SH, Singh Sangwan R, Sangwan NS. 2016.** Genotype independent and efficient *agrobacterium* –mediated genetic transformation of the medicinal plant *Whisania somnifera Dunal*. *Journal of plant biochemistry and biotechnology* 25(2): 191-198.
- Murashinge T, Skoog F. 1962.** A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiology Plant* 15:473-497.
- Nisha KK, Seetha K, Rajmohan k, Puroshothama MG. 2003.** *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of Brahmi (*Bacopa monniera (L.) Wettst.*) a popular medicinal herb of India. *CURRENT SCIENCE* 85(1): 85-89.
- Puc AY, Berzunza EA, Chan-Bacab MJ, Pena Rodriguez LM, Hernandez GG. 2012.** *Agrobacterium*- mediated transient transformation of *Pentalinon andrieuxii Mull. Arg.* *Advance in bioscience and biotechnology* 3: 256-258.
- Singh I, Singh VP. 2000.** Antifungal properties of aqueous and organic extracts of seed plants against *Aspergillus flavus* and *A.niger*. *Phytomorphology* 20:151-157.
- Sivropoulou A, Papanikolaou E, Nilolaou C, Kokkini S, Lanaras T, Arsenakis M. 1996.** Antimicrobial and cytotoxic activities of origanum essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44:1202-1205.
- Song GQ, Loskutov AV, Sink KC. 2007.** Highly efficient *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of celery (*Apium graveolens L.*) through somatic embryogenesis . *Plant cell Tissue and Organ culture* 88: 193-200.
- Tohidfar M, Mohammadi M, Ghareyazie B. 2005.** *Agrobacterium*-mediated transformation of cotton using a heterologous bean chitinase gene. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 83:83-96.
- Walden R, Schell J. 1990.** Techniques in plant molecular biology, progress and problems. *European Journal of Biochemistry* 192: 563-567.
- Wang Y, Kumar PP. 2004.** Heterologous expression of Arabidopsis ERS1 causes delayed senescence in coriander. *Plant cell reports* 22: 678-683.
- Yadav SH, Sharma P, Srivastava A, Desai P, Shrivastava N. 2014.** Strain specific *Agrobacterium*-mediated genetic transformation of *bacopa monnieri*. *Journal of genetic engineering and biotechnology* 12: 89-94.

Optimization of effective factors on β -glucuronidase (*GUS*) gene transformation by *Agrobacterium* to *Trachyspermum ammi*

Masoumeh Nomani ¹, Seyed Ahmad Sadat Noori ^{1*}, Masoud Tohidfar ² and Hossein Ramshini ¹

1- Ph.D student, Professor and Associate Professor of Department of Agronomy and Plant breeding, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor of Department of Biotechnology - College of Life Science and Biotechnology - Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

*Email corresponding author: noori@ut.ac.ir

Abstract

Trachyspermum ammi is one of the most important medicinal herbs in Iran. This plant contains important medicinal properties, including anti-digestive, antispasmodic and relieving rheumatic pains and has been used as a spice and food preservative. To overexpress some effective ingredients in this plant, it is necessary to optimize the gene transfer process. For this purpose, the explants of hypocotyl, two strains of *Agrobacterium tumefaciens* were studied along with factors such as inoculation times (5, 10, 15, 20 min) co-cultivation times (1, 2 and 3 days). In this study, pBI121 vector harboring *GUS* as the reporter gene, and *nptIII* gene as the plant selected marker were used. To confirm the gene transfer, PCR, histochemical *GUS* staining and RT-PCR tests were used. According to the results, the time of inoculation of 5 minute and the time of one day for co-cultivation increased the efficiency of gene transfer. Both bacterial strains showed a relatively good performance in gene transfer, but the LBA4404 strain showed higher efficacy than GV3101. In this study, 25 mg/L of kanamycin was selected as the appropriate concentration for determining the probable transgenic plant by *Agrobacterium*. For the first time, the present study presents an effective and efficient method for gene transfer to *Trachyspermum ammi* that can be effectively used for gene transfer.

Keywords: *Agrobacterium*, Hypocotyl, Reporter gene, *Trachyspermum*, Co-cultivation