

مقایسه تنوع ژنتیکی جدایه‌های باکتری *Erwinia amylovora* در خوشه‌های ژنی pEA29 و *dsp* و *ams* و *hrp*

The comparison of genetic diversity of *Erwinia amylovora* strains *hrp*, *ams* and *dsp* gene clusters and pEA29 Plasmid

سمیرا رهیده^۱، حمید عبدالله^{۲}

- ۱- کارشناس ارشد واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
۲- دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

Rahideh S¹, Abdollahi H^{*2}

1. MSc Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: HamidAbdollahi@spii.ir

(تاریخ دریافت: ۹۱/۰۵/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۲)

چکیده

باکتری *Erwinia amylovora* عامل بیماری آتشک در درختان میوه دانه‌دار می‌باشد. به منظور بررسی رابطه شدت بیماری‌زائی با خصوصیات ژنتیکی جدایه‌ها، در تحقیق حاضر، تنوع ژنتیکی سه خوشه ژنی دخیل در بیماری‌زائی شامل *hrp* و *ams* و *dsp* با استفاده از نشانگر PCR-RFLP مورد مقایسه قرار گرفت. علاوه بر این تنوع پلاسمید pEA29 باکتری با استفاده از جفت آغازگر PEANT بررسی شد. جدایه‌های مورد استفاده شامل ۱۷ جدایه از میزبان‌های بومی ایران و جدایه Ea273 از آمریکا بود. پس از طراحی آغازگرهای اختصاصی بر روی خوشه‌های ژنی مذکور و انجام واکنش PCR مخصوصات با آنزیم‌های *TaqI*، *SalII*، *PstI*، *MboI*، *HhaI*، *BglII*، *AluI* و *pEA29* مورد هضم قرار گرفتند. به علاوه، ۵ مخصوص PCR خوشه‌زنی *ams* در ۵ جدایه با منشا جغرافیایی مختلف توالی بایی شدند. نتایج حاصل هیچ گونه تنوعی را در محل اتصال و طول باند آغازگرهای خوشه‌های ژنی مختلف نشان نداد. به علاوه هضم با آنزیم‌های محدود گننده، در کلیه جدایه‌ها الگوی هضم یکنواختی را ایجاد کرد. توالی بایی مخصوصات PCR خوشه‌زنی *ams* نیز به طور کامل مشابه نشان دادند که حاکی از حفاظت‌شدگی بسیار بالای ژنوم در این خوشه ژنی بود. بررسی تنوع ناحیه تکثیر شده توسط آغازگرهای PEANT روی پلاسمید pEA29 مؤید تفاوت در طول و توالی این ناحیه در جدایه‌های مختلف بود. به نظر می‌رسد میزان حفاظت شدگی موجود در این پلاسمید بسیار پائین‌تر از ژنوم باکتری باشد.

واژه‌های کلیدی
بیماری آتشک،
تنوع ژنتیکی،
خوشه‌های ژنی *hrp*،
Ams
dsp

مقدمه

مختلف پیدا نشده است (Vanneste 1995). بر اساس مطالعات گسترده در زمینه ردبهندی جنس *Erwinia* و با استفاده از جدایه‌های متعلق به زیرخانواده دانه‌دارها، دای (Dye 1968) مشاهده کرد که تفاوت قابل توجهی در خصوصیات بیوشیمیایی یا مصرف کربوهیدرات‌های مختلف در بین اعضای گروههای مختلف باکتری *E. amylovora* پیدا نشد. بر اساس مطالعات سرولوزیک، الرود (Elrod 1941) چنین نتیجه‌گیری کرد که *E. amylovora* یک گونه شدیداً یکنواخت است. ۱۰۳ جدایه *E. amylovora* توسط Vantomme et al. (1982) بررسی شد و آن‌ها دریافتند که این جدایه‌ها از نظر بیوشیمیایی و خصوصیات الکتروفورز شیمیایی علی‌رغم تفاوت‌شان در منشأ جغرافیایی و میزبان، کاملاً یکنواختی نشان می‌دهند.

مطالعه ۲۲ جدایه از میزبان‌های مختلف با پراکنش جغرافیایی متفاوت، با استفاده از انگشت‌نگاری PCR، چندشکلی کمی را در ۱۷ جدایه نشان داد (Rico et al. 2003). بررسی ۹۳ جدایه باکتری *E. amylovora* با روش Rep-PCR و با استفاده از ۷ آغازگر تصادفی، چندشکلی بسیار کمی را تنها در ۱۱ جدایه نشان داد (Rico et al. 2008). با کمک شیوه‌های مولکولی، تنوع ژنتیکی جدایه‌های *E. amylovora* بهتر از قبل مشخص شده است. اولین کسی که تنوع در بیماری‌زایی باکتری *E. amylovora* را گزارش کرد آرتور Arthur (1887) بود. دیگر مطالعات نیز نشان‌دهنده وجود تفاوت Shaffer and Goodman در جدایه‌های مختلف این باکتری است (1962). برخی تفاوت‌ها بین جدایه‌های دانه‌دارها به وسیله آنالیز McManus and Momol et al. 1997)، ریبوتیپینگ^۲ (Zhang and Geider 1997) و الگوی PFGE^۳ (Jones 1995 مشخص شده است.

برای مبارزه با این بیماری روش‌های کنترل متعددی به کار گرفته شده، ولی هیچ‌کدام از این روش‌ها به عنوان روش مبارزه قطعی مؤثر واقع نشده‌اند. یکی از عوامل محدود بودن موفقیت‌ها در زمینه مبارزه با این بیماری، شناخت محدود در زمینه تنوع ژنتیکی عامل بیماری آتشک می‌باشد. با گسترش هرچه بیشتر آتشک در

باکتری *Erwinia amylovora* عامل بیماری آتشک، تهدیدی جدی برای طیف وسیعی از زیرخانواده دانه‌دارها^۱ در سطح جهان به حساب می‌آید (Duffy et al. 2005; Norelli et al. 2003). این بیماری از هر پنج قاره دنیا و در بیش از چهل کشور گزارش شده (van der Zwet and Bonn 1999) فراوانی خصوصاً در درختان به، گلابی و سیب ایجاد می‌نماید. باکتری عامل بیماری آتشک، بی‌هوای اختیاری، گرم منفی بوده و Billing et al. (1961) دمای بهینه رشد ۲۵–۲۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (). این باکتری اولین باکتری بیماری‌زای گیاهی می‌باشد که با شناسایی آن رشته جدید باکتری‌شناسی گیاهی به علم بیماری‌شناسی گیاهی افزوده شد (Shtienberg et al. 2000).

علاوه عمدۀ بیماری شامل بلاست شکوفه‌ها، نکروز، سیاه‌شدنگی و سرعصایی شدن سرشاره‌های نارس، تنه و شاخه‌ها جریان یافته و شانکر در پوست درخت مشاهده می‌شود. این بیماری برای اولین بار در سال ۱۳۶۸ در ایران، در باغی واقع در برغان کرج مشاهده شد (Zakeri and Sharifnabi 1991). بیماری آتشک، همانکنون در بسیاری از مناطق کشور از جمله استان‌های تهران، مرکزی، سمنان، آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، قزوین، زنجان، کردستان، خراسان، قم، کرمانشاه و فارس وجود دارد (Hasanzadeh et al. 1993; Sahandpour and Ghasemi 2004) یکی از ویژگی‌های شگفت‌انگیز باکتری *E. amylovora* به رغم فواصل جغرافیایی و تفاوت‌های اقلیمی، هم‌گونی بسیار بالای این گونه بوده (Momol et al. 1997)، درنتیجه تشابه عمل باکتری در همه جا یکسان است. چندین مطالعه نشان داده است که جدایه‌های *E. amylovora* یک گروه بسیار یکنواخت و هموزن را تشکیل می‌دهند (Billings et al. 1961; Komagata et al. 1968). باکتری *E. amylovora* بر خلاف Paulin and Samson 1973 باکتری *Xanthomonas campestris* و *Pseudomonas syringae* یک گونه دارای تنوع نیست (Hirano and Upper 1990). هیچ‌گونه صفت مشخصه‌ای جهت تمایز جدایه‌های مختلف *E. amylovora* بر اساس منشأ جغرافیایی و یا میزبان و یا زمان‌های

² Random Amplified Polymorphic DNA

³ Ribotyping

⁴ Pulsed Field Gel Electrophoresis

¹ Pomoidae

جدول ۱- فهرست جدایه‌های مختلف باکتری *E. amylovora*

کد شناسایی	سال جمع آوری	گیاه میزبان	محل جمع آوری	۱۳۸۶
۱		گلابی	لرستان	۱۳۸۶
۲		گلابی	لرستان	۱۳۸۶
۹		سیب	لرستان	۱۳۸۶
۱۲/۱		گلابی	لرستان	۱۳۸۶
۱۲/۲		گلابی	سمنان	۱۳۸۶
۱۶		گلابی	قزوین	۱۳۸۶
۲۲		به	مرند	۱۳۸۶
۳۳		سیب	سمنان	۱۳۸۶
۳۳/۱		به	سمنان	۱۳۸۶
۳۶		سیب	مرند	۱۳۸۶
۴۷		سیب	لرستان	۱۳۸۶
۶۶		سیب	قزوین	۱۳۸۶
Ea273		سیب	ATCC	۱۳۸۴
K _۱		سیب	کرج (کمال شهر)	۱۳۸۴
K _۲		گلابی	کرج (کمال شهر)	۱۳۸۴
S _۱		سیب	شهریار	۱۳۸۴
Z _۱		سیب	زنجان (خرم دره)	۱۳۸۴
Z _۲		گلابی	زنجان (خرم دره)	۱۳۸۴

یافتن نقاطی با احتمال وجود تنوع بیشتر از جمله جداینده‌های بین ژنی از سایت NCBI^۰ دریافت شد. با استفاده از نرم‌افزار FASTA توالهایی که بالاترین درصد تشابه را با ژن‌های مورد نظر داشتند، جستجو شدند. سپس توالی‌های مذکور در نرم‌افزار MultAlin خطی شدند. با توجه به مشخص شدن نقاط حفاظت‌شده و نقاطی که تفاوت بیشتری را نشان می‌دادند و نیز با در نظر گرفتن ویژگی‌های یک آغازگر ایده‌آل، اقدام به طراحی سه جفت آغازگر بر روی خوشه ژنی هارپین، یک جفت آغازگر روی خوشه ژنی *ams* و یک جفت آغازگر روی خوشه ژنی *dsp* شد.

استخراج DNA

به طور کلی از چهار روش جهت استخراج DNA استفاده شد. روش Zhou et al. (1996) و روش CTAB-SDS^۱ که به طور خلاصه شامل حذف ترکیبات دیواره سلولی و چربی‌های غشا با استفاده از دترجنت، حذف و هضم پروتئین‌های متصل به

مناطق مختلف پرورش سیب و گلابی در جهان و شدت بیماری در ارقام و پایه‌های حساس‌تر، نیاز برای شناخت بهتر تنوع ژنتیکی جدایه‌های *E. amylovora* از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. همچنین به کارگیری پروتکل‌های قرنطینه‌ای آگاهانه به شناخت کامل تنوع در جدایه‌ها و تشخیص گروههای این جدایه‌ها بستگی دارد.

این تحقیق با هدف بررسی تنوع ژنتیکی موجود بین جدایه‌های باکتری بیماری آتشک با به کارگیری نشان‌گر مولکولی PCR-RFLP و تعیین ارتباط بین منشأ مکانی و میزبانی و همچنین ارتباط شدت بیماری زایی با الگوی باندی بدست آمده از این نشان‌گر در سه ناحیه ژنی *hrp*^۲, *ams*^۳ و *dsp*^۴ به عنوان نواحی اصلی ژنوم باکتری در بیماری زایی روی میزبان‌ها، طراحی و به انجام رسیده است.

مواد و روش‌ها

از بین ۱۸ جدایه فهرست شده در جدول ۱، ۱۷ جدایه از میزبان‌های آلووه نقاط مختلف کشور و جدایه Ea273 به عنوان جدایه American Type Culture (خربداری شده از استاندارد (Collection) به صورت استوک‌های گلیسروول آماده، مورد بررسی قرار گرفتند. جدایه‌ها در محیط کشت LB^۵ جامد کشت داده شده و به مدت ۲۴–۷۲ ساعت (بنابر مدت زمان مناسب جهت رشد جدایه‌های مختلف)، در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. استخراج DNA با استفاده از روش (Zhou et al. 1996) تغییر یافته انجام شد. در این روش برخلاف روش ذکر شده جهت استخراج افزودن SDS انجام نشد.

طراحی آغازگرهای اختصاصی روی کروموزوم اصلی باکتری *E. amylovora* جدایه ATCC 49946 بر روی سه خوشه ژنی *hrp*^۱, *ams*^۲ و *dsp*^۴ انجام شد. علاوه بر توالی کامل کروموزومی، توالی‌های مربوط به ۴۵ ژن موجود در این سه خوشه ژنی، به‌منظور

^۱ Harpin

^۲ Amylovoran Synthase

^۳ Disease-Specific

^۴ Luria-Bertani Agar

جدول ۲- اجزا واکنش PCR در ژنوم و پلاسمید pEA29

پلاسمید	ژنوم	اجزا واکنش PCR
۲ میکرولیتر	۲/۵ میکرولیتر	بافر (۱۰ X) PCR
۰/۳۵ میکرولیتر	۰/۷ میکرولیتر	(۵۰ میلی مولار) MgCl ₂
۰/۵ میکرولیتر	۰/۵ میکرولیتر	(۱۰ میلی مولار) dNTP
۰/۹ میکرولیتر	۰/۵ میکرولیتر	آغازگر پیشرو (۱۰ پیکومول در میکرولیتر)
۰/۹ میکرولیتر	۰/۵ میکرولیتر	آغازگر پسرو (۱۰ پیکومول در میکرولیتر)
۱ میکرولیتر	۱ میکرولیتر	DNA الگو
۰/۳ میکرولیتر	۰/۲ میکرولیتر	Taq DNA polymerase (۵ یونیت در میکرولیتر)

هضم محصولات PCR با آنزیم‌های اندونوکلئاز انجام شد. آنزیم‌های مناسب جهت ایجاد برش در توالی‌های تکثیر شده مورد نظر (TaqI و SalI، PstI، MboI، HhaI، BglII، AluI) از طریق نرم افزار RestrictionMapper تعیین شدند. هضم آنزیمی بر روی مخلوطی PCR با حجم نهایی ۱۲ میکرولیتر شامل ۵ میکرولیتر محصولات PCR، یک میکرولیتر بافر آنزیم، یک میکرولیتر (۱۰ یونیت) از آنزیم مورد نظر و ۵ میکرولیتر آب دو بار تقطیر استریل و نگهداری به-مدت ۱۶ ساعت در دمای مناسب فعالیت آنزیم، صورت گرفت. پس از هضم محصولات PCR، جداسازی محصولات هضم شده همانند محصولات PCR، لیکن روی ژل آگاراز دو درصد انجام شد.

توالی‌بایی

از بین محصولات PCR به دست آمده از هر ۵ جفت آغازگر طراحی شده، ۵ محصول به دست آمده حاصل از تکثیر خوش‌بُزنی AMSD با آغازگر AmsD با پراکنده‌گی جغرافیایی مختلف مربوط به جدایه‌های ۱۲/۱ از استان لرستان، ۳۶ از مرند، Ea273 از آمریکا، K۱ از کرج (کمال شهر) و Z۱ از زنجان (خرم دره)، جهت توالی یابی انتخاب شدند. به این منظور، میزان ۴۰ میکرولیتر از محصولات PCR هر یک از جدایه‌های مذکور، آماده سازی شده و از طریق شرکت امینسان به شرکت Bio Basic کانادا فرستاده شده و توسط روش سنگر با استفاده از دو آغازگر پیشرو و پسرو، مورد توالی‌بایی دو طرفه قرار گرفتند. بررسی نتایج با استفاده از نرم افزارهای MultAlin و Chromas انجام شد.

بررسی تنوع ژنتیکی پلاسمید pEA 29

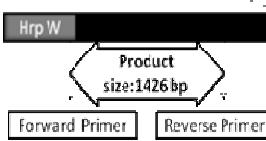
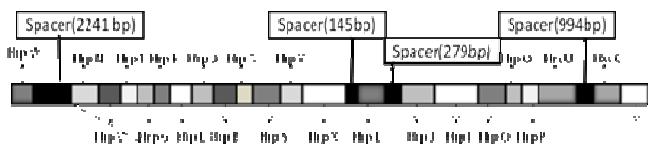
DNA و سایر ترکیبات پروتئینی، حذف و هضم RNA و شستشو، رسوب و انعقاد DNA خالص شده و رقیق سازی بود. روش جوشاندن شامل تهیه سوسپانسیون از باکتری و حرارت دادن در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه و روش جوشاندن با NaOH شامل تهیه سوسپانسیون از باکتری و حرارت دادن در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه با NaOH دارای غلظت ۰/۰۵ مولار بود.

PCR-RFLP پس از انجام واکنش PCR گرadiان دمایی جهت دست‌یابی به دمای اتصال بهینه برای هر جفت از آغازگرها (شکل ۷) (جدول ۳)، PCR-RFLP شامل تکثیر قطعات DNA بین دو آغازگر پیشرو و پسرو و سپس هضم محصولات با آنزیم‌های اندونوکلئاز انجام شد. هر یک واکنش PCR برای هر جدایه طبق جدول ۲ در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر تهیه شد. واکنش تکثیر طبق جدول ۳ به تعداد ۳۵ سیکل انجام شد. باندهای حاصل از واکنش PCR از طریق انجام الکتروفورز افقی روی ژل آگاراز ۱/۲ درصد حرکت داده شده و پس از رنگ‌آمیزی با اتیدیوم بروماید با غلظت یک مایکروگرم در میلی‌لیتر با استفاده از نور فرابنفش آشکارسازی شدند.

جدول ۳- سیکل‌های حرارتی واکنش PCR بر روی DNA ژنومی

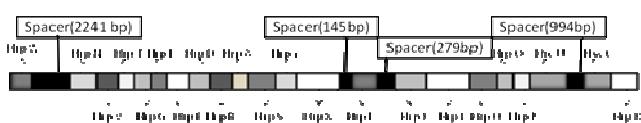
مراحل واکنش PCR	زمان (دقیقه)	دما (درجه سانتی‌گراد)
واسرشت اولیه	۹۴	۹۴
واسرشت سازی	۹۴	۹۴
اتصال	دما مناسب به دست آمده از PCR گرadiان دمایی	دما مناسب به دست آمده از PCR
توسعه	۷۲	۷۲
توسعه نهایی	۷۲	۷۲

آغازگرهای خوشه‌های ژنی *hrp*, *dsp* و *ams* طبق جدول ۴، سه جفت آغازگر بر روی خوشه ژنی *hrp* طراحی شد. در جفت آغازگر اول، آغازگر پیشرو در داخل ژن *hrpW* و آغازگر پسرو روی جداکننده میان دو ژن *hrpW* و *hrpN* قرار داشت. طول قطعه‌ای که انتظار می‌رفت در فاصله بین دو آغازگر تکثیر شود، ۱۴۲۶ جفت باز بود (شکل ۲).



شکل ۲- خوشه ژنی *hrp* از باکتری *E. amylovora* و موقعیت جفت آغازگر HRPW بر روی این خوشه ژنی

در جفت دوم، آغازگر پیشرو روی جداکننده بین دو ژن *hrpX* و *hrpJ* و آغازگر پسرو روی جداکننده بین دو ژن *hrpL* و *hrpR* طراحی شد، به طوری که فاصله بین دو آغازگر، ۸۸۶ جفت باز بود (شکل ۳) (جدول ۴).



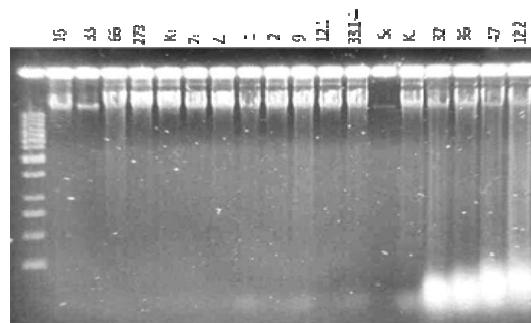
شکل ۳- خوشه ژنی *hrp* از باکتری *E. amylovora* و موقعیت جفت آغازگر HRPL بر روی این خوشه ژنی

بررسی تنوع ژنتیکی در بخشی از پلاسمید pEA29 به وسیله جفت ۵'-TATCCCTAAAAACCTCAGTGC-) PEANT1 (3' Liop) (5'-GCAACCTTGTGCCCTTA-3') PEANT2 (3' et al. 2000) انجام شد. هر واکنش PCR در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر طبق جدول ۲ انجام شد. واکنش تکثیر به تعداد ۳۵ سیکل مشابه سیکل‌های حرارتی واکنش PCR بر روی ژنوم، با دمای اتصال ۵۶ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. بررسی باندهای حاصل با الکتروفورز روی ژل آگارز ۱/۲ درصد انجام شد. در نهایت جدایه‌های یک و ۹ از استان لرستان و جدایه ۳۷۳ از امریکا برگزیده و جهت توالی یابی ارسال شدند.

نتایج و بحث

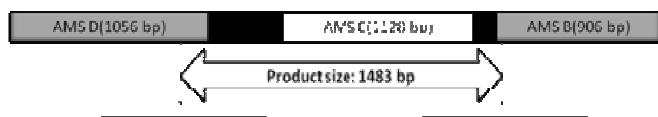
استخراج DNA

از بین روش‌های انجام شده جهت استخراج، DNA های استخراج شده به روش جوشاندن با NaOH، آلودگی‌های زیادی داشته و در نتیجه محصولات PCR حاصل از آن نیز از کیفیت خوبی برخوردار نبودند. از طرفی در روش CTAB-SDS نیز با وجود تکرار زیاد، DNA های حاصل از نظر کمیت ناچیز بودند. با توجه به نتایج بهتر حاصل در روش Zhou et al. (1996) به عنوان روش مناسب استخراج DNA انتخاب شد. استفاده از این روش علی‌رغم وجود مقداری آلودگی پروتئینی (شکل ۱) مانع از اتصال مطلوب آغازگرهای اختصاصی مورد استفاده به باکتری DNA نشد. پس از کشت جدایه‌های مورد بررسی (جدول ۱) و استخراج DNA جدایه‌ها، تمامی DNA های استخراجی به نسبت ۱ به ۴۰ رقیق شده و در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفتند.

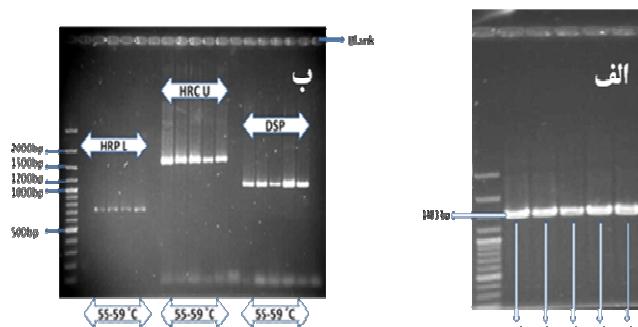


شکل ۱- DNA های استخراج شده از جدایه‌های مختلف باکتری *E. amylovora*

به منظور دست‌یابی به دمای اتصال بهینه جهت واکنش PCR برای هر جفت از آغازگرهای مورد بررسی، از روش گرadiان دمایی استفاده شد. با توجه به کیفیت باندهای حاصل از دماهای درنظر گرفته شده، دمای بهینه اتصال جهت آغازگرهای AMSD (شکل ۷-الف)، HRCU و HRPL (شکل ۷-ب) به ترتیب ۵۹، ۶۰ و ۵۷ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. جهت جفت آغازگر HRPW، بدون استفاده از گرadiان دمایی، با انجام چند واکنش جدایه با دماهای اتصال متفاوت، دمای ۵۱ درجه سانتی-گراد انتخاب شد.



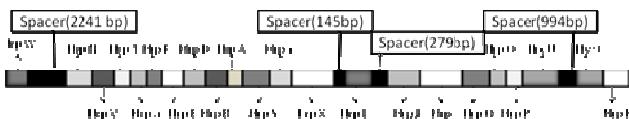
شکل ۶- خوشه ژنی *E. amylovora* از باکتری *ams* آغازگر AMSD بروی این خوشه ژنی



شکل ۷- PCR گرadiان دمایی جهت آغازگر AMSD بر روی جدایه ۳۲ (الف) و آغازگرهای HRCU، HRPL و DSP به ترتیب بر روی جدایه‌های ۳۳/۱، ۱ و ۶۶ (ب)

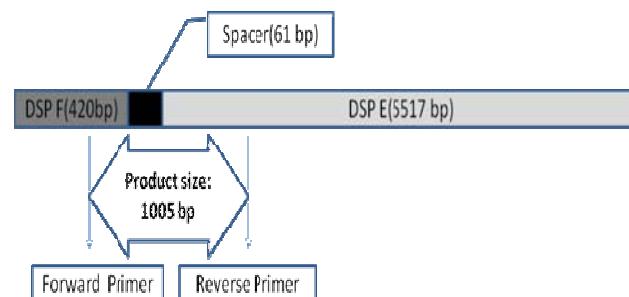
بررسی تنوع ژنتیکی در خوشه‌های ژنی *hrp*، *ams*، *dsp* و *ams* بر اساس نتایج حاصل از انجام واکنش PCR با استفاده از آغازگرهای پیشرو و پسرو HRPW، HRPL و HRCU و HRPL، هر ۱۸ آغازگری از ۱۴۸۳ جفت باز بود (جدول ۴) (شکل ۶).

در جفت آغازگر سوم، آغازگر پیشرو در داخل ژن *hrcU* و آغازگر پسرو در داخل ژن *hsvC* بود. فاصله بین دو آغازگر در برگیرنده یک جداینه، طبق جدول ۴، قطعه‌ای ۱۵۵۵ جفت بازی بود (شکل ۴).



شکل ۴- خوشه ژنی *hrp* از باکتری *E. amylovora* و موقعیت جفت آغازگر HRCU بروی این خوشه ژنی

در جفت آغازگر طراحی شده روی خوشه ژنی *dsp* آغازگر پیشرو در داخل ژن *dspF* و آغازگر پسرو در داخل ژن *dspE* قرار داشت. فاصله آغازگرها شامل بخشی از دو ژن *dspF* و *dspE* به همراه جداینه، ۱۰۰۵ جفت باز بود (جدول ۴) (شکل ۵).

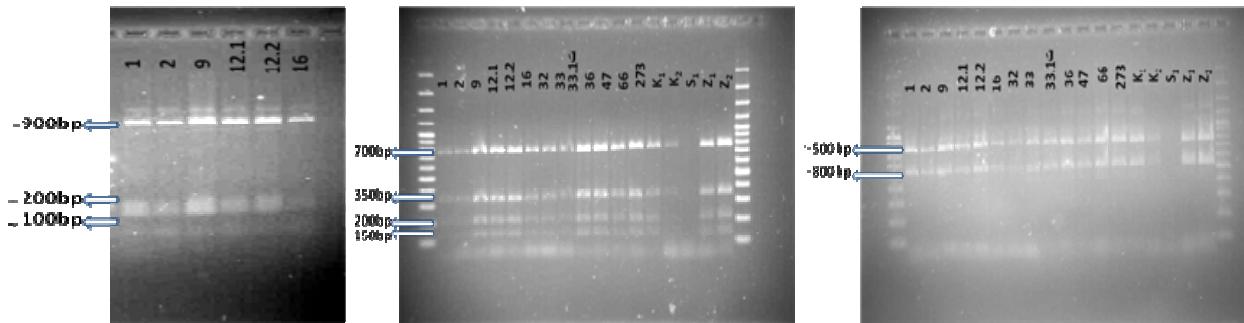


شکل ۵- خوشه ژنی *dsp* از باکتری *E. amylovora* و موقعیت جفت آغازگر DSP بروی این خوشه ژنی

در یک جفت آغازگر طراحی شده روی خوشه ژنی *ams* آغازگر پیشرو در داخل ژن *amsD* و آغازگر پسرو در داخل ژن *amsB* قرار داشت. اندازه قطعه تکثیری بین دو آغازگر، در برگیرنده بخشی از ژن *amsD* و *amsB* و تمام ژن *amsC* به همراه دو جداینه، ۱۴۸۳ جفت باز بود (جدول ۴) (شکل ۶).

جدول ۴- آغازگرهای طراحی شده جهت بررسی تنوع ژنتیکی روی DNA ژنومی

نام آغازگر	توالی آغازگر	طول قطعه تکثیری(جفت باز)	طول آغازگر(جفت باز)	دماهی اتصال
HRPW F	5'-CTGAAGGTGGCTGAATGAT-3'	۱۹	۱۴۲۶	۵۶ °C
HRPW R	5'-TATGGCACTATCTCGTCAG-3'	۱۹		۵۶ °C
HRPL F	5'-CATTGAGGCAGTGTCCAGA-3'	۱۹	۸۸۶	۵۸ °C
HRPL R	5'-GAGCAGTTGTCATTGTGTGG-3'	۲۰		۶۰ °C
HRCU F	5'-GCTGCTGACATTGCTGGTA-3'	۱۹	۱۵۵۵	۵۸ °C
HRCU R	5'-TGAAACGGATAGTGGAGGAG-3'	۲۰		۶۰ °C
DSP F	5'-CGTTGTGCAGTTCATCCAG-3'	۱۹	۱۰۰۵	۵۸ °C
DSP R	5'-AGATGTCGTCGGTGATGAAC-3'	۲۰		۶۰ °C
AMSD F	5'-CGACAGGGTAGTAAGGTTCA-3'	۲۰	۱۴۸۳	۶۰ °C
AMSD R	5'-ACAGGAAAGTAGCGGGTCGAG-3'	۲۰		۶۲ °C



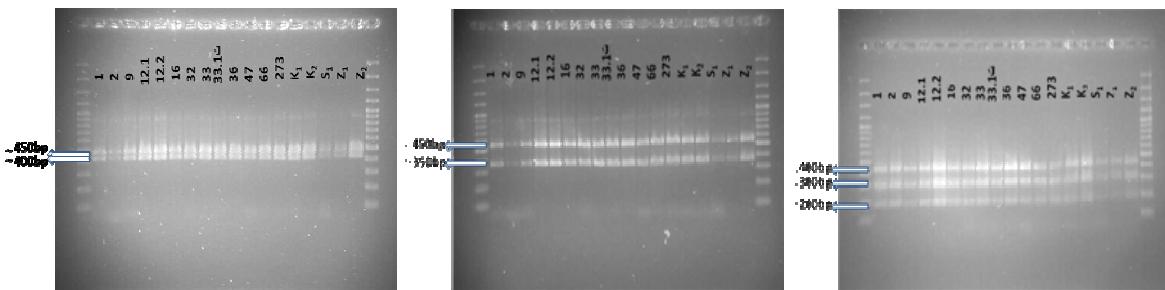
شکل ۸- اثر آنزیم‌های بهتری از راست *MboI*, *TaqI*, *PstI* و *BglII* بر روی قطعه تکثیری با جفت آغازگر HRPW
(اعداد درون شکل، نام جدایه‌های باکتری است)

به طول باندهای کمتر از ۲۰۰، ۳۰۰ و حدود ۴۰۰ جفت باز، آنزیم *PstI*، دو قطعه به طول باندهای ۳۵۰ و ۴۵۰ جفت باز و آنزیم *BglII*، دو قطعه با طول باندهای نزدیک بهم در حدود ۴۰۰ و ۴۵۰ جفت باز بود. در این قطعه نیز تنوعی در باندهای حاصل از هضم آنزیمی مشاهده نشد (شکل ۹).

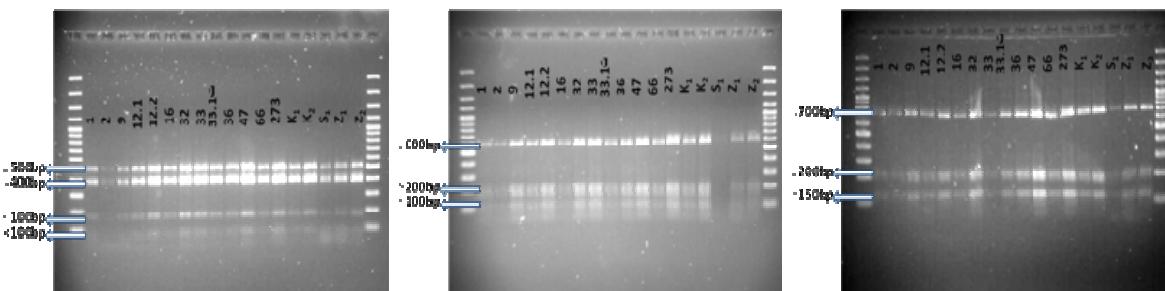
آنزیم‌های *MboI*, *AluI* و *TaqI*, آنزیم‌های اثرگذار بر روی قطعه تکثیری توسط آغازگرهای HRCU به طول ۱۵۵۵ جفت باز بودند. از اثر آنزیم *MboI* بر روی قطعه مذکور به طور واضح سه باند با طول تقریبی ۱۵۰، ۲۰۰ و ۷۰۰ جفت باز، *AluI* سه باند با حدود ۱۰۰، ۲۰۰ و ۶۰۰ جفت بازی و *TaqI* با چهار باند به طول کمتر از ۱۰۰، ۱۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ جفت باز ایجاد شدند. در خصوص

جدایه، علاوه بر دارا بودن باند، دارای طول باند یکسان بودند. به عبارت دیگر هیچ‌گونه تنوعی در محل اتصال آغازگرهای مذکور به DNA الگو وجود نداشت. آنزیم‌های منتخب جهت هضم قطعه جفت بازی حاصل از جفت آغازگر HRPW و *PstI*, *MboI* و *TaqI* بودند. در اثر هضم با آنزیم *PstI*, دوباند به اندازه‌های حدود ۵۰۰ و ۸۰۰ جفت باز، آنزیم *TaqI* ۴ باند به اندازه‌های ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۵۰ و ۷۰۰ جفت باز و آنزیم *MboI* شامل یک قطعه به طور واضح ۹۰۰ جفت بازی بود (شکل ۸).

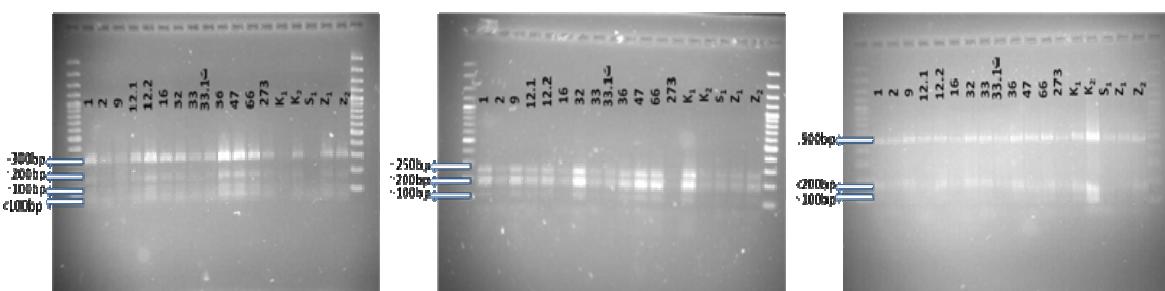
آنزیم‌های اثرگذار بر روی قطعه تکثیری توسط آغازگرهای *BglII* و *PstI* به طول ۸۸۶ جفت باز، *MboI* و *HRPLF* بودند. بر اساس نتایج حاصل از هضم با آنزیم *MboI* سه قطعه



شکل ۹- اثر آنزیمهای بهترین از راست *Mbo*I، *Pst*I و *Bgl*III بر روی قطعه تکثیری با جفت آغازگر HRPL



شکل ۱۰- اثر آنزیم‌های بهتر ترتیب از راست *TaqI*، *AluI*، *MboI* و *HRCU* بر روی قطعه تکثیری با جفت آغازگر



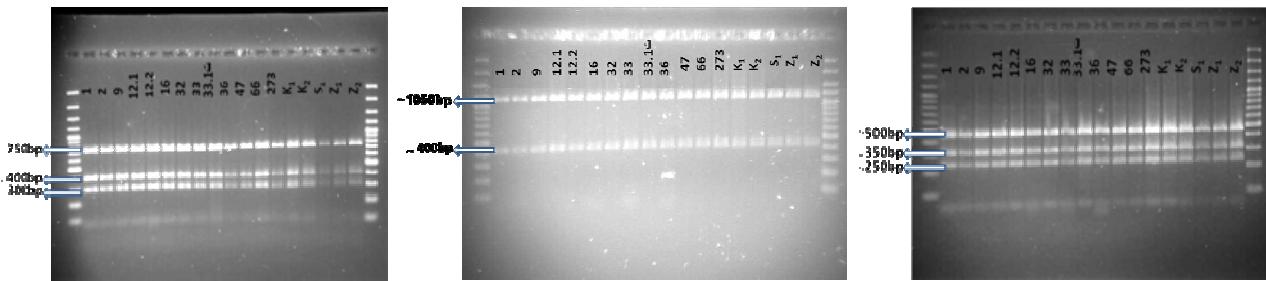
شکل ۱۱- اثر آنزیم های به ترتیب از راست *AluI* *HhaI* *MboI* بر روی قطعه تکثیری با جفت آغازگر DSP

و ۳۰۰ جفت باز حاصل شد. در این مورد نیز تنوعی در باندهای حاصل از برش آنژیمی و نیز تولید محصولات PCR در هیچ یک از حدابه‌ها مشاهده نشد (شکا ۱۱).

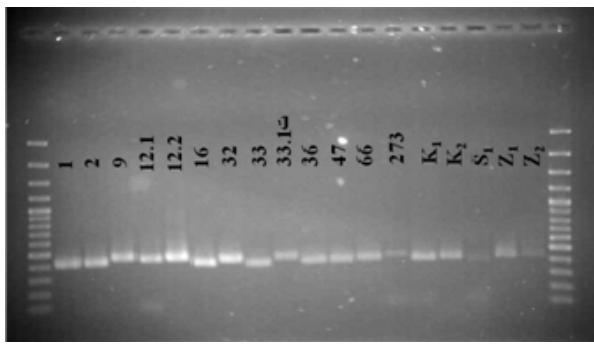
قطعه ۱۴۸۳ جفت بازی حاصل از جفت آغازگر AMSD، توسط سه آنزیم *MboI*، *TaqI* و *SalI* مورد هضم قرار گرفت. هضم با آنزیم *MboI* سه باند به طول ۲۵۰، ۳۵۰ و تقریباً ۵۰۰ جفت باز، آنزیم *SalI* دو باند به طول حدود ۴۰۰ و ۱۰۵۰ جفت باز، آنزیم *TaqI* سه باند به طول ۴۰۰، ۷۵۰ و ۳۰۰ جفت باز ایجاد

استفاده از این جفت آغازگر نیز یکنواختی چه در طول قطعات حاصل از PCR و چه در طول باندهای حاصل از هضم آنزیمی داده ۱۸ حدایه مودودی س. مشاهده شد (شکا ۱۰).

تولید محصولات PCR با جفت آغازگر DSP، تنوعی را در طول باندهای حاصل نشان نداد. در اثر هضم کامل آنزیم *Mbo*I در قطعه ۱۰۰۵ جفت بازی حاصل، سه باند با طول‌های ۱۰۰، کمتر از ۲۰۰ و ۵۰۰ جفت باز، آنزیم *Hha*I سه باند به طول ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ جفت باز و *Alu*I چهار باند با طول کمتر از ۱۰۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۲۵۰

شکل ۱۲- اثر آنزیم‌های به ترتیب از راست *TaqI*, *MboI* و *SalI* بر روی قطعهٔ تکثیری با جفت آغازگر AMSD

قرار گرفتند. مقایسه این سه توالی با وجود تشابه در یک بخش جفت بازی، در بخش $3' \rightarrow 5'$ تنوعی را نشان داد (شکل ۳۶۹).



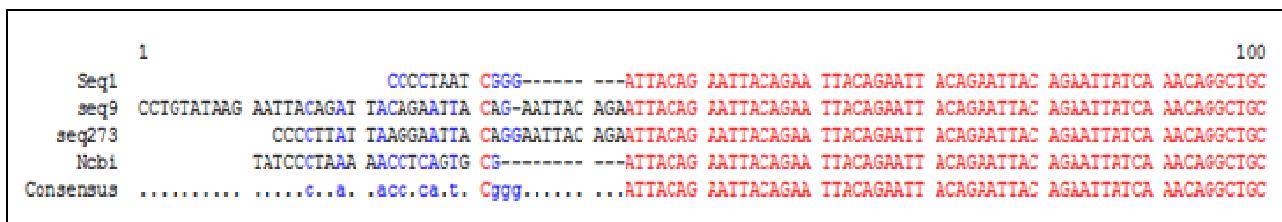
شکل ۱۳- انجام واکنش PCR با آغازگرهای PEANT1 و PEANT2 بر روی پلاسمید pEA29

نواحی بین ژنی در ژنوم پروکاریوت‌ها، ژن‌های به طور معمول تک نسخه‌ای را از یکدیگر تفکیک نموده و به عنوان مراکز تنوع پروکاریوت‌ها در نظر گرفته می‌شوند. این نواحی می‌توانند تنوع بیشتری را نسبت به نواحی کد کننده پروتئین‌ها از خود بروز دهند. بنابراین تمام آغازگرهای طراحی شده جهت بررسی تنوع، پوشش دهنده نواحی بین ژنی در سه خوشه *hrp* و *ams* و *dsp* بودند. با این وجود، تکثیر قطعات بین آغازگرهای پیش رو و پسرو و پس از آن هضم آنزیمی، در هیچ یک از نواحی مورد بررسی، تنوعی را نشان نداد. این نتیجه با نتایج حاصل از کاربرد نشانگر PCR-RFLP روی ژن *amsB* با استفاده از دو آغازگر AMSbL و AMSbR با حصول الگوی باندی یکسان در ۱۴ جدایه مختلف در لهستان مطابقت دارد (Pulawska et al. 2006). آنالیز ناحیه ۳ از ژن *hrpN* در جدایه‌های باکتری با دامنه میزبانی مختلف نشان داد

نمودند. یکنواختی ۴ جفت آغازگر دیگر در محصولات حاصل از هضم کامل آنزیمی، در خصوص این جفت آغازگر نیز صادق بود (شکل ۱۲).

به منظور اطمینان از صحت نتایج نشانگر PCR-RFLP، از توالی ۵ یابی محصول به دست آمده از آغازگر AMSD، مربوط به جدایه‌هایی دارای پراکنش جغرافیایی شامل Ea273 (جدایه استاندارد)، ۱۲/۱، ۳۶، K₁ و Z₁ که به ترتیب متعلق به استان‌های لرستان، آذربایجان شرقی (مرند)، کرج (کمالشهر) و زنجان (خرم‌دره) استفاده شد و نتایج آن نشان داد که هیچ‌گونه تفاوت و تنوعی حتی در سطح تکنوکلئوتید وجود نداشته و توالی‌های موردنظر به طور کامل مشابه بودند. توالی‌های مذکور (به استثناء جدایه Ea273) از طریق Bankit ارسال شده و در سایت NCBI به ترتیب با کدهای ۱۹ JQ619719، JX262069 و JX277551 ثبت شدند.

تنوع ژنتیکی در پلاسمید pEA29
بنابر نتایج حاصل از انجام واکنش PCR با آغازگرهای PEANT1 و PEANT2 (شکل ۱۳)، جدایه‌های مورد بررسی بر اساس تفاوت در طول باندهای خود در سه گروه قرار گرفتند. کوتاهترین طول باند، مربوط به جدایه‌های ۱، ۱۶، ۳۶ و ۳۳، دارای طول باند مابین ۲ و Z₂، K₁، K₂، S₁، Z₁ و ۲۷۳ جدایه‌های ۹، ۱۲/۲، ۱۲/۱، ۳۲، ۴۷ و S₁ دارای طول باند مابین دو گروه بودند. طول باندهای حاصل از حدود ۴۲۰ تا ۳۸۰ جفت باز متغیر بود. بر این اساس جدایه‌های ۱ و ۹ از استان لرستان و جدایه Ea273 از آمریکا به عنوان نمونه‌ای از سه گروه باندی انتخاب و با استفاده از آغازگر پسرو PEANT2 مورد توالی یابی



شکل ۱۴- نتایج حاصل از مقایسه توالی‌های حاصل از جفت آغازگر PEANT و مشاهده تنوع در بخش ۳'→۵'

مختلف ایران، هیچ‌گونه تنوعی بین این جدایه‌ها در مقایسه با جدایه استاندارد Ea273 به دست نیامد. به نظر می‌رسد حفاظت-شدگی بالای ژن‌های مذکور در جدایه‌های مختلف این باکتری به رغم تفاوت‌های اقلیمی، فواصل جغرافیایی و میزان، جهت حفظ قدرت بیماری‌زاوی ضروری می‌باشد. سایر آغازگرها مورد استفاده در ارزیابی تنوع ژنتیکی ژنوم باکتری در نواحی بین ژئی خوش‌های *hrp* و *ams* که طراحی شده و هیچ‌گونه تنوعی حتی در یک نوکلئوتید مشاهده نشد. به علاوه نتایج توالی‌های جدایه‌هایی با فواصل بسیار زیاد جغرافیایی نیز کاملاً یکسان بود. ظاهرًا وجود چنین حفاظت-شدگی بالایی از مکانیزم DNA repair توانمند این باکتری منشا می‌گیرد.

نقش پلاسمید pEA29 در باکتری *E. amylovora* هنوز ناشناخته است هرچند که در بیوستتر تیامین در این باکتری نقش دارد (Sundin et al. 2004). مطالعه بروی جدایه‌ای فاقد این پلاسمید نشان داد که سطح بیماری‌زاوی این جدایه مشابه جدایه‌های دیگر دارای آن می‌باشد (Liop et al. 2006). قطعات بررشی پلاسمید با *PstI* در برخی از جدایه‌ها طولی بیشتر از اندازه مورد انتظار را نشان می‌دهد (McManus and Jones 1995). این تفاوت در طول، بدليل حضور تعداد متغیری از قطعات کوتاه تکراری می‌باشد (Schnabel and Jones 1998). در تحقیق حاضر بررسی بخش کوچکی از پلاسمید pEA29 در این جدایه‌ها، تنوعی را در سمت آغازگر پیش رو (PEANT1) نشان داد. چنان‌که بر اساس مطالعات (McGhee et al. 2001) طول این پلاسمید از ۲۷/۷ تا ۳۵ کیلوباز بنابر حذف و یا درج شدن، متغیر می‌باشد. همچنین آنالیزهای RFLP با استفاده از آنزیم‌های *MspI* و *Sau3A* تنوعی را در این پلاسمید نشان داد (Barionovi et al. 2006). نتایج این بررسی تایید کننده وجود تنوع در این پلاسمید است. بر اساس

که در جدایه‌های معمول میزان‌های درختان میوه دانه‌دار تنوعی در این ناحیه وجود ندارد. مقایسه جدایه‌های درختان میوه دانه‌دار با دو فرم اختصاصی باکتری جدا شده از جنس *Rubus* و *Amelanchier* تنوعی را بین این دو گروه جدایه نشان داد، به گونه‌ای که محصول PCR مربوط به چهار جدایه از آن‌ها، ۶۰ Giorgi and Scorticchini 2005 جفت باز کوتاه‌تر از سایر جدایه‌ها بودند (RFLP انجام شده روی این جدایه‌ها نیز بروز یک جهش نقطه‌ای خاموش در جایگاه برش آنزیم *RsaI* منجر به تمایز تنها یک جدایه‌ی جداسازی شده از جنس *Rubus* از سایرین شد. همچنین توالی‌های پرموترهای ژن‌های *hrpW* و *dspA/E* در چهار جدایه از دو میزان مذکور، در مقایسه با جدایه *E. amylovora* CFBP1430 به ترتیب یک و دو جهش نقطه‌ای را نشان داد، در حالی که در یک ناحیه ۶۱۳ جفت بازی از ژن *E. amylovora* در ۷ جدایه از میزان‌های مختلف دیگر، با پراکنش جغرافیایی، جهشی مشاهده نشد. این نتایج مؤید وجود یکنواختی بالا در جدایه‌های معمولی باکتری *E. amylovora* است. با وجود سطح پایین تنوع ژنتیکی در جدایه‌های مختلف این باکتری، تفاوت‌های مشخصی مابین ژنوم جدایه‌های جمع-آوری شده از دو میزان سیب و *Rubus* وجود دارد که جدایه‌های نوع دوم در گروه مستقلی از جدایه‌های درختان میوه دانه‌دار طبق‌بندی شده‌اند (Powney et al. 2011). در داخل نواحی برخی از آغازگرها نظر *HRPLF* و *HRPWR*، در جدایه‌های شده‌اند که در صورت وجود تنوع، آغازگرها به DNA متصل نشده و قطعه‌ای تکثیر نگردد. با این وجود در انجام واکنش PCR، تمام قطعات بین دو آغازگر برای هر ۱۸ جدایه مورد بررسی دارای محصول یکنواخت بودند. علاوه بر عدم مشاهده تنوع ژنتیکی در جدایه‌های بومی میزان‌های نقاط

رابطه با شدت بیماری زایی و وجود این پلاسمید در باکتری مورد گزارش قرار گرفت. بر اساس یافته‌های این تحقیق و گزارشات اخیر انجام گرفته در زمینه وجود پلاسمیدهای دیگر در این گونه، لازم است در بررسی‌های جامع‌تری نسبت به ارزیابی وجود و عدم وجود این پلاسمیدها و همچنین بررسی تنوع ژنتیکی آن‌ها اقدام کرد.

وجود برخی ژن‌های تحمل به شرایط نامساعد محیطی بر روی پلاسمیدهای باکتری، این احتمال وجود دارد که بخشی از تفاوت در بیماری زایی باکتری از وجود یا عدم وجود پلاسمیدهای مختلف و تنوع ژن‌های موجود بر روی آن‌ها منشاء گیرد. اخیراً (Liop et al. 2011) وجود پلاسمید جدید pEI70 را در باکتری *E. amylovora* گزارش نمود. در این بررسی همچنین تفاوتی در

منابع

- Arthur JC (1887) History and biology of pear blight. In: Proceedings of the Philadelphia Academy of Natural Sciences. USA Cornell university 322-341.
- Barionovi D, Giorgi S, Stoeger AR, Ruppitsch W, Scorticini M (2006) Characterization of *Erwinia amylovora* strains from different host plants using repetitive-sequences PCR analysis, and restriction fragment length polymorphism and short-sequence DNA repeats of plasmid pEA29. Journal of Applied Microbiology 100: 1084-1094.
- Billing E, Baker LAE, Crosse JE, Garret CME (1961) Characteristics of English isolates of *Erwinia amylovora* (Burrill). Journal of Applied Bacteriology 24: 195-211.
- Duffy B, Schärer HJ, Bünter M, Klay A, Holliger E (2005) Regulatory measures against *Erwinia amylovora* in Switzerland EPPOBull 35:239-244.
- Dye DW (1968) A taxonomic study of the genus *Erwinia*. The 'amylovora' group. New Zealand Journal of Sciences 11: 590-607.
- Elrod RP (1941) Serological studies of the *Erwinia*. *Erwinia amylovora*. Botanical Gazette 103:123-131.
- Giorgi S, Scorticini M (2005). Characterization of *Erwinia amylovora* strains from different host plants through RFLP analysis and sequencing of *hrp N* and *DSP A/E* genes. Plant Pathology 54:789-798.
- Hasanzadeh N, Zakeri Z, Mazarei M (1993) The status of fire blight disease in Iran. In: Proceedings of 11th Iranian plant protection congress Rasht Iran 223 (In Farsi).
- Hirano SS, Upper CD (1990) Population biology and epidemiology of *Pseudomonas syringae*. Annual Review of Phytopathology 28: 155-177.
- Komagata K, Tamagawa Y, Kocur M (1968) Differentiation of *Erwinia amylovora*, *Erwinia carotovora* and *Erwinia herbicola*. Journal of General Applied Microbiology 14: 39-45.
- Llop P, Bonaterra AJ, Penalver, Lopez MM (2000) Development of a highly sensitive Nested-PCR procedure using a single closed tube for detection of *Erwinia amylovora* in asymptomatic plant material. Applied and Environmental Microbiology 66: 2071-2078.
- Llop P, Donat V, Rodriguez M, Cabrefiga J, Ruz L, Palomo JL, Montesinos E, Lopez MM (2006) An Indigenous Virulent Strain of *Erwinia amylovora* Lacking the Ubiquitous Plasmid pEA29. Phytopathology 96: 900-907.
- Llop P, Cabrefiga J, Smits THM, Dreó T, Barbe' S, Pulawska J, Bultreys A, Blom J, Duffy B, Montesinos E, Lopez MM (2011) *Erwinia amylovora* Novel Plasmid pEI70: Complete Sequence, Biogeography, and Role in Aggressiveness in the Fire Blight Phytopathogen. PLoS ONE 6-e28651:1-10.
- McGhee GC, Foster GC, Jones AL (2001) Genetic diversity among *Erwinia amylovora*'s ubiquitous plasmid pEA29. Acta Horticulturae 590: 413-421.
- McManus PS, Jones AL (1995) Detection of *Erwinia amylovora* by nested PCR and PCR dot-blot and reverseblot hybridizations. Plant Disease 85: 618-623.
- Momol MT, Momol EA, Lamboy WF, Norelli JL, Beer SV, Aldwinckle HS (1997) Characterization of *Erwinia amylovora* strains using Random Amplified Polymorphic DNA fragments (RAPDs). Journal of Applied Microbiology 82: 389-398.
- Norelli JL, Jones AL, Aldwinckle HS (2003) Fire Blight management in the twenty- first century: using new technologies that enhance host resistance in apple. Plant Disease 87: 756-765.
- Paulin JP, Samson R (1973) Le feu bactérien en France. II. Caractères des souches d'*Erwinia amylovora* (Burrill) Winslow et al. 1920, isolées du Foyer Franco-Belge. Annales de Phytopathologie 5: 389-397.
- Powney R, Smits THM, Sawbridge T, Frey B, Blom J, Frey JE, plummer KM, Beer SV, Luck J, Duffy B, Rodoni B (2011) Genome sequence of an *Erwinia amylovora* strain with pathogenicity restricted to *Rubus* plants. Journal of Bacteriology 193: 785-786.
- Pulawska J, Kielak K, Sobczewski P (2006) Phenotypic and Genetic diversity of selected *Erwinia amylovora* strains from Poland. Acta Horticulturae 704:439-444.
- Rico A, Ortiz-Barredo A, Ritter E, Murillo J (2003) Genetic characterization of *Erwinia amylovora* strains by amplified fragment length polymorphism. Journal of Applied Microbiology 96: 302-310.
- Rico A, Führer ME, Ortiz-Barredo A, Murillo J (2008) Polymerase Chain Reaction Fingerprinting of *Erwinia amylovora* has a Limited Phylogenetic Value but Allows the Design of Highly Specific Molecular Markers. Phytopathology 98: 260-269.

Sahandpoor A, Ghasemi A (2004) Occurrence of pome fruit fire blight disease in Fars. In: Proceedings of 16th Iranian plant protection congress Tabriz, Iran. (In Farsi).

Schnabel EL, Jones AL (1998) Instability of a pEA29 marker in *Erwinia amylovora* previously used for strain classification. Plant Disease 82: 1334-1336.

Shaffer WH, Goodman RN (1962) Progression *in vivo*, rate of growth *in vitro*, and resistance to streptomycin, as indices of virulence of *Erwinia amylovora*. Phytopathology 52: 1201-1207.

Shtinberg D, Oppenheim D, Herzog Z, Zilberstaine M, Kritzman G (2000) Fire Blight of Pears in Israel: infection, Prevalence, Intensity and efficacy of management actions. Phytoparasitica 28:361-374.

Sundin GW, McGhee GC, Foster GC, Jones AL (2004). Genetic analysis of the ubiquitous plasmid pEA29 and two new *Erwinia amylovora* plasmids. Acta Horticulturae 704:423-430.

van der Zwet T, Bonn WG (1999) Recent spread and current worldwide distribution of Fire blight. Acta Horticulturae 489:167-168.

Vanneste JL (1995) Pathogenesis and Host Specificity in Plant Diseases: Histopathological, Biochemical, Genetic and Molecular Bases Vol 1, Prokaryotes Pergamon Press Oxford London 21-41.

Vantomme R, Swings J, Goor M, Kersters K, De Ley J (1982) Phytopathological, serological, biochemical and protein electrophoretic characterization of *Erwinia amylovora* strains isolated in Belgium. Phytopathologische Zeitschrift 103:349-360.

Zakeri Z, Sharifnabi B (1991) Fire blight disease in Karaj In: Proceedings of 10th Iranian plant protection congress Kerman, Iran (In Farsi).

Zhang Y, Geider K (1997) Differentiation of *Erwinia amylovora* strains by pulsedfield gel electrophoresis Applied Environmental Microbiology 63: 4421-4426.

Zhou J, Bruns MA, Tiedje JM (1996) DNA recovery from soils of diverse composition. Applied and Environmental Microbiology 62: 316-322.