



重庆加工型辣椒种质资源抗疫病鉴定的分子标记筛选

王春萍, 杨小苗, 李怡斐, 雷开荣, 黄启中, 黄任中, 林清, 吴红, 张世才

引用本文:

王春萍, 杨小苗, 李怡斐, 等. 重庆加工型辣椒种质资源抗疫病鉴定的分子标记筛选[J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(6): 642–648.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4404>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于表型性状和SSR标记的57份辣椒种质遗传多样性分析](#)

Genetic Diversity Analysis of 57 Germplasms of *Capsicum annuum* Based on Phenotypic Traits and SSR Markers
热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 356–366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4185>

[硬核资源遗传多样性的AFLP分析\(英文\)](#)

Genetic Diversity of *Scleropyrum wallichianum* Based on AFLP Markers
热带亚热带植物学报. 2019, 27(1): 29–35 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3908>

[木豆不同品种和叶龄对叶片氨基酸形成的影响和聚类分析](#)

Effects of Different Germplasms and Leaf Ages on Amino Acid Formation in Pigeonpea Leaves and Cluster Analysis
热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 617–626 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3895>

[广东省猴耳环遗传多样性研究](#)

Genetic Diversity of *Archidendron clypearia* in Guangdong Province
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 539–546 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4337>

[19个枇杷杂交新品种\(系\)的SSR鉴定和指纹图谱构建](#)

Identification and Fingerprint Construction of 19 New Hybrid Varieties (Lines) of Loquat by SSR
热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 153–162 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4131>

[向下翻页，浏览PDF全文](#)

重庆加工型辣椒种质资源抗疫病鉴定的分子标记筛选

王春萍^{1*}, 杨小苗^{2*}, 李怡斐², 雷开荣¹, 黄启中², 黄任中², 林清¹,
吴红^{1**}, 张世才^{2**}

(1. 重庆市农业科学院生物技术研究所逆境农业研究重庆市市级重点实验室, 重庆 401329; 2. 重庆市农业科学院蔬菜花卉研究所, 重庆 401329)

摘要: 为筛选出适用于重庆加工型辣椒疫病抗性鉴定的分子标记, 以 63 份重庆加工型辣椒种质资源为材料, 研究了 12 个辣椒疫病抗性相关分子标记的筛选效率。结果表明, 7 个分子标记在种质间无差异条带, 2 个分子标记的扩增结果不稳定, 只有 ZL6203、ZL6726 和 E73 等 3 个分子标记在种质间能扩增出差异条带。ZL6203 筛选高抗、抗性和中抗材料的效率分别为 87.50%、77.78% 和 63.64%; ZL6726 筛选抗性和感病材料的效率分别为 100.00% 和 66.67%; E73 筛选抗性和高抗材料的效率分别为 77.78% 和 62.50%。因此, 同一辣椒抗疫病分子标记对不同抗性材料筛选效率存在较大差异, ZL6203、ZL6726 和 E73 适用于重庆地区加工型辣椒抗疫病材料的鉴定。

关键词: 辣椒; 种质资源; 疫病; 分子标记

doi: 10.11926/jtsb.4404

Molecular Marker Screening of Processed Pepper (*Capsicum annuum*) Germplasm Resources against with *Phytophthora capsici* in Chongqing

WANG Chunping^{1*}, YANG Xiaomiao^{2*}, LI Yifei², LEI Kairong¹, HUANG Qizhong²,
HUANG Renzhong², LIN Qing¹, WU Hong^{1**}, ZHANG Shicai^{2**}

(1. Chongqing Key Laboratory of Adversity Agriculture, Biotechnology Research Institute, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China; 2. Vegetable and Flower Research Institute, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329, China)

Abstract: To screen out molecular markers suitable for identification of *Phytophthora capsici* resistant pepper in Chongqing, the screening efficiency of 12 molecular makers for *Phytophthora* blight resistance was studied in 63 processed pepper (*Capsicum annuum*) germplasms in Chongqing. The results showed that there were no different amplification bands of 7 markers among the pepper germplasms, and the amplification results of 2 markers were unstable. Only 3 markers, such as ZL6203, ZL6726 and E73, could amplify different bands among pepper germplasms. For ZL6203, the efficiency of screening high resistant, resistant and medium resistant materials was 87.50%, 77.78% and 63.64%, respectively. For ZL6726, the efficiency of screening resistant and susceptible materials was 100.00% and 66.67%, respectively, and for E73, the efficiency of screening resistant and high resistant materials was 77.78% and 62.50%, respectively. Therefore, the screening efficiency of the same molecular marker for different resistance materials was quite different. ZL6203, ZL6726 and E73 markers were

收稿日期: 2021-02-28

接受日期: 2021-05-13

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-24-A-04); 重庆市技术创新与应用发展专项项目(cstc2020jscx-msxmX0054; cstc2019jscx-gksbX0123)资助

This work was supported by the Special Fund for National Modern Agricultural Industrial Technology System Construction (Grant No. CARS-24-A-04), and the Project for Technology Innovation and Application Development in Chongqing (Grant No. cstc2020jscx-msxmX0054, cstc2019jscx-gksbX0123).

作者简介: 王春萍(1980~), 女, 副研究员, 研究方向为辣椒逆境生理。E-mail: wcp49930000@sina.com

* 共同第一作者

** 通信作者 Corresponding author. E-mail: wvhong-1968@163.com, shicaiz@126.com

suitable for identification of *Phytophthora* blight resistant of processed pepper in Chongqing.

Key words: *Capsicum annuum*; Germplasm resources; *Phytophthora capsici*; Molecular marker

辣椒(*Capsicum annuum*)是我国第二大蔬菜作物,但其产值和效益居蔬菜之首^[1-2]。疫病是影响辣椒生产的主要病害之一^[3],我国自1940年首次在江苏发生辣椒疫病以来^[4],西北^[5-6]、东北^[7]、西南^[8-9]、东部沿海^[10]等多个省份辣椒种植区都有此病发生。目前普遍的辣椒疫病防治方法是化学杀菌^[11],然而,辣椒疫霉菌(*Phytophthora capsici*)易产生抗药性,并且长期使用化学药剂容易对土壤造成污染,不利于辣椒生产可持续发展。培育抗病品种是解决疫病危害的最理想措施,但常规育种田间筛选工作量大、周期长,同时还受到环境影响。随着生物技术的迅速发展,采用抗疫病分子标记辅助选育能够大大提高育种效率^[12-14]。

目前已开发出大量与辣椒抗疫病相关的分子标记^[15-16],然而,由于辣椒疫病抗性遗传机理复杂,利用不同抗性材料开发出的抗性相关分子标记在不同种质上差异较大,因此,针对不同的辣椒疫病抗性材料筛选出适宜的分子标记,是开展分子标记辅助抗疫病育种的前提条件。重庆是加工型辣椒的主产区 and 集中消费区之一^[17],然而,重庆冬、春两季雨水较多,夏秋两季高温高湿,加上辣椒连年种植,极易引起疫病的大面积发生,给辣椒稳定高产带来了巨大隐患^[9]。因此,本研究以63份重庆加工型辣椒种质资源为主要材料,对已报道的12个辣椒抗疫病相关分子标记进行了筛选,以期对加工型辣椒疫病抗性资源鉴定和抗疫病品种选育提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

65份辣椒(*Capsicum annuum*)种质材料由重庆市农业科学院蔬菜花卉研究所保存,其中PI201234-1和Early Calwonder分别为疫病抗性和感病对照材料,其余63份种质材料为加工型辣椒,H201406-1、H201606-1、H201604-3、H201604-4、H201604-9-1、H201605-1-1、H201605-8-1、H201607-7和H201607-8等9份种质材料为利用花药培养技术创制的DH系,另外54份材料为经多代提纯获得的高代自交系。

参照张世才等^[18]的方法,从重庆石柱、綦江等辣椒主产地患病辣椒植株上分离并保存。

1.2 病原菌接种及抗性鉴定

挑选饱满一致的辣椒种子播于装有育苗基质的50孔穴盘中,穴盘下放一塑料托盘以便保湿。待幼苗长至5~6片真叶时,在距离辣椒幼苗根系约1cm处基质中用手术刀切一条1cm长的缝隙,取含 1.0×10^4 CFU/mL的辣椒疫霉菌(生理小种为race 3)混合孢子悬浮液3mL注入缝隙中,接种期间适时浇水,保持土壤湿度接近饱和状态,室内温度 $28^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$,光照12h/d。10d后参照NY/T2060.1-2011《辣椒抗疫病鉴定技术规程》调查疫病发病情况,对辣椒幼苗疫病进行分级评价。

1.3 疫病抗性分子标记筛选

参照前人^[19-25]报道的12个辣椒疫病抗性相关的分子标记设计引物(表1),其中RGA-ST₁₂₀₀^[19]为STS标记(共显性),WDY^[20]和OpD04^[22]为SCAR标记(显性),E73^[23]为EST-SSR标记(共显性),GZH^[21]为AFLP标记(显性),其余7个标记为SSR标记(共显性)。以辣椒基因组DNA为模版,进行PCR扩增,PCR反应总体积为10 μL ,包含5 μL 2 \times Es Taq Master-Mix(康为世纪),0.5 μL DNA模版(100 ng/ μL),上下游引物各0.5 μL (10 $\mu\text{mol/L}$),ddH₂O补足体积。PCR反应程序:94 $^\circ\text{C}$ 预变性5min;94 $^\circ\text{C}$ 变性30s、55 $^\circ\text{C} \sim 62^\circ\text{C}$ 退火30s、72 $^\circ\text{C}$ 延伸30s~2min,共35个循环;最后72 $^\circ\text{C}$ 延伸10min,具体引物序列和PCR退火温度见表1。扩增后的PCR产物利用3%的琼脂糖凝胶电泳进行检测。

2 结果和分析

2.1 发病情况

室内接种疫霉菌后进行发病情况调查。结果表明,65份材料中鉴定出高抗材料8份,包含DH系材料5份和高代自交系3份,其中2份DH系材料(H201604-4和H201607-7)未发现任何植株感病;抗病材料9份;中抗材料33份和感病材料15份(表2)。对照材料PI201234被鉴定为抗性,而Early Carwonderly在所有材料中对疫病菌表现最敏感,说明接种鉴定准确率较高。

表 1 分子标记的引物信息

Table 1 Primer information of molecular marker

引物 Primer	序列 (5'~3') Sequence	退火温度 (°C) Annealing temperature	产物长度 Produce length (bp)	
			抗病 Resistant	感病 Susceptible
RGA-ST _S 1200	F: TGATCTAAGAAAGTGCTTCTATCTT R: CTCCATAATAAGCAGATTAGGAAT	55	1 200	1 100
WDY	F: AAAGCTGCGGATTAGACCT R: AAAGCTGCGGTTGAATCGG	57	520	
GZH	F: AGGTGGTCTTCAATGATCAGAGA R: CCTGAGGCAAATCCAAATCTC	55		990
OpD04	F: CCATAAGGGTTGGTAAATTTACAAAG R: TCGAGAGATAATTCAGATAGTATAATC	57	717	
E73	F: CAACCAAGGTGGAGGAAC R: CGCTGGCTCTACTGTTTCT	58	110	115
Ge26-90pmH0045C	F: CTTAGCCTATCCAATCGGAACAA R: GTTTGGATACTGTGGACATGGGTATCG	62	147	155
ZL6203	F: AGGTGGTACAAACTTCCTATG R: GGGAGCTCTGTTCTTTATGTA	50	172	176
ZL6726	F: TCCAGCCATCCATTATTTCAT R: ATCCCGAACTGCCAATAATTA	50	152	195
ZL6970	F: ATGCGTCTCATGTAGCATTAT R: GATAGCACCTGGTAAAAGACT	50	154	151
ZL7825	F: CTTTTGGTGAGATGTGTGTTT R: ACCCCCTACTCCCTTTTATA	53	159	156
ZL7986	F: TGTATCTCTTGGTGCATATG R: TAGTAGTTGTGACAGTCAACC	55	154	151
ZL8718	F: GAGGGTTGTTTCTGAGACATA R: TGAATTAATGTGGCCAAATTGA	50	171	178

2.2 疫病抗性分子标记筛选

12 对引物扩增结果表明(图 1), ZL6203、ZL6726 和 E73 引物在 65 份材料中能扩增出差异条带, OpD04、GZH 引物的扩增结果不稳定, 其余 7 对引物在 65 份材料中都能扩增出目标条带, 但无差异条带。

2.3 分子标记的筛选效率

结合疫病抗性鉴定情况, 对 ZL6726、ZL6203 和 E73 标记的筛选效率进行评价。结果表明, 不同标记在不同抗性等级区段的筛选效率不同, ZL6203 对高抗材料的筛选效率最高, 达 87.50%, 对抗性材料的筛选效率为 77.78%, 对中抗材料的筛选效率为 63.64%, 对感病材料的筛选效率只有 33.33%; ZL6726 对抗性材料的筛选效率可达 100.00%, 对感病材料的筛选效率也较高, 达 66.67%, 但对高抗材料的筛选效率只有 12.50%; E73 筛选抗性材料的效率达到 77.78%, 筛选高抗材料的效率达 62.50%。因此, ZL6203 适于筛选高抗、抗性和中抗材料, E73 适于筛选抗性和高抗材料, ZL6726 适于抗性和感病材

料的筛选。

2.4 分子标记在育种中的初步应用

以抗疫病材料 PI201234 为母本, 分别以感病材料 1031-1-1 和 1019-1-1 为父本, 配制杂交组合, 获得杂交后代。根据亲本分子标记扩增特点, 分别利用筛选出的 2 对引物(ZL6726 和 E73)对 F₂ 代群体进行检测, 结果表明, 2 对引物均扩增出了特异条带, 能够清晰地分辨出 F₂ 群体的分离情况(图 2, 3)。

3 结论和讨论

前人已开展了一些利用分子标记鉴定辣椒抗疫病材料的研究, 郭爽等^[26]利用 WDY 和 OpD04 分子标记对 35 份辣椒高代自交系进行了抗疫病评价, 其中 26 份材料的分子标记鉴定结果与田间疫病调查结果一致; 马寿宾等^[27]利用 WDY、OpD04、E73 和 E318 等 4 个分子标记对 1 份野生辣椒和 3 份甜椒材料进行了抗疫病鉴定, 结果只有 OpD04 的稳定性

表 2 疫病抗性鉴定情况

Table 2 Identification of *Phytophthora* blight resistance

材料 Material	病情指数 Disease index /%	抗性评价 Resistance evaluation	材料 Material	病情指数 Disease index /%	抗性评价 Resistance evaluation	材料 Material	病情指数 Disease index /%	抗性评价 Resistance evaluation
H201604-4	0	HR	939-1	36.67	MR	754-11-1-1	48.00	MR
H201607-7	0	HR	1001-1-1	37.39	MR	971-1-1	48.33	MR
H201406-1	4.55	HR	H201604-9-1	39.40	MR	765	48.57	MR
H201603-1	5.00	HR	988-1	39.00	MR	940-1	49.17	MR
H201605-8-1	6.09	HR	985-1-1-1	39.13	MR	862-1-1	50.00	MR
1033-1-1	6.67	HR	812	40.00	MR	875-1	50.00	MR
986-1-1	6.67	HR	148	40.00	MR	578-1	51.67	S
1015-11-1	9.57	HR	83-210-1-1-1	40.00	MR	754(3)-1-1-10-1-1	51.67	S
PI201234	13.24	R	821-1-1-1-1	41.74	MR	1287	52.94	S
826-1-1-1-1-1	16.80	R	954-1-1	43.00	MR	EHJ108-2-1-1-1	53.04	S
BJXML-10-1-1	16.80	R	989-1-1-1	44.00	MR	XKCSMB-1-1-1	54.78	S
904-1-1-1-1	17.39	R	H201607-8	44.21	MR	997-2-1	55.24	S
PPTC54-1-1	21.60	R	H201604-3	44.35	MR	1031-1-1	56.30	S
481-4-1	24.00	R	996-3	45.00	MR	XLLJ-1-1-1-1-1	57.14	S
975-1-1	25.00	R	834-2-1	45.71	MR	645	57.89	S
727(2)-1	29.00	R	1028	46.67	MR	602	62.00	S
H201605-1-1	29.57	R	1006-1-1	46.67	MR	1019-2-1	64.17	S
XYTJ-1-1-1-1	30.29	MR	911-1-1-1	46.67	MR	1019-1-1	64.35	S
947-1-1	31.00	MR	958-1-1	46.96	MR	S99-2-2-1	67.00	S
891-1-1-1-1	33.33	MR	969-1-1	46.96	MR	ZJ808-1-1-1-1	75.00	S
948-1-1	34.29	MR	973-2-1	47.50	MR	Early Carwondery	86.42	S
1021(1)-1-1	36.67	MR	974-1-1-1-1	47.62	MR			

HR: 高抗; R: 抗; MR: 中抗; S: 感病。

HR: High resistant; R: Resistant; MR: Moderate resistant; S: Susceptible.

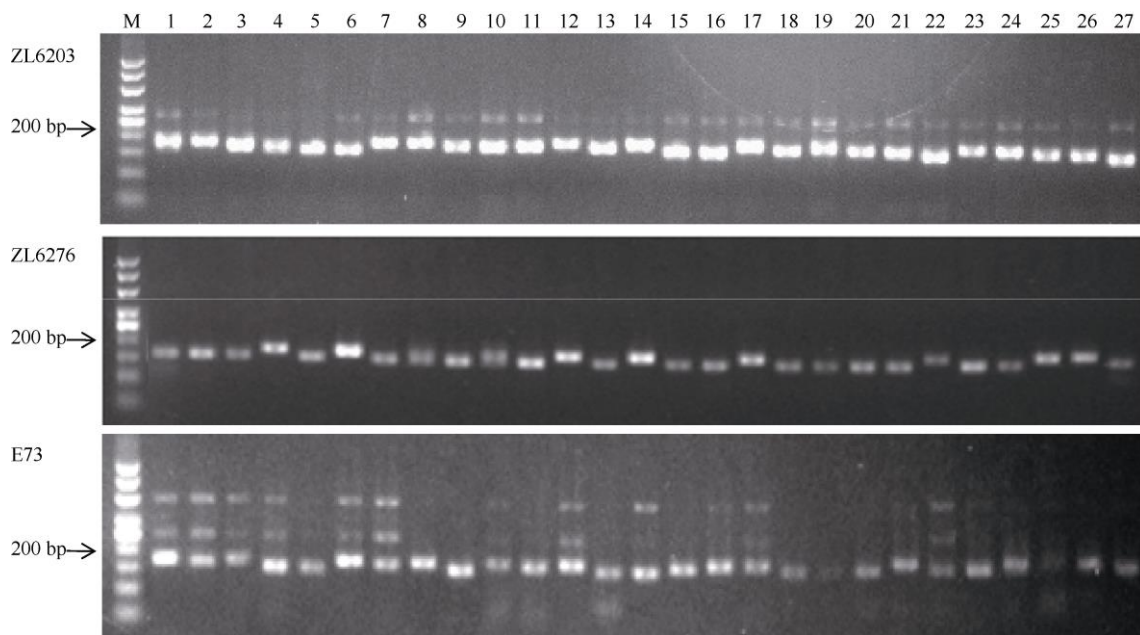


图 1 ZL6203、ZL6276 和 E73 的扩增结果。M: Marker; 1~27: 27 份辣椒。

Fig. 1 Amplification results of ZL6203, ZL6276 and E73 primers. M: Marker; 1-27: 27 pepper varieties.

表 3 分子标记的筛选效率

Table 3 Screening efficiency of molecular markers

引物 Primer	高抗 High resistant			抗病 Resistant			中抗 Moderated resistant			感病 Susceptible		
	A	B	C /%	A	B	C /%	A	B	C %	A	B	C /%
ZL6203	8	7	87.50	9	7	77.78	33	21	63.64	15	5	33.33
ZL6726	8	1	12.50	9	9	100.00	33	12	36.36	15	10	66.67
E73	8	5	62.50	9	7	77.78	33	13	39.39	15	7	46.67

A: 接种数量; B: 鉴定出的数量; C: 筛选效率。

A: Number of inoculation; B: Number of identification; C: Screening efficiency.



图 2 ZL6726 对 PI201234-1 × 1031-1-1 F₂ 代的 PCR 扩增图谱。M: Marker; 1: PI201234-1; 2: 1031-1-1; 3~30: 28 个 F₂ 代单株。

Fig. 2 PCR amplification profiles of F₂ offspring of PI201234-1 × 1031-1-1 by ZL6726. M: Marker; 1: PI201234-1; 2: 1031-1-1; 3-30: 28 F₂ plants.

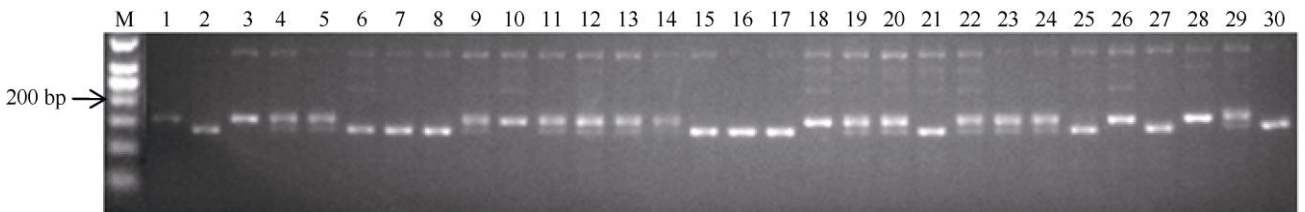


图 3 E73 对 PI201234-1 × 1019-1-1 F₂ 代的 PCR 扩增图谱。M: Marker; 1: PI201234-1; 2: 1031-1-1; 3~30: 28 个 F₂ 代单株。

Fig. 3 PCR amplification profiles of F₂ offspring of PI201234-1 × 1019-1-1 by E73. M: Marker; 1: PI201234-1; 2: 1019-1-1; 3-30: 28 F₂ plants.

和重复性较高; 张爱民等^[28]用 18 个抗疫病相关的分子标记对 1 份高抗和 2 份高感辣椒材料及其杂交 F₂ 代的抗性筛选适用性进行了研究, 结果只有 GZH 标记适于高抗材料和 1 份高感材料的抗病性鉴定。这些说明辣椒抗疫病分子标记的群体特异性, 为分子标记辅助辣椒抗疫病育种提供了重要参考。本研究选取前人开发的 12 个辣椒抗疫病相关分子标记对 63 份重庆加工型辣椒种质资源的抗疫病进行评价, 结果表明, ZL6203、ZL6726 和 E73 等 3 个标记能够用于加工型辣椒抗疫病鉴定。同时, 本研究还进一步统计了这 3 个标记对不同抗性材料的筛选效率, 即进一步对抗疫病分子标记的筛选范围进行了细化, 能够为辣椒抗疫病相关分子标记的选用提供更多参考。

辣椒对疫病的抗性表现十分复杂, 存在垂直抗性和水平抗性, 或者两种抗性共存, 其抗病性遗传方式也呈多样化, 表现为单基因遗传、寡基因遗传和多基因遗传。目前还未见报道对疫病免疫的辣椒品种, 但越来越多的抗性资源被发掘^[29], 代表性抗

疫病材料主要有 PI201234、CM334 和 Perennial 等, PI201234 的抗性由 1 个显性主效基因控制^[25,30], CM334 的抗性至少由 2 个非连锁的隐性基因控制^[31], 而 Perennial 的抗性为多基因遗传^[32]。本研究筛选出的 2 个分子标记(ZL6203 和 ZL6726)是从 PI201234 中开发出来的^[25], E73 则是从高抗疫病的甜椒材料 N1345 中开发出来的, N1345 对疫病的抗性由 2 对加性-显性-上位性主基因控制^[23]。这说明重庆加工型辣椒抗疫病遗传特性与这 2 类材料相似性较高, 主要由单个或 2 个主效基因控制, 其遗传背景相对简单, 理论上有利于抗病新品种的培育。另外, 本研究筛选出的 8 份高抗材料中有 5 份为 DH 系材料, 说明花药培养技术能够快速稳定疫病抗性基因。利用花药培养技术结合分子标记辅助筛选是目前创制辣椒抗疫病材料的最有效途径之一^[13], 随着越来越多的辣椒抗疫病分子标记的开发和应用, 辣椒抗疫病育种将会变得越来越精准高效。

参考文献

- [1] SHAO Y J, WU W W, SHEN S X, et al. Genetic study on genic male sterility of pepper and its application in hybrid breeding [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2013, 21(1): 93–99. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.01.014.
邵元健, 吴雯雯, 沈素香, 等. 辣椒雄性核不育基因的遗传研究及其在杂交育种中的应用 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2013, 21(1): 93–99. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.01.014.
- [2] ZHANG Q Q, LIANG S, WANG Y, et al. Genetic diversity analysis of 57 germplasm of *Capsicum annuum* based on phenotypic traits and SSR markers [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2020, 28(4): 356–366. doi: 10.11926/jtsb.4185.
张强强, 梁赛, 王艳, 等. 基于表型性状和 SSR 标记的 57 份辣椒种质遗传多样性分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2020, 28(4): 356–366. doi: 10.11926/jtsb.4185.
- [3] BARCHENGER D W, LAMOUR K H, BOSLAND P W. Challenges and strategies for breeding resistance in *Capsicum annuum* to the multifarious pathogen, *Phytophthora capsici* [J]. *Front Plant Sci*, 2018, 9: 628. doi: 10.3389/fpls.2018.00628.
- [4] FANG Z D, LU J Y, YE Z Y. Chinese Agricultural Encyclopedia, Volume Plant Pathology [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1996: 274–275.
方中达, 陆家云, 叶钟音. 中国农业百科全书: 植物病理学卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 274–275.
- [5] JIA J S. On the chilli pepper *Phytophthora* blight and its control in Xinjiang [J]. *Acta Phytopathol Sin*, 1992, 22(3): 257–263. doi: 10.13926/j.cnki.apps.1992.03.021.
贾菊生. 新疆辣椒疫病及防治研究 [J]. *植物病理学报*, 1992, 22(3): 257–263. doi: 10.13926/j.cnki.apps.1992.03.021.
- [6] CHANG C T, GONG Z H, WANG M. Studies on the pathogen of pepper *Phytophthora* blight in Shanxi [J]. *Acta Agric Boreali-Occid Sin*, 1993, 2(1): 87–90.
常彩涛, 巩振辉, 王鸣. 陕西辣椒疫病菌种的鉴定 [J]. *西北农业学报*, 1993, 2(1): 87–90.
- [7] XIAO S Q, LU X H, LIU T R. Investigation on pepper blight of Heilongjiang Province [J]. *Heilongjiang Agric Sci*, 2002(5): 45–46. doi: 10.3969/j.issn.1002-2767.2002.05.017.
肖淑芹, 陆秀华, 刘惕若. 黑龙江省辣椒疫病发生情况调查 [J]. *黑龙江农业科学*, 2002(5): 45–46. doi: 10.3969/j.issn.1002-2767.2002.05.017.
- [8] YANG X H, YUAN J, XIE H C. Identification on *Phytophthora* blight resistance in major cultivars of pepper in Guizhou Province [J]. *SW China J Agric Sci*, 2005, 18(6): 791–793. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2005.06.027.
杨学辉, 袁洁, 谢海呈. 贵州省辣椒主栽品种抗疫病性鉴定 [J]. *西*
- 南农业学报*, 2005, 18(6): 791–793. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2005.06.027.
- [9] ZHANG S C, LÜ Z H, HUANG R Z, et al. Integrated control against major diseases of processing-purpose hot pepper in Chongqing [J]. *J China Capsi*, 2012(3): 33–34,36. doi: 10.3969/j.issn.1672-4542.2012.03.010.
张世才, 吕中华, 黄任中, 等. 重庆加工型辣椒主要病害的综合防治技术 [J]. *辣椒杂志*, 2012(3): 33–34,36. doi: 10.3969/j.issn.1672-4542.2012.03.010.
- [10] LI Z J, LONG W P, ZHENG J R, et al. Isolation and identification of *Phytophthora capsici* in Guangdong province and measurement of their pathogenicity and physiological race differentiation [J]. *J S China Agric Univ*, 2007, 28(1): 50–54. doi: 10.3969/j.issn.1001-411X.2007.01.012.
李智军, 龙卫平, 郑锦荣, 等. 广东辣椒疫霉菌分离鉴定及其致病力和生理小种分化研究 [J]. *华南农业大学学报*, 2007, 28(1): 50–54. doi: 10.3969/j.issn.1001-411X.2007.01.012.
- [11] ZHAI M T, WANG K Y, XU H, et al. Induction and characteristics of *Phytophthora capsici* isolates resistant to fluopicolide [J]. *Acta Phytopathol Sin*, 2014, 44(1): 88–96. doi: 10.13926/j.cnki.apps.2014.01.010.
翟明涛, 王开运, 许辉, 等. 抗氟吡菌胺辣椒疫霉菌株的诱导及其生物学特性的研究 [J]. *植物病理学报*, 2014, 44(1): 88–96. doi: 10.13926/j.cnki.apps.2014.01.010.
- [12] FU Y B, YANG M H, ZENG F Q, et al. Searching for an accurate marker-based prediction of an individual quantitative trait in molecular plant breeding [J]. *Front Plant Sci*, 2017, 8: 1182. doi: 10.3389/fpls.2017.01182.
- [13] LI Y F, ZHANG S C, JIANG X Y, et al. Creation of new germplasm with *Phytophthora* blight resistance for processing type pepper by anther culture [J]. *Mol Plant Breed*, 2019, 17(12): 4030–4035. doi: 10.13271/j.mpb.017.004030.
李怡斐, 张世才, 蒋晓英, 等. 利用花药培养技术创制加工型辣椒抗疫病新种质 [J]. *分子植物育种*, 2019, 17(12): 4030–4035. doi: 10.13271/j.mpb.017.004030.
- [14] WANG L H, ZHANG B X, ZHANG Z H, et al. Research progress in genetics and breeding of *Capsicum* [J]. *Acta Hort Sin*, 2020, 47(9): 1727–1740. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0487.
王立浩, 张宝玺, 张正海, 等. 辣椒遗传育种研究进展 [J]. *园艺学报*, 2020, 47(9): 1727–1740. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2020-0487.
- [15] KIM N, KANG W H, LEE J, et al. Development of clustered resistance gene analogs-based markers of resistance to *Phytophthora capsici* in Chili pepper [J]. *BioMed Res Int*, 2019, 2019: 1093186. doi: 10.1155/2019/1093186.
- [16] PARISI M, ALIOTO D, TRIPODI P. Overview of biotic stresses in pepper (*Capsicum* spp.): Sources of genetic resistance, molecular

- breeding and genomics [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 21(7): 2587. doi: 10.3390/IJMS21072587.
- [17] HUANG R Z, HUANG Q Z, LÜ Z H, et al. Present situation and development of countermeasures of dry pepper industry in China [J]. *China Veget*, 2015, 1(2): 9–11. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2015.02.004.
黄任中, 黄启中, 吕中华, 等. 我国干制辣椒产业现状及发展对策 [J]. *中国蔬菜*, 2015, 1(2): 9–11. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2015.02.004.
- [18] ZHANG S C, XIONG Y, HUANG R Z, et al. Isolation and cultivation of *Phytophthora capsici* and identification of physiological race in Chongqing [J]. *Plant Protec*, 2015, 41(3): 183–187. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2015.03.036.
张世才, 熊艳, 黄任中, 等. 重庆地区辣椒疫霉菌的分离培养及生理小种鉴定 [J]. *植物保护*, 2015, 41(3): 183–187. doi: 10.3969/j.issn.0529-1542.2015.03.036.
- [19] LI Y X, GONG Z H, LI D W, et al. Development and utilization of a co-dominant RGA-STS marker associated with resistance to *Phytophthora capsici* in pepper [J]. *Acta Agric Boreali-Occid Sin*, 2011, 20(6): 123–127. doi: 10.3969/j.issn.1004-1389.2011.06.027.
李永新, 巩振辉, 李大伟, 等. 辣椒疫病抗性相关的共显性 RGA-STS 标记的开发及应用 [J]. *西北农业学报*, 2011, 20(6): 123–127. doi: 10.3969/j.issn.1004-1389.2011.06.027.
- [20] WANG D Y, AN K, LI Y, et al. A molecular marker-assisted selection method for anti-epidemic breeding of pepper: CN, 100447254C [P]. 2008-12-31.
王得元, 安康, 李颖, 等. 一种辣椒抗疫病育种的分子标记辅助选择方法: 中国, 100447254C [P]. 2008-12-31.
- [21] GONG Z H, LIU K K, LU M H, et al. A method of eliminating breeding materials of pepper sensory disease by molecular markers: CN101487049B [P]. 2011-04-06.
巩振辉, 刘珂珂, 谢明辉, 等. 一种利用分子标记淘汰辣椒感疫病育种材料的方法: 中国 101487049B [P]. 2011-04-06.
- [22] QUIRIN E A, OGUNDIWIN E A, PRINCE J P, et al. Development of sequence characterized amplified region (SCAR) primers for the detection of *Phyto.5.2*, a major QTL for resistance to *Phytophthora capsici* Leon. in pepper [J]. *Theor Appl Genet*, 2005, 110(4): 605–612. doi: 10.1007/s00122-004-1874-7.
- [23] ZHANG X F, HAN H L, CHEN B, et al. Genetic and molecular marker analysis of resistance to *Phytophthora capsici* in sweet pepper [J]. *Acta Hort Sin*, 2011, 38(7): 1325–1332. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2011.07.017.
张晓芬, 韩华丽, 陈斌, 等. 甜椒疫病抗性遗传及相关基因分子标记研究 [J]. *园艺学报*, 2011, 38(7): 1325–1332. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2011.07.017.
- [24] SUGITA T, YAMAGUCHI K, KINOSHITA T, et al. QTL analysis for resistance to *Phytophthora* blight (*Phytophthora capsici* Leon.) using an intraspecific doubled- haploid population of *Capsicum annuum* [J]. *Breed Sci*, 2006, 56(2): 137–145. doi: 10.1270/jsbbs.56.137.
- [25] WANG P Y, WANG L R, GUO J J, et al. Molecular mapping of a gene conferring resistance to *Phytophthora capsici* Leonian race 2 in pepper line PI201234 (*Capsicum annuum* L.) [J]. *Mol Breed*, 2016, 36(6): 66. doi: 10.1007/S11032-016-0464-0.
- [26] GUO S, HUANG Z, CHANG S D, et al. Identification of resistance to *Phytophthora* blight in hot pepper using molecular marker [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, 28(13): 163–166. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2012.13.030.
郭爽, 黄贞, 常绍东, 等. 利用分子标记鉴定辣椒抗疫病材料 [J]. *中国农学通报*, 2012, 28(13): 163–166. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2012.13.030.
- [27] MA S B, SUN Y, WANG C, et al. Molecular marker assisted selection of pepper materials with resistance to *Phytophthora* blight [J]. *N Hort*, 2013(10): 107–110.
马寿宾, 孙艳, 王琛, 等. 分子标记辅助选择辣椒抗疫病新种质研究 [J]. *北方园艺*, 2013(10): 107–110.
- [28] ZHANG A M, PENG G H, LIANG C J, et al. Molecular marker primers screening of identification on local pepper with *Phytophthora* blight resistance in Guizhou [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2017, 45(11): 10–14. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2017.11.004.
张爱民, 蓬桂华, 梁传静, 等. 贵州地方辣椒材料疫病抗性鉴定的分子标记引物筛选 [J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(11): 10–14. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2017.11.004.
- [29] RETES-MANJARREZ J E, RUBIO-ARAGÓN W A, MÁRQUES-ZEQUERA I, et al. Novel sources of resistance to *Phytophthora capsici* on pepper (*Capsicum* sp.) landraces from Mexico [J]. *Plant Pathol J*, 2020, 36(6): 600–607. doi: 10.5423/PPJ.OA.07.2020.0131.
- [30] BARKSDALE T H, PAPAIVIZAS G C, JOHNSTON S A. Resistance to foliar blight and crown rot of pepper caused by *Phytophthora capsici* [J]. *Plant Dis*, 1984, 68(6): 506–509. doi: 10.1094/PD-68-506.
- [31] THABUIS A, PALLOIX A, PFLIEGER S, et al. Comparative mapping of *Phytophthora* resistance loci in pepper germplasm: Evidence for conserved resistance loci across Solanaceae and for a large genetic diversity [J]. *Theor Appl Genet*, 2003, 106(8): 1473–1485. doi: 10.1007/s00122-003-1206-3.
- [32] LEFEBVRE V, PALLOIX A. Both epistatic and additive effects of QTLs are involved in polygenic induced resistance to disease: A case study, the interaction pepper-*Phytophthora capsici* Leonian [J]. *Theor Appl Genet*, 1996, 93(4): 503–511. doi: 10.1007/BF00417941.