

اگر و اینفیلتریشن روشی مناسب برای آزمون‌های سریع ارزیابی سیستم‌های تظاهر ژن در لوبیا

Agroinfiltration as a technique for rapid assays for evaluating gene expression systems in common bean

زهرا مظفری^{۱*}، ندا میرآخورلی^۲، بهروز شیران^۳، محمود خدامباشی^۴

۱، ۲، ۳، ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیاران گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی دانشکده کشاورزی،
دانشگاه شهرکرد

Mozafari Z^{*1}, Mirakhorli N², Shiran B³, Khodambashi M⁴

1,2,3,4. MSc Student, Assistant Professor and Associate Professors, Faculty of Agriculture,
Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Mozafarizahra71@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۹۱/۱/۲۰ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۲۹)

چکیده

بیان موقت ژن‌ها اغلب به منظور ارزیابی بیان سازه‌ها و یا تست فعالیت یک پروتئین نو ترکیب پیش از در نظر گرفتن اهداف بلند مدت برای گیاهان تراریخته به کار می‌رود. بیان موقت به واسطه اگر و باکتریوم (اگر و اینفیلتریشن) ابزاری با ارزش برای مطالعه بیان ژن خارجی، بررسی عملکرد سیستم‌های بیانی و راه‌اندازها و تولید پروتئین‌های با ارزش در گیاهان می‌باشد. با نفوذ سلول‌های اگر و باکتریوم حامل سازه‌های ژن هدف به داخل برگ‌های سالم لوبیا که هنوز به گیاه مادر متصل هستند، بیان موقت طی سه روز و بدون نیاز به وسایل گران قیمت و یا روش‌های پیچیده انجام می‌شود و پروتئین مورد نظر را تولید می‌کند. در این مطالعه سه سیستم مختلف بیان ژن شامل ترکیباتی از عناصر مختلف تنظیم کننده بیان ژن از طریق تزریق سوسپانسیون اگر و باکتریوم، حامل ترکیبات پلاسمیدی سیستم‌های مورد نظر، به داخل برگ‌های گیاه لوبیا انتقال داده شد. بعد از سه روز میزان پروتئین محلول در برگ اندازه‌گیری شده، آزمون مقایسه میانگین‌ها انجام شد. این تحقیق به منظور ارزیابی سیستم‌های بیانی پیشنهادی در گیاه لوبیا با استفاده از تکنیک اگر و اینفیلتریشن برای انتخاب بهترین سیستم جهت انتقال ژن نو ترکیب به گیاه لوبیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین میزان تولید پروتئین از بین سه سیستم بیانی که سبب ترشح پروتئین در منطقه آپوپلاست، سیتوپلاسم و شبکه آندوپلاسمی می‌شوند مربوط به سیستمی است که سبب انتقال و تجمع پروتئین در شبکه آندوپلاسمی شده است. همچنین کارایی تراریختی با استفاده از این روش، ۵۰-۲۴ درصد محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی

اگر و باکتریوم،
بیان موقت،
ژن،
سیستم تظاهر ژن،
لوبیا

مقدمه

تولید گیاهان تراریخته با اهداف مختلفی مانند بهبود عملکرد و کیفیت، ایجاد مقاومت به آفات و بیماری‌ها و غیره صورت می‌گیرد. از مشکلات تولید گیاهان تراریخته عدم بیان مناسب ژن در گیاه است که بستگی به سیستم‌های بیان آن دارد. از آنجا که یک ژن می‌تواند در سیستم‌های گوناگونی بیان شود، بنابراین تعیین سیستمی با بیشترین بازده تولید پروتئین امری ضروری است. جهت توسعه سیستمی با کارایی بالا در بیان پروتئین‌های نوترکیب در گیاهان تراریخته به عناصر تنظیم کننده بیان ژن نیاز است که علاوه بر کنترل رونویسی و ترجمه، جایگاه ساخت پروتئین نوترکیب در سلول نیز کنترل شود. استراتژی‌های کنترل بیان ژن و ترجمه پروتئین در گیاهان نقش مهمی را در تعیین عملکرد کلی پروتئین‌های نوترکیب ایفا می‌کنند اما در عین حال تاکید زیادی بر روی مباحثی مانند ایمنی زیستی و صحت فرآورده وجود دارد از این رو برای دستیابی به عملکرد بالا، تمامی مراحل بیان ژن، از جمله رونویسی، پایداری mRNA، فرآوری mRNA، سنتز پروتئین، تغییرات پروتئین، تجمع پروتئین و پایداری پروتئین باید بهینه‌سازی شوند. از آنجا که سازه‌های بیانی به صورت ساختارهای شیمیری هستند که در آن‌ها ژن تراریخته می‌تواند به وسیله عناصر تنظیمی مختلفی کنترل شود، انتخاب صحیح این عناصر تنظیمی از مباحث مهم در تولید گیاهان تراریخته می‌باشد. مهمترین جنبه طراحی یک سازه بیانی، راه انداز مورد استفاده برای تحریک بیان ژن تراریخته است. در گیاهان دولپه‌ای، راه انداز 35S ویروس موزاییک گل کلم (CaMV) از آنجا که قوی و عمومی بوده و بیان زیاد ژن تراریخته را در اندام‌های مربوطه تحریک می‌نماید، رایج‌ترین انتخاب است. عامل مهم دیگر در بیان بالای ژن، سیگنال قوی پلی‌آدنیلایسون می‌باشد که جهت پایداری نسخه‌های رونویسی شده با راه انداز CaMV 35S و خاتمه‌دهنده ژن NOS مناسب می‌باشد (Sunil Kumar et al. 2003; Fischer et al. 2004). یکی دیگر از ملاحظات مهم برای بهبود عملکرد پروتئین، هدایت نمودن پروتئین‌ها به داخل اجزای سلولی مناسب است، از این رو پپتیدهای راهنمای متعددی برای هدایت پروتئین‌ها به سمت مسیر ترشحی مورد نظر، استفاده می‌شود.

از آنجا که انتقال ژن و باززایی بیشتر گیاهان عالی پرزحمت، زمان‌بر و گران قیمت است (Trieu et al. 2000) همچنین سطح بیان ژن در گیاهان تراریخته از یک گیاه به گیاه دیگر تفاوت دارد و اغلب پدیده خاموشی ژن به علت اثر مکانی ژن انتقال داده شده در گیاهان تراریخته اتفاق می‌افتد (Wroblewski et al. 2005)، آزمون‌های موقت به عنوان یک چاره مناسب در تجزیه تراریختی پایدار به کار می‌رود و امکان بررسی بیان و عملکرد برخی از ژن‌ها را طی چند روز فراهم می‌نماید. از جمله این آزمون‌ها روش بیان موقت به واسطه اگروباکتریوم است که اگرواینفلتریشن نامیده می‌شود و سوسپانسیون اگروباکتریوم به داخل برگ‌های متصل به گیاه تزریق می‌شود. این روش به عنوان یک ابزار با ارزش در مطالعه جنبه‌های مختلف بیولوژی مولکولی گیاه، شامل بیان ژن خارجی (Kapila et al. 1997)، خاموشی ژن (Voinnet et al. 2003)، ویژگی راه اندازهای گیاهی و عوامل رونویسی (Liu et al. 2003)، اثر متقابل ژن برای ژن بین ژن‌های مقاومت میزبان و بیماری‌زای پاتوژن (Scofield et al. 1996)، واکنش فوق حساسیت (Palanichelvam et al. 2000) و بیان موقت آنتی‌بادی‌ها (Vaquero et al. 1999) مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیان موقت به واسطه اگروباکتریوم در مقایسه با دیگر سیستم‌های ارزیابی بیان در گیاهان تراریخت دارای چندین مزیت است، از جمله این که بر عکس ناقل‌های ویروسی به وسیله پروتئین‌های کوچک محدود نمی‌شود، ساده و سریع است، نیاز به روش‌های پیچیده و تجهیزات گران قیمت ندارد. مقدار بیان موقت یک ژن برای آنالیز پروتئین و RNA همچنین برای تولید پروتئین در مقیاس کم کافی می‌باشد (Vaquero et al. 1999). آزمون‌های بیان موقت به واسطه اگروباکتریوم در گیاهان مختلف از جمله کاهو، گوجه‌فرنگی و آرابیدوپسیس انجام شده و عوامل موثر در افزایش کارایی آزمون‌های موقت در این گیاهان مورد بررسی قرار گرفته است (Wroblewski et al. 2005). در این تحقیق به منظور انتخاب بهترین سیستم تظاهر ژن جهت بالا بردن سطح تولید پروتئین نوترکیب در گیاه لوبیا، ژن گزارشگر *LicBM2* (این گزارشگر بر اساس ژن تولید کننده آنزیم متحمل به حرارت لیگیناز (1,3-1,4-glucanase) β باکتری گرمادوست *Clostridium thermocellum* به دست آمده است، که پیوندهای

عناصر تنظیم کننده متفاوت قرار دارد و سه ترکیب پلاسمیدی (دستواره) مختلف را به وجود می‌آورد (شکل ۱).

این سه ترکیب پلاسمیدی باعث تجمع پروتئین در مناطق مختلف می‌شوند. ترکیب پلاسمیدی شماره یک به دلیل داشتن توالی KDEL و توالی رهبر LeB4 گرفته شده از گیاه لوبیا باعث تجمع پروتئین در شبکه آندوپلاسمی می‌شود همچنین در ترکیب پلاسمیدی شماره دو به دلیل وجود توالی رهبری که از گیاه هویج گرفته شده است، پروتئین به آپوپلاست ترشح می‌شود و در ترکیب پلاسمیدی شماره ۳ از هیچ توالی رهبری استفاده نشده، لذا پروتئین در سیتوزول باقی می‌ماند.

برای تهیه سلول‌های تراریخته اگر و باکتریوم از روش الکتروپوریشن (Weigel et al. 2002) با کمی تغییر استفاده شد. جهت تهیه سلول‌های مستعد باکتری یک میلی‌لیتر از کشت شبانه اگر و باکتریوم داخل یک ارلن، حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر LB مایع (Bactotrypton ۱۰ g/l, yeast extract ۵ g/l, NaCl ۷ g/l) ریخته شد و در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد درون انکوباتور شیکردار قرار گرفت و با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه هم زده شد تا زمانی که $OD_{600}=1$ بدست آمد (تقریباً ۴ ساعت). سپس کشت باکتری به مدت ۲۰ دقیقه در یخ قرار گرفت. و داخل ۴ فالكون ۵۰ میلی‌لیتری استریل توزیع شد و به مدت ۱۰ دقیقه، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد محلول رویی خالی شد و بعد از اضافه کردن ۵۰۰ میکرولیتر آب مقطر استریل سرد به هر فالكون، رسوب ته فالكون به آرامی با آب مخلوط شد و سپس حجم هر فالكون به ۴۰ میلی‌لیتر رسانده شد. این مراحل دو بار تکرار شد. در نهایت ۵۰۰ میکرولیتر گلیسرول ۱۰ درصد استریل و سرد به هر فالكون اضافه شد و به آرامی در رسوب ته فالكون حل شد و درون میکروتیوب‌های ۱/۵ میلی‌لیتری استریل توزیع و پس از انجماد سریع در ازلت مایع، در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای ترانسفورماسیون باکتری، یک میکرولیتر از DNA پلاسمید داخل میکروتیوب سلول مستعد ریخته شد و با هم مخلوط شد. در مرحله بعد مخلوط با پیپت کشیده شد و داخل کووت الکتروپوریشن سرد منتقل شد و کووت در دستگاه الکتروپوریشن (Multiporatoreppendorf) با ولتاژ ۲/۴ کیلوولت و زمان ۵

مجاور β -1,3 و β -1,4 را در پلی‌گلوکان‌ها تجزیه می‌کند. در اثر تجزیه مواد پلی‌ساکاریدی مثل لیگنین، قندهای ساده احیا شونده آزاد می‌شوند، که میزان آن‌ها را می‌توان به طور کمی و کیفی اندازه‌گیری و مشخص نمود (Komakhin et al. 2005) تحت سه سیستم تظاهر مختلف از طریق اگر و اینفیلتریشن (Agroinfiltration) به برگ‌های گیاه لوبیا منتقل می‌شود. در این سه سیستم ژن *LicBM2* داخل ناقل pBISN1-IN (Abdeeva et al. 2008) تحت کنترل عناصر تنظیم کننده متفاوت قرار دارد. این سه سیستم باعث تجمع پروتئین در مناطق مختلف می‌شوند. اولین سیستم به دلیل داشتن توالی KDEL (Munro et al. 1987) و توالی رهبر LeB4 (Baumlein et al. 1986) به دست آمده از گیاه لوبیا باعث تجمع پروتئین در شبکه آندوپلاسمی می‌شود همچنین در سیستم دیگر به دلیل وجود توالی رهبری که از گیاه هویج گرفته شده است (Abdeev et al. 2003) پروتئین به آپوپلاست ترشح می‌شود و اما در سیستم سوم از هیچ توالی رهبری استفاده نشده، لذا پروتئین در سیتوزول باقی می‌ماند. با بررسی عملکرد این سیستم‌ها در گیاه می‌توان بهترین سیستم را جهت انتقال ژن نو ترکیب به گیاه به منظور تولید گیاهان تراریخته انتخاب کرد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی و شرایط کشت

در این مطالعه از گیاه لوبیا قرمز ناز استفاده شد. بذر لوبیا قرمز ناز بعد از ضد عفونی اولیه توسط قارچ کش، داخل گلدان‌ها در شرایط گلخانه کشت شد و سه تا چهار هفته بعد از کاشت که برگ‌های لوبیا کاملاً گسترده شد، گلدان‌ها به آزمایشگاه منتقل گردید. برگ‌های مورد استفاده طوری انتخاب شد که تمام برگ‌ها از نظر اندازه و سن و مکان قرار گرفتن در گیاه مشابه باشند.

باکتری‌ها و ترکیبات پلاسمیدی مورد استفاده

باکتری *Agrobacterium tumefaciens* سویه LBA4404 جهت انتقال ژن هدف به گیاه لوبیا به روش اگر و اینفیلتریشن استفاده شد.

در ترکیبات پلاسمیدی مورد استفاده ژن گزارشگر *LicBM2* داخل ناقل pBISN1-IN (GenBank: EU886197) تحت کنترل

ترکیب پلاسمیدی ۱- ناقل LB-Pnos-nptII-nos-35S CaMV-LeB4-LicBM2-KDEL-polyA-RB

LB	Pnos	nptII	nos	P35s	LeB4	LicBM2	KDEL	PA	RB
----	------	-------	-----	------	------	--------	------	----	----

ترکیب پلاسمیدی ۲- ناقل LB-Pnos-nptII-nos-35S CaMV-leader-LicBM2-polyA-RB

LB	Pnos	nptII	nos	P35s	LS	LicBM2	PA	RB
----	------	-------	-----	------	----	--------	----	----

ترکیب پلاسمیدی ۳- ناقل LB-Pnos-nptII-nos-35S CaMV-LicBM2-polyA-RB

LB	Pnos	nptII	nos	P35s	LicBM2	PA	RB
----	------	-------	-----	------	--------	----	----

شکل ۱- شکل شماتیک ناحیه T-DNA در سه ترکیب پلاسمیدی. LB حاشیه سمت چپ؛ Pnos راه‌انداز *nptII*؛ *nos* ژن مقاومت به کانامایسین؛ *nos* خاتمه‌دهنده *P35s.nos* راه‌انداز 35S ویروس موزاییک گل کلم (CaMV 35S)؛ *LeB4* پپتید رهبر گیاه لوبیا برای شبکه آندوپلاسمی؛ KDEL توالی چهار پپتیدی هدایتگر پروتئین به شبکه آندوپلاسمی؛ LS توالی کد کننده پپتید رهبر هویج؛ PA سیگنال پلی‌آدنیلایسون؛ RB حاشیه سمت راست (Abdeev et al. 2003).

حاوی آنتی‌بیوتیک کانامایسین (۵۰ mg/l) و ریفامپیسین (۱۰۰mg/l) به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۲۸ درجه انجام شد. کشت شبانه بعد از توزیع در میکروتیوب، سانتریفیوژ شد. رسوب باکتری در محلول Infiltration medium (Lee et al.2008) حاوی ۱۰۰ میکرو مولار استوسیرینگون و آنتی‌بیوتیک کانامایسین (۵۰mg/l) و ریفامپیسین (۱۰۰mg/l) حل شد و به مدت ۵-۶ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد مجدداً کشت شد. سپس سانتریفیوژ شد و رسوب حاصل در محلول Induction medium (Lee et al. 2008) حاوی ۲۰۰ میکرو مولار استوسیرینگون حل شد تا $OD_{600}=0.4$ به دست آمد (Lee et al. 2008). و در نهایت به برگ ۴ هفته‌ای گیاه لوبیا (متصل به بوته) تزریق شد (شکل ۲). گلدان‌ها، بعد از تزریق به اتاقت کشت با دمای دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد منتقل شد.



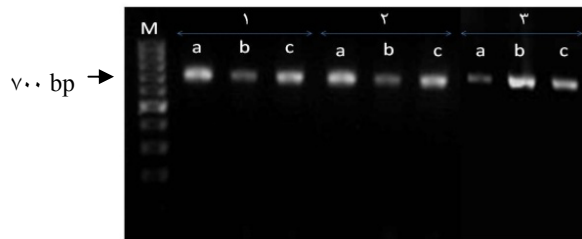
شکل ۲- تزریق سوسپانسیون اگر و باکتریوم به وسیله سرنگ بدون سوزن و صرفاً با ایجاد فشار به ناحیه پشت برگ و پخش شدن سوسپانسیون اگر و باکتریوم داخل آب میان‌بافتی در گیاه لوبیا

میکروثانیه قرار گرفت. سپس محتوی کووت توسط پپت پاستور خارج گردید و به میکروتیوب سلول مستعد انتقال داده شد. یک میلی‌لیتر LB مایع به میکروتیوب اضافه شد و در انکوباتور شیکردار با دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت قرار داده شد. بعد از سانتریفیوژ مختصر رسوب ته میکروتیوب در ۱۰۰ میکرولیتر محلول حل و توسط لوپ بر روی سطح محیط کشت حاوی آنتی‌بیوتیک کانامایسین (۵۰mg/l) و ریفامپیسین (۱۰۰mg/l) پخش شد و محیط‌های کشت به صورت وارونه به مدت ۳-۴ روز درون انکوباتور در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از ۳-۴ روز کلونی‌های تراریخت بر روی محیط کشت تشکیل شد.

تایید کلونی‌های نوترکیب
تایید کلونی‌های نوترکیب به روش PCR با سیکل حرارتی ۹۴، ۶۵ و ۷۲ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت و از آغازگرهای ژن *LicBM2* برای تکثیر استفاده شد. اندازه باند مورد انتظار ۷۰۰ جفت باز می‌باشد.

اگر و اینفلتریشن

در این روش سوسپانسیونی از اگر و باکتریوم تهیه شد و از روزنه‌های پشت برگ توسط سرنگ بدون سوزن، صرفاً با ایجاد فشار و انتشار سلول‌های اگر و باکتریوم از طریق مایع میان‌بافتی، به درون برگ تزریق شد (Wroblewski et al. 2005). برای تهیه سوسپانسیون اگر و باکتریوم، کشت شبانه اگر و باکتریوم تراریخت



شکل ۳- تایید کلونی‌های نوترکیب در باکتری *Agrobacterium tumefaciens* (ستون M مارکر ۱kb؛ ستون ۱) پلاسمید شماره ۱ (کلونی‌های a، b و c؛ ستون ۲) پلاسمید شماره ۲ (کلونی‌های a، b و c؛ ستون ۳) پلاسمید شماره ۳ (کلونی‌های a، b و c)

تزریق سوسپانسیون‌های اگروباکتریوم به داخل اندام‌های گیاه (اگرواینفیلتریشن) روشی بسیار سریع و موثر است که نیاز به تجهیزات گران قیمت ندارد. بنابراین چندین پروتکل برای گونه‌های گیاهی مختلف در طی ۱۵ سال اخیر منتشر شده که فاکتورهای موثر بر فرآیند آلودگی با اگروباکتریوم و بنابراین کارایی بیان موقت تحقیق و بررسی شده است. Kapila et al. 1997; Wroblewski et al. 2005; Zottini et al. 2008; Santos-Rosa et al. 2008) یکی از عوامل موثر در کارایی اگرواینفیلتریشن کیفیت مواد گیاهی استفاده شده می‌باشد. ما در این مطالعه از اولین برگ‌های کاملاً گسترش یافته لوبیا (۴-۳ هفته‌ای) استفاده کردیم و برگ‌های مشابه از نظر سن و اندازه و مکان قرار گرفتن در گیاه را انتخاب نمودیم. انتخاب نمونه‌ها بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه انجام گرفت. به طوری که مطالعه انجام شده توسط Santos-Rosa et al. (2008) نشان داد که بهترین و بالاترین سطح بیان موقت وقتی که از اولین برگ‌های کاملاً گسترش یافته استفاده شود به دست می‌آید. همچنین Bhaskar et al. (2009) برگ‌های سیب‌زمینی را در مراحل رشدی مختلف گیاه آزمون کردند و دریافتند وقتی که از برگچه‌های انتهایی ۶-۵ هفته‌ای گیاه سیب‌زمینی استفاده شود تزریق موثرتر است. آن‌ها ملاحظه کردند که برگ‌های جوان برای تزریق راحت‌تر هستند اما کارایی تزریق زمانی که از برگ‌های ۴-۳ هفته‌ای گیاه استفاده شود پایین می‌آید.

عامل موثر دیگر در کارایی اگرواینفیلتریشن چگالی سوسپانسیون اگروباکتریوم می‌باشد. در این مطالعه از سوسپانسیون سلولی با $OD_{600}=0.4$ استفاده شد. طبق مطالعات (Santos-Rosa et al. 2008)

استخراج پروتئین

گلدان‌ها پس از سه روز به آزمایشگاه منتقل شدند، برگ‌های تزریق شده از گیاه جدا شد و ناحیه تزریق شده برگ برای استخراج پروتئین مورد استفاده قرار گرفت (Fido et al. 2004). به این صورت که ۲۵۰ میکرولیتر بافر استخراج mMTris-HCl ۱۵۰ با pH=۸ داخل ۰/۲۳ گرم مواد گیاهی پودر شده ریخته شد و ورتکس شد (میزان بافر استخراج ۱/۲ حجم مواد گیاهی می‌باشد). نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه روی یخ قرار گرفت سپس به مدت ۲۰ دقیقه داخل سانتریفیوژ یخچال‌دار با ۱۳۰۰۰ g سانتریفیوژ شد. محلول روی رسوب که حاوی شیر گیاه است به میکروتیوب دیگری انتقال داده شد و در نهایت میکروتیوب‌های حاوی شیر گیاه به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد منتقل شد.

ارزیابی پروتئین

به منظور ارزیابی کمیت پروتئین کل از روش Bradford (1976) استفاده شد. همچنین متداول‌ترین شیوه در مقایسه کیفی پروتئین‌ها، مطالعه نوارهای الکتروفورزی به شمار می‌رود. جهت انجام مقایسه‌های کیفی بر روی نوارهای الکتروفورزی پروتئین‌های محلول برگ‌گی از تکنیک SDS-PAGE به روش لیملی (Laemmli 1970) استفاده شد.

به منظور بررسی میزان دقیق تظاهر ژن *LicBM2* میزان پروتئین فعال به روش کاهش گلوکز (Miller 1959) اندازه‌گیری شد. آنزیم لیگیناز محصول ژن *licBM2* خاصیت آنزیمی دارد که با استفاده از آن می‌توان سطح بیان ژن را تخمین زد و مقدار پروتئین را اندازه‌گیری کرد.

نتایج و بحث

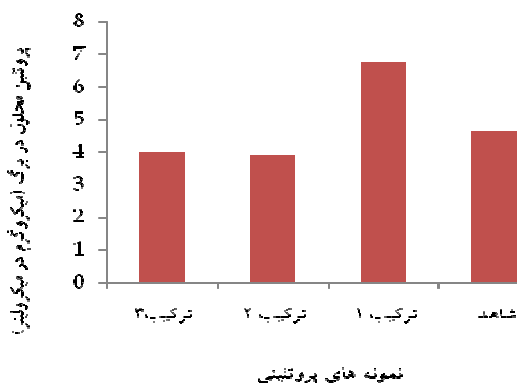
بر اساس اندازه محصول واکنش PCR و حضور یا عدم حضور باند، کلونی‌های نوترکیب اگروباکتریوم شناسایی شد. برای تایید کلونی‌های نوترکیب از آغازگرهای ژن *LicBM2* استفاده شد و برای الکتروفورز محصولات PCR از ژل آگارز ۱/۲ درصد استفاده شد. وجود باند ۷۰۰ جفت بازی در ژل، تایید کننده حضور ژن *LicBM2* و تایید حضور پلاسمید نوترکیب در اگروباکتریوم می‌باشد (شکل ۳).

تیمار از طریق نرم افزار SAS انجام گرفت (جدول ۱). آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری را بین ترکیب پلاسمیدی یک با دو ترکیب پلاسمیدی دیگر و نمونه‌های شاهد نشان داد (شکل ۴).

جدول ۱- جدول تجزیه واریانس میزان پروتئین کل محلول در برگ (میلی گرم در میلی لیتر)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
تیمار	۳	۵۳/۲۳**
خطا	۱۱۶	۰/۲۷

** اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل ۴- نمودار مقایسه میانگین پروتئین محلول در برگ، شاهد، میزان پروتئین در برگ‌های تزریق نشده؛ ترکیب پلاسمیدی (۱) میزان پروتئین در برگ‌های تزریق شده توسط ترکیب پلاسمیدی شماره ۱؛ ترکیب پلاسمیدی (۲) میزان پروتئین در برگ‌های تزریق شده توسط ترکیب پلاسمیدی شماره ۲؛ ترکیب پلاسمیدی (۳) میزان پروتئین در برگ‌های تزریق شده توسط ترکیب پلاسمیدی شماره ۳

برای ارزیابی کیفی پروتئین از الکتروفورز ژل پلی آکریل آمید در حضور دترجنت یونی سدیم دودوسیل سولفات یا لوریل سولفات (SDS) که یکی از کارآمدترین روش‌ها برای تعیین وزن ملکولی پروتئین‌ها می‌باشد استفاده شد. نمونه‌های پروتئینی استخراج شده از برگ‌های تراریخته و پروتئین اگروباکتریوم همراه با یک نمونه پروتئین برگی که تزریق اگروباکتریوم در آن انجام نشده به عنوان شاهد روی ژل اکریل آمید ۱۵ درصد داخل چاهک‌ها ریخته شد (شکل ۵).

Wroblewski سوسپانسیون سلولی با چگالی کمتر از $OD_{600}=0.1$ باعث ایجاد سطح تراریختی پایین می‌شود همچنین چگالی سلولی بالای $OD_{600}=1$ باعث زردی بافت و یا پژمرده شدن آن می‌شود و در صورتی که چگالی سلولی $OD_{600}=0.3$ یا کمتر باشد سطح بیان موقت پایینی بدست می‌آید.

عامل دیگر موثر در کارایی اگر و اینفیلتریشن دمای نگهداری گیاهان بعد از تزریق می‌باشد. ما در این مطالعه گیاهان را بعد از تزریق در اتاقک کشت در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد نگهداری کردیم. دما به عنوان یک عامل موثر برای انتقال ژن توسط اگروباکتریوم به گیاه می‌باشد و تنظیم انتقال T-DNA از طریق ژن‌های *vir* وابسته به دما می‌باشد (Dillen et al. 2005). در مطالعه‌ای که در گیاه رز صورت گرفت (Yasmin et al. 2010) به منظور بررسی اثر دما در کارایی اگر و اینفیلتریشن، گلبرگ‌های رز بعد از تزریق در دماهای ۱۹، ۲۲، ۲۵ و ۲۸ قرار گرفتند و بعد از ۴ روز سطح بیان موقت ارزیابی شد و بالاترین سطح بیان ژن GUS در ۲۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد.

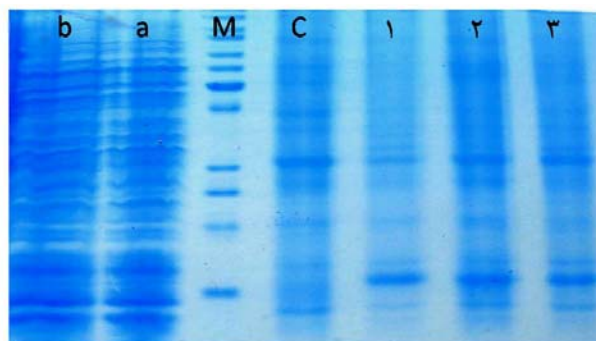
عامل دیگر دخیل در کارایی اگر و اینفیلتریشن استفاده از ترکیبات فنولی مثل استوسیرینگون می‌باشد. استوسیرینگون القاکننده اپرون *vir* اگروباکتریوم تو مفا سینس می‌باشد (Hiei et al. 1994). اهمیت استوسیرینگون به خاطر توانایی آن در القای ژن‌های بیماری‌زایی اگروباکتریوم می‌باشد که برای انتقال T-DNA لازم است (McCullen 2006). در این تحقیق کارایی اگر و اینفیلتریشن در انتقال ترکیبات پلاسمیدی ۱، ۲ و ۳ با حضور استوسیرینگون به وسیله شمارش تعدادی از نمونه‌ها که پروتئین فعال داشته‌اند به نسبت کل نمونه‌ها به ترتیب: ۲۳، ۳۲ و ۴۸ درصد محاسبه شد. قبلاً در مطالعه‌ای که به این ترتیب انجام گرفت کارایی تراریختی در حضور استوسیرینگون ۶۳-۵۵ درصد بدست آمد (al. 1987).

ارزیابی پروتئین

پروتئین کل محلول در گیاه که از انتقال سه ترکیب مختلف پلاسمیدی به سلول‌های گیاه بدست آمده بود به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. میزان پروتئین اندازه‌گیری شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳۰ تکرار برای هر

میزان پروتئین کل در ترکیبات پلاسمیدی دوم و سوم با هم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند زیرا مدت زمانی که جهت بیان سیستم تظاهری در اختیار بود ۷۲ ساعت می‌باشد که این زمان برای ایجاد اختلاف بین این دو سیستم کافی نبوده است. و امکان دارد در بیان دائم که مدت زمان فعالیت سیستم‌ها بیشتر است، اختلاف آن‌ها بروز کند. آزمایشات هدف‌گیری به صورت مقایسه ایمونوگلوبولین‌های با اندازه کامل و قطعات Fv تک زنجیره‌ای توسط (Zimmermann et al. 1998) نیز نشان داد که مسیر ترش‌خی نسبت به ذخیره سیتوزولی برای بسته‌بندی پروتئین‌ها مناسب‌تر بوده و برای ذخیره پروتئین در سطح بالا مزایای بیشتری دارد. از آن‌جا که پروتئین‌های نوترکیب عموماً در سیتوزول ناپایدار هستند بنابراین وقتی که با استفاده از سیگنال پپتید به سمت مسیر ترش‌خی هدفمند شوند، عملکرد آن‌ها در گیاهان افزایش پیدا می‌کند (Conrad et al. 1998)

در این مطالعه با استفاده از این نمونه‌های پروتئینی آزمون کاهش گلوکز انجام گرفت و از آنجا که طی مراحل آزمایش اثر گلوکز خود گیاه صفر شده بود لذا گلوکز تولیدی در اثر فعالیت *LicBM2* بوجود می‌آمد اما در تیمار شاهد همان‌طور که انتظار می‌رفت هیچ گلوکزی تولید نشد. بنابراین این تیمار و همچنین تکرارهایی از سه تیمار دیگر که فاقد گلوکز بود از آنالیز حذف شد. لذا تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با سه تیمار به کمک نرم افزار SAS انجام گرفت (جدول ۲). آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری را بین ترکیب پلاسمیدی یک با دو ترکیب پلاسمیدی دیگر نشان داد (شکل ۶). نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان گلوکز که در واقع میزان بیان ژن گزارشگر را اندازه‌گیری می‌کند نشان داد که سیستم بیانی که باعث تجمع پروتئین در شبکه آندوپلاسمی می‌شود بیشترین میزان گلوکز و در نتیجه بالاترین میزان بیان ژن گزارشگر را دارد. بین سیستم تظاهری که باعث ترشح پروتئین به آپوپلاست شده است و سیستمی که باعث باقی ماندن پروتئین در سیتوزول شده است اختلاف معنی‌داری از نظر میزان گلوکز مشاهده نشد که دلیل این امر، مدت زمان کوتاه تظاهر ژن در این تکنیک (۷۲ ساعت)



شکل ۵- ژل SDS-PAGE ۱۵ درصد. ستون (M) مارکر ۲۰۰-۱۰ کیلو دالتون؛ ستون (C) نمونه پروتئین گیاهی بدون تزریق (شاهد)؛ ستون (۱) نمونه پروتئین گیاهی مربوط به پلاسمید شماره ۱؛ ستون (۲) نمونه پروتئین گیاهی مربوط به پلاسمید شماره ۲؛ ستون (۳) نمونه پروتئین گیاهی مربوط به پلاسمید شماره ۳؛ ستون (a) نمونه پروتئین آگروباکتریوم ترانسفورم شده با پلاسمید شماره ۱؛ ستون (b) نمونه پروتئین آگروباکتریوم غیر ترانسفورم شده.

وجود باند پروتئینی حدود ۱۶ کیلو دالتون نشان دهنده پروتئین نوترکیب می‌باشد به دلیل اینکه این باند در نمونه شاهد و نمونه پروتئین مربوط به آگروباکتریوم مشاهده نشده است.

طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق ژن تحت کنترل عناصر تنظیم کننده‌ای که باعث انتقال و تجمع پروتئین در شبکه آندوپلاسمی می‌شود (ترکیب پلاسمیدی شماره ۱) بیشترین میزان پروتئین را تولید کرده است. زیرا شبکه آندوپلاسمی (ER) محیطی اکسید کننده است (Oxidizing) که میزان پروتئین‌ها در آن پایین می‌باشد و بنابراین پروتئین‌های نوترکیب هضم نمی‌شوند که این امر موجب تجمع بیشتر پروتئین نوترکیب می‌گردد. در این تحقیق توالی اسید آمینه‌ای KDEL در انتهای C پروتئین نوترکیب باعث می‌شود تا پروتئین در شبکه آندوپلاسمی باقی بماند.

در مطالعه‌ای که از توالی KDEL و سیگنال پپتید LeB4 برای انتقال و نگهداری پروتئین‌های نوترکیب scFv در شبکه آندوپلاسمی استفاده شد، ۸-۱۰ برابر بیان بالاتری نسبت به زمانی که از این توالی‌ها استفاده نشد به دست آمد (Fiedler et al. 1997). همچنین Schouten et al. (1997) نیز بیان کردند که اضافه کردن پپتید KDEL باعث افزایش سطح بیان قطعات scFv می‌شود. ایشان ماکزیمم سطح بیان را نیز اندازه‌گیری کردند که ۰/۲ درصد کل پروتئین محلول بود، در حالیکه قطعات بدون KDEL هیچ تجمعی در سیتوزول نشان ندادند.

دهنده این است که با افزایش میزان پروتئین کل میزان گلوکز، که ناشی از بیان ژن گزارشگر می‌باشد افزایش می‌یابد. از این رو می‌توان صرفاً با اندازه‌گیری میزان پروتئین محلول به فعالیت بهتر سیستم پی برد که در وقت و هزینه صرفه‌جویی می‌شود. با روش بیان موقت می‌توان توانایی سیستم بیان ژن را قبل از انتقال دائم به گیاه مورد ارزیابی قرار داد، زیرا تولید گیاه تراریخته با تظاهر دائم مستلزم صرف وقت و هزینه است. به این ترتیب با تعیین بهترین سیستم و حذف سیستم‌هایی که کارایی کمتری دارند می‌توان در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد. همچنین از این روش می‌توان جهت تولید سریع پروتئین‌های با ارزش استفاده کرد.

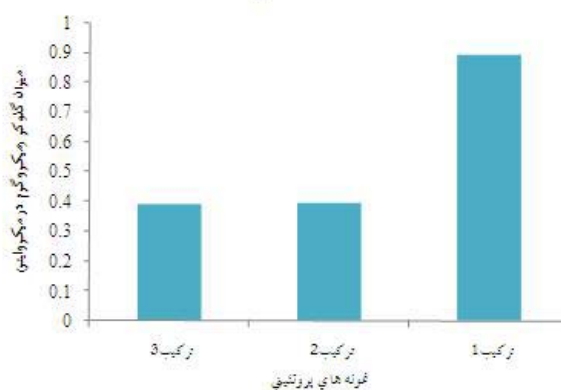
تکنیک استفاده شده در این مطالعه (اگر و اینفیلتریشن) در مقایسه با دیگر سیستم‌های تعیین بیان تراریخت، دارای چندین مزیت می‌باشد. از جمله اینکه برخلاف ناقل‌های ویروسی با محدودیت در اندازه ژن منتقل شده مواجه نیست (Porta et al. 1996)، انجام آن ساده‌تر از بمباران ذره و تراریختی پروتوپلاست می‌باشد. سریع است و برخلاف تراریختی پایدار اجازه می‌دهد ژن‌ها آنالیز شوند و اثر زیان آوری روی رشد و نمو نداشته باشند. مقدار بافت بیان شده به صورت موقت برای انجام آنالیز پروتئین و RNA کافی است و پتانسیل استفاده برای تولید پروتئین در مقیاس آزمایشگاهی را دارد (Vaquero et al. 1999). همچنین به وسیله این روش می‌توان برخی از پروتئین‌ها را بدون نیاز به باززایی گیاهان تراریخت خصوصاً در گونه‌های گیاهی که به سختی باززایی می‌شوند، تولید کرد (Horn et al. 1999; et al. 1999). این روش ارزان است و به تجهیزات گران قیمت نیاز ندارد. در سال‌های اخیر این روش جهت بررسی عملکرد عوامل تنظیم کننده فعالیت ژن در ایران نیز مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از روش اگر و اینفیلتریشن عملکرد بخش هسته‌ای پیشبر E8 که یک پیشبر اختصاصی میوه در گوجه فرنگی است با پیشبر *CaMV35S* مقایسه شد (Ahmadi et al. 2012). استفاده از این روش در گندم نیز مورد بررسی قرار گرفت که $OD_{600} = 0.6$ بهترین غلظت باکتری تشخیص داده شد (Irani et al. 2012). همچنین در این مطالعه از سیستم‌های بیانی استفاده شد که عناصر مختلفی را داشتند و امکان مقایسه اثر این عناصر بر میزان بیان ژن

می‌باشد زیرا زمان کافی جهت مشخص شدن اختلاف بین این دو سیستم وجود نداشته است. بنابراین میزان پروتئین نوترکیب در ترکیب پلاسمیدی شماره یک که باعث تجمع پروتئین در شبکه آندوپلاسمی می‌شود بیشترین مقدار است که دلیل آن عدم وجود پروتئازها در شبکه آندوپلاسمی است که باعث می‌شود پروتئین هضم نشود.

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس میزان گلوکز محلول در برگ (میکروگرم در میکرولیتر)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
تیمار	۲	۰/۶۸۶**
خطا	۲۹	۰/۰۰۳

** اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل ۶- نمودار مقایسه میانگین میزان گلوکز، ترکیب ۱) میزان گلوکز در برگ‌های تزریق شده توسط ترکیب پلاسمیدی شماره ۱؛ ترکیب ۲) میزان گلوکز در برگ‌های تزریق شده توسط ترکیب پلاسمیدی شماره ۲؛ ترکیب ۳) میزان گلوکز در برگ‌های تزریق شده توسط ترکیب پلاسمیدی شماره ۳

ضرائب همبستگی بین میزان پروتئین محلول و میزان گلوکز در سه ترکیب پلاسمیدی مورد مطالعه به روش پیرسون و در سطح یک درصد با استفاده از نرم افزار SAS اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بین میزان پروتئین محلول در برگ و میزان گلوکز که نماینده میزان پروتئین نوترکیب می‌باشد همبستگی مثبت و بسیار بالایی (0.97^{**}) وجود دارد. نتایج حاصل از همبستگی بین میزان پروتئین کل و میزان گلوکز در سه سیستم تظاهراتی پیشنهادی نشان

از آنجا که مهمترین مباحث و نگرانی‌های ایمنی زیستی در مورد گیاهان تراریخته استفاده از ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشد، محققین اخیراً به دنبال شناسایی و استفاده از ژن‌های مارکری می‌باشند که در فرآیندهای متابولیکی گیاه نقش دارند. در این مطالعه ژن مارکر *LicBM2* مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد بیان موقت ژن مارکر *LicBM2* در داخل سلول‌های گیاه لوبیا با موفقیت انجام شد لذا استفاده از ژن مارکر *LicBM2* می‌تواند روش جدیدی برای بررسی میزان بیان ژن‌های نو ترکیب در گیاهان تراریخته باشد. مزیت اصلی استفاده از ژن مارکر *LicBM2* ایمنی زیستی، دقت و حساسیت بالا، سادگی کار و قابل اطمینان بودن آن می‌باشد.

وجود داشت. از آنجا که در این پلاسمیدها و سیستم‌های تظاهر امکان جایگزینی عناصر تنظیمی مختلف و مقایسه و بررسی آن‌ها وجود دارد، می‌توان بهترین عناصر تنظیمی بیان ژن را جهت دستیابی به بالاترین میزان تولید پروتئین نو ترکیب در گیاه را شناسایی نمود.

طبق این تحقیق جهت انتقال ژن‌های نو ترکیب می‌توان از ترکیب پلاسمیدی شماره یک استفاده کرد. همچنین طبق تحقیقات مختلف میزان بیان موقت بیانگر دائم می‌باشد (et al. 2005; Zottini et al. 2008; Wroblewski). از این رو جهت تولید لوبیای تراریخته با ژن‌های مختلف جهت تولید گیاهان مقاوم به تنش‌های بیولوژیک و محیطی می‌توان از این ترکیب پلاسمیدی استفاده نمود.

منابع

- Abdeev RM, Goldenkova IV, Musiyshuk KA, Piruzian ES (2003) Expression of a thermostable bacterial cellulase in transgenic tobacco plants. *Russian Journal of Genetics* 39:300-305.
- Abdeeva I, Mokryakova M, Mirakhorli N, Piruzian E (2008) The development of vector systems for expression of defensin gene from *Helianthus annuus* in plants. XX International of genetics "Genetics-Understanding living systems" Berlin.
- Ahmadi N, Rahnama H, Kazemi Tabar SK (2012) Cloning of tomato *E8* promoter and its analysis in transient assays using Agro-infiltration System. *Journal of Agricultural Biotechnology* 3:1-14. (in farsi).
- Baumlein H, Wobus U, Pustell J, Kafatos FC (1986) The legumin gene family: structure of a B type gene of *Vicia faba* and a possible legumin gene specific regulatory element. *Nucleic acids research* 14:2707-2720.
- Bhaskar PB, Venkateshwaran M, Wu L, Ane JM, Jiang J (2009) *Agrobacterium*-mediated transient gene expression and silencing: a rapid tool for functional gene assay in potato. *PloS one* 4:1-8.
- Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry* 72: 248-254.
- Conrad U, Fiedler U (1998) Compartment-specific accumulation of recombinant immunoglobulins in plant cells: an essential tool for antibody production and immunomodulation of physiological functions and pathogen activity. *Plant Molecular Biology* 38:101-109.
- Dillen W, Clercq J, Kapila J, Zambre M, Montagu M, Angenon G (1997) The effect of temperature on *Agrobacterium tumefaciens* mediated gene transfer to plants. *Plant Journal* 12:1459-1463.

- Fido RJ, Mills ENC, Rigby NM, Shewry PR (2004) Protein extraction from plant tissues. *Methods in Molecular Biology-Clifton Then Totowa* 244:21-28.
- Fiedler U, Phillips J, Artsaenko O, Conrad U (1997) Optimization of scFv antibody production in transgenic plants. *Immunotechnology* 3:205-216.
- Fischer R, Schillberg S (2004) Molecular Farming, plant made pharmaceuticals and technical proteins, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co. KgaA, 114 p.
- Fischer R, Stoger E, Schillberg S, Christou P, Twyman RM (2004) Plant-based production of biopharmaceuticals. *Current Opinion in Plant Biology* 7:152-158.
- Hiei Y, Ohta S, Komari T, Kumashiro T (1994) Efficient transformation of rice (*Oryza sativa* L.) mediated by *Agrobacterium* and sequence analysis of the boundaries of the T-DNA. *Plant Journal* 6:271-282.
- Horn ME, Woodard SL, Howard JA (2004) Plant molecular farming: systems and products. *Plant Cell Reports* 22:711-720.
- Irani Z, Sanjarian F, Haghazari A (2012) Optimization of *Agrobacterium*-mediated transient gene expression by agroinfiltration in wheat. The 12th Iranian Genetics Congress, May 22-24, Tehran PP. 1-6. (in farsi)
- Kapila J, De Rycke R, Van Montagu M, Angenon G (1997) An *Agrobacterium*-mediated transient gene expression system for intact leaves. *Plant Science* 122:101-108.
- Komakhin RA, Abdeeva IA, Salehi Dzhuzani GR, Goldenkova IV, Zhuchenko AA (2005) Thermostable lichenase as a translational reporter. *Russian Journal of Genetics* 41:23-31.
- Laemmli UK (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227:680-685.
- Lee MW, Yang Y (2006) Transient expression assay by agroinfiltration of leaves. *Methods in Molecular Biology-Clifton Then Totowa* 323:225-229.

- Liu ZZ, Wang JL, Huang X, Xu WH, Liu ZM, Fang RX (2003) The promoter of a rice glycine-rich protein gene, *Osgrp-2*, confers vascular-specific expression in transgenic plants. *Planta* 216: 824-833.
- McCullen CA, Binns AN (2006) *Agrobacterium tumefaciens* and plant cell interactions and activities required for interkingdom macromolecular transfer. *Annual review of cell and developmental biology* 22:101-127.
- Miller GL (1959) Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31:420-428.
- Munro S, Pelham HRB (1987) A C-terminal signal prevents secretion of luminal ER proteins. *Cell* 48:899-907.
- Palanichelvam K, Cole AB, Shabababi M, Schoelz JE (2000) Agroinfiltration of Cauliflower mosaic virus gene V1 elicits hypersensitive response in *Nicotiana* species. *Molecular Plant Microbe Interactions* 13: 1275-1279.
- Porta C, Spall VE, Lin T, Johnson JE, Lomonossoff GP (1996) The development of cowpea mosaic virus as a potential source of novel vaccines. *Intervirology* 39:79-84.
- Santos-Rosa M, Poutaraud A, Merdinoglu D, Mestre P (2008) Development of a transient expression system in grapevine via agro-infiltration. *Plant Cell Reports* 27:1053-1063.
- Schouten A, Roosien J, de Boer JM, Wilmink A, Rosso MN, Bosch D, Stiekema WJ, Gommers FJ, Bakker J, Schots A (1997) Improving scFv antibody expression levels in the plant cytosol. *FEBS Letters* 415:235-241.
- Scofield SR, Tobias CM, Rathjen JP, Chang JH, Lavelle DT, Michelmore RM (1996) Molecular basis of gene-for-gene specificity in bacterial speck disease of tomato. *Science* 274: 2063-2065.
- Sheikholeslam SN, Weeks DP (1987) Acetosyringone promotes high efficiency transformation of *Arabidopsis thaliana* explants by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Molecular Biology* 8:291-298.
- Sunil Kumar GB, Ganapathi TR, Revathi CJ, Prasad KS, Bapat VA (2003) Expression of hepatitis B surface antigen in tobacco cell suspension cultures. *Protein Expression and Purification* 32: 7-10.
- Trieu AT, Burleigh SH, Kardailsky IV, Maldonado-Mendoza IE, Versaw WK, Blaylock LA, Shin H, Chiou TJ, Katagi H, Dewbre GR (2000) Transformation of *Medicago truncatula* via infiltration of seedlings or flowering plants with *Agrobacterium*. *Plant Journal* 22:531-541.
- Vaquero C, Sack M, Chandler J, Drossard J, Schuster F, Monecke M, Schillberg S, Fischer R (1999) Transient expression of a tumor-specific single-chain fragment and a chimeric antibody in tobacco leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96:11128-11133.
- Voinnet O, Rivas S, Mestre P, Baulcombe D (2003) An enhanced transient expression system in plants based on suppression of gene silencing by the p19 protein of tomato bushy stunt virus. *Plant Journal* 33:949-956.
- Weigel D, Glazebrook J (2002) *Arabidopsis: a laboratory manual* Cold Spring Harbor Laboratory Pr.
- Wroblewski T, Tomczak A, Michelmore R (2005) Optimization of *Agrobacterium*-mediated transient assays of gene expression in lettuce, tomato and *Arabidopsis*. *Plant Biotechnology Journal* 3:259-273.
- Yasmin A, Debener T (2010) Transient gene expression in rose petals via *Agrobacterium* infiltration. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 102:245-250.
- Zimmermann S, Schillberg S, Liao YC, Fisher R (1998) Intracellular expression of TMV-specific single-chain Fv fragments leads to improved virus resistance in shape *Nicotiana tabacum*. *Molecular Breeding* 4:369-379.
- Zottini M, Barizza E, Costa A, Formentin E, Ruberti C, Carimi F, Lo Schiavo F (2008) Agroinfiltration of grapevine leaves for fast transient assays of gene expression and for long-term production of stable transformed cells. *Plant Cell Reports* 27:845-853.