

Production of Chimeric Tir-intimin Protein from *E. coli* O157:H7 in the Tobacco (*Nicotiana tobaccum*) Plant and its Immunological Evaluation in an Animal Model

Farideh Saberi¹, Ali Hatef Salmanian^{2*}, Jafar Amani³, Mahyat Jafari¹

- 1- M.Sc., Department of Plant Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran
- 2- Associated Professor, Department of Plant Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran
- 3- Assistant Professor, Applied Microbiology Research Center, Baqiyatallah Medical Science University, Tehran, Iran

*Corresponding Address: P.O.Code: 1417863171, Department of Plant Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology (NIGEB), Tehran, Iran
Email: salman@nigeb.ac.ir

Received: 25/Jun/2012, Accepted: 27/Nov/2012

Abstract

Objective: *Escherichia coli* (*E.coli*) O157:H7 is one of the most important pathogenic causes of hemorrhagic colitis in humans. Cattle are the main reservoirs of this bacteria and vaccination is a key mechanism for its control. The intimin, translocated intimin receptor (tir), and EspA proteins are virulence factors expressed by the LEE locus of enterohemorrhagic *E. coli*. EspA protein is a member of the type III secretion system (TTSS) needle complexes that delivers the tir protein into the host cell. Surface arrayed intimin docks the bacterium to the translocated intimin receptor (Tir). This intimate linkage is the starting point for attachment and effacing lesions. We hypothesize that the chimeric recombinant forms of two of these three effectors, as edible-based immunogens, would reduce colonization of *E. coli* O157:H7 in the mice model.

Methods: We constructed a synthetic gene (*it*) composed of *eae* (*i*) and *tir* (*t*) attached together by a peptide linker. The synthetic gene (*it*) was codon optimized based on the tobacco (*Nicotiana tobaccum*) plant and cloned into plant expression vectors adjacent to CaMV35S promoters for expression in transgenic tobacco plants. The antigen produced in this plant was orally fed to mice.

Results: Immunization of the mice model by the transgenic plant that contained the divalent immunogen showed the presence of IgG antibodies against *E. coli* O157:H7.

Conclusion: This method could be an effective tool for protecting against *E. coli* O157:H7 hemorrhagic colitis.

Keywords: *Escherichia coli* O157:H7, Edible vaccine, Intimin, Tir

Modares Journal of Medical Sciences: *Pathobiology*, Vol 15, No 3, Autumn 2012, Pages: 23-36

تولید پروتئین دوگانه Tir-این تیمین از باکتری اشیریشیا کلی O157:H7 در گیاه توتون (*Nicotiana tobaccum*) و بررسی ایمنی‌زایی آن در موش آزمایشگاهی

فریده صابری^۱، علی‌هاتف سلمانیان^{۲*}، جعفر امانی^۳، محیات جعفری^۱

۱- کارشناس ارشد، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری، تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه بیوتکنولوژی گیاهی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری، تهران، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات میکروبیولوژی کاربردی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

*آدرس نویسنده مسئول: ایران، تهران، کدپستی: ۱۴۱۷۸۶۳۱۷۱، کیلومتر ۱۵ تهران- کرج، بلوار پژوهش، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری، گروه بیوتکنولوژی گیاهی
Email: salman@nigeb.ac.ir

پذیرش مقاله: ۹۱/۰۹/۰۷

دریافت مقاله: ۹۱/۰۴/۰۵

چکیده

هدف: اشیریشیا کلی سویه O157:H7 یکی از مهم‌ترین بیماری‌زاهای تولیدکننده بیماری کولیت خونریزی دهنده در انسان است. دام‌های اهلی اصلی‌ترین مخزن این باکتری هستند. پروتئین‌های این تیمین، Tir و EspA از مهم‌ترین عوامل بیماری‌زایی این باکتری محسوب می‌شوند. پروتئین EspA در ساخت کانال ارتباطی نقش داشته و مانند یک رابط سبب انتقال پروتئین Tir به سلول میزبان می‌شود و پروتئین این تیمین که در غشای باکتری جای گرفته است با متصل شدن به پروتئین Tir به غشای میزبان منتقل و منشأ اصلی آن نیز باکتری مهاجم است، سبب اتصال محکم و اختصاصی باکتری به سلول میزبان می‌شود. این اتصال باعث ایجاد ضایعه تخریب دیواره سلول میزبان می‌شود. انجام تحقیق بر این اصل است که تولید دو عامل اصلی بیماری‌زایی که باعث اتصال باکتری به میزبان می‌شود به صورت دوگانه و تجویز آن به عنوان یک ایمنی‌زای خوراکی می‌تواند با تحریک مناسب سیستم ایمنی هومورال و به‌ویژه مخاطی میزبان مانع کلونیزاسیون باکتری اشیریشیا کلی O157:H7 در مدل حیوانی شود.

مواد و روش‌ها: ابتدا به صورت تئوری یک سازه ژنی حاوی قسمت‌هایی از این تیمین (I) و Tir (t) با استفاده از یک رابط جداکننده پپتیدی به یکدیگر متصل و ژن آن به طور مصنوعی ساخته شد. این ژن مصنوعی براساس کدون‌های گیاه توتون بهینه‌سازی و سپس تحت کنترل پروموتور CaMV35S در ناقل بیانی گیاه کلون و پس از آن تراریختی و باززایی گیاه توتون با آن انجام گرفت. سپس حیوان مدل با برگ‌های گیاه تراریخت تغذیه شد.

نتایج: ایمن‌سازی حیوان با استفاده از بافت گیاه تراریخت حاوی این ایمنی‌زای دوگانه موجب تحریک و تولید IgG سرمی بر علیه باکتری فوق شد.

نتیجه‌گیری: روش تغذیه و ایمن‌سازی با ایمنی‌زاهای خوراکی می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای ایجاد ایمنی و احتمالاً محافظت حیوانات در برابر حضور و بیماری‌زایی باکتری اشیریشیا کلی O157:H7 عمل نماید.

کلیدواژگان: واکسن خوراکی، اشیریشیا کلی O157:H7، این تیمین، Tir

مجله علوم پزشکی مدرس: آسیب‌شناسی زیستی، دوره ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۱، صفحات: ۲۳-۳۶

مقدمه

اشریشیا کلی انتروهموراژیک (Enterohaemorrhagic *Escherichia coli*: EHEC) سویه O157:H7 در انسان موجب بروز عفونت‌های روده‌ای از شکل اسهال بدون خونریزی تا التهاب شدید روده به همراه خونریزی [کولیت هموراژیک (Hemorrhagic colitis)] و در برخی موارد سبب نشانگان خونریزی دهنده ادرار [اورمی همولیتیک (Hemolytic uremic syndrome)] می‌شود. انتقال باکتری اشریشیا کلی O157:H7 به انسان به طور عمده از طریق آب و غذای آلوده بوده و مهم‌ترین و اصلی‌ترین مخزن این باکتری روده حیوانات اهلی مانند گاو و گوسفند است. هنگام بروز عفونت این باکتری قادر است که آسیب‌های تخریبی شدید میزبان ایجاد کند [۱]. میزان شیوع باکتری EHEC سویه O157:H7 در برخی از کشورهای غربی از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ تقریباً به دو برابر رسیده است. طی پژوهشی که در سال ۲۰۰۰ در کشورهای اروپایی صورت گرفت ۲۸ درصد گوشت گاوها به این باکتری آلوده بود [۲]. گرچه اولین گزارش‌ها مربوط به جوامع غربی است اما آلودگی به این باکتری محدود به این کشورها نشده و پراکندگی آن در سراسر جهان از جمله ایران نیز گزارش شده است. در ایران نیز عمده این آلودگی‌ها مربوط به گوشت و شیر آلوده بوده است [۳، ۴]. مشکلات اقتصادی و بهداشتی ناشی از حضور این باکتری در دامداری‌ها و متعاقب آن آلودگی فرآورده‌های لبنی و سپس جوامع انسانی موجب شده است که توجه ویژه‌ای به کنترل آن معطوف شود. در صنایع دامپروری این باکتری به طور عمده دام‌های جوان را مورد حمله قرار می‌دهد و طبق آمارهای موجود عفونت‌های با علامت و بدون علامت این باکتری در حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد از دام‌ها را درگیر می‌نماید [۲، ۵] رعایت اصول و نکات بهداشتی می‌تواند تا حد زیادی از شیوع این باکتری در بین دام‌ها جلوگیری به عمل آورد. در موارد حاد بیماری نیز استفاده از درمان‌های آنتی‌بیوتیکی اجتناب‌ناپذیر است.

اما استفاده از رژیم‌های دارو و درمانی سبب مشکلاتی مانند بروز مقاومت در ارگانیسم‌های بیماری‌زا، از بین بردن فلور طبیعی یا تغییر در جمعیت میکروارگانیسم‌ها و در نهایت مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها می‌شود [۲]. علاوه بر آن؛ گاهی این میکروارگانیسم به صورت غیر علامت‌دار در دستگاه گوارش گاوها زندگی می‌کند. به عبارت دیگر این باکتری می‌تواند به صورت دایم نیز از دستگاه گوارش حیوانات اهلی دفع شود. در این مورد استفاده از فضولات دامی برای مصارف کشاورزی (کودهای طبیعی) می‌تواند نقش مؤثری در انتشار این باکتری داشته باشد. در حال حاضر واکسیناسیون یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که برای کنترل باکتری EHEC سویه O157:H7 در حیوانات نشخوار کننده به کار می‌رود [۶]. بر مبنای مطالعات صورت گرفته اساس تولید واکسن‌های موجود روی مکانیسم بیماری‌زایی این ارگانیسم استوار شده است. این باکتری در دو مرحله به ایجاد ضایعات و ایجاد بیماری می‌پردازد. در مرحله اول با استفاده از اجزای سلولی نظیر فیمبریا (Fimbria) خود را به سطح سلول‌های میزبان نزدیک کرده و به آن متصل می‌شود. این اتصال قادر است عملکرد سلول را مختل نموده و برخی از علائم بیماری (A/E) را ایجاد نماید. در مرحله بعد با تولید سموم میکروبی، آثار عمیق‌تری روی سلول‌های مجاور می‌گذارد و با منتقل شدن این سموم به بافت‌های دورتر (نظیر کلیه) سایر علائم خود را بروز می‌دهد [۷].

مطالعات متعددی برای تهیه واکسن علیه EHEC در گاو انجام شده که بیشتر بر ایمن‌سازی در مقابل محصولات ژن‌های LEE (Locus of Enterocyte Effacement) تمرکز دارد. پروتئین‌های کد شده توسط این ژن‌ها نقش کلیدی در کلونیزاسیون این باکتری در روده را بر عهده دارد. عمده واکسن‌هایی که علیه این باکتری ساخته شده حاوی یکی از آنتی‌ژن‌های مهم آن به صورت نوترکیب یا باکتری کامل و کشته است. اما به کارگیری آن‌ها نتوانسته به طور قابل توجهی از کلونیزاسیون این باکتری در روده حیوانات جلوگیری کند [۸]. پروتئین‌هایی که در اتصال باکتری به سطح پوشش روده

نقش اصلی را بر عهده دارد شامل سه پروتئین اینتیمین (Intimin)، Tir و EspA است. با توجه به این که این پروتئین ها نقش اساسی در اتصال و کلونیزاسیون باکتری دارد، جلوگیری از عملکرد آن ها می تواند از اتصال و در نهایت بروز بیماری جلوگیری کند. مطالعات انجام شده در مورد این پروتئین ها نشان می دهد که می تواند به عنوان کاندیداهای مناسبی برای تولید مواد ایمنی زا علیه این باکتری استفاده شود. پروتئین EspA که از اجزای سیستم ترشحی تیپ III (Type III Secretion System: TTSS) است، یک مجرای انتقال دهنده در سطح باکتری تولید و پروتئین Tir را از دورن خود به درون غشای میزبان منتقل می کند. این پروتئین می تواند به عنوان یک گیرنده برای اینتیمین که یک پروتئین غشایی در بدنه باکتری است، عمل نماید [۹، ۱۰]. با توجه به اهمیت این مجموعه اتصالی، جلوگیری از عملکرد سیستم متصل کننده باکتری به میزبان می تواند بیماری زایی باکتری را در مراحل اولیه متوقف کند. اطلاع از عملکرد این اجزا باعث شده است که این پروتئین ها به عنوان یکی از اهداف اصلی در مطالعات واکسن علیه این باکتری مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی واکسن های تولید شده علیه این باکتری به صورت تزریقی [۱۰] و در مطالعات جدید به صورت خوراکی مورد استفاده قرار می گیرد [۱۱]. در سیستم های جدید تولید و ارایه مواد ایمنی زا، واکسن های خوراکی (Edible Vaccine) به طور عمده شامل اجزایی از گیاهان تراریخت است که می تواند آنتی ژن مورد نظر را در بافت های خوراکی خود تولید کند. از مهم ترین مزیت استفاده از گیاهان برای تولید آنتی ژن ها، سالم بودن فرآورده حاصل از آن ها و عدم آلودگی به بیماری زاهاى انسانی است. یک گیاه ایده آل برای تولید واکسن خوراکی باید توانایی تراریخت و باززایی شدن را داشته باشد و امکان مصرف بخشی از گیاه که حاوی پروتئین نوترکیب است بدون پخته شدن میسر باشد [۱۲، ۱۳]. در مطالعات گذشته کارآیی ژن سه قسمتی Tir، اینتیمین، EspA در مدل موشی به نمایش در آمده بود. سؤال اصلی اینجاست که آیا می توان با به کارگیری بخش های

کوچک تری از آنتی ژن (ژن دو قسمتی به جای سه قسمتی) به همان نتیجه دست یافت؟ بنابراین در این تحقیق بخشی از ژن های مربوط به دو پروتئین اینتیمین و Tir که محصول پروتئینی آن ها در کلونیزاسیون باکتری به سطح روده میزبان نقش اصلی را بر عهده دارد انتخاب شد. فرضیه این تحقیق بر این پایه استوار است که با ایجاد ایمنی هومورال علیه اینتیمین و Tir از عملکرد مناسب این پروتئین ها و در نتیجه از اتصال مؤثر و تجمع باکتری اشریشیا کلی O157:H7 در روده میزبان جلوگیری به عمل می آید. برای اجرایی کردن این کار دو پروتئین اینتیمین و Tir به کمک یک رابط (Linker) پپتیدی آب گریز که از هر هم کنش بین دو پروتئین جلوگیری می کند به یکدیگر متصل شده و ترادف ژن مصنوعی به دست آمده براساس کدون های گیاه توتون بهینه سازی شد. ژن مربوط به پروتئین دوگانه با استفاده از پروموتور عمومی CaMV35S در گیاه مدل توتون بیان شد. پس از تولید پروتئین نوترکیب در گیاه، موش های آزمایشگاهی با برگ های حاصل از گیاه تراریخت تغذیه شده و تحریک اختصاصی سیستم ایمنی آن ها از طریق خوراکی و با روش های ایمونولوژیک نظیر الایزا (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay: ELISA) اثبات شد.

مواد و روش ها

مواد مورد استفاده

موادی از قبیل آنتی بادی کنژوگه از شرکت Sigma (آلمان) و High fidelity DNA polymerase از شرکت Roche (آلمان) خریداری شد. آغازگرها (Primers) و پروب های (Probes) مورد نیاز از شرکت ژن فن آوران (ایران) تهیه شد. سایر مواد از قبیل Taq DNA polymerase، dNTP، آگارز و آنزیم های محدودگر از شرکت Fermentas (روسیه) تهیه شد. هورمون های مورد استفاده در محیط کشت گیاه نظیر ۶-بنزیل آمینو پورین (6-Benzylaminopurine: 6-BAP) و ۱-نفتالین

۲۰ دقیقه دمای طولیل سازی انتهایی در ۷۲ درجه سانتی گراد بود. برای اطمینان A در انتهای قطعات PCR شده قرار داده شد. کیفیت محصول واکنش روی ژل آگارز ۱ درصد و پس از رنگ آمیزی با اتیدیوم بروماید (Ethidium Bromide) بررسی شد.

تهیه سازه ژنی pBI121-IT

با استفاده از محصول PCR که دارای انتهای A بود و ناقل pTZ57R/T (Fermentas، روسیه) که دارای انتهای T بود واکنش اتصال انجام گرفت. برای الحاق ژن به ناقل TA مخلوط اتصال به مدت یک شب در دمای ۱۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. همزمان ناقل pBI121 از درون باکتری اشیریشیا کلی DH5α به روش لیز قلیایی استخراج شد و هضم آنزیمی آن (*XbaI/SacI*) مطابق با روش استاندارد و در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد و به مدت ۳ ساعت انجام شد. در این مرحله و با این هضم آنزیمی، ژن گزارشگر بتا گلوکونیداز (GUS) به وزن تقریبی ۲ کیلو جفت باز از بدنه ناقل خارج شد و بدنه ناقل با استفاده از کیت استخراج از روی ژل آگارز تخلیص شد. قطعه حاصل از تکثیر نیز با هضم آنزیمی از ناقل pTZ57R-IT خارج و با استفاده از ناقل pBI121 برش خورده واکنش اتصال قطعات انجام گرفت. پس از پایان واکنش، مخلوط به درون میزبان اشیریشیا کلی منتقل و کلونی های مورد نظر در شرایط مناسب انتخاب شد. پس از اطمینان از مراحل اتصال، پلاسمید استخراج و به باکتری آگروباکتریوم (*Agrobacterium*) منتقل شد.

انتقال ژن به گیاه و باززایی آن

برای کشت گیاه توتون، بذر گیاه توتون (*Nicotiana glauca*) رقم Samsun (Samsun Caltivar) ابتدا ضد عفونی، سپس استریل و برای کشت به صورت فاصله دار روی محیط MS و در شرایط نوری ۱۰۰۰ لوکس و دمای ۲۸ درجه سانتی گراد در گلخانه قرار گرفت [۱۵]. برای تراریختی گیاه توتون با آگروباکتریوم نوترکیب واجد pBI121-IT، کشت شبانه

استیک اسید (1-Naphthaleneacetic acid: 1-NAA) از شرکت Fluka (آلمان) تهیه شد.

کلیه روش های ساخت محیط های کشت و آنتی بیوتیک ها، اندازه گیری غلظت DNA، تخلیص و هضم آنزیمی پلاسمید، تخلیص محصول هضم آنزیمی، الحاق قطعه هدف در ناقل، تهیه سلول های مستعد و غربالگری کلونی ها براساس کتب مرجع در روش های آزمایشگاهی مولکولی انجام شد [۱۴].

تکثیر ژن IT (ایتیمین - Tir) از طریق واکنش PCR

ژن سه قسمتی *espA*، *eae* و *tir* (ایتیمین) قبلاً توسط امانی و همکاران بهینه سازی و در بانک ژنی ثبت شده بود [۱۳]. در این بررسی از دو قسمت ایتیمین - Tir (IT) به عنوان آنتی ژن مورد نظر استفاده شد. به منظور جداسازی این دو قسمت از ساختار اصلی آغازگر برای دو سر ژن مورد نظر توسط نرم افزار Oligo 5 طراحی شد. در آغازگر جلویی (Forward) (TCTAGAGCCACCATTGGTCGATCAAACCTAAGGCTTC) برای افزایش بیان ساختار ژنی در سیستم یوکاریوتی (گیاه) توالی کوزاک (Kozak sequence) تعبیه و همچنین محل اثر آنزیم *XbaI* قرار داده شد. در آغازگر برگشتی (Reverse) (GAGCTCTCAAAGCTCATCCTTTCCAGCTCC) محل اثر آنزیم *SacI* به همراه توالی اسید آمینه KDEL طراحی شد. واکنش PCR با آنزیم High fidelity DNA polymerase (Roche، آلمان) و با استفاده از آغازگرهای طراحی شده و به کارگیری ۱۰ نانوگرم DNA الگو (پلاسمید حاوی ژن سه قسمتی) در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر و غلظت ۲ میلی مول منیزیم (Mg^{2+}) انجام شد. برنامه واکنش برای تکثیر قطعه مورد نظر به شرح زیر انجام گرفت، ۲ دقیقه واسرشت سازی اولیه (Initial Denaturation) در دمای ۹۴ درجه سانتی گراد و سپس ۳۰ چرخه تکثیر که هر چرخه شامل یک دقیقه دمای واسرشت سازی در ۹۴ درجه سانتی گراد، یک دقیقه دمای اتصال (Annealing) در ۶۰ درجه سانتی گراد، یک و نیم دقیقه دمای طولیل سازی (Extension) در ۷۲ درجه سانتی گراد و در نهایت

ایمن سازی حیوان آزمایشگاهی با استفاده از پروتئین

نوترکیب دوگانه

آماده سازی برگ های گیاه تراریخت برای ایمن سازی

موش ها

برای آب گیری نسبی، برگ ها به مدت ۲۴ ساعت در سرما و با کمک خلأ لیوفلیزه (Lyophilization) شد. سپس نمونه ها درون هاون چینی با کمک ازت مایع به طور کامل ساییده شد. بافت یکنواخت شده به کمک کمی شکر و آرد به صورت منسجم (کوکتل شده) درآمد و برای ایمن سازی موش ها از طریق خوراکی استفاده شد. با توجه به مقادیر محاسبه شده پروتئین نوترکیب هر بسته توتون کوکتل شده از نظر وزنی به گونه ای آماده شد که حاوی ۱۰ میکروگرم پروتئین دوگانه نوترکیب مورد نظر باشد. غذا و آب بین هر دوز آنتی ژن به میزان کافی برای موش ها مهیا شد.

تعیین غلظت پروتئین نوترکیب تولید شده در

گیاه با استفاده از روش ELISA

با استفاده از روش ELISA، پروتئین IT (rIT) که قبلاً در باکتری اشیریشیا کلی به صورت نوترکیب تولید شده بود [۱۷] به صورت سریال رقت از ۵ میکروگرم تا ۲ نانوگرم کف پلیت تثبیت (coat) شد. سپس با استفاده از آنتی بادی علیه IT نمودار استاندارد پروتئین IT (پروتئین دوگانه اینتیمین و Tir) رسم شد. پس از این مرحله پروتئین تام از گیاه تراریخت استخراج و با استفاده از روش برادفورد (Bradford) غلظت آن محاسبه شد. میزان ۱۰ میکروگرم از پروتئین تام گیاه تراریخت در پلیت ELISA بارگیری شد و سپس با استفاده از آنتی بادی ذکر شده [۱۷] واکنش ELISA انجام گرفت. میزان OD به دست آمده در نمودار استاندارد قرار داده شد و براساس آن میزان غلظت پروتئین نوترکیب IT تولید شده در گیاه محاسبه شد. این آزمایش سه بار تکرار شد.

از آگروباکتریوم تومی فاشینس (*Agrobacterium tumefaciens*) در غلظت های مناسب کانامایسین (Kanamycin) (۵۰ میکروگرم در میلی لیتر) و ریفامپیسین (Rifampicin) (۵۰ میکروگرم در میلی لیتر) انجام شد. سپس باکتری های رشد یافته در شرایط ۴ درجه سانتی گراد سانتی فوژ شد و به رسوب حاصل مقدار ۵-۱۰ میلی لیتر محلول MS بدون قند و استریل اضافه شد تا جذب نوری (Optical Density: OD) آن در طول موج ۶۰۰ نانومتر به ۰/۵ برسد. برگ های استریل و جوان گیاه یک ماهه توتون به صورت عرضی برش (ایجاد قطعات یک در یک سانتی متر مربع) داده شد و سپس این تکه برگ ها به درون سوسپانسیون باکتری منتقل و به مدت ۱۰ دقیقه در این شرایط قرار گرفت. پس از آن در پلیت های حاوی محیط هم کشتی حاوی هورمون های گیاهی (NAA ۰/۱ میلی گرم در لیتر، BAP ۲ میلی گرم در لیتر) به مدت ۴۸ ساعت کشت داده شد. در این مدت شرایط تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی گراد اعمال شد. سپس تکه برگ های آغشته به آگروباکتریوم برای باززایی به محیط گزینش گر با غلظت مناسب کانامایسین (۵۰ میلی گرم در لیتر) و سفوتاکسیم (Cefotaxime) (۲۰۰ میلی گرم در لیتر) انتقال یافت. بعد از گذشت ۱۴ روز جوانه ها از کنار برگ ها شروع به باززایی کردند. پس از ظاهر شدن برگ های اولیه این جوانه ها برای رشد کامل تر به درون شیشه و روی همان محیط قبلی انتقال یافتند. در مرحله بعد به منظور ریشه زایی هورمون های BAP و NAA از محیط کشت حذف شد و پس از رشد ریشه ها، گیاهان به خاک منتقل شدند و در نهایت پس از گل دهی بذر گیاه تراریخت به دست آمد.

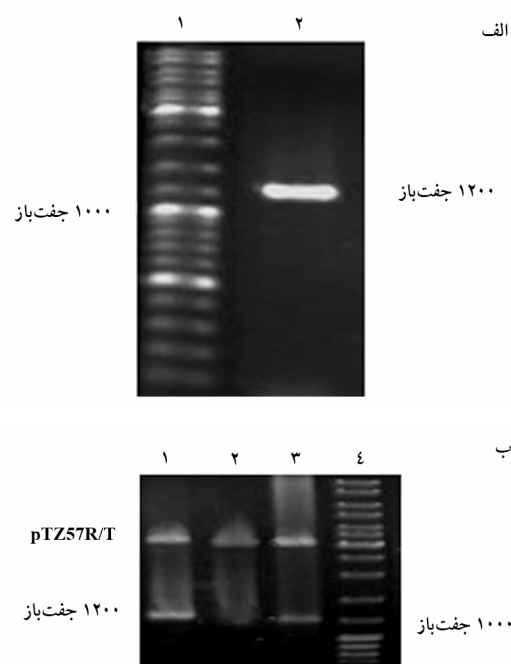
تأیید تراریختی گیاهان توتون از طریق PCR

با استفاده از روش بهینه شده استخراج ژنوم از گیاه [۱۶]، DNA ژنومی از نمونه ها استخراج شد. گیاهان تراریخت با استفاده از آزمون PCR و جفت آغازگرهای ذکر شده ارزیابی شد. محصول PCR روی ژل آگارز ۱ درصد الکتروفورز و پس از رنگ آمیزی با اتیدیوم بروماید ارزیابی شد.

نتایج

تکثیر ژن دو قسمتی *it* و کلون آن در ناقل TA (pTZ57R)

با استفاده از ژن کایمیریک سه قسمتی با ترجیح کدون گیاهی به عنوان الگو [۱۳]، ژن *it* از طریق واکنش PCR تکثیر و محصول واکنش روی ژل آگارز ۱ درصد بررسی شد. نتیجه این تکثیر در شکل ۱ بخش الف نمایش داده شده است. پس از کلون کردن قطعه PCR در ناقل pTZ57R/T محصول اتصال به درون سلول مستعد اشریشیا کلی DH5α از طریق شوک حرارتی انتقال داده شد. از کلونی رشد یافته استخراج پلاسمید انجام شد و هضم آنزیمی با کمک آنزیم‌های دو سر ژن برای تأیید کلون‌های مربوط صورت گرفت (شکل ۱ بخش ب).

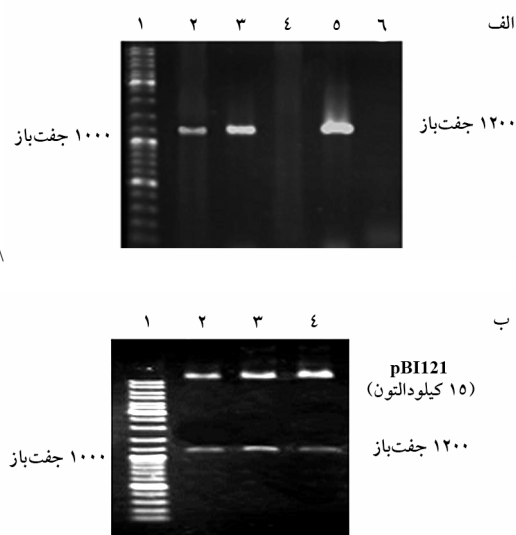


شکل ۱ (الف) محصول PCR ژن *it* با ترجیح کدون گیاهی با آنزیم High fidelity DNA polymerase؛ ستون ۱) نشانگر اندازه DNA ۱۰۰ جفت‌بازی، ستون ۲) محصول PCR ژن *it* با ترجیح کدون اشریشیا کلی به عنوان کنترل مثبت؛ (ب) محصولات هضم آنزیمی بر روی چند کلونی مختلف از pTZ57R/T نوترکیب حاوی ژن *it*؛ ستون ۱) نشانگر اندازه DNA ۱۰۰ جفت‌بازی، ستون‌های ۲-۴) پلاسمید pTZ57R/T حاوی قطعات دوگانه *it* برش خورده با آنزیم‌های *XbaI* و *SacI*

زیر همسانه‌سازی ژن دوگانه *it* در ناقل بیانی

pBI121 در گیاه و انتقال به داخل آگروباکتریوم

ناقل pBI121 دارای پروموتور عمومی CaMV35S برای بیان در کل ساختار گیاه است. برای این منظور ناقل pBI121 و ناقل نوترکیب pTZ57R/T حاوی سازه ژنی با دو آنزیم *XbaI* و *SacI* هضم و پس از خالص‌سازی قطعات مورد نظر، واکنش اتصال و عمل انتقال پلاسمید نوترکیب به درون سلول مستعد اشریشیا کلی DH5α از طریق شوک حرارتی انجام گرفت. برای تأیید کلون‌ها از دو روش PCR (شکل ۲ الف) و هضم آنزیمی (شکل ۲ ب) استفاده شد.



شکل ۲ (الف) الگوی الکتروفورز محصول PCR از کلون‌های حاوی قطعه دوگانه دو قسمتی *it* در ناقل pBI121 روی ژل آگارز یک درصد؛ ستون ۱) نشانگر اندازه DNA، ستون‌های ۲-۶) تجزیه و تحلیل کلون‌های حاوی قطعه دوگانه مورد نظر؛ (ب) الگوی الکتروفورز محصول هضم آنزیمی pBI121 نوترکیب حاوی قطعه دوگانه دو قسمتی *it* با دو آنزیم *XbaI* و *SacI* روی ژل آگارز یک درصد؛ ستون ۱) نشانگر اندازه DNA، ستون‌های ۲-۴) پلاسمید pBI121 حاوی قطعه دوگانه دو قسمتی *it* برش خورده با آنزیم‌های *XbaI* و *SacI*

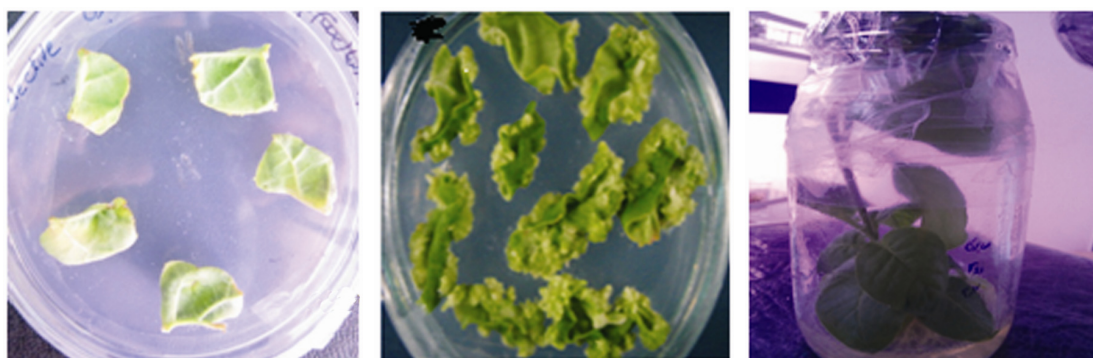
انتقال pBI121 نوترکیب به داخل آگروباکتریوم انجام و حضور سازه‌های ژنی در باکتری‌های نوترکیب از طریق PCR

با آغازگرهای اختصاصی ارزیابی و حضور ژن تأیید شد (داده‌ها ارایه نشده است). مراحل تراریختی و باززایی نیز طبق روش‌های استاندارد (بخش مواد و روش‌ها) انجام شد.

کشت بافت و تراریختی گیاه توتون

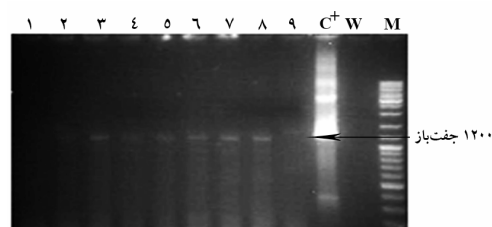
از برگ‌های جوان گیاه توتون (سه هفته‌ای) به عنوان بافت هدف برای انتقال ژن به گیاه استفاده شد. برای تراریختی از

قطعات برگ گیاه جوان استفاده شد. این برگ‌ها با آگروباکتریوم نوترکیب آغشته و سپس در پلیت‌های حاوی محیط هم‌کشتی حاوی هورمون (به بخش مواد و روش‌ها مراجعه شود) به مدت ۴۸ ساعت کشت داده شد. پس از ظاهر شدن برگ‌های اولیه این جوانه‌ها برای رشد کامل‌تر به درون شیشه‌ها انتقال یافتند و در نهایت ۱۰ گیاه رشد کافی داشتند و تبدیل به گیاه کامل شدند (شکل ۳).



شکل ۳ مراحل انتقال سازه ژنی به گیاهان توتون، جداسازی گیاهان تراریخت از غیر تراریخت

از این DNA خالص شده واکنش PCR با آغازگرهای اختصاصی ژن *it* انجام شد و محصول آن روی ژل آگارز ۱ درصد الکتروفورز شد. از محصول PCR انجام شده قطعه‌ای به اندازه تقریبی ۱۲۰۰ جفت‌باز ایجاد شد. نتیجه این تکثیر در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴ آزمون PCR روی DNA ژنومی استخراج شده از گیاهان تراریخت با استفاده از آغازگرهای اختصاصی ژن *it* (چاهک ۱ تا ۹) محصول PCR از DNA های گیاهان تراریخت، همه نمونه‌های گیاهی واجد ژن مورد نظر هستند. چاهک (W) محصول PCR با استفاده از DNA ژنومی از گیاه غیرتراریخت (کنترل منفی)، چاهک (C+) محصول PCR با استفاده از پلاسمید نوترکیب (کنترل مثبت)، چاهک (M) نشانگر اندازه DNA ۱۰۰ جفت‌بازی

بررسی میزان تولید پروتئین نوترکیب IT در گیاهان تراریخت

برای بررسی کمی تولید پروتئین نوترکیب درون گیاه توتون پس از استخراج پروتئین کل از مقدار مشخصی از برگ، میزان پروتئین محلول به روش برادفورد تعیین شد و میزان ۱۰ میکروگرم از این پروتئین (Total Soluble Protein: TSP) درون چاهک‌های ELISA تثبیت شد. با استفاده از آنتی‌بادی علیه IT تولید شده در مطالعات قبلی همین

تجزیه و تحلیل مولکولی گیاه تراریخت

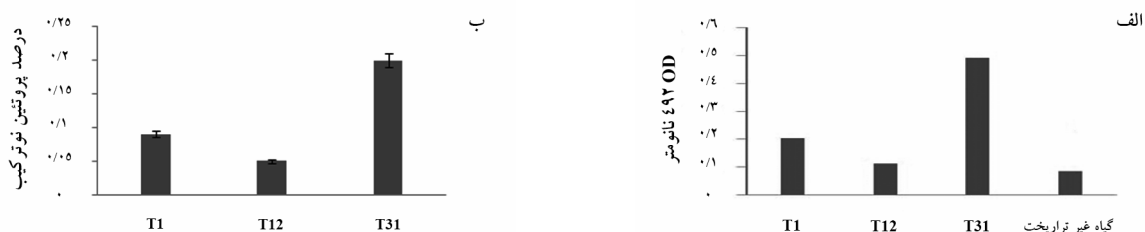
آزمون PCR به منظور اثبات حضور سازه ژنی در گیاهان تراریخت شده

DNA از بافت گیاهان تراریخت استخراج شد. با استفاده

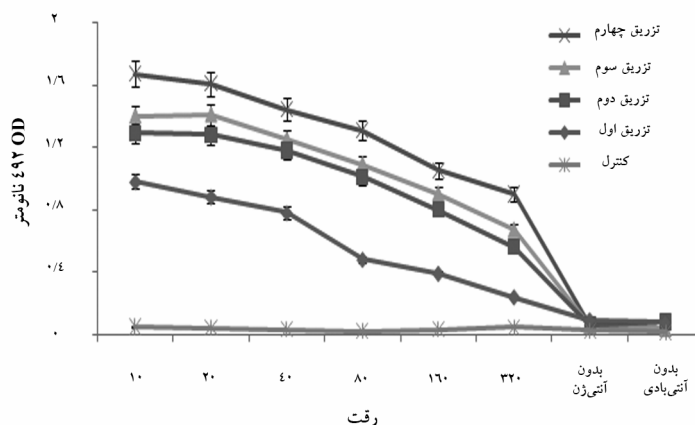
تولید واکسن دوگانه خوراکی بر علیه اشیریشیا کلی O157:H7 و ارزیابی آن در موش مدل

پروتئین‌های برگ متعلق به پروتئین نوترکیب IT است. نتایج این تجزیه و تحلیل روی سه گیاه (رده‌های ۱، ۱۲، ۳۱) انجام شد که نتیجه آن در شکل ۵ آمده است.

گروه [۱۷] حضور پروتئین مورد نظر ارزیابی شد. در این آزمون OD های به دست آمده با نمودار استاندارد ELISA مقایسه شد. نتایج نشان داد که در بهترین حالت میزان ۰/۲ درصد از کل



شکل ۵ تعیین میزان پروتئین نوترکیب در برگ گیاه تراریخت توتون به روش ELISA؛ (الف) مقایسه OD های به دست آمده گیاهان تراریخت و گیاه غیر تراریخت به عنوان کنترل برای محاسبه غلظت پروتئین نوترکیب، (ب) بررسی میزان بیان پروتئین نوترکیب IT در گیاهان تراریخت، ستون T1 و T12 و T31 معرف رده‌های گیاهان تراریخت است.



شکل ۶ نتایج ELISA برای تعیین تیتراژ آنتی‌بادی از کلاس IgG علیه پروتئین نوترکیب دو قسمتی IT؛ محور افقی: رقت‌های تهیه شده از سرم موش‌های ایمن، محور عمودی: میزان OD که از رقت‌های مختلف سرم موش ایمن علیه پروتئین‌های نوترکیب دو قسمتی IT به دست آمده است.

ایمن‌سازی با دوز خوراکی، افزایش تیتراژ آنتی‌بادی در مقایسه با کنترل قابل توجه است. به عبارت دیگر؛ این پروتئین‌ها پس از ورود به بدن حیوان و از طریق خوراکی قدرت تولید آنتی‌بادی را دارد.

بحث

تحقیقاتی که قبلاً روی سویه‌های بیماری‌زای اشیریشیا کلی

ارزیابی تولید آنتی‌بادی به روش ELISA

برای تعیین تیتراژ آنتی‌بادی تولید شده از کلاس IgG در بدن حیوان (پس از خوراک‌دهی با برگ‌های گیاه تراریخت) علیه پروتئین نوترکیب روش ELISA استفاده شد. نمودار ارایه شده در شکل ۶ بیانگر تیتراژ آنتی‌بادی تولید شده در حیوانات و پس از هر بار ایمن‌سازی با دوز خوراکی گیاه تراریخت است. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که پس از هر مرحله

O157:H7 انجام شده نشان دهنده آن است که استفاده از کل باکتری به صورت تخفیف حدت داده شده می‌تواند در بدن حیوان ایجاد ایمنی نماید ولی همواره این خطر وجود دارد که باکتری به حالت وحشی برگردد [۱]. علاوه بر آن واکسن‌های ضعیف شده در کنار مزایای خود در مورد تولید آنتی‌ژن به صورت طبیعی، ممکن است با ارگانیزم‌های رقیب، آنتی‌بیوتیک‌ها یا پادتن (آنتی‌بادی) های موجود مهار شود. توجه به این نکته نیز مهم است که به دلیل احتمال آلوده شدن سایر حیوانات غیر هدف با این ارگانیزم‌ها، امنیت لازم نیز تضمین نمی‌شود. بنابراین رویکرد جدیدی در تولید مواد ایمنی‌زا به صورت نو ترکیب و تجویز آن مطرح شد. در سال‌های اخیر علاوه بر سیستم‌های پروکاریوتیک و یوکاریوت ساده، گیاهان تراریخت نیز به عنوان تولید کننده زیستی برای تولید مواد آنتی‌ژنی مطرح شده‌اند. توانایی این میزبان‌ها در تولید و در شرایط خاص عرضه مولکول‌های ایمنی‌زا به دستگاه گوارش (محل عفونت بسیاری از باکتری‌های بیماری‌زا از جمله اشریشیا کلی) سبب شده که این گیاهان بتوانند پاسخ‌های سیستم ایمنی مخاطی را به‌ویژه در محل اصلی و سپس ایمنی سیستمیک را در کل بدن موجود زنده تحریک نمایند [۱۱]. علاوه بر آن؛ گیاهان قادر به تولید فرآورده‌هایی هستند که فاقد آلودگی به بیماری‌زاهای انسانی است و همچنین دارای امکانات سلول‌های یوکاریوتی برای پردازش پس از ترجمه پروتئین‌ها (نظیر افزودن مولکول‌های قندی و تاخوردگی (Folding) مناسب) هستند. از نظر اقتصادی نیز هزینه تولید پروتئین‌های نو ترکیب در گیاهان تراریخت کمتر از هزینه تولید آن‌ها در سلول‌های پروکاریوتی نظیر باکتری اشریشیا کلی است. توجه به این نکته نیز اهمیت دارد که سلول‌های گیاهی به عنوان میکروکپسول‌های محافظتی عمل می‌کنند و می‌توانند آنتی‌ژن‌هایی با عملکرد واکسن را پیش از رسیدن به بافت‌های هدف (نظیر روده)، از تجزیه در دستگاه گوارش فوقانی حفظ نمایند. مطالعات صورت گرفته در مورد باکتری اشریشیا کلی O157:H7 مشخص کرده است که مهم‌ترین عامل بیماری‌زایی

این باکتری ابزارهای اتصال باکتری به سلول‌های روده میزبان است [۱]. برای اتصال باکتری به سلول‌های میزبانی چندین پروتئین نقش دارد که پروتئین‌های Tir و ایتیمین و EspA مهم‌ترین نقش را ایفا می‌نماید [۶]. EspA با تولید یک کانال ارتباطی نقش اولیه را برای انتقال پروتئین‌های مهم در میانکشی باکتری با سطح سلول‌های میزبانی بر عهده دارد. اما آنچه وظیفه اتصال پایدار را بر عهده دارد، ارتباط بین پروتئین Tir (که به واسطه عملکرد EspA به سلول میزبان منتقل و در غشای آن جایگزین شده) و پروتئین غشایی ایتیمین (از سلول باکتری) است. از آن‌جا که پروتئین‌های EspA، EspB، EspE، Tir و ایتیمین نقش اساسی در اتصال و کلونیزاسیون باکتری دارد و جلوگیری از اتصال می‌تواند از بروز بیماری جلوگیری کند، این پروتئین‌ها به عنوان کاندیداهای خوبی برای ایجاد واکسن شناخته شده‌است. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ توسط فان (Fan) و همکارانش انجام شد [۱۸] نشان دادند که Tir خالص شده باعث افزایش تیتراژ IgG و IgA در سرم و مدفوع انسان و دام می‌شود. همچنین در مدل‌های مورد آزمایش کاهش میزان اشریشیا کلی O157:H7 در مدفوع نیز دیده می‌شود. این نتایج پتانسیل Tir را در فرمولاسیون واکسن موکوسی برای پیشگیری تجمع و ریزش O157:H7 نشان می‌دهد. در مطالعه دیگری نشان داده شد که واکسن خوراکی حاوی EspA، EspB و ایتیمین میزان اشریشیا کلی O157:H7 را در ریزش مدفوعی گوسفند کاهش داده است و این اولین گزارش در مورد هدف قرار دادن سیستم ایمنی گوسفند برای کاهش ریزش مدفوعی بود [۱۹]. نتایج تحقیقاتی که در ایران انجام شده نشان می‌دهد که تولید بخش‌های ایمنی‌زا از پروتئین‌های (E) EspA، ایتیمین [Intimin (I)] و (T) Tir در گیاه تراریخت و ایمن‌سازی حیوانات مدل از طریق خوراکی می‌تواند موجب تحریک ایمنی هومورال (IgG) و مخاطی (IgA) شود [۱۳]. در تحقیقی دیگر نشان داده شد که خوراندن سالمونلای (Salmonella) زنده و ضعیف شده به موش که قادر به بیان یک پروتئین دوگانه شامل قطعاتی از EspA

Toxin Beta: LTB) میزان بیان در گیاه توتون بین ۰/۱-۰/۴ درصد گزارش شده است [۱۵]. در این مطالعه نیز میزان پروتئین تولیدی به ۰/۲ درصد از پروتئین محلول رسید. گرچه در مقایسه با سایر سیستم‌های تولیدی این مقدار زیاد نیست اما در مقایسه با سایر مطالعات مشابه [۱۵، ۲۲] تولید مقادیری در حدود ۰/۲ درصد پروتئین محلول قابل قبول به نظر می‌رسد. هرچند با بهینه شدن کدون‌ها بر مبنای گیاه توتون و به‌کارگیری ترادف‌های تنظیمی که می‌تواند موجب افزایش ترجمه در میزبان گیاهی شود، انتظار می‌رفت مقادیر پروتئین تولید شده بیشتر از این مقادیر باشد. البته با در نظر گرفتن جایگاه قرارگیری ژن مورد نظر در داخل ژنوم (Positional Effect) و همچنین تعداد نسخه‌های وارد شده به گیاه، ارزیابی این نتیجه چندان هم دقیق نخواهد بود اما می‌توان میزان بیان این پروتئین دوگانه در برگ گیاه توتون را مناسب دانست.

برای تأمین مقادیر مناسب از آنتی‌ژن لازم بود که حجم برگ‌های مورد استفاده در خوراک‌دهی حیوان کاهش یابد. بدین منظور از روش خشک کردن در خلأ و سرما استفاده شد. البته توجه به این نکته‌ها حائز اهمیت است که به‌کارگیری روش خشک کردن در خلأ و سرما می‌تواند بر مقادیر آنتی‌ژن یا ساختار آن تأثیر بگذارد. به همین دلیل به نظر می‌رسد نتایج به‌دست آمده با استفاده از برگ توتون تنها به عنوان یک مدل قابل بررسی است و برای دستیابی به نتایج کاربردی‌تر می‌بایست نوع گیاه و بافت مورد استفاده تغییر نماید. بنابراین به‌کارگیری بخش‌های خوراکی گیاهان نظیر دانه و بذر یا میوه ارجحیت خواهد داشت [۱۱، ۲۳]. اما نتایج حاصل از ایمن‌سازی و انجام آزمون ELISA با استفاده از سرم موش‌های ایمن شده نشان داد که پس از هر بار خوراک‌دهی میزان آنتی‌بادی (از کلاس IgG) در بدن این حیوانات افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که جذب این آنتی‌ژن‌ها از سیستم گوارش به خوبی صورت گرفته و سیستم ایمنی بدن نیز به خوبی نسبت به آن واکنش نشان داده است. البته توجه به این نکته اهمیت دارد که موش پستاندار تک معده‌ای است و آنتی‌ژن مورد نظر با تغییر کمتری به روده و محل تجمع

اینتیمین و زیر واحد بتای سم شیگا (Shiga Toxin) (StxB) باشد، به خوبی حیوان را در برابر دوزهای کشنده EHEC حفظ می‌نماید [۲۰].

نتایج این تحقیقات کارایی این آنتی‌ژن‌ها را در ایمن بخشی از طریق خوراکی نشان می‌دهد. اما آنچه در استراتژی ایمن‌سازی دارای اهمیت است، انتخاب ایمنی‌زای مناسب است. در این روش‌ها استفاده از حداقل آنتی‌ژن و ایجاد ایمنی حداکثری بسیار مهم است. به عبارت دیگر؛ تلاش شد که با حذف توالی سازنده پروتئین EspA از ساختار سه قسمتی [۱۳]، پروتئینی حاوی بخش‌های ایمنی‌زای Tir و اینتیمین ایجاد شود. این امر بدین لحاظ اهمیت دارد که از نظر کاری تشکیل این سازه ژنی کوتاه راحت‌تر بوده و بیان آن نیز در سلول میزبان با مشکل کمتری مواجه خواهد شد. همچنین با کاهش اندازه پروتئین می‌توان عوارض جانبی احتمالی حاصل از تجویز آن در بدن موجود زنده را کاهش داد.

در این تحقیق در ادامه تحقیقات قبلی ابتدا ژن مصنوعی دو قسمتی *it* که براساس کدون‌های گیاه بهینه‌سازی شده بود درون ناقل pBI121 که واجد پیش‌برنده عمومی CaMV35S است، زیر همسانه‌سازی شد و از طریق آگروباکتریوم *Agrobacterium tumefaciens* به گیاه توتون منتقل شد. این روش ترانسفورماسیون (Transformation) ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش در مقایسه با سایر روش‌های ترانسفورماسیون گیاه است [۲۱]. پیش‌برنده عمومی CaMV35S از ویروس موزاییک کالی‌فلور (Cauliflower Mosaic Virus) جدا شده است و یکی از قوی‌ترین و معمول‌ترین پیش‌برنده‌های قابل استفاده در تحقیقات گیاهان تراریخت است. این پیش‌برنده در تمامی مراحل زندگی گیاه از لحظه تشکیل سلول گیاه تراریخت تا انتهای بذردهی امکان فعالیت دارد. بنابراین انتظار می‌رود که تولید پروتئین در بخش‌های مختلف گیاه تحت تأثیر مراحل رشد و نمو آن قرار نگیرد. گیاه توتون از نظر تولید پروتئین در قسمت‌های مختلف چندان توانمند نیست و تنها حدود ۰/۱ وزن برگ این گیاه شامل پروتئین‌های محلول است. در مطالعات مشابه که روی یک آنتی‌ژن باکتریایی کار شده است (Labile

مولکول دو قسمتی محسوب شود. از سوی دیگر؛ هرچند اثر بیان تراریخت روی میزبان از جمله مواردی است که در همه میزبانها (اعم از پروکاریوت و یوکاریوت) قابل بررسی است، اما در مورد گیاه چون مراحل گل و بذردهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه می‌تواند انتقال تراریخت به نسل بعدی را دچار مشکل نماید، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

در جمع‌بندی با طراحی و بیان موفق یک پروتئین دوگانه و اثبات ایمنی‌زا بودن آن هنگام مصرف خوراکی (در سطح توانایی تولید آنتی‌بادی) می‌توان انتظار داشت که مراحل بعدی شامل طراحی، ساخت و به‌کارگیری ایمنی‌زاهای مصنوعی، ایمن‌سازی از طریق دهانی را به عنوان روشی مناسب معرفی کرده و کار با قدرت بیشتری ادامه یابد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری برای تأمین منابع مالی (طرح شماره ۳۳۸)، امکانات آزمایشگاهی و شرایط انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

پلاک‌های پیر (Peyers Patch) می‌رسد اما در حیوانات (نظیر گاو) قبل از رسیدن آنتی‌ژن به بافت هدف، باید از ۴ مرحله گوارش (معدده) بگذرد؛ بنابراین احتمال تغییر در آنتی‌ژن مورد نظر وجود دارد. گرچه اظهار نظر نهایی در مورد این مسئله نیاز به بررسی‌های بیشتر آزمایشگاهی دارد.

مشاهدات انجام شده در مورد ایمنی‌زایی نشان داد که میزان آنتی‌بادی تولید شده در اثر ایمنی‌سازی حیوانات با دو آنتی‌ژن اینتیمین و Tir کمتر از مقادیری است که با ۳ آنتی‌ژن (ساختار مصنوعی ۳ تایی) ایجاد می‌شود [۱۳]. بنابراین با وجود کوچک‌تر شدن ساختار آنتی‌ژن (دو قسمتی) و امکان تولید راحت‌تر آن در سیستم‌های مختلف، میزان ایمنی ایجاد شده کمتر است.

نکته نهایی آثار وجود این ژن‌ها روی عملکرد گیاه به عنوان میزبان است. نتایج نشان داد که گیاه تراریخت در مقایسه با گیاهان غیر تراریخت دیرتر رشد کرده و مراحل گل و بذردهی را کندتر از گیاه طبیعی طی می‌کند. گرچه این مسئله در آزمایش‌های گذشته مشاهده نشده است [۱۳]، اما این مسئله از جمله مواردی است که می‌تواند از نقاط قابل تأمل این

منابع

- [1] Stevens MP, van Diemen PM, Dziva F, Jones PW, Wallis TS. Options for the control of enterohaemorrhagic *Escherichia coli* in ruminants. *Microbiology* 2002; 148(Pt 12): 3767-78.
- [2] Murphy M, Buckley JF, Whyte P, O'Mahony M, Anderson W, Wall PG, Fanning S. Surveillance of dairy production holdings supplying raw milk to the farmhouse cheese sector for *Escherichia coli* O157, O26 and O111. *Zoonoses Public Health* 2007; 54(9-10): 358-65.
- [3] Aslani MM, Bouzari S. An epidemiological study on Verotoxin-producing *Escherichia coli* (VTEC) infection among population of northern region of Iran (Mazandaran and Golestan provinces). *Eur J Epidemiol* 2003; 18(4): 345-9.
- [4] Shekarforoush S, Tahamtan Y, Pourbakhsh A. Detection and frequency of Stx2 gene in *Escherichia coli* O157 and O157:H7 strains isolated from sheep carcasses in Shiraz-Iran. *Pak J Biol Sci* 2008; 11(8): 1085-92.
- [5] Potter AA, Klashinsky S, Li Y, Frey E, Townsend H, Rogan D, Erickson G, Hinkley S, Klopfenstein T, Moxley RA, Smith DR, Finlay BB. Decreased shedding of *Escherichia coli*

- O157:H7 by cattle following vaccination with type III secreted proteins. *Vaccine* 2004; 22(3-4): 362-9.
- [6] Allen KJ, Rogan D, Finlay BB, Potter AA, Asper DJ. Vaccination with type III secreted proteins leads to decreased shedding in calves after experimental infection with *Escherichia coli* O157. *Can J Vet Res* 2011; 75(2): 98-105.
- [7] Oliveira AF, Cardoso SA, Almeida FB, de Oliveira LL, Pitondo-Silva A, Soares SG, Hanna ES. Oral immunization with attenuated *Salmonella* vaccine expressing *Escherichia coli* O157:H7 intimin gamma triggers both systemic and mucosal humoral immunity in mice. *Microbiol Immunol* 2012; 56(8): 513-22.
- [8] McNeilly TN, Mitchell MC, Rosser T, McAteer S, Low JC, Smith DG, Huntley JF, Mahajan A, Gally DL. Immunization of cattle with a combination of purified intimin-531, EspA and Tir significantly reduces shedding of *Escherichia coli* O157:H7 following oral challenge. *Vaccine* 2010; 28(5): 1422-8.
- [9] Kühne SA, Hawes WS, La Ragione RM, Woodward MJ, Whitlam GC, Gough KC. Isolation of recombinant antibodies against EspA and intimin of *Escherichia coli* O157:H7. *J Clin Microbiol* 2004; 42(7): 2966-76.
- [10] McNeilly TN, Mitchell MC, Nisbet AJ, McAteer S, Erridge C, Inglis NF, Smith DG, Low JC, Gally DL, Huntley JF, Mahajan A. IgA and IgG antibody responses following systemic immunization of cattle with native H7 flagellin differ in epitope recognition and capacity to neutralise TLR5 signalling. *Vaccine* 2010; 28(5): 1412-21.
- [11] Lal P, Ramachandran VG, Goyal R, Sharma R. Edible vaccines: current status and future. *Indian J Med Microbiol* 2007; 25(2): 93-102.
- [12] Judge NA, Mason HS, O'Brien AD. Plant cell-based intimin vaccine given orally to mice primed with intimin reduces time of *Escherichia coli* O157:H7 shedding in feces. *Infect Immun* 2004; 72(1): 168-75.
- [13] Amani J, Mousavi SL, Rafati S, Salmanian AH. Immunogenicity of a plant-derived edible chimeric EspA, Intimin and Tir of *Escherichia coli* O157:H7 in mice. *Plant Sci* 2011; 180(4): 620-7.
- [14] Russel D, Sambrook J. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press; 2004; 1.31, 1.35, 1.84, 1.103-5.4, 5.18, 5.29.
- [15] Kang TJ, Han SC, Jang MO, Kang KH, Jang YS, Yang MS. Enhanced expression of B-subunit of *Escherichia coli* heat-labile enterotoxin in tobacco by optimization of coding sequence. *Appl Biochem Biotechnol* 2004; 117(3): 175-87.
- [16] Amani J, Kazemi R, Abbasi A, Salmanian AH. A simple and rapid leaf genomic DNA extraction method for polymerase chain reaction analysis. *Iran J Biotechnol* 2011; 9(1): 69-71.
- [17] Amani J, Salmanian AH, Rafati S, Mousavi SL. Immunogenic properties of chimeric protein from espA, eae and tir genes of *Escherichia coli* O157:H7. *Vaccine* 2010; 28(42): 6923-9.
- [18] Fan HY, Wang L, Luo J, Long BG. Protection against *Escherichia coli* O157:H7 challenge by immunization of mice with purified Tir proteins. *Mol Biol Rep* 2012; 39(2): 989-97.
- [19] Yekta MA, Goddeeris BM, Vanrompay D, Cox

- E. Immunization of sheep with a combination of intimin, EspA and EspB decreases *Escherichia coli* O157:H7 shedding. Vet Immunol Immunopathol 2011; 140(1-2): 42-6.
- [20] Gu J, Ning Y, Wang H, Xiao D, Tang B, Luo P, Cheng Y, Jiang M, Li N, Zou Q, Mao X. Vaccination of attenuated EIS-producing *Salmonella* induces protective immunity against enterohemorrhagic *Escherichia coli* in mice. Vaccine 2011; 29(43): 7395-403.
- [21] Rao AQ, Bakhsh A, Kiani S, Shahzad K, Shahid AA, Husnain T, Riazuddin S. The myth of plant transformation. Biotechnol Adv 2009; 27(6): 753-63.
- [22] Ghiasi SM, Salmanian AH, Chinikar S, Zakeri S. Mice orally immunized with a transgenic plant expressing the glycoprotein of Crimean-Congo hemorrhagic fever virus. Clin Vaccine Immunol 2011; 18(12): 2031-7.
- [23] Tiwari S, Verma PC, Singh PK, Tuli R. Plants as bioreactors for the production of vaccine antigens. Biotechnol Adv 2009; 27(4): 449-67.