

معرفی یک نشانگر SCAR پیوسته به ژن مقاومت به ریزومانی در چغندر قند

To develop a SCAR marker linked to rhizomania resistance gene in sugar beet

پیمان نوروزی^۱

۱- دانشیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

Norouzi P^{*1}

1. Associate Professor, Sugar Beet Seed Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

* نویسنده مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: norouzi@sbsi.ir

(تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۳۱ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۹)

چکیده

ریزومانی مهمترین بیماری چغندر قند در ایران و برخی از مناطق جهان است که می تواند نقش مهمی در کاهش عملکرد شکر داشته باشد. بهترین راهکار مقابله با این بیماری استفاده از ارقام مقاوم است. ردیابی ژن های مقاومت با استفاده از نشانگرهای مولکولی در برنامه های به نژادی ضروری است. هدف از تحقیق حاضر، همسانه سازی یک نشانگر RAPD پیوسته با ژن Rz_1 مقاومت به ریزومانی و تبدیل آن به نشانگر اختصاصی SCAR بود. برای این کار، ابتدا DNA نمونه های گیاهی استخراج و سپس واکنش PCR با استفاده از آغازگر مربوط به نشانگر RAPD مورد نظر انجام شد. سپس قطعه مربوط به نشانگر جداسازی، خالص سازی و در ناقل پلاسمیدی همسانه سازی شد. سپس کلونی های نو ترکیب انتخاب و توالی یابی شدند. آغازگرهای اختصاصی از قطعات توالی یابی شده طراحی شدند. با آزمون آغازگرهای اختصاصی در واکنش PCR، تک باند اختصاصی برای نشانگر پیوسته به ژن Rz_1 بدست آمد. این نشانگر SCAR به نام ZN1 نامگذاری شد و از اختصاصیت و تکرارپذیری بیشتری نسبت به نشانگر RAPD اولیه خود برخوردار بود. چندشکلی این نشانگر در ژنوتیپ های مختلف چغندر قند نیز تایید شد. بدین ترتیب از نشانگر SCAR حاصل از این تحقیق می توان در برنامه های اصلاحی گزینش به کمک نشانگر برای انتخاب بوته های مقاوم به ریزومانی در چغندر قند بهره برداری کرد.

واژه های کلیدی

چغندر قند

ریزومانی

مقاومت

نشانگر SCAR

نشانگر RAPD

مقدمه

چغندر قند یکی از دو محصول مهم تامین کننده قند در جهان می باشد و سالانه بیش از ۳۴ میلیون تن از تولید شکر جهانی (حدود ۳۰ درصد) را به خود اختصاص داده است (Mekki 2014). میزان تولید شکر چغندر قند در داخل کشور حدود ششصد هزار تن در سال زراعی قبل بوده است (Anonymous 2014).

مهمترین بیماری که زراعت چغندر قند را تهدید می کند ریزومانی^۱ می باشد که زراعت این گیاه را مختل کرده است. این بیماری می تواند حتی تا صد درصد محصول را از بین ببرد. بیماری ریزومانی اولین بار در ایران در سال ۱۳۷۵ از فارس گزارش شد. متعاقب آن بیماری از اکثر مناطق چغندرکاری کشور گزارش شد (Toodehfallah 2000).

ویروس عامل ریزومانی یا BNYVV^۲ (Tamada 1975) توسط شبه قارچی به نام پلی میکسا بتا^۳ منتقل می شود (Keskin 1964). تنها راه حفاظت محصول چغندر قند در مزرعه آلوده به BNYVV، کشت ارقام مقاوم است. عمدتاً دو ژن مقاومت به ریزومانی در چغندر قند شناسایی شده که از منابع مختلف منشأ گرفته اند و به صورت *Rz₁* و *Rz₂* نامگذاری شده اند (Mc Grann et al. 2009). البته تاکنون گزارشی در مورد توالی این ژن ها در منابع مشاهده نشده است که بتوان از آنها مستقیماً به عنوان نشانگر مولکولی استفاده کرد.

با توجه به آنکه روش های ارزیابی کلاسیک گزینش مقاومت به بیماری از نوع فنوتیپی بوده و وابسته به شرایط محیطی و یکنواختی عامل آلوده کننده هستند و در فصل خاصی از سال انجام می گیرند و نیز بعضی گیاهان از عامل آلوده کننده به نحوی می گریزند و به ظاهر مقاوم تلقی می شوند، از این رو با استفاده از روش های مولکولی، به عنوان روش تکمیلی و یا جایگزین می توان گیاهان دربردارنده ژن مقاومت را در سطح ژنوتیپی شناسایی کرد. بنابراین نشانگرهای مولکولی DNA می توانند ابزاری مفید برای انتخاب ژنوتیپ های مقاوم باشند و باعث صرفه جویی در زمان ارزیابی و افزایش دقت انتخاب شوند (Norouzi 2007).

در ارتباط با ژن های مقاومت به بیماری ریزومانی تحقیقات زیادی انجام گرفته است. از روش BSA^۴ برای شناسایی نشانگرهای RAPD^۵ پیوسته به ژن مقاومت به ریزومانی در منبع Holly استفاده شده است (Pelsey and Merdinoglu 1996). آنها از ۱۶۰ آغازگر استفاده شده، ۱۹ آغازگر در مجموع ۴۴ نشانگر چندشکل تولید کردند که در ۹ گروه پیوسته طبقه بندی شدند. نام *Rz₁* برای ژن Holly و نام *Rz₂* برای ژن (های) WB42 پیشنهاد شده است (Scholten et al. 1997, 1999). ژن های مقاومت به ریزومانی در منابع Holly و WB42 غیرآلی و به صورت پیوسته می باشند و با بررسی وراثت مقاومت به بیماری ریزومانیای چغندر قند مشخص شد که مقاومت در منبع WB42 با یک ژن غالب (*Rz₂*) کنترل می شود و فاصله آن از ژن *Rz₁* در منبع Holly حدود ۳۵ سانتی مورگان می باشد (Amiri et al. 2003).

محققین با استفاده از چهار آنالوگ ژن مقاومت از چغندر قند به نام های (*cZR-1*، *cZR-9*، *cZR-7* و *cZR-3*) مشخص کرده اند که این آنالوگ ها بر روی کروموزوم ۳ قرار داشته و همراه با جایگاه ژن بزرگ اثر مقاومت به ریزومانی تفکیک می شوند (Lein et al. 2007). همچنین با استفاده از روشی مشابه و با استفاده از نشانگر RAPD، دو نشانگر به نام های OF-09 با اندازه ۱۱۵۰ جفت باز در وضعیت جفت و فاصله ۲۷ سانتی مورگان از ژن *Rz₁* و دیگری OP-AN9 با اندازه ۶۰۰ جفت باز در وضعیت ناجفت و با فاصله ۱۳/۷ سانتی مورگان از ژن *Rz₁* شناسایی شده اند (Nouhi et al. 2008). با استفاده از تکنیک RAPD در جمعیت F2 حاصل از تلاقی رگ های نر عقیم ۲۶۱ و چغندر یک ساله با منابع مقاومت Holly و WB42 یک نشانگر ناجفت با پیوستگی شدید (موسوم به AM2 با فاصله ۳/۶ سانتی مورگان) برای مکان ژنی *Rz₂* حاصل از منبع WB42 و یک نشانگر جفت با پیوستگی کم برای مکان ژنی *Rz₁* حاصل از منبع Holly به دست آمده است (Amiri et al. 2009). همچنین با این تکنیک نشانگرهای R1 و R2 به ترتیب در فواصل ۲/۳۲ و ۸/۳ سانتی مورگان از ژن *Rz₁* در فاز ناجفت و نشانگرهای C4 و C1 به ترتیب در فواصل ۲۱/۴ و ۲۷/۵ سانتی مورگان از ژن *Rz₁* در فاز جفت شناسایی شده اند (Norouzi and

¹ Rhizomania² Beet necrotic yellow vein virus³ Polymyxa betae keskin⁴ Bulk seggant analysis⁵ Random amplified polymorphism DNA

استخراج DNA با روش (Dellaporta et al. 1983) انجام شد. کمیت و کیفیت DNA استخراجی با استفاده از دو روش اسپکتروفتومتری و الکتروفورز در ژل آگارز مشخص شد.

آزمون مولکولی RAPD-PCR

واکنش زنجیره پلی مرز برای انجام RAPD در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر برای هر واکنش انجام گرفت. حجم مورد نیاز DNA یک واکنش، ۱/۵ میکرولیتر با غلظت ۲۵ ng/μl، ۲/۵ میکرولیتر 10X buffer، دو میکرولیتر dNTP ۲/۵ میلی مولار، ۱/۸ میکرولیتر MgCl₂ با غلظت ۲۵ میلی مولار، یک میکرولیتر آغازگر PN11 با غلظت ۵ میکرومولار، ۰/۲ میکرولیتر (یک واحد) آنزیم SmarTaq پلی مرز از شرکت سیناکلون بود. واکنش زنجیره پلی-مرز در دستگاه ترموسایکلر با مراحل زیر شامل ۵ دقیقه واسرشت سازی اولیه در ۹۴°C، ۴۰ چرخه شامل واسرشته سازی به مدت ۴۰ ثانیه در دمای ۹۴°C، اتصال آغازگر به مدت ۴۰ ثانیه در دمای ۳۴°C، توسعه آغازگر به مدت ۸۰ ثانیه در دمای ۷۲°C و یک مرحله ۱۰ دقیقه ای توسعه نهایی در دمای ۷۲°C برای تکمیل طول قطعات تکثیر شده در واکنش صورت گرفت. سپس الکتروفورز محصولات واکنش RAPD در ژل آگارز ۱/۲ درصد با ولتاژ ۱۰۰، رنگ آمیزی ژل در اتیدیوم بروماید و عکس برداری در دستگاه مستند ساز ژل انجام گرفت. در نهایت الگوی نواریندی نشانگر روی ژل مشخص شد.

تعیین توالی محصول RAPD و طراحی آغازگر اختصاصی

پس از اطمینان از تکثیر قطعه مورد نظر در واکنش RAPD، خالص سازی محصول تکثیر شده توسط کیت [Vivantis-GF-1, AMBICLEAN KIT (PCR & Gel) USER GUIDE Version 1.2] انجام شد. قطعه مورد نظر در پلاسمید T – pTG19 همسانه-

سازی شده و سپس با استفاده از روش (Sambrook and Russell 2001) به *E. coli* انتقال یافت. انتخاب کلون های حاوی قطعه مورد نظر توسط Colony-PCR با آغازگرهای M13 با توالی رفت 5'-AGGGTTTTCCAGTCACGA-3' و توالی برگشت 3'-GAGCGGATAACAATTTTCA-5' و همچنین به کمک آغازگر RAPD انجام گرفت. استخراج پلاسمید بر مبنای لیز قلیایی باکتری ها به روش (Sambrook and Russell 2001) انجام پذیرفت. به منظور تعیین توالی، قطعه همسانه سازی شده به

(Feghhi 2009). البته نشانگرهای مذکور در سایر جمعیت های اصلاحی و ارقام تجارتي تایید نشده اند (نوروزی، نتایج منتشر- نشده). (Norouzi 2011) یک نشانگر RAPD جفت پیوسته به ژن *Rz₁* (موسوم به PN11) شناسایی کرد که حضور آن در هیبریدهای جدید معرفی شده در موسسه تحقیقات چغندر قند اثبات شد. همچنین تکرارپذیری این نشانگر در اکثر ژنوتیپ های مقاوم به ریزومانیا با منبع مقاومت Holly تایید شده است. Stevanato et al. (2012) با استفاده از روش BSA در یک جمعیت F2 موفق به شناسایی چند نشانگر مولکولی SNP پیوسته به ژن مقاومت به ریزومانیا شدند. البته توالی این نشانگرها را گزارش نکرده اند. نشانگرهای SNP از نوع هم بارز بوده و قادر به تفکیک سه نوع ژنوتیپ حساس، هتروزیگوت مقاوم و هموزیگوت مقاوم به ریزومانیا از یکدیگر می باشند.

عمده تحقیقات مولکولی چغندر قند در جهان در شرکت های خصوصی تولید بذر صورت می گیرد و اطلاعات این نشانگرها در مالکیت معنوی آن شرکت ها می باشد، لذا مقالات و منابع جدید در این زمینه زیاد نبوده و در دسترس عموم محققان قرار ندارد که بتوان به آنها استناد داده و یا از آنها بهره برداری کرد.

هدف از تحقیق حاضر، همسانه سازی نشانگر رپید PN11 پیوسته با ژن *Rz₁* مقاومت به ریزومانیا و تبدیل آن به نشانگر اسکار (¹SCAR) جهت استفاده در گزینش به کمک نشانگر (²MAS) برای ارزیابی مقاومت به ریزومانیا در لاین ها و توده های اصلاحی چغندر قند می باشد.

مواد و روش ها

مواد گیاهی

ژنوتیپ های گوناگون چغندر قند حامل ژن *Rz₁* از منابع مقاوم به ریزومانیا بودند که برای آزمون مولکولی نشانگر از آنها استفاده شد. فهرست برخی از این ژنوتیپ ها به همراه درصد حضور نشانگر اسکار شده ZN1 در جدول ۱ مشخص شده است.

استخراج DNA

¹ Sequenced characterized amplified region

² Marker assisted selection

نشانگر ZN1 آزمون و میزان حضور این نشانگر در ژنوتیپ‌ها بررسی و مشخص شد.

نتایج و بحث

آزمون مولکولی RAPD با نشانگر جفت PN11 (شکل ۱) در تک بوته‌های ژنوتیپ‌های منتخب مطابق جدول ۱ نشان داد که این نشانگر در اکثر ژنوتیپ‌ها دارای چند شکلی مورد انتظار (با اندازه تقریبی ۱۳۵۰ جفت باز) بوده است. این نشانگر جفت با آلل مقاومت به ریزومانیا پیوستگی داشت. بنابراین در اکثر تک بوته‌های مقاوم ژنوتیپ Rz_1Rz_1 و یا Rz_1Rz_1 مشاهده شد و در اکثر تک بوته‌های حساس ژنوتیپ rz_1rz_1 دیده نشد. البته به علت فاصله بین نشانگر مذکور با ژن Rz_1 و در نتیجه احتمال نوترکیبی، تعداد کمی از بوته‌های مقاوم فاقد باند نشانگر و تعداد کمی از بوته‌های حساس واجد باند نشانگر بودند. این احتمال نوترکیبی بین نشانگر و ژن هدف در واقع خطایی است که از هر نشانگر قابل انتظار است.

جدول ۱- برخی از ژنوتیپ‌های چغندر حامل ژن Rz_1 به کار رفته در تحقیق

ردیف	نام ژنوتیپ	نوع ژنوتیپ	درصد حضور نشانگر ZN1
۱	Dorothea	رقم مقاوم	۱۰۰
۲	Flores	رقم مقاوم	۱۰۰
۳	Brejita	رقم مقاوم	۹۲
۴	Pauletta	رقم مقاوم	۸۹
۵	Jolgeh	رقم حساس	۲
۶	Rasoul	رقم حساس	۰
۷	SB-36	لاین اوتایپ مقاوم	۱۰۰
۸	SBSI-005	هیبرید متحمل	۵۵
۹	SBSI-006	هیبرید متحمل	۷۱
۱۰	SBSI-007	هیبرید متحمل	۵۴
۱۱	SBSI-016	هیبرید متحمل	۴۶
۱۲	F-8714	توده اصلاحی	۶۲
۱۳	F-8720	توده اصلاحی	۲۴
۱۴	F-8726	توده اصلاحی	۷۴
۱۵	F-8732	توده اصلاحی	۷۰
۱۶	F-8734	توده اصلاحی	۳۵
۱۷	F-8736	توده اصلاحی	۱۰
۱۸	F-8738	توده اصلاحی	۵۵
۱۹	F-8740	توده اصلاحی	۴۸
۲۰	F-8769	توده اصلاحی	۲۴

شرکت بایونیر (Bioneer Korea) ارسال شد. تعیین توالی قطعه همسانه‌سازی شده با استفاده از آغازگرهای یونیورسال انجام شد. از توالی محصول ریپد دریافت شده جهت طراحی آغازگرهای اختصاصی با نرم‌افزار Oligo 5 استفاده شد.

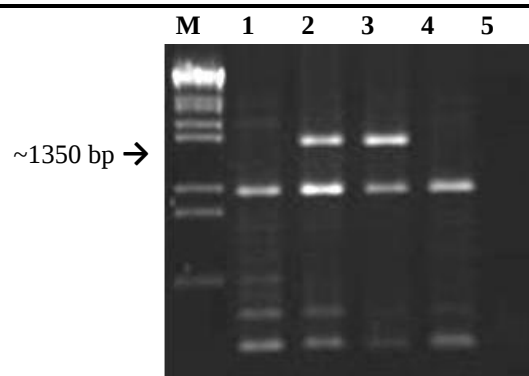
بررسی اختصاصیت آغازگرهای طراحی شده بر اساس قطعات به دست آمده در RAPD

به منظور بررسی اختصاصیت آغازگرها، ابتدا آغازگرهای طراحی شده (موسوم به ZN-1-F و ZN-1-R) بر اساس قطعه به دست آمده از آزمون RAPD در واکنش زنجیره‌ای پلیمرز مورد ارزیابی قرار گرفتند (توالی آغازگرهای اختصاصی جهت ثبت در مقاله نیامده). واکنش PCR در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر برای نشانگر SCAR بدست آمده موسوم به ZN1 به صورت زیر انجام گرفت.

مخلوط واکنش PCR، شامل یک میکرولیتر DNA الگو با غلظت ۲/۵ ng/μl، دو میکرولیتر 10X buffer، یک میکرولیتر dNTP ۲/۵ میلی‌مولار، ۱/۵ میکرولیتر $MgCl_2$ با غلظت ۲۵ میلی‌مولار، یک میکرولیتر از هر یک از آغازگرهای مستقیم و معکوس با غلظت ۵ میکرومولار، ۰/۲ میکرولیتر (یک واحد) آنزیم SmarTaq پلی‌مرز از شرکت سیناکلون برای هر واکنش بود. شرایط PCR برای نشانگر ZN1 شامل ۵ دقیقه واسرشت‌سازی اولیه در $95^{\circ}C$ ، ۴۰ چرخه شامل واسرشته‌سازی به مدت ۳۰ ثانیه در دمای $95^{\circ}C$ ، اتصال آغازگر به مدت ۳۰ ثانیه در دمای $58^{\circ}C$ ، توسعه آغازگر به مدت ۴۰ ثانیه در دمای $72^{\circ}C$ و یک مرحله ۱۰ دقیقه‌ای توسعه نهایی در دمای $72^{\circ}C$ برای تکمیل طول قطعات تکثیر شده در واکنش بود. سپس الکتروفورز محصولات واکنش PCR در ژل آگارز یک درصد با ولتاژ ۱۰۰، رنگ‌آمیزی ژل در اتیدیوم بروماید و عکس‌برداری در دستگاه مستندساز ژل انجام گرفت. در نهایت الگوی نشانگر روی ژل مشخص شد.

تایید نشانگر SCAR در ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند به منظور بررسی تکرارپذیری و تایید نشانگر ZN1 به دست آمده از چندین ژنوتیپ چغندر قند شامل ارقام تجارتي و لاین‌های مقاوم و حساس به ریزومانیا حامل ژن Rz_1 و یا فاقد آن ژن بودند استفاده شد (جدول ۱). برای این کار تعدادی بوته از ژنوتیپ‌های مذکور به صورت جداگانه با جفت آغازگر اختصاصی مربوط به

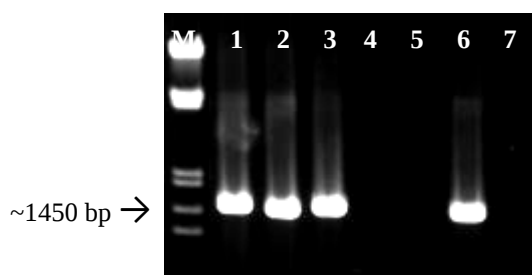
پیوسته با ژنهای Rz_1 و Rz_2 را به این کروموزوم منتسب کرده بودند (Barzen et al. 1997; Lein et al. 2007; Amiri et al. 2009). پس از تایید توالی نشانگر با استفاده از برنامه الیگو پنج طراحی آغازگرهای اختصاصی با اندازه حداقل ۱۸ نوکلئوتید انجام گرفت و بدین ترتیب نشانگر RAPD به SCAR به نام ZN1 تبدیل شد. نتایج PCR با این نشانگر SCAR در شکل ۴ مشخص شده است. همانطور که ملاحظه می شود باند اختصاصی مربوط به نشانگر با اندازه مورد انتظار ۵۰۰ جفت باز به دست آمده است.



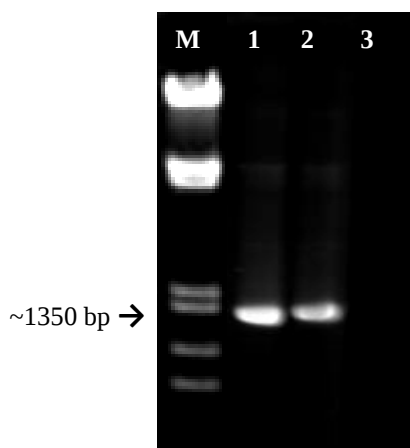
شکل ۱- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر ریپد PN11 در چند تک بوته از یک ژنوتیپ در حال تفکیک ژن $M.Rz_1$. نشانگر تعیین اندازه DNA (Lambda DNA/ *EcoRI*+ *HindIII* Marker)؛ چاهکهای ۲ و ۳) محصول ریپد دو تک بوته حامل نشانگر؛ چاهکهای ۱ و ۴) محصول ریپد دو تک بوته فاقد نشانگر؛ چاهک ۵) محصول Master Mix بدون DNA الگو.

پس از همسانه سازی قطعه نشانگر در ناقل پلاسمیدی (TA Cloning Kit) / *pTG19* / *T* و انتقال به سلولهای مستعد باکتری (*E. coli* (DH5 α) تعداد زیادی کلونی در محیط انتخابی LB (حاوی ۵۰ mg/l آنتی بیوتیک آمپی سیلین) مشاهده شد. پس از انجام کلونی PCR با آغازگرهای M13 و نیز آغازگر RAPD مربوط به نشانگر، کلونیهای مثبت که بیانگر وجود قطعه مورد نظر در آنها بود انتخاب شدند و بر اساس شدت باند و عدم وجود باندهای اضافی، از کلونیهای مورد نظر استخراج پلاسمید انجام شد. محصول کلونی PCR با جفت آغازگرهای M13 به صورت باند منفرد در اندازه مورد انتظار حدود ۱۴۵۰ جفت باز برای نشانگر PN11 بر روی ژل آگارز ظاهر شد (شکل ۲). همچنین محصول کلونی PCR با آغازگر RAPD به صورت باند منفرد در اندازه مورد انتظار حدود ۱۳۵۰ جفت باز برای نشانگر PN11 بر روی ژل آگارز ظاهر شد (شکل ۳). پلاسمیدهای استخراج شده از کلونیهای نوترکیب، که بیانگر همسانه سازی موفق قطعه نشانگر RAPD مورد نظر در ناقل بودند برای توالی یابی ارسال شدند.

توالی یابی نشانگرهای RAPD و طراحی آغازگرهای اختصاصی توالی به دست آمده از نشانگر RAPD پیوسته با ژن Rz_1 ابتدا با استفاده از نرم افزار BLAST (NCBI) در بانک ژن با توالیهای موجود هم ردیف و مقایسه شد. این توالی مربوط به بخشی از کروموزوم شماره ۳ چغندر قند بود. سایر محققان نیز نشانگرهای



شکل ۲- نتیجه کلونی PCR با آغازگرهای M13 در شش کلونی برداشت شده جهت صحت همسانه سازی قطعه نشانگر ریپد پیوسته با ژن Rz_1 در ناقل (M. *pTG19/T*) نشانگر تعیین اندازه DNA (Lambda DNA/ *EcoRI*+ *HindIII* Marker)؛ چاهکهای ۱، ۲، ۳ و ۶) کلونیهای نوترکیب و حامل قطعه مورد نظر؛ چاهکهای ۴ و ۵) کلونیهای فاقد قطعه مورد نظر؛ چاهک ۷) محصول Master Mix بدون افزودن کلونی.



شکل ۳- نتیجه کلونی PCR با آغازگرهای ریپد در سه کلونی برداشت شده جهت صحت همسانه سازی قطعه نشانگر ریپد پیوسته با ژن Rz_1 در ناقل (M. *pTG19/T*) نشانگر تعیین اندازه DNA (Lambda DNA/ *EcoRI*+ *HindIII* Marker)؛ چاهکهای ۱ و ۲) کلونیهای نوترکیب و حامل قطعه مورد نظر؛ چاهک ۳) کلونی فاقد قطعه مورد نظر.

جدول ۲- مقایسه نتایج سه نشانگر مولکولی SCAR جفت پیوسته با ژن Rz_1 مقاومت به ریزومانی در چغندر قند

درصد حضور نشانگر	درصد حضور نشانگر	درصد توافقی نشانگر	درصد شناسایی	تعداد جمعیت	تعداد جمعیت	نام نشانگر	ردیف
در ارقام مقاوم	در ارقام حساس	با نتایج مقاومت مزرعه‌ای	جمعیت‌ها	شناسایی شده	آزمون شده		
84	17	76	59	65	110	PN1	۱
83	16	79	60	17	28	PN2	۲
92	2	90	95	54	57	ZN1	۳

شکل ۴- الگوی الکتروفورزی مربوط به نشانگر جفت ZN1 در ۲۰ تک بوته (چاهک‌های شماره ۱ تا ۲۰) از توده اصلاحی (M.F-8734) نشانگر تعیین اندازه DNA (Lambda DNA/ *EcoRI*+ *HindIII* Marker).

کشور بررسی کرد. با این حال بر اساس آزمون‌های مولکولی SNP انجام شده بر روی ژنوتیپ‌های ارسال شده و مقایسه نتایج آنها با نتایج نشانگر توسعه‌یافته ZN1 (معرفی شده در تحقیق حاضر) به نظر می‌رسد نشانگر ZN1 با خطای کمتری گیاهان مقاوم را از حساس تفکیک می‌کند و خطای نوع اول نشانگر (بوته‌های حساس ولی دارای باند نشانگر) در ZN1 کمتر از SNP مذکور می‌باشد (نوروزی، نتایج منتشر نشده). همچنین Norouzi et al. (2013) از یک نشانگر ناجفت برای بررسی اثر دز ژن مقاومت به ریزومانی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که ژنوتیپ‌های هموزیگوت غالب نسبت به هتروزیگوت‌ها مقاومت بیشتری نشان می‌دهند.

مقایسه نتایج تایید دو نشانگر جفت SCAR پیوسته با ژن مقاومت به ریزومانی موسوم به PN1 و PN2 به دست آمده در تحقیق قبلی نگارنده (Norouzi et al. 2011) با نتایج حاصل از این تحقیق برای نشانگر جفت ZN1 مطابق جدول ۲ نشان داد که بر اساس درصد توافقی نتایج نشانگرها با داده‌های مقاومت مزرعه‌ای مربوط به تک بوته‌ها در توده‌های اصلاحی و نیز درصد حضور نشانگرها در ارقام تجارتي حساس و مقاوم، نشانگر جفت ZN1 با نسبت توافق ۹۰ درصد با نتایج مقاومت مزرعه‌ای و نسبت حضور ۹۲ درصد در ارقام تجارتي مقاوم مناسب‌ترین نشانگر جفت به دست آمده می‌باشد.

بر اساس قطعه ۵۰۰ جفت بازی اختصاصی نشانگر SCAR به دست آمده در واکنش PCR (شکل ۴)، ارقام و لاین‌های مقاوم و حساس به ریزومانی تعیین خصوصیت شدند.

نتایج حضور این نشانگر در ژنوتیپ‌های مذکور در جدول ۱ خلاصه شده‌است. نتایج تحقیقات گذشته وجود یک ژن بزرگ اثر برای ایجاد مقاومت به ریزومانی را تایید کرده‌است (Bazen et al. 1992, 1997; Scholten et al. 1996, 1997, 1999; Amiri et al. 2003). در تحقیقات قبلی نگارنده نشان داده شده که دو نشانگر مولکولی PN1 و PN2 که با ژن Rz_1 پیوستگی دارند در بیش از ۸۰ درصد بوته‌های ارقام تجارتي مقاوم دیده می‌شوند (Norouzi et al. 2011). (Lein et al. (2007) چهار نشانگر مولکولی برای ژن مقاومت به ریزومانی در دو جمعیت مختلف F2 شناسایی کردند. ولیکن این نشانگرها در ژنوتیپ‌ها و ژرم‌پلاسماهای مختلف واجد ژن Rz_1 بررسی و تایید نشدند. Fegghi et al. (2012) تعدادی نشانگر پیوسته به ژن مقاومت به ریزومانی معرفی کردند. این نشانگرها از نوع رپید با تکرارپذیری کمتر بوده و فقط در جمعیت مکان‌یابی F2 موردنظر ارتباط نزدیکی با ژن مقاومت نشان داده‌اند و در سایر جمعیت‌ها و ارقام چغندر قند بررسی نشده‌اند. (Stevanato et al. (2012) سه نشانگر مولکولی SNP با پیوستگی زیاد به ژن مقاومت به ریزومانی شناسایی کردند. البته اطلاعات مربوط به توالی نشانگرهای مذکور در دسترس نمی‌باشد تا بتوان تکرارپذیری آنها را در ژرم‌پلاسم موجود چغندر قند در

نتیجه‌گیری

استفاده از ارقام مقاوم در کنترل هر بیماری یکی از ساده‌ترین و در عین حال مطمئن‌ترین روش مبارزه است. برای شناسایی گیاهان مقاوم به ریزومانیا در چغندر قند روش‌های فنوتیپی در مزرعه و روش‌های سرولوژیکی مانند الایزا و نیز روش‌های ژنوتیپی با استفاده از نشانگرهای مولکولی وجود دارد. با توجه به آنکه روش‌های ارزیابی کلاسیک گزینش مقاومت به بیماری از نوع فنوتیپی بوده و وابسته به شرایط محیطی و یکنواختی عامل آلوده-کننده هستند و در فصل خاصی از سال انجام می‌گیرند و نیز برخی از گیاهان از عامل آلوده‌کننده به نحوی می‌گیرند و به ظاهر مقاوم تلقی می‌شوند، از این رو با استفاده از روش‌های مولکولی، به عنوان روش تکمیلی و یا جایگزین می‌توان گیاهان در بر دارنده ژن مقاومت را در سطح ژنوتیپی شناسایی کرد. در این تحقیق یک نشانگر جفت RAPD پیوسته با ژن Rz_1 (Norouzi 2011) پس از طی مراحل همسانه‌سازی، توالی‌یابی و طراحی آغازگرهای اختصاصی تبدیل به یک نشانگر SCAR به نام ZN1 شد که از اختصاصیت و تکرارپذیری بیشتری نسبت به نشانگر RAPD اولیه خود و نیز سایر نشانگرهای تاکنون شناسایی شده در داخل کشور برخوردار بود. این نشانگر در ژنوتیپ‌های

مختلف چغندر قند نیز تایید شد. به طوری که در اکثر بوته‌های مقاوم باند نشانگر وجود دارد و در اکثر بوته‌های حساس باند نشانگر دیده نمی‌شود. بنابراین با ترکیب آغازگرهای یک نشانگر جفت (پیوسته با آلل مقاومت) به دست‌آمده در تحقیق حاضر و یک نشانگر ناجفت (پیوسته با آل حساسیت) در یک واکنش دابلکس PCR می‌توان مانند یک نشانگر SNP اقدام به شناسایی هر یک از سه ژنوتیپ احتمالی برای جایگاه ژن مقاومت به ریزومانیا کرد و بوته‌های هموزیگوت مقاوم را در والد‌های هیبرید تجارتي چغندر قند شناسایی و غربال کرد. بدین‌ترتیب از نشانگر ZN1 حاصل از این تحقیق می‌توان در برنامه‌های اصلاحی گزینش به کمک نشانگر با دقتی بالا برای انتخاب ژنوتیپی بوته-های مقاوم به بیماری و ویروسی ریزومانیا در چغندر قند بهره‌برداری کرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مدیریت محترم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند که امکانات اجرای این پژوهش را فراهم کرده‌اند کمال قدردانی و تشکر را دارم.

منابع

- Amiri R, Moghaddam M, Mesbah M, Sadeghian SY, Ghannadha MR, Izadpanah K (2003) The inheritance of resistance to beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) in *B. vulgaris* subsp. *maritima*, accession WB42: Statistical comparisons with Holly-1-4. *Euphytica* 132: 363-373.
- Amiri R, Mesbah M, Moghaddam MR, Bihamta SA, Mohammadi A, Norouzi P (2009) A new RAPD marker for beet necrotic yellow vein virus resistance gene in *Beta vulgaris*. *Biologia Plantarum* 53: 112-119.
- Anonymous (2014) Utilization Statistics of sugar factories of Iran. Available at http://www.sbsi.ir/sugar_facts. SBSI, Karaj, Iran (In Farsi).
- Barzen E, Mechelke W, Ritter E, Seitzer JF, Salamini F (1992) RFLP markers for sugar beet breeding: chromosomal linkage maps and location of major genes for rhizomania resistance, monogerm and hypocotyl color. *Plant Journal* 2: 601-611.
- Barzen E, Stahl R, Fuchs E, Borchardt DC, Salamini F (1997) Development of coupling-repulsion-phase SCAR markers diagnostic for the sugar beet Rz_1 allele conferring resistance to rhizomania. *Molecular Breeding* 3:231-238

- Dellaporta SL, Wood J, Hicks JB (1983) A plant DNA miniprep preparation version II. *Plant Molecular Biology Reporter* 1: 19-21.
- Feghhi SMA, Norouzi P, Saidi A, Zamani K, Amiri R (2012) Research Article Identification of SCAR and RAPD markers linked to Rz_1 gene in Holly sugar beet using BSA and two genetic distance estimation methods. *Electronic Journal of Plant Breeding* 3: 598-605.
- Izadpanah K, Hashemi P, Kamran R, Pakniat M, Sahanpour A, Masoomi M (1996) Occurrence of beard-root disease (like rhizomania) in Fars province. *Plant Pathology Journal* 23: 200-206.
- Keskin B (1964) *Polymyxa betae* n. sp., ein Parasit in den Wurzeln von *Beta vulgaris* Tournefort, besonders während der Jugendentwicklung der Zuckerrübe. *Archives of Microbiology* 49: 348-374.
- Lein JC, Asbach K, Tian Y, Schulte D, Li C, Koch G, Jung C, Cai D (2007) Resistance gene analogues are clustered on chromosome 3 of sugar beet and cosegregate with QTL for rhizomania resistance. *Genome* 50: 61-71.
- Mc Grann GRD, Grimmer MK, Mutasa-Gttgens ES, Stevens M (2009) Progress towards the understanding and

control of sugar beet rhizomania disease. *Molecular Plant Pathology* 10: 129-141.

Mekki BB (2014) Root yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in response to foliar application with urea, zinc and manganese in newly reclaimed sandy soil. *American-Eurasian Journal of Agriculture Environment Sciences* 14: 800-806.

Norouzi P (2007) Screening of plants resistant to beet cyst nematode using molecular marker. In: Proceeding of second national molecular and cellular biology congress of Iran. International Science and high technology Center. Kerman. 516-518. (In Farsi).

Norouzi P, Feghhi SMA (2009) Identification of some RAPD molecular markers linked to rhizomania resistance gene in sugar beet. In: Proceeding of 6th National Biotechnology Congress of Iran. 112. (In Farsi).

Norouzi P, Mahmoudi SB, Aghaiezhadeh M, Kakueinezhad M, Orazizadeh MR, Vahedi S, Fathi MR (2011) Repeatability of Some Molecular Markers Linked to Rhizomania Resistance Gene (*Rz₁*) in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Genotypes. *Jornal of Crop Breeding* 3: 30-42. (In Farsi).

Norouzi P (2011) Confirmation of selected molecular markers linked to rhizomania resistance gene from Holly source in sugar beet genotypes. Research final report. Research, Education and Extention Organization. Iran. Registration no: 90/528. 42p. (In Farsi).

Norouzi P, Rahmani D, Oroojalian S, Mahmoudi SB, Aghaiezhadeh M, Kakueinezhad M, Orazizadeh MR, Vahedi S, Fathi MR (2013) Confirmation of repulsion molecular markers linked to rhizomania resistance gene (*Rz₁*) and evaluation of gene dose effect in sugar beet genotypes. *Sugar Beet Journal* 29: 129-144. (In Farsi).

Nouhi A, Amiri R, Haghnazari A, Saba J, Mesbah M (2008) Tagging of resistance gene(s) to rhizomania disease in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *African Journal of Biotechnology* 7: 430-433.

Pelsy F, Merdinoglu D (1996) Identification and mapping of random amplified polymorphic DNA markers linked to a rhizomania resistance gene in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) by bulked segregant analysis. *Plant Breeding* 115: 371-377.

Sambrook J, Russell DW (2001) *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*. Cold Spring Harbor Laboratory Press. USA, Third Edition. Vol 1.

Scholten OE, Jansen RC, Paul Keizer LC, De Bock TSM, Lang W (1996) Major genes for resistance to beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) in *Beta vulgaris*. *Euphytica* 91: 331-339.

Scholten OE, Klein-Lankhosrst RM, Esselink DG, De Bock TSM, Lange W (1997) Identification and mapping of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers linked to resistance against beet necrotic yellow vein virus (BNYVV) in *Beta*

accessions. *Theoretical and Applied Genetics* 94:123-130.

Scholten OE, De Bock TSM, Klein-Lankhorst RM, Lange W (1999) Inheritance of resistance to beet necrotic yellow vein virus in *Beta vulgaris*, conferred by a second gene for resistance. *Theoretical and Applied Genetics* 99: 740-746.

Scholten OE, Lange W (2000) Breeding for resistance to rhizomania in sugar beet: A review. *Euphytica* 112: 219-231.

Tamada T (1975) Beet Necrotic Yellow Vein Virus. C.M.I./ A.A.B. Descriptions of plant viruses, No. 144

Toodehfallah M, Arjomand N, Mahmoudi B (2000) Investigation of infestation and dispersion of rhizomania disease of sugar beet in Iran. In: Proceeding of 14th plant protection congress of Iran. Esfahan Technical University. Esfahan. 72. (In Farsi).