

طراحی و ساخت سازه‌های پلاسمیدی مختص انتقال هدفمند ژن به ژنوم کلروپلاستی Designing and construction of specific plasmid constructs for targeted plastome transformation

مطهره محسن‌پور^۱، مسعود توحیدفر^۲ و نادعلی بابائیان جلودار^۳

چکیده

محسن‌پور، م.، م. توحیدفر و ن. ع. بابائیان جلودار. ۱۳۹۱. طراحی و ساخت سازه‌های پلاسمیدی مختص انتقال هدفمند ژن به ژنوم کلروپلاستی. مجله علوم زراعی ایران. ۱۴(۳): ۲۳۴-۲۱۸.

الحاق ژن خارجی در ژنوم کلروپلاستی از طریق نوترکیبی هم‌تاب بین توالی‌های مجاور آن ژن در حامل‌های کلروپلاستی، رخ می‌دهد. از آنجایی که شباهت صد در صدی توالی هدف‌گیری‌کننده کارایی تراریختی پلاستوم را به طور چشمگیری افزایش خواهد داد، یک جفت پرایمر برای جداسازی این ناحیه طوری طراحی گردید که دارای شباهت صد در صدی در تمامی پلاستوم‌های گیاهی باشد، ولی طول و توالی ناحیه تکثیری در ژنوم‌های مختلف متفاوت بود. توالی هدف‌گیری‌کننده، از پلاستوم‌های توتون، پنبه، ذرت، کاهو، گوجه‌فرنگی، هویج و حتی کلزا و لیموترش که پلاستوم آنها هنوز توالی‌یابی نشده است، جداسازی و کلون‌سازی گردید. حضور و جهت ناحیه جدا شده از پلاستوم گیاهان مختلف و صحت کلون‌سازی، توسط آنزیم‌های مختلف و از جمله *HindIII* و *BamHI* مورد تایید قرار گرفت. سپس با افزودن نواحی تنظیمی مختلف شامل پیش‌برها و پای‌برهای دائمی کلروپلاستی و القایی، نواحی بدون ترجمه یا UTRهای مناسب، نواحی اتصال ریبوزوم پلاستیدی، جایگاه‌های آنزیمی مناسب ورود ژن برای بیان انفرادی و یا پلی‌سیسترونی، ژن‌های گزارشگر، ژن‌های نشانگر انتخابی آنتی‌بیوتیکی و غیر آنتی‌بیوتیکی و توالی‌هایی برای حذف ژن نشانگر پس از انتقال ژن، تلاش شد تا انواع مختلفی از حامل‌های کلروپلاستی ساخته شوند تا بتوان بیان هر ژن خارجی را به طور دلخواه در ژنوم‌های پلاستیدی گیاهان مختلف به صورت کارآمد امکان‌پذیر نمود که سازه‌های کلروپلاستی pFNG، pFNGi از جمله آنها بود. این پلاسمیدهای نوترکیب می‌توانند به عنوان حامل‌های پلاستیدی عمومی و اختصاصی برای انتقال ژن به کلروپلاست استفاده شوند. در این تحقیق نه تنها برای گیاهان مذکور، بلکه برای هر گونه گیاهی دیگری که توالی پلاستومی آن در دسترس نیست نیز حامل پلاستیدی اختصاصی و دارای کارایی بالا تهیه شد.

واژه‌های کلیدی: پلاستوم، تراریزش و حامل اختصاصی کلروپلاستی.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۴

۱- دکتری اصلاح نباتات، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی (مکاتبه‌کننده) (پست الکترونیک: mthrh@yaho.com)

۲- استادیار پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی

۳- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقدمه

ژنوم کلروپلاستی (پلاستوم) گیاهان دارای سازماندهی بسیار حفاظت شده‌ای است. این ژنوم یک کروموزوم منفرد حلقوی و دارای همانندسازی مستقل بوده که می‌توان چهار قسمت برای آن در نظر گرفت. این قسمت‌ها شامل دو نسخه یکسان از یک تکرار معکوس (Inverted repeat, IR) می‌باشد که نواحی تک نسخه‌ای بزرگ (LSC) و تک نسخه‌ای کوچک (SSC) را از هم جدا می‌کند. فقدان اطلاعات ژنومی کلروپلاستی در گذشته کاربرد تکنولوژی تراریزش پلاستید را در بسیاری از محصولات محدود کرده بود (Daniell et al., 2006; Ruhlman 2010; Clarke and Daniell 2011). در سال‌های اخیر با افزایش تعداد پلاستوم‌هایی که به طور کامل توالی‌یابی شده‌اند و در دسترس بودن آنها از طریق پایگاه‌های بیوانفورماتیک، دانش ما از سازماندهی و تکامل پلاستوم‌ها در حال گسترش است (Maliga, 2004; Maliga, 2005).

مهندسی ژنتیک کلروپلاست نسبت به هسته چندین مزیت دارد که شامل: بیان بالای ترانسژن (Daniell et al, 2002)، مهندسی چند ژنی در یک رویداد انتقال ژن (De Cosa et al, 2001; Daniell et al, 2002; Ruiz et al, 2003)، محدود نگه داشتن ترانسژن از طریق وراثت مادری (Daniell, 2002)، فقدان خاموشی ژن (De Cosa et al, 2001; Lee et al, 2003)، فقدان اثرات مکانی (Daniell et al, 2002) و پلی‌تروپیک (Lee et al, 2003) و فقدان DNA خارجی ناخواسته می‌باشد. برای اصلاح پایدار پلاستیدها لازم است که DNA انتقالی، با استفاده از توالی‌های همولوگ به مکان مشخصی از ژنوم پلاستید هدف‌گیری شود. همولوژی بالای توالی‌های انتخابی مجاور برای انجام نوترکیبی همولوگ و برای هدف‌گیری ژن خارجی مورد نظر به محل خاص و مناسبی از ژنوم کلروپلاستی، از عوامل مهم موفقیت در انتقال ژن محسوب می‌شوند

(Dufourmantelet al, 2004; Kumar et al, 2004a; Kumar et al, 2004b). ناقل‌هایی که برای تراریزش کلروپلاست استفاده می‌شوند، دارای توالی‌های مجاور گرفته شده از توتون یا آرابیدوپسیس هستند که می‌تواند یکی از دلایل پایین بودن کارایی تراریزش در سایر محصولات باشد. در حالی که ساخت ناقل‌های اختصاصی هر گونه گیاهی که در آنها از توالی‌های اختصاصی همان گونه استفاده می‌شود، به طور چشمگیری کارایی تراریزش پلاستید را افزایش می‌دهد (Verma and Daniell, 2007). دفرماتل (Dufourmantel, 2004) و کومار (Kumar, 2004a,b) با ساخت ناقل‌های اختصاصی به ترتیب برای سویا، هویج و پنبه، افزایش کارایی انتقال ژن به پلاستید گیاهان مذکور را گزارش دادند.

ناقل‌های انتقال ژن به پلاستید از ناقل‌های *E. coli* مشتق شده‌اند که در آنها توالی‌های DNA کلروپلاستی با طول یک تا دو کیلو باز در هر دو طرف یک ژن نشانگر انتخابی کلون‌سازی می‌شود و محل‌هایی نیز برای کلون کردن ژن مورد نظر در آنها تعبیه خواهد شد. توالی‌های ژنوم کلروپلاستی (ptDNA) به عنوان نواحی مجاور (FR, Flanking region) یا توالی‌های هدف‌گیری‌کننده برای الحاق مستقیم قطعات مورد نظر به داخل ژنوم پلاستید عمل می‌کنند (Maliga, 2005) گزارش شده است که ورود ژن نشانگر هیچ تداخلی با بیان ژن‌های پلاستییدی مجاور ۱۴ ناحیه بین ژنی در پلاستوم نداشت. قطعات DNA پلاستییدی که حاوی هر یک از این ۱۴ مکان ورود بین ژنی خنثی می‌باشند، این قابلیت را دارند که برای طراحی حامل‌های انتقال ژن به پلاستید از آنها استفاده شود (Maliga, 2005). اغلب ژن‌های کلروپلاست در گروه‌های ژنی رونویسی می‌شوند. این موضوع اجازه می‌دهد دو یا چند چارچوب بازخواندن (ORF)، به درون یک ناقل، در توالی‌هایی تحت یک پیشبر وارد شوند. نشانگر انتخابی و ژن‌های دلخواه بین پیشبر و

مواد و روش‌ها

بررسی‌های بیوانفورماتیکی

برای یافتن بهترین محل الحاق ژن به ژنوم کلروپلاستی، توالی کامل ژنوم‌های کلروپلاستی چندین گونه گیاهی از NCBI دریافت شد. مقایسه نواحی بین ژنی پلاستوم برای هدف‌گیری ژن مورد نظر، انجام گرفت. آغازگرهای لازم برای جداسازی ناحیه هدف‌گیری‌کننده به پلاستوم گیاهان مختلف، از محلی طراحی شدند که دارای همولوژی ۱۰۰ درصد توالی در ژنوم‌های کلروپلاستی تمامی گیاهانی باشند که توالی ژنوم پلاستیدی آنها از طریق بانک ژن در دسترس است. طراحی پرایمر با استفاده از نرم‌افزار OligoTech انجام و در نرم‌افزار Vector NTI مورد آنالیز قرار گرفت. از آنجایی که طول ناحیه هدف‌گیری‌کننده ژن به پلاستوم، در افزایش کارایی انتقال ژن از طریق بالا بردن امکان نو ترکیبی هم‌تا موثر است، طراحی آغازگر از قسمتی از توالی صورت گرفت که ناحیه‌ای در حدود چهار کیلوبازار پلاستید گیاهان مختلف تکثیر نماید که شامل ori و جایگاه منحصر به فرد آنزیمی باشد.

جداسازی ناحیه هدف‌گیری‌کننده

استخراج کل DNA سلولی که DNA کلروپلاستی را نیز دربردارد از گیاهان توتون، پنبه، کز، گوجه‌فرنگی، هویج و کاهو و ذرت و لیموترش، با استفاده از Qiagen DNeasy Plant Mini Kit انجام گرفت. واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (PCR) با استفاده از پرایمرهای طراحی‌شده و با استفاده از آنزیم پلیمرز دارای خاصیت تصحیح‌کنندگی انجام گرفت. فراورده PCR حاصل از هر گیاه پس از الکتروفورز از روی ژل آگارز با استفاده از High Pure PCR Product Purification Kit (Roche) خالص‌سازی گردید.

کلون کردن ناحیه هدف‌گیری‌کننده و ساخت حامل

نو ترکیب

واکنش اتصال قطعه مربوط به ناحیه هدف‌گیری‌کننده اختصاصی ژنوم کلروپلاستی توتون،

پایانبر، در مجاورت نواحی بدون رونویسی (UTR) ۵' و ۳' قرار داده می‌شوند (Maliga, 2005). استفاده از نواحی تنظیمی مناسب در ساخت ناقل‌های کلروپلاستی می‌تواند نقش بسزایی در بیان مناسب ژن خارجی مورد نظر ایفا کند. برای بیان تراژن‌های پلاستیدی معمولاً از یک کاست 5' PL (Promoter&Leader) و یک کاست Terminator (T)، استفاده می‌شود. کاست PL شامل یک پیشبر و توالی‌های کنترل‌کننده ترجمه می‌باشد. توالی‌های کنترل‌کننده ترجمه ممکن است نواحی بدون ترجمه ۵' از mRNA (5'UTR) و یا ناحیه کنترل ترجمه ۵' (TCR, Translation Control Region) باشند که شامل 5'UTR و یک قطعه پایانه N از ناحیه کدکننده را شامل می‌شود. ناحیه 5'UTR از mRNA معمولاً شامل یک ساختار ساقه-حلقه (Stem-Loop) است که برای پایداری mRNA مورد نیاز می‌باشد و توالی‌هایی دارد که حرکت mRNAها را روی ریبوزوم تسهیل می‌کنند. کاست T، ناحیه بدون ترجمه ۳' از mRNA (3'UTR) را کد می‌کند که این قسمت نیز یک ساختار ساقه - حلقه را شامل می‌شود. ناحیه بدون ترجمه ۳' به عنوان یک پایانبر رونویسی عمل می‌کند و برای پایداری mRNA مورد نیاز است (Monde et al., 2000).

با توجه به اینکه همولوژی بالای توالی‌های انتخابی مجاور برای انجام نو ترکیبی همولوگ و برای هدف‌گیری ژن خارجی مورد نظر به محل خاص و مناسبی از ژنوم کلروپلاستی، از عوامل مهم موفقیت در انتقال ژن به یک پلاستوم محسوب می‌شود (Dufourmantel et al., 2004; Kumar et al., 2004a; Kumar et al., 2004b)، هدف از این تحقیق آنالیز و شناسایی توالی ژنوم‌های پلاستیدی گیاهان مختلف به منظور یافتن ناحیه مناسبی از ژنوم پلاستومی برای هدف‌گیری و الحاق ژن خارجی و جداسازی و کلون کردن آنها جهت انتقال ژن کارا به کلروپلاست دامنه گسترده‌ای از گیاهان بوده است.

پنبه، کلزا، گوجه‌فرنگی، هویج، کاهو، ذرت و لیموترش با حامل pJET1.2 (شرکت Fermentas)، به صورت کلون کردن انتهای صاف انجام گرفت. اثبات تراریختی پس از استخراج پلاسمید از کلونی‌های حاصل، با استفاده از هضم آنزیمی و PCR انجام شد. پلاسمیدهای نو ترکیب حاصل که ناحیه مجاور کلروپلاستی (FR) را دربرداشتند، به pJET-FR موسوم شدند. کلیه مراحل همسانه‌سازی و آنالیزهای مولکولی با استفاده از دستورالعمل‌های سمبروک و راسل (Sambrook and Russel, 2001) انجام گرفت.

طراحی نواحی تنظیمی و ژن‌های نشانگر و گزارشگر برای حامل‌های پلاستی

یک توالی شامل نواحی تنظیمی کلروپلاستی، ژن‌های نشانگر و جایگاه‌های مناسب آنزیمی برای وارد کردن ژن‌های خارجی موردنظر و دستکاری‌های ژنتیکی لازم به شرح زیر طراحی گردید. این توالی ساختگی طوری طراحی شد که بتوان چندین ناقل کلروپلاستی مختلف را با توالی‌های تنظیمی و نشانگرهای موردنیاز از آن مشتق نمود. برای طراحی این توالی ساختگی، ردیف‌های نوکلئوتیدی زیر از NCBI دریافت شدند: (۱) پیشبرهای *Prrn*، *PpsbA* و *groE*؛ (۲) نواحی بدون ترجمه Un-Translated Region (۵'UTR) شامل *rbcl*، *T7gene10* و *atpB*؛ (۳) نواحی بدون ترجمه ۳' (۳'UTR) یا پایانبه‌های *atpB*، *Trbcl* و *TpsbA*؛ (۴) توالی *oxP* (۵) ناحیه اتصال ریوزوم (RBS) کلروپلاستی؛ (۶) ژن‌های نشانگر *neo*، *badh* و ژن گزارشگر *gfp*. ژن‌های نشانگر به منظور حذف جایگاه‌های آنزیم‌های برشی موجود در داخل توالی ژن تغییر داده شدند. این بهینه‌سازی کدونی با تغییر نوکلئوتید بدون تغییر اسید آمینه انجام شد. علاوه بر پیشبرهای کلروپلاستی همیشگی (Constitutive) (*Prrn* و *PpsbA*)، پیشبر القایی شوک حرارتی *E. coli* در این تحقیق برای طراحی حامل‌های پلاستی در نظر گرفته شد. این توالی ساختگی پس از طراحی، برای

ساخت به شرکت MilleGen سفارش داده شد و پس از دریافت قطعه از شرکت، دستکاری‌های لازم برای حذف و اضافه کردن قطعات موردنظر به منظور مشتق نمودن چندین ناقل کاربردی مختلف از آن انجام گردید. توالی‌های مشتق‌شده در ناقل pJET1.2 همسانه‌سازی شدند و سپس در مرکز توالی هدف‌گیری‌کننده به پلاستید در ناقل نو ترکیب pJET-FR که مراحل ساخت آن قبلاً ذکر شد، کلون‌سازی مجدد شدند. تعدادی از ناقل‌های ساخته‌شده در این تحقیق در ادامه شرح داده شده است.

طراحی و ساخت کاست ژن نشانگر *neo* ادغام شده با زیر واحد بزرگ *atpB* بین توالی‌های *loxP*

در این تحقیق از ژن *نئومایسین فسفو ترانسفراز II* (NPTII)؛ (APH(3')-II) موسوم به *neo* در ساخت حامل کلروپلاستی استفاده گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داده است که اضافه کردن اسید آمینه‌های پایانه N از *atpB* به عنوان 5'UTR باعث افزایش بیان ژن *neo* در پلاستیدها می‌شود (Maliga, 2003)، لذا پس از حذف دو جایگاه آنزیمی داخلی *PvuII* و *SphI* از ژن مذکور، ۹۰ جفت باز از ناحیه بدون ترجمه 5'UTR *atpB* به ابتدای ژن *neo* اضافه شد و پس از قرار دادن ۸ نوکلئوتید ایجادکننده یک جایگاه آنزیمی، ۴۲ جفت‌باز کدکننده ۱۴ اسید آمینه پایانه N زیر واحد بتای پروتئین ATP سینتاز توتون که کدون آغازین ATG را دربرداشت به صورت همجوش با *neo* قرار داده شد. توالی به دست آمده تحت پیشبر و پایانبه *psbA* کلروپلاستی و در میان دو توالی تکرار شده مستقیم ۳۴ جفت‌بازی *loxP* و در حامل pJET1.2 (شرکت Fermentas) کلون‌سازی اولیه گردید. یک جایگاه اتصال به ریوزوم کلروپلاستی نیز پس از ژن *neo* و قبل از پایانبه *TpsbA* برای کلون‌سازی ژن‌های دلخواه به صورت پلی‌سیسترونی با *neo* در این حامل کلروپلاستی در نظر گرفته شد. صحت مراحل کلون‌سازی حامل نو ترکیب حاصل توسط هضم آنزیمی و PCR مورد بررسی قرار گرفت. به منظور

بررسی عملکردی بودن بیان ژن *neo* تغییر یافته، کلونی باکتری‌های نو ترکیبی که تحت تراریزش با این حامل قرار گرفته بودند، روی محیط حاوی ترکیبی از دو آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین (۷۵ میلی گرم در لیتر) و کانامایسین (۵۰ میلی گرم در لیتر) رشد داده شدند.

طراحی و ساخت حامل بیانی Expression vector

کلروپلاستی دارای پیشبر باکتریایی *groE*

پیشبر *groE* باکتری *E. coli* به همراه جایگاه اتصال به ریپوزوم، پایانبر ترئونین و جایگاه‌های آنزیمی مناسب در پلاسمید pJET1.2 کلون‌سازی گردید و صحت مراحل کلون‌سازی حامل نو ترکیب حاصل با هضم آنزیمی و PCR تأیید گردید. به منظور اثبات عملکردی بودن بیان ژن، تحت پیشبر *groE* در این حامل نو ترکیب، ژن مربوط به پروتئین فلورسنت سبز پس از تغییر در چهار جایگاه از توالی نوکلئوتیدی برای حذف جایگاه‌های آنزیمی داخلی *PvuII*، *ClaI*، *AflIII*، *NdeI* و بدون تغییر اسید آمینه، تحت پیشبر مذکور قرار داده شد. القای بیان ژن *gfp* در باکتری *E. coli* نو ترکیب پس از اعمال شوک حرارتی ۴۲ درجه سانتی گراد و مشاهده باکتری‌ها زیر میکروسکوپ اپی فلورسنت (Tombolini and Jansson, 1998) به اثبات رسید.

طراحی و ساخت حامل بیانی کلروپلاستی دارای

کاست ژنی کلروپلاستی *neo* و کاست ژنی القایی *gfp*

ژن *gfp* که تحت پیشبر *groE* و پایانبر ترئونین قرار داده شده بود، در فرودست کاست ژنی *neo* تحت پیشبر و پایانبر کلروپلاستی *psbA* کلون‌سازی شد. کلونی‌هایی که پس از تراریزش باکتری مستعد *E. coli* سویه XLI-Blue روی محیط انتخابی حاوی هر دو آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین (۷۵ میلی گرم در لیتر) و کانامایسین (۵۰ میلی گرم در لیتر) رشد کرده بودند، پس از استخراج پلاسمید تحت آنالیزهای PCR و هضم آنزیمی قرار داده شدند. پلاسمید نو ترکیب حاصل که ۵۵۴۳ جفت باز طول داشت، به pNGi نامیده شد. در مرحله بعد، کاست هر دو ژن *neo* و *gfp* با استفاده از

آنزیم *SphI* تحت هضم آنزیمی قرار گرفت. باندهای مورد انتظار ۲۹۸۸bp و ۲۵۵۵bp بودند (شکل ۴a) که باند ۲۵۵۵ جفت‌بازی مربوط به قطعه *neogfp* از روی ژل آگارز خالص‌سازی گردید. در مرکز توالی هدف گیری کننده به ژنوم کلروپلاستی با طول حدود ۴Kb از ناقل pJET-FR که با آنزیم مذکور برش خورده و با استفاده از تیمار با آنزیم آلکالین فسفاتاز برای جلوگیری از خوداتصال پلاسمیدی فسفرزدایی شده بود، کلون‌سازی مجدد گردید. پلاسمیدهای نو ترکیب حاصل با رشد روی محیط انتخابی حاوی هر دو آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین و کانامایسین انتخاب شدند. آنالیزهای PCR و هضم آنزیمی به منظور اثبات صحت کلون‌سازی و تعیین جهت ورود توالی‌های ژنی در مرکز توالی هدف گیری کننده کلروپلاستی انجام گردید. حامل پلاسمیدی نو ترکیب حاصل pFNGi نامیده شد و ۹۳۹۶ جفت باز طول دارد.

بیان پلی‌سیسترونی پروتئین فلورسنت سبز تحت پروموتور کلروپلاستی در باکتری نو ترکیب

برای اثبات عملکردی بودن جایگاه اتصال به ریپوزوم (RBS) کلروپلاست که بعد از ژن *neo* و قبل از پایانبر *psbA* در نظر گرفته شده بود و اثبات بیان ژن مورد نظر به صورت پلی‌سیسترونی بعد از ژن نشانگر *neo* بدین ترتیب عمل شد که حامل pNGi با آنزیم‌های *XhoI* و *XbaI* تحت هضم آنزیمی ناقص قرار گرفت. قطعه مورد نظر با طول ۵۱۰۲bp پس از الکتروفورز از روی ژل آگارز خالص‌سازی گردید. این قطعه که در اثر خروج پایانبر *psbA* و پیشبر *groE* ایجاد شده بود، با استفاده از آنزیم کلنو (Roche) تیمار شد تا پایانه‌های چسبنده آن به پایانه‌های صاف تبدیل شوند. حلقوی کردن مجدد قطعه مذکور با انجام واکنش اتصال، منجر به قرار گرفتن ژن *gfp* به صورت پلی‌سیسترونی پس از ژن *neo* گردید، به طوری که ژن‌های *neo* و *gfp* هر دو تحت پیشبر مشترک *psbA* بیان شوند و هر یک RBS جداگانه‌ای داشته باشند.

انتقال ژن به پلاستید بدون نشانگر انتخابی آنتی-بیوتیکی امکان پذیر می گردد.

نتایج و بحث

پس از جستجو برای انتخاب ناحیه هدف گیری کننده کلروپلاستی که *ori* پلاستییدی را نیز دربرداشته باشد، ناحیه 16SrRNA\23SrRNA و فاصله دوم (Spacer2) ژن های *trn* ایزولوسین و آلانین، به عنوان ناحیه الحاق ژن های خارجی انتخاب شد. این ناحیه در قسمت تکرار معکوس ژنوم کلروپلاستی قرار داشته و بنابراین الحاق قطعات در این ناحیه منجر به حضور دو نسخه از ژن مورد نظر در هر پلاستوم خواهد شد.

هم ردیفی (Align) این ناحیه هدف گیری کننده کلروپلاستی در ژنوم های توتون، پنبه، گوجه فرنگی، کاهو و هویج و ذرت، که با استفاده از نرم افزار VectorNTI انجام شد، نشان داد که ناحیه *ori* در حدود ۷۰۰bp با ناحیه بین ژنی *trnI/trnA* فاصله دارد و نقاط با شباهت کامل (Identity positions) ناحیه *ori* در بین این شش گیاه ۹۵/۹ درصد محاسبه شد. ناحیه Spa2 به عنوان مرکز توالی هدف گیری کننده در نظر گرفته شد و جستجو برای یافتن نقاط حفاظت شده برای طراحی پرایمر از حدود ۲kb بالادست این ناحیه برای طراحی پرایمر رو به جلو (Forward) و ۲kb پایین دست این ناحیه برای طراحی پرایمر رو به عقب (Reverse) با استفاده از نرم افزار Vector NTI انجام شد. پرایمرهای طراحی شده، در شش گیاه مذکور دارای شباهت صد درصدی بودند و علاوه بر این توالی پرایمرهای مذکور روی توالی سایر ژنوم های کلروپلاستی موجود در بانک ژن نیز مورد آنالیز قرار گرفت و شباهت صد درصدی نشان داد.

قطعاتی با طول مورد انتظار ۴۱۸۴bp از هویج، ۴۲۲۷bp از پنبه، ۴۲۰۵bp از کاهو، ۳۹۸۵bp از گوجه فرنگی، ۴۲۰۸bp از ذرت و ۳۸۶۷bp از توتون

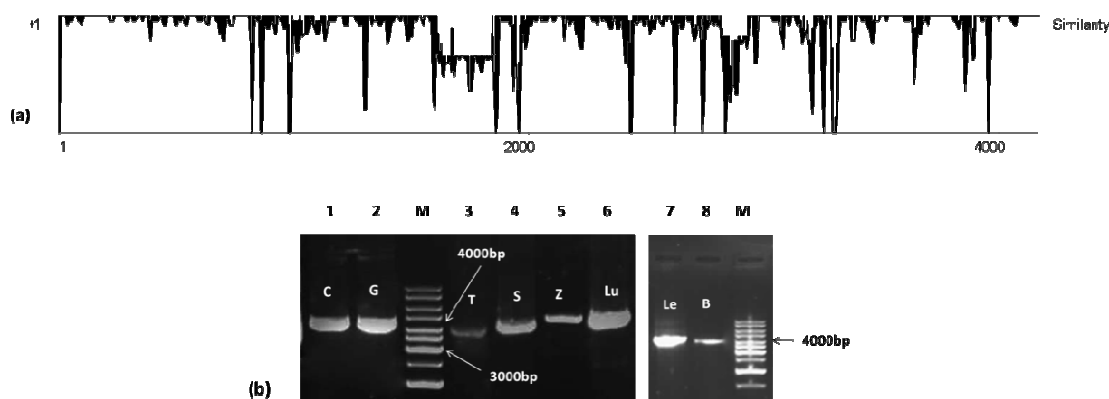
عملکردی بودن بیان پروتئین به صورت پلی سیسترونی و تحت RBS کلروپلاستی در این حامل نو ترکیب موسوم به pNG، با مشاهده پروتئین فلورسنت سبز زیر میکروسکوپ اپی فلورسنت بررسی گردید. سپس کاست مربوط به *neogfp* پلی سیسترونی با استفاده از آنزیم *SphI* تحت هضم آنزیمی قرار گرفت و پس از خالص سازی قطعه ۲۱۱۸ جفت بازی از روی ژل آگارز، این قطعه در مرکز توالی هدف گیری کننده به ژنوم کلروپلاستی در حامل نو ترکیب pJET-FR پس از هضم و فسفرزدایی کلون سازی مجدد گردید. حامل پلاسمیدی حاصل موسوم به pFNG به منظور اثبات صحت کلون سازی تحت آنالیزهای PCR و هضم آنزیمی قرار داده شد.

استفاده از ژن نشانگر غیر آنتی-بیوتیکی بتائین آلدهید دهیدروژناز در طراحی حامل پلاستییدی

توالی ژن بتائین آلدهید دهیدروژناز (*badh*) از منشأ اسفناج (*Spinacia aleracea*) از NCBI دریافت شد. با تغییر توالی نوکلئوتیدی بدون تغییر در اسید آمینه، جایگاه های آنزیمی داخلی ناحیه کد کننده این ژن حذف گردید. جایگاه های شناسایی آنزیم های اندونوکلئاز نوع دوم که از توالی مذکور حذف شدند عبارت بود از: آنزیم های *XbaI* و *PvuII* که هر کدام دو جایگاه و آنزیم های *EcoRI*، *AflIII*، *HindIII* و *EcoRV* که هر کدام یک جایگاه شناسایی در توالی مذکور دارا بودند. افزایش درصد آدنین-تیمین نیز در این بهینه سازی کدونی مورد توجه قرار گرفت. توالی نهایی ژن *badh* به ناحیه بدون ترجمه ۵' مربوط به *gene10* T7 فاژ می متصل گردید و تحت پیشبر کلروپلاستی *Prm* (پیشبر قوی اپرون *trRNA* ریپوزومی) قرار داده شد. بین پیشبر و ژن *badh* محلی برای اتصال به ریپوزوم با توالی GGAGG تعبیه و جایگاه های آنزیمی برای کلون سازی ژن های دلخواه دیگر در نظر گرفته شد. با کلون سازی ژن های مورد نظر در این مکان، این ژن ها به صورت پلی سیسترونی با ژن *badh* بیان خواهند شد و

داشت. با وجود اینکه آنالیز هم‌ردیفی ناحیه‌جداشده از پلاستوم گیاهان مختلف نشان داد که این ناحیه در ژنوم‌های کلروپلاستی گیاهان مختلف دارای شباهت بالایی است (شکل ۱)، ولی در بعضی از قسمت‌ها این تفاوت توالی قابل توجه بود. به عنوان مثال نوکلئوتیدهای حدود ۱۶۰۰ تا ۱۸۶۰ از توالی نوکلئوتیدی مشترک (Consensus) در پلاستوم توتون وجود ندارد.

جدا شد. توالی ژنوم کلروپلاستی کلزا و لیموترش در بانک ژن موجود نبود و استفاده از آغازگرهای مذکور برای تکثیر ناحیه هدف گیری کننده به ژنوم کلروپلاستی از این گیاهان نیز باند حدود ۴kb را ظاهر نمود. تمامی قطعات حاصل پس از تکثیر و خالص سازی به صورت جداگانه در ناقل pJET1.2 کلون سازی شدند. با توجه به اینکه کلون سازی به صورت انتهای صاف انجام شد. امکان ورود قطعات در دو جهت در ناقل مذکور وجود



شکل ۱- (a) آنالیز شباهت ناحیه هدف گیری کننده به ژنوم کلروپلاستی جداشده از ژنوم‌های پلاستییدی هویج، کاهو، پنبه،

گوجه‌فرنگی، توتون و ذرت در نرم افزار Vector NTI

Fig. 1. (a) Similarity analysis of flanking regions that isolated from chloroplast genomes of carrot, lettuce, cotton, tomato and maize in Vector NTI software

خط افقی طول توالی جداشده از پلاستوم‌های گیاهان مذکور را نشان می‌دهد که بیش از ۴۰۰۰ جفت باز هستند و خط عمودی میزان شباهت توالی‌ها را نشان می‌دهد. قسمت‌هایی که خطوط داخل نمودار پایین آمده است، نشان می‌دهد که میزان شباهت در این قسمت از توالی‌های مذکور نسبت به یکدیگر کم شده است. (b): تکثیر ناحیه هدف گیری کننده به ژنوم کلروپلاستی یا ناحیه مجاور (Flanking region) از پلاستوم گیاهان مختلف با پرایمرهای طراحی شده در این آزمایش. ۱. هویج (C=Carrot); ۲. پنبه (G=Gossypium); ۳. توتون (T=Tobacco); ۴. گوجه‌فرنگی (S=Solanum); ۵. ذرت (Z=Zea); ۶. کاهو (Lu=Lactuca); ۷. لیموترش (B=Brassica); ۸. کلزا (Le=Lemon).

Horizontal line indicates these sequences length that isolated from above plant plastoms that are about 4000 bp. The vertical line indicates the similarity of sequences. Lines that come down in the chart mean that the similarity of this part of sequences is low relative to each other.

(b): Amplification of plastom flanking regions of different plants using primers designed in this research. 1. Carrot (C); 2. Cotton (G=Gossypium); 3. Tobacco (T); 4. Tomato (S=Solanum); 5. Corn (Z=Zea); Lactuca (Lu); 7. Lemon (Le); 8. Canola (B=Brasica)

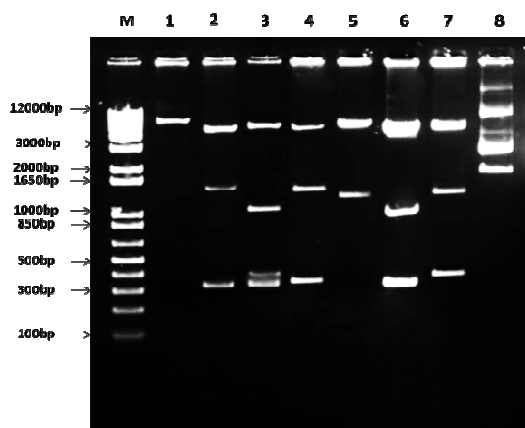
نشان داد که جایگاه شناسایی آنزیم PvuII در تمامی گیاهان مورد بررسی در این ناحیه وجود دارد و در کل ناحیه هدف گیری کننده، منحصر به فرد می‌باشد. بررسی‌های بیشتر از طریق Blast نوکلئوتیدی، حضور و منحصر به فرد بودن این جایگاه را در سایر ژنوم‌های کلروپلاستی موجود در بانک ژن نیز به اثبات رساند. لذا PvuII به عنوان محل مناسبی برای الحاق توالی مورد نظر

آنالیزهای ناحیه هدف گیری کننده کلون شده

بررسی توالی فاصله دوم (Spacer2) ناحیه بین ژنی *trnI/trnA* با طول ۶۴bp در ۵ گیاه توتون، پنبه، گوجه‌فرنگی، هویج و کاهو نشان داد که این ناحیه ۸۳/۱ درصد از توالی نوکلئوتیدی کاملاً یکسان در این گیاهان برخوردار است. سپس ناحیه مذکور از نظر جایگاه‌های آنزیمی محدود کننده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج

توتون، پنبه، هویج و کاهو نشان داد. این جایگاه در گیاهان مذکور در فاصله بین محل طراحی آغازگرهای این تحقیق منحصر به فرد بوده ولی در تمامی ژنومهای کلروپلاستی به صورت حفاظت شده

در مرکز ناحیه هدف گیری کننده شناخته شد. از آنجایی که آنزیم مذکور صاف بر بوده و کلون کردن ژن آن مشکل می باشد، جستجو برای سایر جایگاههای آنزیمی در این ناحیه، حضور جایگاه برشی آنزیم *SphI* را در



شکل ۲- آنالیز هضم آنزیمی حامل های اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای هشت نوع گیاه با آنزیم *BamHI*.

Fig. 2. Enzymatic digestion analysis of plastid vectors that constructed for 8 plants using *BamHI*

M. نشانگر اندازه وزن مولکولی DNA. 1Kb Plus Ladder (Invitrogen)

(۱) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_T*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای توتون (وجود یک جایگاه و خطی شدن پلاسمید با اندازه ۶۸۴۱bp مورد تایید قرار گرفت)؛ (۲) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_G*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای پنبه (سه قطعه مورد انتظار با اندازه های ۵۳۴۸، ۱۵۰۷ و ۳۴۶ جفت بازی را ظاهر نمود)؛ (۳) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_L*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای کاهو (چهار قطعه مورد انتظار با اندازه های ۵۳۲۲، ۱۱۳۰، ۳۷۸ و ۳۴۹ جفت بازی را ظاهر نمود)؛ (۴) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_C*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای هویج (سه قطعه مورد انتظار با اندازه های ۵۱۹۶، ۱۴۴۸ و ۳۷۸ جفت بازی را ظاهر نمود)؛ (۵) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_S*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای گوجه فرنگی (سه قطعه مورد انتظار با اندازه های ۵۳۲۸، ۱۲۵۳ و ۳۷۸ جفت بازی را ظاهر نمود)؛ (۶) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_Z*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای ذرت (سه قطعه مورد انتظار با اندازه های ۵۶۸۴، ۱۱۲۲ و ۳۷۸ جفت بازی را ظاهر نمود)؛ (۷) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_B*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای کلزا (سه باند با اندازه های تقریبی ۵۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۵۰۰ را نشان داد)؛ (۸) پلاسمید نوترکیب *pJET-FR_L*، ناقل اختصاصی کلروپلاستی ساخته شده برای لیموترش (الگوی هضم نشان می دهد که این پلاسمید نوترکیب فاقد جایگاه آنزیمی *BamHI* بوده و پلاسمید برش نخورده است).

M. DNA molecular weight marker, 1Kb Plus Ladder (Invitrogen); 1. Recombinant plasmid *pJET-FR_T*, specific chloroplast vector for Tobacco (appearance of one site and linearization of plasmid 6841bp was confirmed); 2. Recombinant plasmid *pJET-FR_G*, specific chloroplast vector for Cotton (Three expected band, 5348bp, 1507bp and 346bp was appeared); 3. Recombinant plasmid *pJET-FR_L*, specific chloroplast vector for Lettuce (Four expected band, 5322bp, 1130bp, 378bp and 349bp was appeared); 4. Recombinant plasmid *pJET-FR_C*, specific chloroplast vector for Carrot (Three expected band, 5196bp, 1448bp and 378bp was appeared); 5. Recombinant plasmid *pJET-FR_S*, specific chloroplast vector for Carrot (Three expected band, 5328bp, 1253bp and 378bp was appeared); 6. Recombinant plasmid *pJET-FR_Z*, specific chloroplast vector for Maize (Three expected band, 5684bp, 1122bp and 378bp was appeared); 7. Recombinant plasmid *pJET-FR_K*, specific chloroplast vector for Carrot (Three band by length about 5000bp, 1500bp and 500bp was appeared); 8. Recombinant plasmid *pJET-FR_L*, specific chloroplast vector for Lime (Digestion pattern indicates that this recombinant plasmid has no *BamHI* recognition site and plasmid has not digested)

مراحل کلون سازی و استخراج پلاسمید مورد استفاده قرار گرفت، آنزیم *HindIII* بود. این آنزیم که دارای یک جایگاه شناسایی در فرادست محل کلون سازی روی پلاسمید *pJET1.2* می باشد، روی قطعات هدف گیری کننده جدا شده از پلاستوم گیاهان مختلف نیز دارای جایگاه های شناسایی مختلفی است. آنالیز هضم آنزیمی

وجود ندارد. از آنجایی که این آنزیم انتهای چسبنده ایجاد می کند، کلون کردن کاست ژنی مورد نظر در مرکز ناحیه هدف گیری کننده، با استفاده از این جایگاه ساده تر است. یکی از آنزیم هایی که برای آنالیز صحت کلون سازی و کامل بودن قطعه هدف گیری کننده به ژنوم کلروپلاستی در حامل های نوترکیب حاصل پس از انجام

حامل‌های اختصاصی کلروپلاستی ساخته‌شده در این تحقیق برای هشت گیاه مختلف با آنزیم BamHI در شکل ۲ نشان داده شده است. کلون‌سازی و کامل بودن قطعه هدف‌گیری‌کننده به ژنوم کلروپلاستی توتون با مشاهده باندهای ۵۴۶۰، ۸۴۶ و ۵۲۷ جفت باز حاصل از هضم با آنزیم HindIII به اثبات رسید (شکل ۳) و مشخص شد که قطعه FR به صورت همسو در پلاسمید pJET کلون‌سازی شده است این در حالی است که اگر قطعه مذکور به صورت غیرهمسو در پلاسمید pJET کلون می‌گردید، مشاهده باندهای ۳۰۰۴، ۲۹۹۱ و ۸۴۶ جفت بازی مورد انتظار بود. آنالیز با آنزیم مذکور در قطعه هدف‌گیری‌کننده به ژنوم کلروپلاستی ذرت نیز با مشاهده باندهای ۶۶۵۶ و ۵۲۵ جفت باز، حضور قطعه FR را به صورت همسو در پلاسمید نشان داد. در ارتباط با حامل اختصاصی کاهو حضور قطعه FR هم به صورت همسو (کلونی شماره ۱) و هم به شکل غیرهمسو (کلونی شماره ۲) در پلاسمیدهای نو ترکیب حاصل به اثبات رسید. این موضوع با مشاهده باندهای ۲۹۹۱ و ۴۱۸۸ جفت باز در کلونی ۱ و باندهای ۶۶۵۲ و ۵۲۷ جفت باز در کلونی ۲ تأیید گردید.

طراحی نواحی تنظیمی و ژن‌های نشانگر و گزارشگر برای حامل‌های پلاستی

در اتصال توالی‌های تنظیمی چارچوب باز خواندنی (ORF) ژن‌ها حفظ شد و از سویی دیگر جایگاه‌های آنزیم‌های برشی به کار رفته طوری طراحی و انتخاب شدند که اولاً بتوان ژن‌های خارجی موردنظر را به درستی تحت توالی‌های تنظیمی همسانه‌سازی نمود، ثانیاً جداسازی کاست‌های کامل ژنی در صورت نیاز با آنزیم‌های برشی امکان‌پذیر باشد، ثالثاً امکان حذف نشانگرهای آنتی‌بیوتیکی پس از دستیابی به گیاهان تراریخته پیش‌بینی گردد و مهم‌تر از همه اینکه جایگاه‌های آنزیمی در نظر گرفته شده با جایگاه‌های آنزیمی ناقل‌های رایج همسانه‌سازی هماهنگ باشد تا بتوان ژن‌های موردنظر را پس از همسانه‌سازی اولیه در

ناقل‌های *E. coli* به ناقل کلروپلاستی منتقل نمود. طراحی و ساخت حامل کلروپلاستی دارای نشانگر *neo* ادغام شده با زیر واحد بزرگ *atpB* بین توالی‌های *loxP* اکثر حامل‌هایی که برای انتقال ژن به کلروپلاست ساخته می‌شوند دارای ژن *aadA* ایجادکننده مقاومت به استرپتومایسین و اسپکتینومایسین به عنوان نشانگر انتخابی هستند، ولی از آنجایی که rRNAهای پلاستی برخی از گیاهان به طور طبیعی جهش‌هایی دارند که از اتصال اسپکتینومایسین جلوگیری می‌کند و از سویی دیگر نگرانی‌هایی که در ارتباط با مسائل ایمنی زیستی این نشانگر انتخابی وجود دارد (Anonymous, 2004)، لذا در این تحقیق از ژن ثنومایسین فسفو ترانسفراز II (NPTII; APH(3')-II) با نام اختصاری *neo* در ساخت حامل کلروپلاستی استفاده گردید. صحت مراحل کلون‌سازی حامل نو ترکیب حاصل توسط هضم آنزیمی و PCR تأیید گردید (شکل ۴). عملکردی بودن بیان ژن *neo* تغییر یافته، با رشد و تشکیل کلونی باکتری‌های نو ترکیبی که تحت تراریزش با این حامل قرار گرفته بودند روی محیط حاوی ترکیبی از دو آنتی‌بیوتیک آمپی‌سیلین و کانامایسین به اثبات رسید. امکان انتشار ژن نشانگر *neo* از طریق دانه گرده در انتقال ژن به کلروپلاست وجود نداشته و این نشانگر از نظر ایمنی زیستی مورد تأیید می‌باشد ولی با این حال امکان حذف ژن نشانگر مذکور پس از تولید گیاهان تراپلاستی توسط آنزیم ریکامیناز Cre که توالی‌های *loxP* را شناسایی می‌کند امکان‌پذیر خواهد بود.

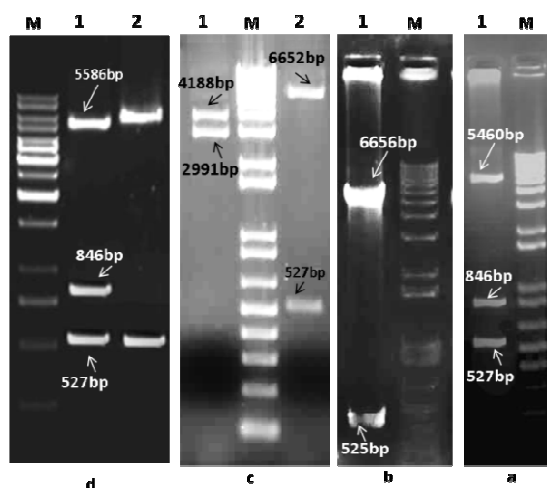
استفاده از پیش‌بر باکتریایی *groE* برای بیان القایی یا مختص بافت ژن‌های موردنظر

از آنجایی که تاکنون هیچ پروموتور مناسب اختصاصی به بافت و یا القایی که قادر به بیان در کلروپلاست باشد شناخته نشده است، در این تحقیق تلاش شد تا ناقل‌های کلروپلاستی طوری طراحی و ساخته شوند که با دربرداشتن توالی‌های تنظیمی مناسب بتوان بیان ژن موردنظر را در یک مرحله اختصاصی از

نمو یا در یک بافت خاص گیاهی و یا به صورت القایی امکان پذیر نمود. بدین منظور از پیشبر شوک حرارتی *groE* باکتری *E. coli* که توسط آنزیم RNA پلیمراز پلاستییدی شناسایی نمی شود، استفاده گردید. شکل ۴ نتایج کلون سازی را نشان می دهند. اثبات عملکردی بودن بیان ژن تحت پیشبر *groE* در این حامل نو ترکیب، با مشاهده باکتری های حاوی ژن مربوط به پروتئین فلورسنت سبز زیر میکروسکوپ اپی فلورسنت پس از القای بیان با اعمال شوک حرارتی به اثبات رسید.

طراحی و ساخت حامل بیانی کلروپلاستی دارای کاست ژنی کلروپلاستی *neo* و کاست ژنی القایی *gfp* هضم آنزیمی پلاسمید pNGi که در آن ژن *neo* تحت پیشبر و پایابر کلروپلاستی *psbA* و ژن *gfp* تحت

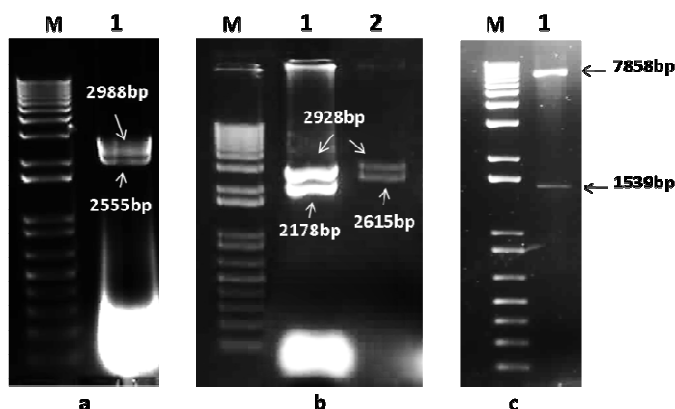
نواحی تنظیمی القایی باکتریایی قرار دارد با آنزیم *BglIII* دو باند مورد انتظار ۲۹۲۸ و ۲۶۱۵ جفت بازی را ظاهر نمود (شکل ۴-ب). سپس کاست ژنی کامل *neogfpi* با استفاده از جایگاه آنزیم *SphI* (شکل ۴-الف) که در دو سوی این قطعه با استفاده از دنباله آغازگری اضافه گردیده بود جدا و در مرکز ناحیه FR کلون سازی گردید (شکل های ۵ و ۶). هضم آنزیمی پلاسمید نو ترکیب پلاستییدی حاصل با آنزیم *BamHI* صحت کلون سازی را تأیید نمود (شکل ۴-ج). ظهور باند ۲۳۰۳ جفت بازی در واکنش PCR با آغازگرهای *FRi R* و *GFP R* و عدم تکثیر توسط آغازگرهای *FRi F* و *GFP R* نشان دهنده آن بود که نواحی ژنی به همراه نواحی تنظیمی به صورت غیرهمسو وارد ناحیه هدف گیری کننده پلاستییدی



شکل ۳- آنالیز هضم آنزیمی با آنزیم *HindIII*، به منظور آنالیز حضور و صحت قطعه FR در حامل های اختصاصی پلاستییدی ساخته شده برای گیاهان توتون، ذرت، کاهو، کلزا و گوجه فرنگی

Fig. 3. Enzymatic Digestion analysis using *HindIII*, in order to analysis of present and accuracy of FR fragment in specific plastid vectors that constructed for tobacco, maize, lettuce, canola and tomato

a: M. نشانگر اندازه وزن مولکولی DNA، (Invitrogen) 1Kb Plus Ladder، ۱. pJET-FR_T (قطعه FR در جهت همسو با MCS ناقل کلون شده است)؛ b: M. نشانگر اندازه وزن مولکولی DNA، (Invitrogen) 1Kb Plus Ladder، ۱. pJET-FR_Z (قطعه FR در جهت همسو کلون شده است)؛ c: M. نشانگر اندازه وزن مولکولی DNA، (Invitrogen) 1Kb Plus Ladder، ۱. pJET-FR_{L1} (قطعه FR در جهت همسو کلون شده است)؛ d: M. نشانگر اندازه وزن مولکولی DNA، (Fermentas) 1Kb Ladder، ۱. pJET-FR_S (قطعه FR در جهت همسو کلون شده است)؛ ۲. pJET-FR (FR fragment was cloned in direct side)؛ ۱. pJET-FR_{L2} (FR fragment was cloned in indirect side)؛ ۲. pJET-FR (FR fragment was cloned in direct side)

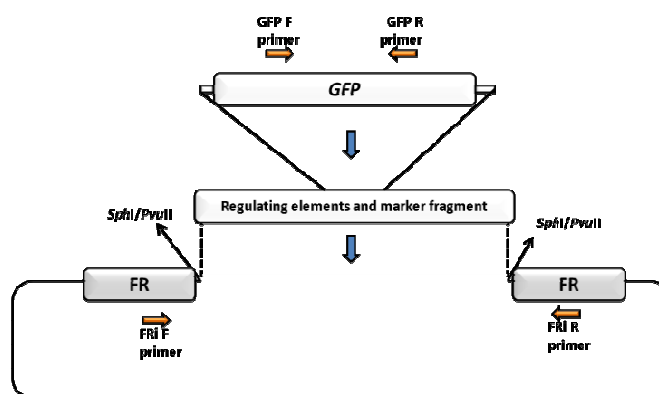


شکل ۴- آنالیزهای هضم آنزیمی پلاسمیدهای نو ترکیب pNGi، pNG و pFNGi به منظور تأیید صحت کلون‌سازی
Fig. 4. Enzymatic digestion analysis of recombinant pNGi, pNG and pFNGi in order to accuracy of cloning

M. نشانگر اندازه وزن مولکولی DNA، 1Kb Plus Ladder (Invitrogen)

a: هضم آنزیمی پلاسمید pNGi دارای کاست کلروپلاستی ژن *neo* و کاست القایی ژن *gfp* با استفاده از آنزیم *SphI* جایگاه آنزیم *SphI* در دو سوی این قطعه با استفاده از دنباله پرایمری الحاق گردیده بود تا امکان جداسازی کاست کامل این دو ژن و کلون‌سازی آن در مرکز ناحیه FR امکان‌پذیر گردد. قطعات مورد انتظار ۲۹۸۸ و ۲۵۵۵ جفت بازی ظاهر شدند و در نهایت قطعه ۲۵۵۵ جفت بازی از روی ژل آگارز جدا و خالص‌سازی گردید. b: آنالیز هضم آنزیمی پلاسمیدهای نو ترکیب pNG و pNGi با آنزیم *BglII* به منظور اثبات ایجاد حالت پلی‌سیسترونی ژن‌های *neo* و *gfp* در پلاسمید pNG. ۱. هضم آنزیمی پلاسمید نو ترکیب pNG با آنزیم *BglII* و ۲. هضم آنزیمی پلاسمید نو ترکیب pNGi با آنزیم *BglII*؛ c: هضم آنزیمی پلاسمید نو ترکیب پلاستییدی pFNGi با آنزیم *BamHI*

M. DNA molecular weight marker, 1Kb Plus Ladder (Invitrogen); a. Enzymatic digestion of pNGi plasmid harboring chloroplast *neo* gene cassette and inducible cassette of *gfp* using *SphI* enzyme. *SphI* recognition site have been added using primer tail for after isolation of whole cassette and its cloning in the center of FR. Expected 2988bp and 2555bp band was appeared and finally 2555bp fragment was isolated from agarose gel. b. Enzymatic digestion analysis of pNG and pNGi recombinant plasmids using *BglII* in order to verify polycistronic placing of *neo* and *gfp* genes in pNG plasmid. 1. Enzymatic digestion of pNG recombinant plasmid using *BglII*, 2. Enzymatic digestion of pNGi recombinant plasmid using *BglII*. C. Enzymatic digestion of pFNGi recombinant plasmid using *BamHI*.



شکل ۵- نمای شماتیک کلون‌سازی ناحیه هدف گیری‌کننده به ژنوم پلاستییدی (FR) در حامل pJET و ورود نواحی تنظیمی و

ژن گزارشگر به مرکز پلاسمید نو ترکیب pJET-FR و ساخت حامل‌های اختصاصی پلاستییدی

Fig. 5. Schematic view of cloning of plasmid flanking region (FR) in pJET vector and introduction of regulation regions and reporter gene into the center of recombinant pJET-FR plasmid and construction of specific plasmid vector

مراحل کلون سازی حامل نو ترکیب حاصل توسط هضم آنزیمی و PCR تأیید گردید (شکل ۴). آنالیز پلاسمید pFNG توسط واکنش زنجیره ای پلیمرز با پرایمرهای FRi F و *gfpR*. با ظهور قطعه ۲۱۸۰ جفت باز نشان داد که قطعه پلی سیسترونی *neogfp* به صورت همسو وارد پلاسمید pJET1.2 شده است. حامل های پلاستییدی حاصل موسوم به pFNGi و pFNG مناسب برای انتقال ژن به کلروپلاست بوده و به ترتیب با جایگزینی ژن های دلخواه به جای *gfp* در آنها می توان بر حسب نیاز، پروتئین مورد نظر را به صورت القایی و غیرالقایی در پلاستیدها بیان نمود.

استفاده از ژن نشانگر غیر آنتی یوتیکی بتائین آلدهید دهیدروژناز در طراحی حامل پلاستییدی

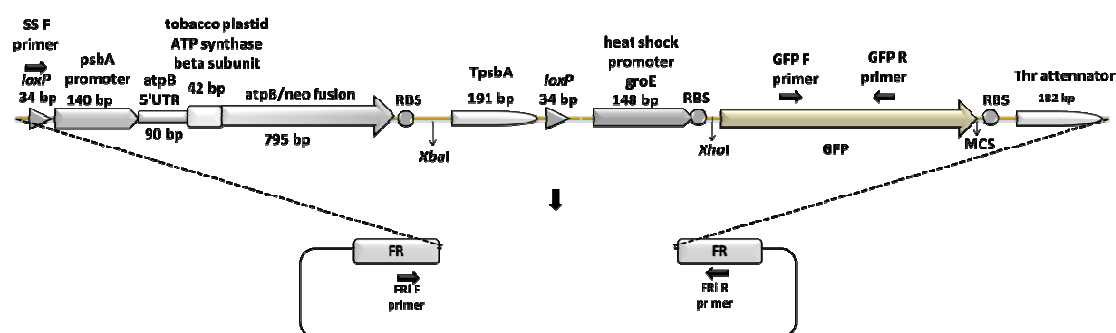
ژن بتائین آلدهید دهیدروژناز (BADH) به عنوان یک نشانگر غیر آنتی یوتیکی برای استفاده در ناقل های پلاستییدی طراحی شده در این تحقیق در نظر گرفته شد (شکل ۷). توالی حاصل پس از بهینه سازی و تغییرات توالی (حذف جایگاه های شناسایی آنزیم های *PvuII*، *XbaI*، *AflIII*، *EcoRI*، *HindIII* و *EcoRV*) به همراه توالی اولیه آن به اسید آمینه ترجمه و هم ردیف گردیدند و صحت عدم تغییرات توالی پروتئین در اثر دستکاری توالی نوکلئوتیدی تأیید گردد.

در این تحقیق توالی حفاظت شده بین ژنی 16SrRNA/23SrRNA اختصاصی ژنوم به چند دلیل انتخاب شد: قرار داشتن در ناحیه تکرار معکوس کلروپلاستی که باعث می شود در هر ptDNA دو نسخه

گردیده اند. بیان پروتئین فلورسنت سبز در پلاسمید نو ترکیب حاصل موسوم به pNGi پس از ایجاد شوک حرارتی باکتری های نو ترکیبی که با این پلاسمید تراریزش شده بودند در ۴۲ درجه سانتیگراد و زیر میکروسکوپ اپی فلورسنت به اثبات رسید. از حامل پلاسمیدی نو ترکیب حاصل موسوم به pFNGi می توان برای کلون کردن ژن های دلخواه و انتقال ژن به پلاستیدهای گیاهی استفاده نمود. بیان ژن هایی که بدین صورت به پلاستیدها منتقل می شوند با انتقال ژن سیگما فاکتور هیبرید گیاه/باکتری تحت پیشبر مختص بافت یا القایی به هسته گیاه میسر خواهد گردید.

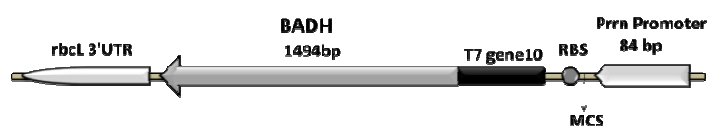
بیان پلی سیسترونی پروتئین فلورسنت سبز تحت پروموتور کلروپلاستی در باکتری نو ترکیب

با حذف پایانبر *psbA* و پیشبر *groE* توسط هضم ناقص با آنزیم های *XhoI* و *XbaI* ۴۳۷ جفت باز از پلاسمید pNGi خارج و پس از حلقوی ساختن مجدد حامل، پلاسمید نو ترکیب pNG حاصل گردید. در این حامل ژن *gfp* به صورت پلی سیسترونی پس از ژن *neo* قرار گرفته است. هضم آنزیمی پلاسمید pNG با آنزیم *BglIII* نیز دو باند مورد انتظار ۲۹۲۸ و ۲۱۷۸ جفت بازی را نشان داد که صحت کلون سازی را تأیید می نمود (شکل ۴-ب). عملکردی بودن بیان پروتئین به صورت پلی سیسترونی و تحت RBS کلروپلاستی در این حامل نو ترکیب با مشاهده پروتئین فلورسنت سبز زیر میکروسکوپ اپی فلورسنت اثبات گردید. سپس در مرکز توالی هدف گیری کننده قرار داده شد. صحت



شکل ۶- نمای شماتیک حامل پلاسمیدی نو ترکیب pFNGi

Fig. 6. Schematic view of recombinant pFNGi



شکل ۷- نمای شماتیک کاست ژنی طراحی شده برای نشانگر انتخابی غیرآنتی‌بیوتیکی بتائین آلدهید دِهیدروژناز (BADH)
Fig. 7. Schematic view of designed cassette gene for non-antibiotic betaine aldehyde dehydrogenase (BADH) selectable marker gene

جداسازی توالی‌های اختصاصی ژنوم کلروپلاستی گونه‌های مهم گیاهی و همسانه‌سازی این توالی‌ها برای ساخت حامل کلروپلاستی خاص گونه که در این تحقیق انجام گرفت نیازنظار می‌رود با افزایش کارایی نوترکیبی همولوگ و الحاق تراژن همراه بوده و بتواند کارایی تراریزش پلاستی‌دی خاص گونه را به میزان زیادی افزایش دهد.

در تحقیقات گذشته حامل‌های طراحی‌شده برای تراریزش ژنوم پلاستی‌دی توتون با موفقیت برای انتقال ژن به پلاستید سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی استفاده شدند، زیرا توالی‌های مجاور همولوگ موجود در این حامل‌ها همولوژی کافی با توالی‌های مربوط به ژنوم پلاستی‌دی سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی نشان دادند، اما بازده تراریزش به طور معنی‌داری از توتون کمتر بود (Ruf et al., 2001; Sidorov et al., 1999). برای مثال فقط یک لاین تراریخته کلروپلاستی سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی به ترتیب از ۳۵ و ۸۵ پلیت بمباران شده به دست آمد. در حالی که حدود ۱۵ لاین تراریخته کلروپلاستی توتون، اغلب از یک پلیت بمباران شده تولید می‌شود (Dufourmantel et al., 2004). علاوه بر این موارد، در تحقیق دیگری نیز کم‌شدن کارایی تراریزش وقتی مشاهده شد که توالی‌های مجاور پتونیا (که تقریباً دارای ۹۸ درصد شباهت با توالی توتون بودند) برای تراریزش ژنوم پلاستید توتون استفاده گردید (DeGray et al., 2001). مقایسه ناحیه جداگر بین ژنی در میان اعضای خانواده سولاناسه نشان داد که فقط در ۴ ناحیه مشابه هستند (Daniell, 2006). مقایسه نواحی بین ژنی

از ژن موردنظر الحاق شود؛ در برداشتن *ori* کلروپلاستی که باعث می‌شود پلاسمید حاوی ژن تا زمانی که بتواند ژن موردنظر را در ژنوم کلروپلاستی الحاق کند در ژنوم حفظ شود؛ حفاظت‌شدگی زیاد توالی در بین گیاهان مختلف و وجود جایگاه‌های آنزیمی منحصر به فرد و حفاظت‌شده، در وسط این توالی، به منظور کلون کردن ژن موردنظر. پیشنهاد یک حامل همگانی (Universal vector) که ژن‌های *tmIatmA* از ناحیه IR ژنوم کلروپلاستی توتون را به عنوان توالی‌های مجاور به منظور نوترکیبی همولوگ شامل شود و استفاده از آن برای انتقال ژن به ژنوم کلروپلاستی گونه‌های گیاهی دیگر (که توالی ژنوم پلاستی‌دی آنها تعیین نشده است) چندین سال پیش پیشنهاد گردید (Daniell et al., 1998). در این تحقیق میزان همولوژی نواحی موردنظر برای هدف‌گیری ژن به ژنوم کلروپلاستی گیاهان مختلف با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. این مقایسات نشان داد که علی‌رغم شباهت بالای این قطعات، تفاوت‌های زیادی نیز قابل مشاهده است. با توجه به اینکه وجود شباهت صد در صدی توالی کلروپلاستی مورد استفاده در حامل، در بالا رفتن کارایی انتقال ژن، تأثیر به سزایی دارد و علت آن نیز بالا رفتن ایجاد نوترکیبی همولوگ برای ورود قطعات به داخل ژنوم کلروپلاستی می‌باشد، بنابراین علاوه بر اینکه حامل‌های پلاسمیدی ساخته‌شده در این تحقیق، به دلیل دارا بودن توالی حفاظت‌شده بین ژنی، قابل استفاده برای انتقال ژن به کلروپلاست دامنۀ گسترده‌ای از گیاهان، از دو لپه تا تک لپه می‌باشند،

نگردید.

استفاده از نشانگر *badh* در حامل کلروپلاستی طراحی شده در این تحقیق قادر است علاوه بر اینکه نگرانی‌های ایمنی زیستی نشانگرهای آنتی بیوتیکی را کاهش دهد، در گیاهانی که این ژن را دریافت می‌کنند صفت مقاومت به شوری، خشکی و سرما را نیز ایجاد نماید. مراحل انتخاب شامل تبدیل بتائین آلدئید (BA) سمی، توسط آنزیم BADH به گلايسين بتائين غير سمی است که به عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی نیز عمل می‌کند. دانیل و همکاران (Daniell et al., 2001) گزارش کرده بودند که تکثیر سریع گیاهان حاصل از کلروپلاست تراریخت، تحت انتخاب BA و کارایی بالای تراریزش که ۲۵ برابر بالاتر از زمانی بود که اسپکتینومایسین به عنوان نشانگر استفاده می‌شد، از جمله مزایای استفاده از BADH به عنوان ژن نشانگر گزینش گر می‌باشد (Daniell et al., 2001a; Daniell et al., 2001b).

از سوی دیگر در این تحقیق با افزودن نواحی تنظیمی مختلف شامل پیشبرها و پایانبرهای دائمی کلروپلاستی (*rbcl psbA rrn*) و القایی (*groE*)، نواحی بدون ترجمه یا UTRهای مناسب، نواحی اتصال ریبوزوم پلاستی، جایگاه‌های آنزیمی مناسب ورود ژن برای بیان انفرادی و یا پلی سیستمی، ژن‌های گزارشگر و ژن‌های نشانگر انتخابی آنتی بیوتیکی و غیر آنتی بیوتیکی و توالی‌هایی برای حذف ژن نشانگر پس از انتقال ژن، تلاش شد تا انواع مختلفی از حامل‌های کلروپلاستی ساخته شوند تا بتوان بیان هر ژن خارجی را به طور دلخواه در ژنوم‌های پلاستی گیاهان مختلف به صورت کارا امکان پذیر نمود. بدین ترتیب به نظر می‌رسد که در این تحقیق راه برای تهیه حامل‌های پلاستی اختصاصی و دارای کارایی بالا برای هر گونه گیاهی هموار شده باشد که راه را برای مهندسی پلاستید گیاهان باز خواهد نمود. حامل‌های pFNGi و pFNG ساخته شده در این تحقیق مناسب

ژنوم‌های کلروپلاستی گندمیان نیز ثابت کرد که حتی یک ناحیه بین ژنی منفرد نیز در میان ژنوم‌های کلروپلاستی توالی‌یابی شده، مشابه نیست (Saski et al., 2007)، بنابراین مفهوم یک حامل همگانی وقتی کاربردی است که سطح بالایی از همولوژی در میان گونه‌های گیاهی موجود باشد، اما دارای کارایی کمتری نسبت به حامل‌های کلروپلاستی مختص گونه خواهد بود. نتایج تحقیقات مذکور نشان دادند که فقدان همولوژی کامل می‌تواند کارایی انتقال ژن را به میزان زیادی کاهش دهد، لذا این تحقیق با جداسازی ناحیه هدف گیری کننده به کلروپلاست گیاهان مختلف و تنها با یک جفت آغازگر با جایگاه حفاظت شده اتصال در پلاستوم گیاهان مختلف راه را برای ساخت حامل‌های کلروپلاستی مختص گونه هموار نموده است و مشکل استفاده از حامل‌های عمومی را که با کاهش کارایی انتقال ژن همراه است را برطرف خواهد نمود.

در این تحقیق با استفاده از آنالیزهای بیوانفورماتیکی ژنوم‌های پلاستی موجود در بانک‌های اطلاعاتی، یک جفت آغازگر طوری برای جداسازی ناحیه هدف گیری کننده به پلاستوم طراحی شد که دارای شباهت صد در صدی در تمامی پلاستوم‌های گیاهی توالی‌یابی شده موجود در بانک ژن باشد، لذا انتظار بر این است که بتوان با موفقیت از این جفت آغازگر برای جداسازی ناحیه هدف گیری کننده به پلاستوم سایر گیاهانی که توالی ژنوم پلاستی آنها در دسترس نیست نیز استفاده نمود، به طوری که با استفاده از این آغازگرها ناحیه مذکور از کلزا و لیموترش که توالی ژنوم کلروپلاستی آنها در بانک ژن موجود نبود، جداسازی و کلون شد. این آغازگرها حتی برای چند گیاه دیگر نیز مورد آزمایش قرار گرفت (از جمله درختچه زینتی ملچ) و در تمامی موارد ناحیه مذکور با موفقیت تکثیر گردید، ولی با توجه به اینکه در حال حاضر ساخت حامل کلروپلاستی برای آنها مدنظر نبود، تحت کلون‌سازی قرار نگرفته و اطلاعات آنها نیز ارائه

می‌کند که می‌توان از آن به عنوان یک روش کارآمد و سازگار با مسائل زیست محیطی، برای ایجاد صفات با ارزش زراعی و نیز استفاده از گیاهان به عنوان بیوراکتورهایی مناسب برای تولید پروتئینهای درمانی، واکسن‌ها و مواد زیستی، استفاده نمود.

سپاسگزاری

از پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی کرج که هزینه و امکانات این تحقیق را فراهم نمودند، سپاسگزاری می‌شود.

برای انتقال ژن به کلروپلاست بوده و به ترتیب با جایگزینی ژن‌های دلخواه به جای *gfp* در آنها می‌توان بر حسب نیاز، پروتئین موردنظر را به صورت القایی و غیرالقایی در پلاستیدها بیان نمود. اگر بیان مختص بافت پروتئین نو ترکیب مدنظر باشد، می‌توان پیشبر *groE* را در *pFNGi* با پیشبر مختص بافت دلخواه جایگزین نمود. مهندسی ژنتیک کلروپلاست، نوید بزرگی برای بیوتکنولوژی گیاهی است. پیشرفت‌های اخیر انتقال ژن به پلاستید، فناوری مهندسی پلاستید را به عنوان گزینه‌ای جایگزین برای تراریزش هسته‌ای مطرح

References

منابع مورد استفاده

- Clarke, J. L., H. Daniell. 2011. Plastid biotechnology for crop production: present status and future perspectives. *Plant Mol. Biol.* 77(1-2): 203.
- Daniell, H. 2006. Production of biopharmaceuticals and vaccines in plants via the chloroplast genome. *Biotech. J.* 1: 1071–1079.
- Daniell, H., R. Datta, S. Varma, S. Gray and S. B. Lee. 1998. Containment of herbicide resistance through genetic engineering of the chloroplast genome. *Natur. Biotechnol.* 16: 345–348.
- Daniell, H. 2002. Molecular strategies for gene containment in transgenic crops. *Natur. Biotechnol.* 20: 581–586.
- Daniell, H. and A. Dhingra. 2002. Multigene engineering: Dawn of an exciting new era in biotechnology. *Curr. Opinion Biotechnol.* 13(2): 136–141.
- Daniell, H., M. Khan and L. Allison. 2002. Milestones in chloroplast genetic engineering: An environmentally friendly era in biotechnology. *Trends Plant Sci.* 7(2): 84–91.
- Daniell, H., B. Muthukumar and S. B. Lee. 2001a. Marker free transgenic plants: Engineering the chloroplast genome without the use of antibiotic selection. *Curr. Genet.* 39: 109–116.
- Daniell, H., P. Wiebeand, A. Fernandez-San Millan. 2001b. Antibiotic-free chloroplast genetic engineering—an environmentally friendly approach. *Trends Plant Sci.* 6: 237–239.
- De Cosa, B., W. Moar, S. B. Lee, M. Miller and H. Daniell. 2001. Overexpression of the Bt cry2Aa2 operon in chloroplasts leads to formation of insecticidal crystals. *Natur. Biotechnol.* 19: 71–74.
- DeGray, G., K. Rajasekaran, F. Smith., J. Sanford and H. Daniell. 2001. Expression of an antimicrobial peptide via the chloroplast genome to control phytopathogenic bacteria and fungi. *Plant Physiol.* 127: 852–862.
- Dufourmantel, N., B. Pelissier, F. Garcon., J. M. Peltier and G. Tissot. 2004. Generation of fertile transplastomic soybean. *Plant Mol. Biol.* 55(4): 479– 89.

- Kumar, S., A. Dhingra and H. Daniell. 2004a.** Plastid expressed betaine aldehyde dehydrogenase gene in carrot cultured cells, roots and leaves confers enhanced salt tolerance. *Plant Physiol.* 136(1): 2843–2854.
- Kumar, S., A. Dhingra and H. Daniell. 2004b.** Manipulation of gene expression facilitates cotton plastid transformation of cotton by somatic embryogenesis and maternal inheritance of transgenes. *Plant Mol. Biol.* 56(2): 203–216.
- Lee, S. B., H. B. Kwon., S. J. Kwon., S. C. Park, M. J. Jeong, S. E. Han and H. Daniell. 2003.** Accumulation of trehalose within transgenic chloroplasts confers drought tolerance. *Mol. Breed.* 11: 1–13.
- Maliga, P. 2003.** Progress towards commercialization of plastid transformation technology. *Trends Biotechnol.* 21: 21-28.
- Maliga, P. 2004.** Plastid transformation in higher plants. *Ann. Rev. Plant Biol.* 55:289-313.
- Maliga, P. 2005.** New vectors and marker excision systems mark progress in engineering the plastid genome of higher plants. *Photochem. Photobiol. Sci.* 4: 971-976.
- Monde, R. A., J. C. Greene and D. B. Stern. 2000.** The sequence and secondary structure of the 3'-UTR affect 30-end maturation. RNA accumulation and translation in tobacco chloroplasts. *Plant Mol. Biol.* 44: 529–542.
- Ruf, S., M. Hermann, I. J. Berger, H. Carrer and R. Bock. 2001.** Stable genetic transformation of tomato plastids and expression of a foreign protein in fruit. *Natur. Biotechnol.* 19: 870–875.
- Ruhlman, T., D. Verma, N. Samson and H. Daniell. 2010.** The role of heterologous chloroplast sequence elements in transgene integration and expression. *Plant Physiol.* 152: 2088–2104.
- Ruiz, O. N., H. Hussein, N. Terry and H. Daniell. 2003.** Phytoremediation of organomercurial compounds via chloroplast genetic engineering. *Plant Physiol.* 132: 1344–1352.
- Sambrook, J. and D. W. Russel. 2001.** *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, 3rd Ed. Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York, USA.
- Saski, C., S. B. Lee, S. Fjellheim, C. Guda, R. K. Jansen, H. Luo, J. Tomkins, O. A. Rognli, H. Daniell and J. L. Clarke. 2007.** Complete chloroplast genome sequences of *Hordeum vulgare*, *Sorghum bicolor* and *Agrostis stolonifera* and comparative analyses with other grass genomes. *Theor. Appl. Genet.* 115: 571–590.
- Sidorov, V. A., D. Kasten, S. Z. Pang, P. T. J. Hajdukiewicz, J. M. Staub and N. S. Nehra. 1999.** Stable chloroplast transformation in potato: use of green fluorescent protein as a plastid marker. *Plant J.* 19: 209–216.
- Anonymous. 2004.** Opinion of the scientific panel on Genetically Modified Organisms on the use of antibiotic resistance genes as marker genes in genetically modified plants (Question N° EFSA-Q-2003-109). *The EFSA J.* 48: 1-18.
- Tombolini, R. and J. K. Jansson. 1998.** Monitoring of GFP-Tagged Bacterial Cells. In: LaRossa R. A. *Bioluminescence Methods and Protocols*, Humana Press, 285-298.
- Verma, D. and H. Daniell. 2007.** Chloroplast vector systems for biotechnology applications. *Plant Physiol.* 145: 1129-1143.

Designing and construction of specific plasmid constructs for targeted plastome transformation

Mohsenpour, M¹, M. Tohidfar² and N. A. Babaian-Jelodar³

ABSTRACT

Mohsenpour, M., M. Tohidfar and N. A. Babaian-Jelodar. 2012. Designing and construction of specific plasmid constructs for targeted plastome transformation. **Iranian Journal of Crop Sciences. 14(3): 218-234. (In Persian).**

Integration of foreign genes into plastid genomes occur through homologous recombination between flanking sequences of gene in plastid vectors. In this study, by analysis of plastid genomes using bioinformatics databases, we succeed to select a region of plastome as alien gene targeting sequence including the appropriate length for homologous recombination and integration in plastome, specific plastid origin of replication, targeting gene to inverted repeat region of plastid genome and unique restriction enzymes recognition sites in the center of flanking region sequences for alien gene integration. Since similarity (%) of the flanking region sequences would increase transformation efficiency of plastome dramatically, therefore, a pair of primers was designed to isolate the plastome flanking regions. These primers were 100% similar to all plant plastomes, but the length and sequence of their amplified fragments were variable in different plant plastomes. Flanking region sequence from tobacco, cotton, corn, lettuce, tomato, carrot, and even the canola and lemon plastomes that still their plastome sequences are not available in Gene Bank were isolated and cloned. The accuracy of cloning, present and direction of flanking regions fragment from different plant plastomes were confirmed by enzymatic digestion analysis using *HindIII* and *BamHI*. Then different types of chloroplastid vectors using different regulation elements were constructed. The regulation elements that could be used for efficient expression of any alien genes in different plastids were including plastid constitutive or inducing promoters and terminators, suitable untranslated regions, Ribosome binding sites of plastid, suitable restriction enzyme recognition sites for cloning and expression of desired gene in single or polycistronic status, reporter genes, antibiotic or non-antibiotic markers and sequences for removing of marker gene. These recombinant chloroplast plasmids including pFNGi and pFNG can be used as universal and specific vectors for chloroplast transformation. Thus, in this study we succeeded to design the high efficient and specific plastid vectors, not only for plants which their plastomes were completely sequenced, but also for other plant species that there is not any sequence of their plastomes available in databanks.

Keywords: Plastome, Specific chloroplastic vectors and Transformation.

Received: November, 2011 Accepted: April, 2012

1- Ph.D. in Plant Breeding, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran
(Corresponding author) (Email: mthrh@yaho.com)

2- Assistant Prof., Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran

3- Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran