

# 马铃薯种质资源抗病毒分子标记辅助筛选

娄树宝<sup>1,2</sup> 杨梦平<sup>1</sup> 邢金月<sup>1</sup> 翟玲侠<sup>1</sup> 王辉<sup>1</sup> 刘春生<sup>1</sup> 王立春<sup>1</sup> 宋继玲<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>黑龙江省农业科学院克山分院/国家马铃薯种质资源试管苗库(克山), 161005,  
黑龙江齐齐哈尔; <sup>2</sup>青海大学农林科学院, 810016, 青海西宁)

**摘要** 马铃薯Y病毒(PVY)和马铃薯X病毒(PVX)是对马铃薯产量和品质影响最主要的2种病毒,  $Ry_{adg}$ 、 $Ry_{sto}$ 和 $Ry_{chc}$ 是对PVY有极端抗性的基因,  $Rx$ 是对PVX有极端抗性的重要基因。利用与抗性基因 $Ry_{adg}$ 、 $Ry_{sto}$ 、 $Ry_{chc}$ 和 $Rx$ 紧密连锁的分子标记, 对国内外102个马铃薯品种进行了标记检测。结果表明, 含有YES3-3B标记的材料最多, 占供试材料99.02%; 含有Rxsp标记的材料最少, 占10.78%; 只含有1个标记的品种有4个, 占3.92%; 同时含有2个标记的品种有62个, 占60.78%; 同时含有3个标记的品种有30个, 占29.41%; 同时含有4个标记的品种有6个, 分别是陇薯11号、*S. caule*、富金、云薯105、晋薯8号和大西洋, 占供试材料的5.88%。

**关键词** 马铃薯; 病毒; 分子标记

马铃薯是世界第三大粮食作物, 种植面积仅次于小麦和水稻<sup>[1]</sup>。目前, 全球有160多个国家和地区种植马铃薯, 中国的马铃薯种植面积和总产量均居世界首位, 但单产没有达到世界平均水平<sup>[2]</sup>。马铃薯是无性繁殖作物, 生长过程中会受到病毒的侵染并且不断积累, 导致种薯退化减产。病毒病是马铃薯生产上的主要病害之一, 其危害程度仅次于晚疫病, 是马铃薯生产中极难解决的问题<sup>[3]</sup>。自1916年第一个马铃薯病毒病被发现以来, 目前已发现40多种病毒侵染马铃薯, 我国已报道的有16种<sup>[4-5]</sup>。危害我国马铃薯生产的主要病毒有PVX、PVY、PVS、PVM、PVA和PLRV, 其中马铃薯Y病毒(PVY)危害最为严重<sup>[6]</sup>。PVY是马铃薯生产中最常见的一种病毒, 可引起花叶、皱缩、坏死等症状。它是全球分布范围最广、破坏性最大的马铃薯病毒之一, 几乎遍布所有的马铃薯种植区<sup>[7]</sup>。马铃薯感染PVY后一般减产50%, 当与其他病毒复合侵染后, 最高可减产80%<sup>[8]</sup>。马铃薯X病毒(PVX)又称普通花叶病毒, 一般只产生轻微症状, 产量损失可达10%~40%, 若与PVY或PVA复合侵染可导致块茎产量损失80%以上<sup>[9-10]</sup>。目前, 针对马铃薯病毒病缺乏有效的防

治措施, 主要通过茎尖脱毒技术或者选育抗病病毒的马铃薯品种, 其中培育抗病品种是控制病毒最为简便快捷、经济有效的途径<sup>[11-12]</sup>。

筛选高抗马铃薯病毒病的资源, 发掘抗病基因对防控马铃薯病毒病具有重大的意义。随着马铃薯病毒病抗性基因的克隆及抗性遗传研究发展, 开发分子标记进行辅助选择, 筛选出具有抗性基因的马铃薯品种是一个快捷、精准的方法<sup>[13-14]</sup>。在引起马铃薯病毒病的病毒中, PVY和PVX是危害比较严重的2种病毒。目前已经发现3个PVY抗性基因 $Ry_{adg}$ <sup>[15]</sup>、 $Ry_{sto}$ <sup>[16]</sup>和 $Ry_{chc}$ <sup>[17]</sup>, 对PVY具有极端抗性。 $Ry_{adg}$ 来源于安第斯亚种(*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*), 1996年被定位在11号染色体的末端<sup>[18]</sup>, 根据 $Ry_{adg}$ 基因开发的标记RYSC3在国外育种中已经成功应用<sup>[19-20]</sup>。 $Ry_{sto}$ 是马铃薯抗PVY的显性基因, 来源于*S. stoloniferum*<sup>[21]</sup>, 该基因也定位在11号染色体, 开发的STS标记YES3-3B被用于检测 $Ry_{sto}$ 基因<sup>[22]</sup>。 $Ry_{chc}$ 是显性单基因, 从日本品种‘Konafubuki’中发现, 被定位在9号染色体的末端<sup>[23]</sup>, 根据该基因开发的STS标记Ry186用于检测 $Ry_{chc}$ 极端抗性<sup>[24]</sup>。 $Rx$ 基因对PVX具有极端抗性, 可以快速地

作者简介: 娄树宝, 主要从事马铃薯种质资源保存与创新研究, E-mail: loushubao@163.com

宋继玲为通信作者, 主要从事马铃薯种质资源保存研究, E-mail: jl\_song929@126.com

基金项目: 齐齐哈尔市科技计划创新激励项目(CNYGG-2022025); 科技部、财政部、国家科技资源共享服务平台项目“国家作物种质资源库马铃薯分库运行服务”(NCGRC-2022-44); 农业农村部物种保护项目“马铃薯种质资源安全保存及普查收集资源鉴定评价与繁殖编目入库”(19221860); 农业农村部“马铃薯种质资源精准鉴定”(19221974)

收稿日期: 2023-03-21; 修回日期: 2023-04-21; 网络出版日期: 2023-05-24

抑制病毒在最初感染的细胞中的积累<sup>[25]</sup>, *RxI* 来源于安第斯亚种, 定位于 12 号染色体上。Mori 等<sup>[26]</sup>根据 *RxI* 基因序列开发了 STS 标记 Rxsp, 重组率为 1.3%, 说明其与 *RxI* 紧密连锁。

常规的抗病育种选择周期长、效率低, 选育过程需要花费大量的时间、财力和物力, 但利用分子标记辅助育种 (MAS), 可在育种早期进行快速检测, 而且不受环境条件的限制, 可加速育种进程, 提高育种选择效率。本研究利用与抗 PVY 的基因 *Ry<sup>adg</sup>*、*Ry<sup>sto</sup>*、*Ry<sup>chc</sup>* 紧密连锁的分子标记 RYSC3、YES3-3B、Ry186 和抗 PVX 的基因 *Rx* 紧密连锁的分子标记 Rxsp, 对 102 份主要育成品种进行标记检测, 目的是筛选出具有多个病毒抗性基因的马铃薯品种, 为马铃薯抗病育种提供宝贵资源, 同时为马铃薯分子标记聚合育种提供

参考依据。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料**  
供试材料为国家马铃薯种质资源试管苗库 (克山) 保存的 102 份马铃薯种质资源的脱毒试管苗, 主要选择国内各育种单位近几年登记的品种及部分野生种和原始栽培种。

**1.2 马铃薯基因组 DNA 提取**  
取试管苗顶部茎叶, 使用天根 DP-320 试剂盒提取基因组 DNA。用 1%琼脂糖凝胶电泳检测基因组 DNA 质量, DNA 样品保存于-20℃冰箱。

**1.3 PCR 和电泳**  
分子标记信息见表 1, 由上海生工生物工程有限公司合成。PCR 反应体系 20μL: 2×Taq PCR

表 1 分子标记信息  
Table 1 Information of molecular markers

标记 Marker	基因 Gene	病毒 Virus	标记类型 Marker type	引物序列 (5'-3') Primer sequence (5'-3')	片段大小 Fragment length (bp)	温度 Temperature (°C)	参考文献 Reference
Rxsp	<i>RxI</i>	PVX	STS	F: ATCTTGTTTGAATACATGG R: CACAATATTGGAAGGATTCA	1230	58	[26]
RYSC3	<i>Ry<sup>adg</sup></i>	PVY	SCAR	F: ATACACTCATCTAAATTTGATGG R: AGGATATACGGCATCATTTTCCGA	321	59	[19]
YES3-3B	<i>Ry<sup>sto</sup></i>	PVY	STS	F: TAACTCAAGCGGAATAACCC R: CATGAGATTGCCTTTGGTTA	284	55	[27]
Ry186	<i>Ry<sup>chc</sup></i>	PVY	STS	F: TGGTAGGGATAATTTTCCTTAGA R: GCAAATCCTAGGTTATCAACTCA	587	55	[28]

Master Mix 10μL、正反引物各 1μL、DNA 模板 1μL、ddH<sub>2</sub>O 7μL。PCR 扩增程序为 95℃预变性 5min; 95℃变性 30s, 55℃~59℃退火 40s, 72℃延伸 1min, 35 个循环; 72℃延伸 5min, 4℃保存。PCR 结束后, 取 4μL 扩增产物与 2μL 6×Loading Buffer 混匀, 于 1.0%琼脂糖凝胶电泳检测, 在紫外灯下观察并拍照。

### 2 结果与分析

**2.1 基因组 DNA 的提取**  
对供试的 102 份材料进行基因组 DNA 的提取。经 1%琼脂糖凝胶电泳检测, DNA 主带清晰, 无拖尾、降解现象。各样品间 DNA 浓度均匀一致, 纯度高, 质量好 (图 1)。

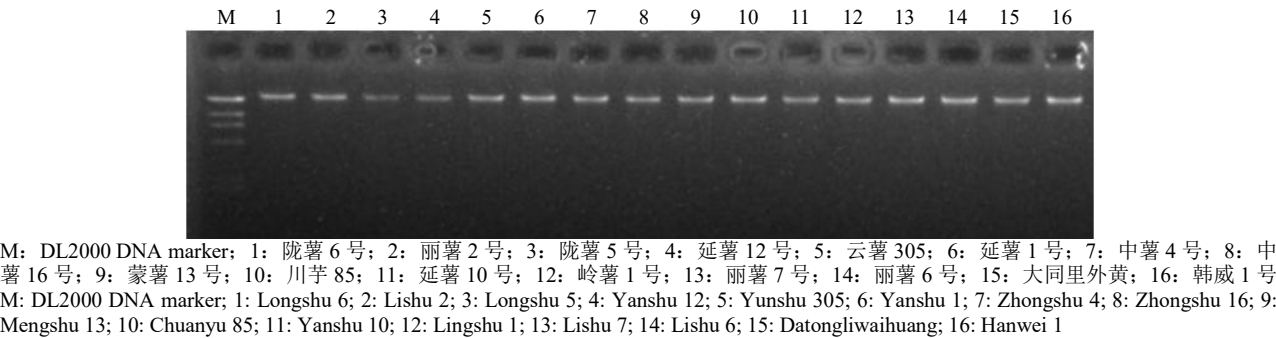
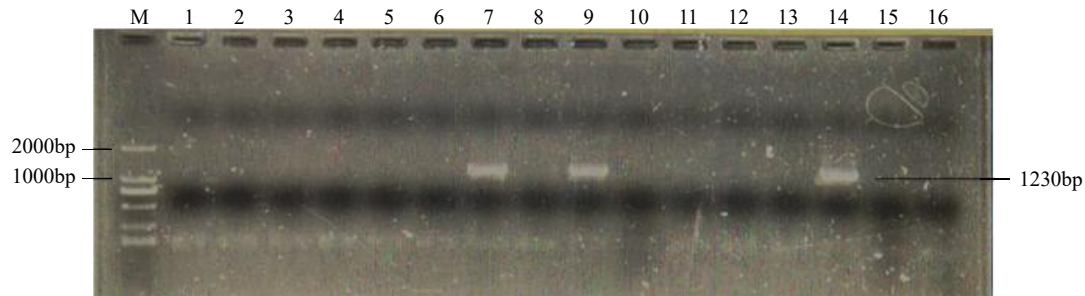


图 1 DNA 浓度与质量检测  
Fig.1 Examination of DNA concentration and quality

## 2.2 PVX 抗性基因分子标记 Rxsp 的检测

根据与马铃薯 PVX 抗性基因 *RxI* 连锁标记 Rxsp 的扩增结果 (图 2) 显示, 含 Rxsp 标记的材

料可以扩增出约 1230bp 的特异性片段, 102 份材料中有 11 份材料含有 Rxsp 标记, 占供试材料的 10.78%。



M: DL2000 DNA marker; 1: 丽薯 1 号; 2: 华颂 1 号; 3: 晋薯 16 号; 4: 华颂 88; 5: 丽薯 15 号; 6: 紫罗兰; 7: 富金; 8: 垦加 3 号; 9: 云薯 105; 10: 北疆 1 号; 11: 同薯 29 号; 12: 兴佳 2 号; 13: 云薯 506; 14: 华恩 1 号; 15: *S.stenotomum*; 16: 希森 6 号  
M: DL2000 DNA marker; 1: Lishu 1; 2: Huasong 1; 3: Jinshu 16; 4: Huasong 88; 5: Lishu 15; 6: Ziluolan; 7: Fujin; 8: Kenjia 3; 9: Yunshu 105; 10: Beijiang 1; 11: Tongshu 29; 12: Xingjia 2; 13: Yunshu 506; 14: Huaen 1; 15: *S.stenotomum*; 16: Xisen 6

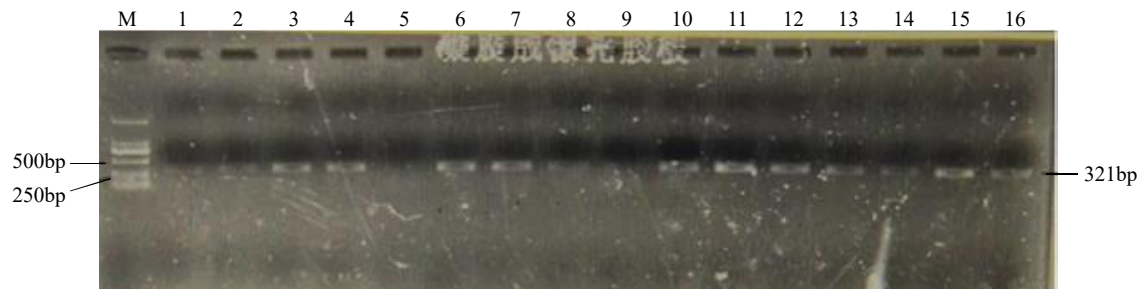
图 2 部分材料 Rxsp 标记扩增

Fig.2 The PCR of Rxsp marker of part of accessions

## 2.3 PVY 抗性基因分子标记 RYSC3、YES3-3B、Ry186 的检测

根据与马铃薯 PVY 抗性基因 *Ry<sub>adg</sub>* 连锁标记 RYSC3 的扩增结果 (图 3) 显示, 含 RYSC3 标记的材料可以扩增出约 321bp 的特异性片段, 102 份材料中有 95 份材料含有 RYSC3 标记, 占供试材

料的 93.14%。含 YES3-3B 标记的材料可以扩增出约 284bp 的特异性片段 (图 4), 102 份材料中有 101 份材料含有 YES3-3B 标记, 占供试材料的 99.02%。含 Ry186 标记的材料可以扩增出 2~3 条带 (图 5), 能够扩增出 587bp 的片段记为含有 Ry186 标记, 102 份材料中有 35 份材料含有 Ry186

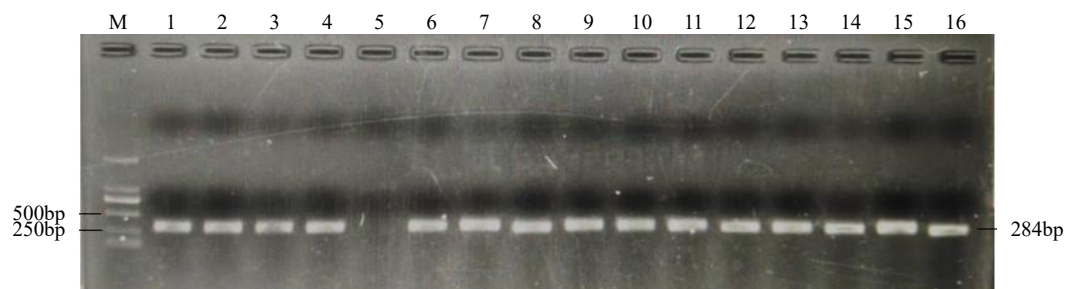


编号材料同图 1

The numbered materials are the same with Fig.1

图 3 部分材料 RYSC3 标记扩增

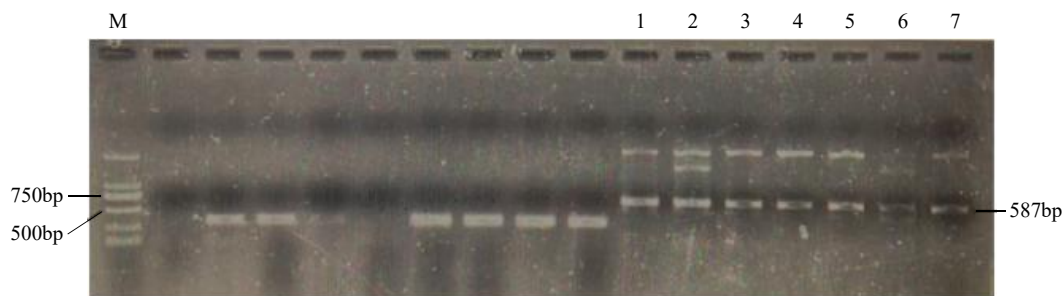
Fig.3 The PCR of RYSC3 marker of part of accessions



M: DL2000; 1: 土岩 2 号; 2: 郑薯 5 号; 3: 兴佳 3 号; 4: 克新 23 号; 5: 费乌瑞它; 6: 云薯 202; 7: *S.chacoense*; 8: *S.stoloniferum*; 9: 东薯 3 号; 10: 晋薯 8 号; 11: 云薯 305; 12: 云薯 902; 13: 云薯 505; 14: 云薯 107; 15: 大西洋; 16: *S.pinnatisecta*  
M: DL2000 DNA marker; 1: Tuyan 2; 2: Zhengshu 5; 3: Xingjia 3; 4: Kexin 23; 5: Favorita; 6: Yunshu 202; 7: *S.chacoense*; 8: *S.stoloniferum*; 9: Dongshu 3; 10: Jinshu 8; 11: Yunshu 305; 12: Yunshu 902; 13: Yunshu 505; 14: Yunshu 107; 15: Atlantic; 16: *S.pinnatisecta*

图 4 部分材料 YES3-3B 标记扩增

Fig.4 The PCR of YES3-3B marker of part of accessions



M: DL2000 DNA marker; 1: 闽薯 1 号; 2: 鑫科薯 1 号; 3: 宁薯 3 号; 4: 中薯 6 号; 5: 云薯 401; 6: 中薯 15 号; 7: 雪育 2 号  
M: DL2000 DNA marker; 1: Minshu 1; 2: Xinkeshu 1; 3: Ningshu 3; 4: Zhongshu 6; 5: Yunshu 401; 6: Zhongshu 15; 7: Xueyu 2

图 5 部分材料 Ry186 标记扩增  
Fig.5 The PCR of Ry186 marker of part of accessions

标记，占供试材料的 34.31%。  
2.4 102 份马铃薯品种病毒抗性标记分析  
表 2 列出了不同品种抗性标记的分布情况，其中只含有 1 个标记的品种有 4 个，占供试材料的 3.92%；同时含有 2 个标记的品种有 62 个，占供试材料的 60.78%；同时含有 3 个标记的品种有 30 个，占供试材料的 29.41%；同时含有 4 个标记的品种有 6 个，占供试材料的 5.88%。

表 2 不同品种抗性标记分析  
Table 2 Analysis of markers of distinct varieties

品种数量 Variety number	类别 Class	比例 Percentage (%)	品种 Variety
1	只含 RYSC3 标记	0.98	费乌瑞它
3	只含 YES3-3B 标记	2.94	蒙薯 13 号、克新 13 号、扎列娃
4	同时含 YES3-3B 和 Ry186 标记	3.92	华颂 88、希森 6 号、 <i>S.chacoense</i> 、云薯 305
58	同时含 RYSC3 和 YES3-3B 标记	56.86	维拉斯、陇薯 6 号、丽薯 2 号、陇薯 5 号、延薯 1 号、中薯 4 号、中薯 16 号、川芋 85、延薯 10 号、岭薯 1 号、丽薯 7 号、丽薯 6 号、韩威 1 号、中薯 2 号、滇薯 47、韩锦 2 号、晋薯 15 号、丽薯 11 号、云薯 205、鄂马铃薯 13 号、宁蒗 5 号、菲勒塞纳、丽薯 10 号、天薯 15 号、泉云 3 号、中薯 9 号、冀张薯 5 号、华颂 34、闽薯 1 号、鑫科薯 1 号、宁薯 3 号、中薯 6 号、云薯 401、中薯 15 号、新大坪、冀张薯 14 号、丽薯 1 号、华颂 1 号、丽薯 15 号、紫罗兰、垦加 3 号、北疆 1 号、云薯 506、土岩 2 号、郑薯 5 号、云薯 202、陇薯 10 号、克新 33、合作 88、庄薯 3 号、紫花白、天薯 9 号、垦薯 1 号、黑森、黑美人、克新 19 号、天薯 10 号、Atzimba
5	同时含 Rxsp、RYSC3 和 YES3-3B 标记	4.90	大同里外黄、雪育 2 号、尤金、华恩 1 号、NS51-5
25	同时含 RYSC3、YES3-3B 和 Ry186 标记	24.51	克新 25 号、内薯 7 号、克新 26 号、 <i>S.jamesii</i> 、延薯 12 号、东薯 1 号、华颂 11、垦彩薯 1 号、春秋 9 号、北薯 2 号、晋薯 16 号、同薯 29 号、兴佳 2 号、 <i>S.stenotomum</i> 、兴佳 3 号、克新 23 号、 <i>S.stoloniferum</i> 、东薯 3 号、云薯 902、云薯 505、云薯 107、 <i>S.pinnatisecta</i> 、克新 34、米拉、克新 1 号
6	同时含 Rxsp、RYSC3、YES3-3B 和 Ry186 标记	5.88	陇薯 11 号、 <i>S.acaule</i> 、富金、云薯 105、晋薯 8 号、大西洋

3 讨论

马铃薯是我国重要的粮菜兼用作物，但长期以来育种工作因为病毒感染而进展缓慢，很多优异材料在选种的过程中由于病毒侵染没有及时脱毒处理而被淘汰掉，而随着育种圃场规模的增加和病毒变异的加快，育种材料的脱毒工作日益繁重，因此，抗病毒育种在马铃薯育种工作中的重要性就凸显出来。培育马铃薯抗病品种首先就需要扩大遗传背景和丰富遗传多样性，鉴定并筛选出抗病品种是获

得抗病亲本材料的最基础有效的手段之一。常规的病毒抗性鉴定方法周期长、效率低，而分子标记辅助选择运用分子标记技术可以快速筛选出具有不同抗性标记的材料。

本研究利用 4 个与马铃薯病毒病抗性基因连锁的分子标记（Rxsp、RYSC3、YES3-3B 和 Ry186）对 102 份马铃薯品种进行检测，结果表明，所有检测的材料至少含有 1 个抗性标记，其中同时含 2 个标记的品种最多，同时含 4 个标记的品种只有 6 份。在 6 份野生种和原始栽培种中都至少含有 2 个抗性

标记,说明野生种和原始栽培种中含有丰富的抗病毒基因,这些资源的利用对马铃薯育种工作起着决定性的作用。生产实践证明,在生产上能够较长期发挥作用的品种,除了品质好、产量高等性状外,抗病性好也是重要的原因,如克新 1 号自 1965 年开始推广,由于高抗环腐病、抗 PVY 和 PLRV 并且耐旱和高产,到目前为止仍有较大种植面积<sup>[29]</sup>。

本研究表明,所有供试材料中含有 YES3-3B 标记的品种最多,为 101 份,占供试材料的 99.02%,含有 Rxsp 标记的品种最少,为 11 份,占供试材料的 10.78%,这与黄鑫华等<sup>[30]</sup>的研究结果一致,并且检测到陇薯 10 号、冀张薯 5 号和云薯 401 同时含有 RYSC3 和 YES3-3B 标记,内薯 7 号同时含 RYSC3、YES3-3B 和 Ry186 标记,大同里外黄同时含 Rxsp、RYSC3 和 YES3-3B 标记,这与黄鑫华等<sup>[30]</sup>研究结果也相符,但与白磊等<sup>[11]</sup>的研究结果不同。白磊等<sup>[11]</sup>研究认为,陇薯 10 号不含 RYSC3 和 Ry186 标记、黑美人不含 RYSC3 和 Ry186 标记(本研究中黑美人同时含 RYSC3 和 YES3-3B 标记)、陇薯 11 号只含 RYSC3 标记(本研究中陇薯 11 号同时含 Rxsp、RYSC3、YES3-3B 和 Ry186 标记),造成这一结果差异的原因还不清楚。本研究还检测到克新 23 号和克新 25 号均含有 RYSC3、YES3-3B 和 Ry186 标记,2 个品种是姊妹系,基因来源于同一个父母本。

分子标记技术作为一种辅助选择手段,与人工接种病毒鉴定结果不能 100%吻合,所以我们下一步的研究方向是对筛选出的含有多个抗性标记的材料进行人工接种鉴定,以确定其病毒抗性组成,并且依托国家马铃薯种质资源试管苗库(克山)平台,加大对资源库保存资源病毒抗性分子标记的检测,筛选出含有多个不同抗性标记的材料作为亲本用于聚合育种,在育种早代进行分子标记检测,结合产量、品质等性状综合评价,创造出聚合多个抗性基因的优异材料,提高育种效率,缩短育种年限,真正做到分子标记辅助选择与聚合育种有效结合。

## 4 结论

本研究利用抗 PVY 和抗 PVX 基因的分子标记对 102 份育成品种、野生种和原始栽培种进行标记检测,结果表明,含有 YES3-3B 标记的材料最多,占比 99.02%;含有 Rxsp 标记的材料最少,占比

10.78%;只含有 1 个标记的品种有 4 个,占比 3.92%;同时含有 2 个标记的品种有 62 个,占比 60.78%;同时含有 3 个标记的品种有 30 个,占比 29.41%;同时含有 4 个标记的品种有 6 个,分别是陇薯 11 号、*S.acaule*、富金、云薯 105、晋薯 8 号和大西洋,占供试材料的 5.88%。

## 参考文献

- [1] 联合国粮食组织. 粮农组织统计数据库. [2019-10-29]. <http://faostat.fao.org/>.
- [2] 逢学思,曲峻岭,郭燕枝. 中国马铃薯主食产业化现状及未来展望. 农业展望, 2018, 14(4): 28-31.
- [3] Wang B, Ma Y L, Zhang Z B, et al. Potato viruses in China. Crop Protection, 2011, 30(9): 1117-1123.
- [4] Rashid M O, Li J H, Liu Q, et al. Molecular detection and identification of eight potato viruses in Gansu province of China. Current Plant Biology, 2020, 25: 1-7.
- [5] 陈莹,田艳珍,王芳,等. 浙江省马铃薯病毒病检测分析. 植物保护, 2020, 46(5): 110-115, 121.
- [6] 李明福. 马铃薯病毒及其检疫重要性初析. 植物检疫, 1997, 19(5): 6-9.
- [7] 周艳玲,刘学敏,孟玉芹. 马铃薯 Y 病毒的检测技术. 中国马铃薯, 2000(2): 89-93.
- [8] 金黎平,屈冬玉. 马铃薯优良品种及丰产栽培技术. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2002.
- [9] Bance V B. Replication of potato virus X RNA is altered in coinfections with potato virus Y. Virology, 1991, 182(2): 486-494.
- [10] Adams M J, Antoniw J F, Bar J M, et al. The new plant virus family Flexiviridae and assessment of molecular criteria for species demarcation. Archives of Virology, 2004, 149: 1045-1060.
- [11] 白磊,郭华春. 马铃薯多抗亲本的分子标记辅助筛选. 分子植物育种, 2017, 14(1): 200-212.
- [12] Solomon-Blackburn R M, Barker H. Breeding virus resistant potatoes (*Solanum tuberosum*): a review of traditional and molecular approaches. Heredity, 2001, 86(1): 17-35.
- [13] 聂碧华. 马铃薯 Y 病毒新变异株系的克隆鉴定及马铃薯-一病毒互作机制研究. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [14] Manoj K, Anil G. Evaluation of potato germplasms against potato apical leaf curl virus disease. International Journal of Tropical Agriculture, 2015, 33(3): 2227-2228.
- [15] Munoz F J, Plaisted R L, Thurston H D. Resistance to potato virus Y in *Solanum tuberosum* spp. *andigena*. American Potato Journal, 1975, 52(4): 107-115.
- [16] Cockerham G. Potato breeding for virus resistance. Annals of Applied Biology, 1943, 30(1): 105-108.
- [17] Asama K, Ito H, Murakami N, et al. New potato variety "Konafubuki". The Bulletin of Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Stations, 1982, 48: 75-84.
- [18] Hämäläinen J H, Watanabe K N, Valkonen J P T, et al. Mapping and marker-assisted selection for a gene for extreme resistance to potato virus Y. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 94: 192-197.
- [19] Kasai K, Morikawa Y, Sorri V A, et al. Development of SCAR markers to the PVY resistance gene *Ryadg* based on a common feature of plant disease resistance genes. Genome, 2000, 43(1): 1-8.
- [20] Fulladolsa A C, Navarro F M, Kota R, et al. Application of

- marker assisted selection for potato virus Y resistance in the University of Wisconsin potato breeding program. American Journal of Potato Research, 2015, 92(3): 444-450.
- [21] Mestre P, Brigneti G, Baulcombe D C. An Ry-mediated resistance response in potato requires the intact active site of the NIa proteinase from potato virus Y. Plant Journal, 2000, 23(5): 653-661.
- [22] Song Y S, Hepting L, Schweizer G, et al. Mapping of extreme resistance to PVY (*Ry<sub>sto</sub>*) on chromosome XII using anther-culture-derived primary dihaploid potato lines. Theoretical and Applied Genetics, 2005, 111(5): 879-887.
- [23] 储文军. 马铃薯 Y 病毒极端抗性基因 *Ry<sub>chc</sub>* 的精细定位. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [24] Mori K, Mukojima N, Nakao T, et al. Germplasm release: Saikai 35, a male and female fertile breeding line carrying *Solanum phureja*-derived cytoplasm and potato cyst nematode resistance (*HI*) and potato virus Y resistance (*Ry<sub>chc</sub>*) genes. American Potato Journal, 2011, 89: 63-72.
- [25] Kohm B A, Goulden M G, Gilbert J E, et al. A potato virus X resistance gene mediates an induced, nonspecific resistance in protoplasts. Plant Cell, 1993, 5(8): 913-920.
- [26] Mori K, Sakamoto Y, Mukojima N, et al. Development of a multiplex PCR method for simultaneous detection of diagnostic DNA markers of five disease and pest resistance genes in potato. Euphytica, 2011, 180: 347-355.
- [27] Joseph C K, Richard G N, Jonathan L W, et al. Development of molecular markers closely linked to the potato leaf roll virus resistance gene, *Rlr<sub>eth</sub>*, for use in marker-assisted selection. American Journal of Potato Research, 2016, 93: 203-212.
- [28] Takeuchi T, Sasaki J, Suzuki T, et al. High-resolution maps and DNA markers of the potato virus Y resistance gene *Ry<sub>chc</sub>* and the potato cyst nematode resistance gene *HI*. Breed Research, 2008, 10(S1): 148.
- [29] 孙慧生. 马铃薯育种学. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [30] 黄鑫华, 韩蕾勤, 晋艺丹, 等. 马铃薯病毒病抗性基因分子标记检测. 分子植物育种, 2020, 18(17): 5782-5789.

## Molecular Marker-Assisted Screening of Potato Germplasm Resources for Virus Resistance

Lou Shubao<sup>1,2</sup>, Yang Mengping<sup>1</sup>, Xing Jinyue<sup>1</sup>, Zhai Lingxia<sup>1</sup>, Wang Hui<sup>1</sup>,  
Liu Chunsheng<sup>1</sup>, Wang Lichun<sup>1</sup>, Song Jiling<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Test-Tube Plantlet Bank of National Potato Germplasm Resources (Keshan), Qiqihar 161005, Heilongjiang, China; <sup>2</sup>Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China)

**Abstract** Potato Y virus (PVY) and potato X virus (PVX) are the two most important viruses that affect the yield and quality of potato, *Ry<sub>adg</sub>*, *Ry<sub>sto</sub>* and *Ry<sub>chc</sub>* are important genes with extreme resistance to PVY, *Rx* is an important gene with extreme resistance to PVX. Four molecular markers closely related to the resistance genes *Ry<sub>adg</sub>*, *Ry<sub>sto</sub>*, *Ry<sub>chc</sub>* and *Rx* were used to detected 102 potato varieties. The results showed that the most materials contained YES3-3B markers, accounting for 99.02% of the test materials; the least materials contained Rxsp markers, accounting for 10.78% of the test materials; four varieties contained only one marker, accounting for 3.92% of the test materials; the 62 varieties contained two markers, accounting for 60.78% of the test materials; and the 30 varieties contained three markers, accounting for 29.41%. There were six varieties containing four markers, which were ‘Longshu 11’, ‘*S.acaule*’, ‘Fujin’, ‘Yunshu 105’, ‘Jinshu 8’ and ‘Atlantic’, accounting for 5.88% of the test material.

**Key words** Potato; Virus; Molecular marker