

# Research Progress on Resistance Genetic Breeding of Melon White Powder Disease

Dongxiu Peng, Ruwei Zhang, Yunpeng Wu, Jianquan Hao, Qin Wang, Wei He

State Key Laboratory of Vegetable Germplasm Innovation, Tianjin Enterprise Key Laboratory of Vegetable Genetics & Breeding, Tianjin Kernel Agricultural Science & Technology Corporation Limited Vegetable Research Institute, Tianjin  
Email: dongxiu124@163.com

Received: July 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: July 22<sup>nd</sup>, 2019; published: July 29<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

In this paper, the species, characteristics and distribution of melon white powder bacteria, differentiation of physiological species and identification of host, resistance gene and inheritance, identification of resistance and molecular marker assisted breeding were reviewed. In addition, the future research direction of melon powdery mildew in China is proposed.

## Keywords

Melon, Powdery Mildew, Resistance, Inheritance, Physiological Species, Resistance Gene, Molecular Marker

---

# 甜瓜白粉病抗性遗传育种研究进展

彭冬秀, 张若纬, 武云鹏, 郝建全, 王 钦, 何 伟

天津科润农业科技股份有限公司蔬菜研究所, 蔬菜种质创新国家重点实验室, 天津市蔬菜遗传育种企业重点实验室, 天津  
Email: dongxiu124@163.com

收稿日期: 2019年7月7日; 录用日期: 2019年7月22日; 发布日期: 2019年7月29日

---

## 摘 要

本文综述了甜瓜白粉病菌的种类、特征及其分布, 生理小种的分化及鉴别寄主, 抗性基因及其遗传, 抗性鉴定及分子标记辅助育种在甜瓜抗白粉病研究上的应用现状, 并提出了今后我国甜瓜白粉病研究的方向。

## 关键词

甜瓜, 白粉病, 抗性, 遗传, 生理小种, 抗病基因, 分子标记

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

甜瓜属葫芦科黄瓜属作物, 甘甜可口, 风味芳香, 是餐后的高档果品, 故多年稳居国际市场十大畅销果品之列。近年来, 随着国内人们生活水平的迅速提高和甜瓜生产的发展, 甜瓜既是馈赠亲友的高档礼品, 又是大众喜食的水果之一。白粉病是甜瓜生产中三大病害之一, 其发病、传播速度极快, 使得甜瓜产量和品质严重下降。甜瓜白粉病是世界性病害, 在中国无论南方、北方产瓜区都有发生, 对我国甜瓜生产构成严重威胁, 造成巨大的损失; 白粉病在国外, 也是甜瓜首先要防治的病害。尽管白粉病可采用化学防治, 但由于危害甜瓜白粉病的生理小种较多, 分化快, 化学药剂很难十分有效地保证甜瓜的无公害生产。马英元(2011)从高抗白粉病的甜瓜品种植株内分离筛选出对甜瓜白粉病有较好防效的内生拮抗细菌菌株, 为甜瓜白粉病生物防治探寻新途径[1]。因此, 培育抗白粉病品种是一项最基本的有效措施, 世界各瓜类生产国都十分重视对其抗病性的研究及育种工作。国外有关瓜类白粉病的研究起步于 20 世纪 20 年代, 但在我国对其研究相对落后。世界上第一个甜瓜抗病品种 PMR45, 就是美国加利福尼亚针对甜瓜白粉病的普通严重危害利用印度资源于 1936 年育成的[2]。现就甜瓜白粉病菌的种类、特征、分布、生理小种的分化及鉴别寄主, 甜瓜白粉病抗性基因及其遗传, 甜瓜白粉病抗病种质资源, 甜瓜白粉病抗性遗传、抗性鉴定及分子标记辅助育种等方面的研究进展进行简要综述, 旨在为甜瓜抗病品种的培育提供借鉴。

## 2. 白粉病菌的种类、特征及分布

### 2.1. 白粉病菌的种类与特征

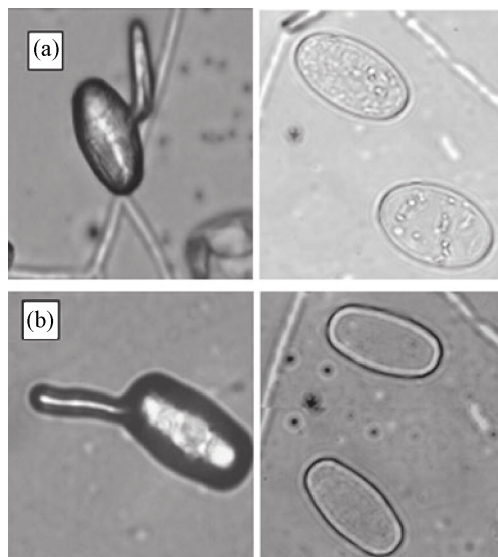
甜瓜白粉病由子囊菌亚门白粉菌科白粉菌属的二孢白粉菌(*G. cichoracearum* DC), 和单丝壳属的 *S. fuliginea* (schlecht.) poll. 真菌引起的。由于它们很少发生有性世代, 企图按闭囊壳和子囊、子囊孢子来鉴定种就十分困难。通常采用无性世代的分生孢子特征来区分上述两种病原菌(图 1, 表 1)[3][4]。

### 2.2. 甜瓜白粉病菌的分布

甜瓜白粉病菌在不同国家和地区分布并不相同。在西班牙、巴西、阿根廷、埃及、色雷斯、荷兰和日本, 甜瓜白粉病的病原菌只有 *S. fuliginea* [5][6][7][8]。在澳大利亚、南非、罗马尼亚、土耳其、意大利、保加利亚、伊拉克和法国, *S. fuliginea* 是主要致病病菌 [6][9][10]。在捷克、希腊、斯洛伐克、俄罗斯和南斯拉夫以 *G. cichoracearum* 为优势病原菌[5][6]。在美国、匈牙利存在上述两种病原菌。白粉病菌在世界其他地区的分布也不尽相同。

程鸿(2011)报道台湾仅有 *P. xanthii* 存在[11]; *S. fuliginea* 是引起新疆自治区、杭州市和北京市甜瓜白粉病的主要病原菌[8][10][12], 北疆为生理小种 1, 南疆为生理小种 5 [13], 郑州、江浙沪为生理小种 1 [14][15][16]; 吉林有两个生理小种: 1 和 2F, 且 2F 为主要小种[17], 较大范围为生理小种 1。从总体上来看,

*S. fuliginea* 在世界范围内分布更为广泛，且破坏性更强。



(a): Conidia of *S. fuliginea* (b): Conidia of *G. cichoracearum*

**Figure 1.** Conidia characteristics of two muskmelon powdery mildew fungi

**图 1.** 两个种甜瓜白粉病菌的分生孢子特征

**Table 1.** Conidia characteristics of two muskmelon powdery mildew fungi

**表 1.** 两个种甜瓜白粉病菌的分生孢子特征

特 征	<i>G. cichoracearum</i>	<i>S. fuliginea</i>
用 3%KOH 制片时分生孢子毡绒层	有	无
分生孢子牙管有无分枝	不分枝	5%~60%分枝

### 3. 甜瓜白粉病菌的生理小种的分化及鉴别寄主

#### 3.1. 甜瓜白粉病菌的小种分化

目前基本明确我国甜瓜白粉病的主要病原是单丝壳属的 *S. fuliginea*，而 *S. fuliginea* 又包含很多生理小种，至今已发现存在 11 个生理小种，分别是 0、1、2 (包括：2US 和 2France)、3、4、5 [10]和 N1、N2、N3、N4；*G. cichoracearum* 有 2 个生理小种 0 和 1。甜瓜白粉菌的小种分化多，演替快，世界不同地区甜瓜白粉病病原菌主要生理小种分布也不同，且在同一地区白粉病流行的生理小种可能受环境条件影响而发生转变[18]。西班牙报道过 *S. fuliginea* 的生理小种 1、2 [6]，在以色列发现存在生理小种 1、2、3 [19]；在苏丹出现 *S. fuliginea* 的小种 1 和 2；在法国发现生理小种 4、5 [20]；徐志豪(1999)等发现引起我国杭州地区甜瓜春季白粉病的生理小种为 *S. fuliginea* 的小种 2 [10]；王娟等(2006)初步确定引起北京地区瓜类白粉病的为 *S. fuliginea* 的生理小种 1 和 2 France，优势生理小种为 2 France [8]；林德佩(2011)通过鉴定明确引起新疆昌吉地区甜瓜白粉病的病原菌是 *S. fuliginea* 的生理小种 1 [12]；刘东顺等(2010)认为甘肃甜瓜主产区造成白粉病的优势生理小种是 *S. fuliginea* 中的 race1 [21]；赵光伟等(2012)发现引起郑州地区的甜瓜白粉病病原菌是 *S. fuliginea* 中的 race1，为优势生理小种[14]；张成花(2012)研究发现造成上海地区甜瓜白粉病的病原菌为 *S. fuliginea* 中的 race1 和 2France [16]；张波等(2011)认为造成吉林省薄皮甜瓜白粉病的生理小种分别是 *S. fuliginea* 中的 race1 和 2France，但优势生理小种却为 2France [17]；李萃芳等

(2015)研究得出 *S. fuliginea* 中的 race1 是导致江浙沪地区甜瓜白粉病的发病原因[15]; 海南三亚地区的白粉病生理小种是 race1 和 2France, 其优势生理小种是 2France [22]; 张慧君(2017)报道淮北市甜瓜白粉病菌的病原种为(*S. fuliginea*), 且其生理小种为小种 1 [23]。所以就全国大部分地区甜瓜白粉病生理小种的研究而言, *S. fuliginea* 中的 race1 出现的概率最大[12]。马鸿艳等(2011)研究报告, 2008 年黑龙江省引起葫芦科白粉病病菌是 2F 生理小种, 但在 2009~2010 年为优势生理小种为 1 号, 且并未发现 2F 号生理小种[24]。存在 1 号生理小种与 2F 生理小种并存的现象, 同时不同年份交替发生。

### 3.2. 甜瓜鉴别寄主及其抗感反应

为了鉴别不同的白粉病生理小种, 目前已经确定了国际公认的 13 个白粉病病原菌生理小种鉴别寄主, 包括 Ira2nH、Vedrantais、Topmark、PMR 5、PMR6、PMR45、WMR 29、PI 124111、PI 124112、PI414723、Edisto 47、MR-1、NantaisOblong [10] [25] [26] [27] [28]。通过这些鉴别寄主的抗感反应可以确定白粉病菌的生理小种(表 2)。

**Table 2.** Identification of Resistance Response of Muskmelon Powdery Mildew to Different Physiological Races  
**表 2.** 甜瓜白粉菌鉴别寄主对各生理小种的抗感反应

鉴别寄主	生理小种												
	<i>S. fuliginea</i>								<i>E. cichoracearum</i>				
	0	1	2US	2Fr	3	4	5	N1	N2	N3	N4	0	1
Iran H (伊朗)	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-	-	S	S
Topmark (美)	S	S	S	S	S	S	S	-	-	-	-	S	S
PMR45 (美)	R	R	S	S	S	S	S	R	S	R	R	R	S
PMR6 (美)	R	R	R	R	S	R	R	-	-	-	-	R	R
PI124111	-	R	R	R	R	#VALUE!	-	-	-	-	-	-	-
PI124112	R	R	R	R	R	R	R	-	-	-	-	R	R
PI414723	-	R	S	R	-	R	R	S	S	S	R	-	-
PMR5 (美)	R	R	R	R	S	R	R	R	R	R	R	R	R
Nantais oblong (法)	R	S	-	S	-	S	S	-	-	-	-	R	R
WMR 29 (美)	R	S	H	R	-	S	S	R	R	R	R	R	R
Edisto47 (美)	R	R	S	R	R	R	S	R	R	S	S	R	S
MR-1 (美)	-	R	R	R	R	-	R	-	-	-	-	R	R
Vedrantais (法)	R	S	S	S	S	S	S	-	-	-	-	R	S

备注: S——感病, R——抗病, H——杂合, -为无, 美——美国, 法——法国。

## 4. 白粉病的抗性基因及其遗传

### 4.1. 抗病基因

世界上对甜瓜白粉病抗性遗传的研究较早, 1937 年, 美国农业部加州实验站 Jagger 等发现第 1 个甜瓜白粉病抗性基因 Pm-1, 科研工作者们又从不同的抗病种质资源中陆续发现不同的抗性基因。迄今为止已发现的甜瓜白粉病抗性基因有 Pm-1、Pm-2、Pm-3、Pm-4、Pm-5、Pm-6、Pm-A、Pm-B、Pm-C1、Pm-C2、Pm-D、Pm-E、Pm-F、Pm-G、Pm-W、Pm-X、Pm-H, 且全部是显性基因。

## 4.2. 甜瓜抗白粉病遗传

甜瓜不同抗性材料中含有的白粉病抗性基因在遗传位点、生理小种的抗性、遗传机制和抗病机理等方面都有所差异。甜瓜抗白粉病的遗传模式也存在不同的观点,包括单显性基因、不完全显性基因、双基因、多基因和修饰基因。关于甜瓜对白粉病的抗性遗传,近年来的报道大部分支持单显性基因控制这一理论,认为属简单遗传。如有人推测 Pm-A 与 Pm-1; Pm-B 与 Pm-2 是独立遗传的[7];有的存在互作关系,如 Pm-1 与 Pm-2 以及 Pm-E 与 Pm-2 之间存在互作关系[29];有的为等位基因,如 Pm-C1 和 Pm-C2 是等位基因[9]; Pm-W、Pm-X、Pm-E、Pm-F、Pm-G 和 Pm-H, Pm-1、Pm-2、Pm-3、Pm-4、Pm-5 和 Pm-6 的等位与连锁关系的研究尚不清楚[30]。

从已有的文献报道看,对甜瓜白粉病的抗性遗传研究结果并不完全一致。张学军(2013)以抗病资源收集一号和感病农家品种皇后杂交的六个世代为材料,抗性鉴定,并利用集团分离分析法结合 SRAP 标记进行连锁分析[31]。结果表明,收集一号对白粉病 *Podosphaera xanthii* 生理小种 1 的抗性由显性单基因控制。虽然多数报道认为甜瓜白粉病的抗性属于简单遗传,但仍有一些令人费解的现象。Epinat 等(1993)发现在 PMR 5 × Vedrantaïs 的 F<sub>2</sub> 群体中出现抗病:中抗:感病 = 9:6:1 的特殊比例[32]。甜瓜品种 IranH 是一个普遍感病的寄主,但对 *G. cichoracearum* 和两个混合菌株却产生抗性和不完全抗性的现象[25]。还有不少报道指出,不同甜瓜品种(包括 F<sub>1</sub> 代)对白粉病的抗性不同,同一杂交群体,有的植株表现抗病,有的植株表现感病[33];还有的出现抗病性分离,并呈现发病程度的连续性变异[30],李冰等(2017)研究表明“MR-1”(抗)对生理小种 1 的抗性是由单显性基因控制[34];张学军等(2013)利用抗病材料“收集一号”也得出其对生理小种 1 的抗性由显性单基因控制[31];陈贵林等(2005)研究表明抗病材料“1A151”对生理小种 1 的抗性由一对不完全显性基因控制[35];宁雪飞等(2013)研究表明抗性品种“PMR45”,“KM7”对生理小种 1 的抗性符合单显性基因的遗传[36];陈静等(2014)认为抗病“WMR-29”对生理小种 1 的抗性由两个显性基因控制[37];咸丰等(2011)实验得出抗病“云甜-930”对生理小种 2F 的抗性由两对加性-显性-上位性,主基因-加性显性-上位性多基因控制,同时也受环境变异的影响[38];程振家等(2006)研究得出抗病“7-2”对生理小种 1 抗性由两对主基因控制且表现为加性-显性-上位性效应[39]。同时,根据 Flor 提出的基因对基因这种解释植物垂直抗性的学说,对于由单一或少数基因控制的抗病性,即使是病原菌生理小种发生变异,也不可能出现发病程度的连续性变异[40]。因此,甜瓜白粉病的抗性遗传,需要对不同的抗源分别研究利用,同时一定要注意生理小种。

## 4.3. 抗白粉病甜瓜种质资源

### 4.3.1. 野生甜瓜抗白粉病种质资源

美国十分重视野生植物抗病种质资源的征集和研究,早在 20 世纪 20 年代起,美国农业部就从国外,尤其是印度,引进抗白粉病菌的种质资源。详细如下: Calf525、PI79374、PI115908、PI115935、PI124111、PI124112、PI134192。比较重要并经常在抗病育种中使用的是 PI124111 和 PI124112 [2]。

### 4.3.2. 栽培甜瓜抗白粉病种质

世界各国育成的抗白粉病栽培甜瓜品种很多,但在育种上使用的抗病种质大多为美国近半个世纪育成的栽培品种: PMR45、PMR6、Seminole、PMR-5、Nantais oblong、WMR-29、MR-1、Perlita [2]。

## 5. 甜瓜白粉病的抗性鉴定及分子标记辅助育种

开展甜瓜抗白粉病品种选育,必然涉及对白粉病抗病性的鉴定。从已有的报道看,进行白粉病抗病性鉴定的寄主材料一般采用幼苗或离体圆叶片,病原物的接种采用孢子悬浮液接种法[41]和风媒(气流)接



种法[42]。但是,在甜瓜白粉病抗性鉴定中有两个较复杂的问题:一是白粉病病原菌只能采用活体保存,不能进行离体保存,这给白粉病抗病性鉴定带来不便;二是由于只能采用活体保存白粉病的病原菌,使得接种时或病原菌获得后难以进行病原菌生理小种的鉴定,从而只有在借助鉴别寄主的条件下,确定白粉病病原菌是一个生理小种还是两个或更多个生理小种,这样,鉴定结果将受白粉病病原物的影响。这可能是在甜瓜白粉病抗性鉴定、抗性遗传研究结果中出现不同观点的原因之一。

鉴于上述问题,近年来,一些研究者开始采用分子标记辅助育种的手段开展甜瓜抗白粉病品种的选育研究,以提高抗病育种效率[43]。利用与甜瓜白粉病抗性共分离的分子标记可以对甜瓜的基因型进行准确的选择。根据抗白粉病基因的已知序列或者与抗白粉病基因紧密连锁的分子标记的序列设计特异性引物,通过PCR反应对该基因的有关区域进行特异性扩增,进而可以准确地筛选抗病甜瓜植株[44]。目前在甜瓜抗病育种中常用的标记方法有RFLP、RAPD、AFLP、SSR、SRAP、CAPS等(见表3)。

**Table 3.** Molecular markers linked to powdery mildew resistance genes in Melon

**表 3.** 甜瓜白粉病抗性基因连锁的分子标记

实验方法	标记	连锁的抗性基因	出处
RAPD	pUBC411	QTL 位点	McGrath M T 2001 [45]
RAPD	RAPD-S329	-	王建设等 2005 [42]
AFLP	M75/H35-155	Par 1	Teixeira A P M <i>et al.</i> 2008 [46]
AFLP	E42M50	对 PX-1,2,5 小种有抗性的基因	Yuste-Lisbona F J 2008 [47]
AFLP	E38M82	对 PX-1,2,5 小种有抗性的基因	Yuste-Lisbona F J 2008
AFLP	M60/E25-520	-	王怀松等 2009 [48]; 程振家 2006
SSR	CMBR120	对 PxA 有抗性的 QTL 位点	Fukino N <i>et al.</i> 2008
SSR	CMBR8	对 PxA 有抗性的 QTL 位点	Fukino N <i>et al.</i> 2008 [49]
SSR	CMBR111	对 PxB 有抗性的 QTL 位点	Fukino N <i>et al.</i> 2008
SSR	CMBR120-172	Par2F	张海英等 2008 [50]
SSR	CMBR8-98	Par2F	张海英等 2008
SSR	CSAT42598	PMR5 抗性基因	王强 2009 [51]
SSR	SSR04816	对 PX 小种 1 有抗性的基因	马鸿艳 2011
SSR	SSR01498	对 PX 小种 1 有抗性的基因	马鸿艳 2011
RGA	RPW	ParAN	Wang X <i>et al.</i> 2011 [52]
RGA	MRGH63B	ParAN	Wang X <i>et al.</i> 2011
SRAP	me46em51	—	赵光伟等 2010 [53]
SRAP	me3em6	—	赵光伟等 2010
CAPs			李冰 2017 [34]

Wang 等对 Ano2 × Hami413 和 Ano2 × Queen 2 杂交组合,包括 SSR 标记、GRA 标记和 AFLP 标记,在抗病材料 Ano2 中定位出抗病基因 Pm-AN。王建设等(2005)以 1A151(抗) × 恒进红瓢酥(感)构建 6 个世代群体,运用 RAPD 分子标记结合抗性遗传分析找到 1 个由 1 对不完全显性抗病基因控制的抗病位点 S329,其遗传距离为  $6.81 \pm 1.67$  cM。Yuste-Lisbona 等利用 AFLP 对抗病材料 TGR-1551 和感病材料 Bola de Oro 配制杂交组合构建分子标记体系,构建出 1 张包含 14 个连锁群的遗传图谱,定位主效 QTL 位点 Pm-R

第五连锁群上[47]。Teixeira 等使用 AFLP 法在抗病材料 AF426-R 中找到与抗病基因 Pm-1 距离为 4.9 cM 的分子标记 M75/H35-155 [46]。Fukino 等利用高抗 AR5 和高感 Harukei 配制重组自交系, 定位抗病基因于第 II 和第 VII 染色体连锁群上。Liu 等在抗性材料 PI 134198 中发现了 1 个单显性抗性基因, 并且在距离该基因 3.9 cM 处获得了 1 个 SRAP 标记。Ning 等用抗病材料 Edisto47 和感病材料 Queen 构建 BC1 群体, 发现抗病基因 Pm-Edisto47-1 在 SSR 标记 CMGA36 和 SSR252089 之间, 与两标记距离均为 2.1 cM。艾子凌(2016)研究发现抗病材料 MR-1 所含有的甜瓜白粉病基因为单显性基因。×Topmark (感病)所构建的 F2 代群体进行分析, 检测到 1 个与白粉病抗性有关的位点, 位于 7 号染色体上, 距离上端 7-4E 标记 17.00 cM, 距离下端 7-1H 标记 12.35 cM, 为今后甜瓜白粉病抗性基因的精细定位及克隆奠定了基础[54]。由此可见使用抗病材料不同也会导致抗病位点不同。法国 perin 等完成了品种 Védantais × PI 161375 和 Védantais × PI 414723 杂交组合形成的重组自交系, 并将 Pm-x 定位于第 II 连锁群, Pm-w 定位于第 V 连锁群, nsv 与 Pm-y 定位于第 XII 连锁群[55]。法国 Perchepied 等通过 PI 124112×Védantais 杂交产生的群体, 经数量性状作图, 表明 2 个独立的基因对甜瓜白粉病均具有抗性, 分别位于第 II、V 连锁群, 并且可能与 Pm-x 和 Pm-w 一致[56]。日本 Fukino 绘制了 AR5 × Earl's Favourite 遗传群体的抗白粉病基因的 QTL 遗传图, 分别在第 II 与第 XII 连锁群发现抗白粉病位点, 也可能与 Pm-X 和 Pm-y 一致[49]。韩瑞(2013)前期已利用抗病材料 AN 分别与新疆甜瓜感病品种“皇后”、“K413”建立杂交遗传群体, 并将该抗白粉病基因定位在第 V 连锁群, 位于 2 个共显性分子标记 AF 与 CA 之间, 这个抗病基因可能与 Pitrat 发现的第 V 连锁群的 Pm-w 相同[57]。王贤磊(2014)以甜瓜白粉病抗性品种 PMR5, 感病甜瓜“伽师”的杂交 F1 以及 BC1、BC2 分离群体为试材, 接种白粉菌生理小种 1, 利用 SSR 分子标记方法, 共有 11 个位于 LGII 的 SSR 分子标记与抗白粉病基因连锁, 抗病基因位于标记 CMGA36 和 SSR25208 之间约 104 - 113 bp [58]。李冰(2017)以甜瓜高抗白粉病自交系 MR-1 为母本, 易感白粉病自交系 Top Mark 为父本, 构建 BC1P2 和 F2 群体, 用生理小种 1 感染, 甜瓜 MR-1 对 *P. xanthii* 生理小种 1 的抗性由单显性基因控制。通过 CAPS 标记分析, 将抗病基因 PXR 定位在第 12 号染色体上 M12-GH 和 M12-TE 2 个标记之间, 4 个基因 MELO3C002434、MELO3C002437、MELO3C002441、MELO3C002457 为甜瓜白粉病抗病候选基因[34]。宁雪飞(2013)利用 SSR (Simple Sequence Repeat)分子标记技术, 对甜瓜抗性基因进行定位。结果: ① 抗性亲本 PMR45 和 Km7 符合单显性基因的遗传规律抗性亲本 Edisto47 和红心脆(HXC)均不符合单基因遗传规律, 其中 Edisto47 构建的群体符合双基因的遗传规律② 抗性亲本 PMR45 和 Km7 的抗性基因定位于 LGII。抗性亲本 HXC 含有两个抗性基因位点, 位于 LGV 和 LGXII 上[59]。王晓娟(2012)以甜瓜抗白粉病品种‘PMR5’、感病品种‘黄河蜜 3 号’及其杂交的 F2 代群体为材料, 采用 SSR 标记筛选标记并定名为 CSAT42598 [60]。

分子标记还应用于甜瓜白粉病致病菌 *S. fuliginea* 和 *E. cichoracearum* 的遗传多样性分析。检验葫芦科白粉病病原菌群体的遗传差异、致病性和交配类型等。Bardin 等(1997)对来自不同国家地区、不同寄主、生理小种分别是 0、1、2 的 28 个 *S. fuliginea* 菌株进行毒性差异、交配类型及 DNA 多态性的测验。1994 年 Bardin 等还对法国 5 个地区、不同寄主、生理小种分别是 0、1 的 41 个 *E. cichoracearum* 菌株的遗传结构、致病力、交配类型进行 ITS-RFLP、RAPD 标记分析, 对白粉病致病菌的致病性有更深层次的认识 [61]。目前, 已经有 5 种白粉病菌进行了基因组测序[62]。

## 6. 研究方向

国外学者对甜瓜白粉病抗性的相关研究为深入开展甜瓜抗白粉病品种选育研究奠定了基础。从抗性育种工作开展以来, 科研工作者在甜瓜种质资源中发现对白粉病有抗性的甜瓜种质, 主要来源于印度野生资源。然而, 目前的抗性品种选育仍旧依靠传统杂交育种, 对表型选择有局限性, 历时周期长, 育种

工作进展慢。随着分子生物学的发展, 甜瓜抗病基因技术日益成熟, 分子标记技术, 作为基因定位和辅助育种的高效方法, 能实现对子代基因型进行直接与准确地检测, 是一种甜瓜品种改良的安全且高效途径。研究甜瓜抗白粉病的遗传规律, 精细定位抗性基因, 研究人员需统一接种方法, 统一材料, 统一系统标准, 其结果才可以相互借用。不同材料会有不同的抗病机制, 一定要大力发掘资源, 接种不同生理小种, 才能全面了解。与国外相比, 我国甜瓜作物白粉病的研究起步晚、基础差, 今后需要充分利用国外研究成果, 利用已有的抗源, 采用多亲复合杂交育种方法, 结合苗期人工接种鉴定筛选, 培育抗白粉病多个生理小种、综合经济性状优良的甜瓜品种。生物技术不仅能加快抗白粉病育种进程, 而且给生理小种的鉴定带来了新的曙光。发掘抗白粉病基因, 寻找其紧密连锁的分子标记, 采用分子标记辅助选择技术, 将多个抗白粉病的基因高效转入当前甜瓜的主栽品种, 以提高我国甜瓜抗病育种水平。

## 致 谢

天津市蔬菜现代农业产业技术体系岗位创新项目(ITJVR2017005)、甜瓜高效栽培技术的应用研究(17ZXBFNC00200)、天津市科技重大专项与工程项目(16ZXHLNC00070)资助。

## 参考文献

- [1] 马英元, 栾非时, 马鸿艳, 王学征. 甜瓜白粉病内生拮抗细菌的筛选鉴定及其防治效果的研究[J]. 植物保护, 2011, 37(2): 25-30.
- [2] 林德佩, 马德伟, 吴明珠. 中国西瓜甜瓜: 甜瓜篇[M]. 北京: 科学农业出版社, 2000.
- [3] Cohen, R., Burger, Y. and Katzir, N. (2004) Monitoring Physiological Races of *Podosphaera xanthii* (syn. *Sphaerotheca fuliginea*), the Causal Agent of Powdery Mildew in Cucurbits: Factors Affecting Race Identification and the Importance for Research and Commerce. *Phytoparasitica*, **32**, 174-183. <https://doi.org/10.1007/BF02979784>
- [4] Miazzi, M., Laguardia, C. and Faretra, F. (2011) Variation in *Podosphaera xanthii* on Cucurbits in Southern Italy. *Journal of Phytopathology*, **159**, 538-545. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2011.01801.x>
- [5] 蔡竹固, 童伯开. 瓜类白粉病生态及防治策略[J]. 植保会刊, 1992(34): 139-148.
- [6] Vakalounakis, D.J., Klirenou, E. and Papadakis, A. (1994) Species Spectrum, Host Range and Distribution of Powdery Mildews on Cucurbitaceae in Crete. *Plant Pathology*, **43**, 813-818. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01625.x>
- [7] James, D.M. (2002) Reactions of 20 Melon Cultigens to Powdery Mildew race2 U.S. Cucurbitaceae, 72-77.
- [8] 王娟, 邓建新, 宫国义, 等. 甜瓜抗白粉病育种研究进展[J]. 中国瓜菜, 2006(1): 33-36.
- [9] 冯东昕, 李宝栋. 主要瓜类作物抗白粉病育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 1996, 1(1): 55-59.
- [10] 徐志豪, 寿伟林, 黄凯美, 等. 白粉病菌的生理小种及其对不同基因型甜瓜的致病性[J]. 浙江农业学报, 1999, 11(5): 245-248.
- [11] 程鸿, 孔维萍, 苏永全, 刘东顺, 何启伟. 我国甜瓜白粉病研究进展及生理小种的初步鉴定[J]. 长江蔬菜, 2011(18): 1-5.
- [12] 林德佩. 甜瓜白粉病的抗病基因、鉴定寄主及种质资源[J]. 中国瓜菜, 2011, 24(4): 43-45.
- [13] 赵文言. 新疆部分地区甜瓜白粉病生理小种鉴定及抗性评价和遗传分析[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学.
- [14] 赵光伟, 徐志红, 徐永阳, 邢燕. 郑州地区甜瓜白粉病菌生理小种的鉴定[J]. 中国瓜菜, 2012, 25(6): 13-15.
- [15] 李苹芳, 朱凌丽, 羊杏平, 徐锦华, 刘广, 姚协丰, 朱徐江. 江浙沪甜瓜白粉病及其生理小种的鉴定[J]. 中国瓜菜, 2015(6): 16-20.
- [16] 张成花, 林涛, 李菊芬, 马国斌, 许玲. 甜瓜白粉病病原鉴定及苗期抗性鉴定[J]. 中国瓜菜, 2012, 25(2): 11-14.
- [17] 张波, 王利波, 崔四川, 任莉, 杨桂莲, 惠长敏. 吉林省薄皮甜瓜生产主产区白粉病生理小种的初步鉴定[J]. 吉林蔬菜, 2011(6): 100-101.
- [18] Mohamed, Y.F. (1995) Causal Agents of Powdery Mildew of Cucurbits in Sudan. *Plant Disease*, **79**, 634-636. <https://doi.org/10.1094/PD-79-0634>



- [19] Cohen, R. and Paris, S. (2003) Single-Gene Resistance to Powdery Mildew in Zucchini Squash (*Cucurbita pepo*). *Euphytica*, **130**, 433-441. <https://doi.org/10.1023/A:1023082612420>
- [20] 刘秀波, 崔琦, 崔崇士. 瓜类白粉病抗性育种研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2005, 36(6): 794-798.
- [21] 刘东顺, 程鸿, 孔维萍, 苏永全, 何启伟. 甘肃主产区白粉病菌生理小种的鉴定[J]. 中国蔬菜, 2010(6): 28-32.
- [22] 包海清, 许勇, 杜永臣, 李劲松, 杨晓峰. 海南三亚地区葫芦科作物白粉病菌生理小种分化的鉴定[J]. 长江蔬菜, 2008(1): 49-51.
- [23] 张慧君, 张佩, 吴乔, 歆余静. 淮北地区甜瓜白粉病生理小种的鉴定[J]. 分子植物育种, 2017, 15(3): 1084-1089.
- [24] 马鸿艳. 甜瓜白粉病抗性遗传分析及相关基因 SSR 标记[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学.
- [25] Kristkova, E., Lebeda, A. and Sedlakova, B. (2004) Virulence of Czech Cucurbit Powdery Mildew Isolates on *Cucumis melo* Genotypes MR-1 and PI124112. *Scientia Horticulturae*, **99**, 257. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(03\)00105-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(03)00105-5)
- [26] James, D.M., Pitrat, M., Thomas, C.E., et al. (1987) Powdery Mildew Resistance Genes in Muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **112**, 63-65.
- [27] Hosoya, K., Kuzuya, M., Murakami, T., et al. (2000) Impace of Resistant Cultivars of Melon on *Sphaerotheca fuliginea*. *Plant Breeding*, **119**, 286-288. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2000.00489.x>
- [28] Kenigsbuch, D. and Cohen, Y. (1992) Inheritance and Allelism of Genes for Resistance to Races 1 and 2 of *Sphaerotheca fuliginea* in Muskmelon. *Plant Disease*, **76**, 626-629. <https://doi.org/10.1094/PD-76-0626>
- [29] 林德佩. 甜瓜基因及其育种利用[J]. 长江蔬菜, 1999(1): 32-34.
- [30] James, D.M., Pitrat, M., Thomas, C.E., et al. (1994) Powdery Mildew Resistance Genes in Muskmelon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **43**, 813-818.
- [31] 张学军, 季娟, 李寐华, 王豪杰, 伊鸿平. 甜瓜抗白粉病基因 SRAP 分子标记[J]. 华北农学报, 2013, 28(2): 73-77.
- [32] Epinat, C., Pitrat, M. and Bertrand, F. (1993) Inheritance of Resistance of Five Melon Lines to Powdery Mildews. *Euphytica*, **65**, 135-144. <https://doi.org/10.1007/BF00022575>
- [33] 王建设, 唐晓伟, 孟淑春, 等. 甜瓜白粉病抗源鉴定与抗性遗传分析[J]. 华北农学报, 2002, 17(3): 124-128.
- [34] 李冰, 赵玉龙, 朱强龙, 张志鹏. 甜瓜白粉病抗病基因的定位及候选基因分析[J]. 中国蔬菜, 2017(6): 17-24.
- [35] 陈贵林, 王建设, 宋曙辉, 唐晓伟. 甜瓜白粉病抗性基因的遗传与分子标记[J]. 华北农学报, 2005, 20(1): 89-92.
- [36] 宁雪飞, 高兴旺, 李冠. 甜瓜抗白粉病分子育种研究进展[J]. 北方园艺, 2013(2): 180-184.
- [37] 陈静, 王贤磊, 宁雪飞, 李冠. 甜瓜“WMR-29”品系白粉病抗性基因连锁的 SSR 分子标记[J]. 北方园艺, 2014(22): 89-93.
- [38] 咸丰, 马建祥, 张显, 张勇, 杨建强. 野生甜瓜“云甜-930”抗白粉菌主基因+多基因遗传分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(7): 1425-1433.
- [39] 程振家. 甜瓜(*Cucumis melo* L.)白粉病抗性遗传机制及抗病基因 AFLP 分子标记研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [40] Flor, H.H. (1971) Currant Status of the Gene for Gene Concept. *Annual Review of Phytopathology*, **9**, 275-296. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.09.090171.001423>
- [41] 刘秀波, 张俊华, 崔崇士. 南瓜白粉病病原菌鉴定及抗性鉴定方法研究[J]. 中国瓜菜, 2006(1): 10-13.
- [42] 王建设, 宋曙辉, 唐晓伟, 等. 甜瓜白粉病抗性基因的遗传与分子标记[J]. 华北农学报, 2005, 20(1): 89-92.
- [43] 管敏强, 陈锡文, 赵惠玲. 分子标记技术及其应用[J]. 实验动物科学与管理, 2005, 22(1): 48-53.
- [44] 赵惠新, 李冠, 李金玉, 蔡建辉. 甜瓜抗病基因的研究进展及应用前景[J]. 分子植物育种, 2005, 3(2): 249-254.
- [45] McGrath, M.T. (2001) Fungicide Resistance in Cucurbit Powdery Mildew: Experiences and Challenges. *Plant Disease*, **85**, 236-245. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2001.85.3.236>
- [46] Teixeira, A.P.M., Barreto, F. and Camargo, L.E.A. (2008) An AFLP Marker Linked to the Pm 1 Gene That Confers Resistance to *Podosphaera xanthii* Race 1 in *Cucumis melo*. *Genetics and Molecular Biology*, **31**, 547-550. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572008000300023>
- [47] Yuste Lisbona, F.J., Capel, C., Capel, J., et al. (2008) Conversion of an AFLP Fragment into One dCAPS Marker Linked to Powdery Mildew Resistance in Melon. *Proceedings of the 9th EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of Cucurbitaceae*, Avignon, 21-24 May 2008, 143-148.
- [48] 王怀松, 贺超兴, 张志斌, 等. 甜瓜白粉病抗性 AFLP 连锁标记的初步研究[J]. 中国瓜菜, 2009, 22(2): 4-6.

- [49] Fukino, N., Ohara, T., Monforte, A.J., *et al.* (2008) Identification of QTLs for Resistance to Powdery Mildew and SSR Markers Diagnostic for Powdery Mildew Resistance Genes in Melon (*Cucumis melo* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, **118**, 165-175. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0885-1>
- [50] 张海英, 苏芳, 郭绍贵, 等. 甜瓜白粉病抗性基因 Pm2F 的遗传特性及与其紧密连锁的特异片段[J]. 园艺学报, 2008, 35(12): 1773-1780.
- [51] 王强. 甜瓜抗白粉病基因的 SSR 标记及生理小种鉴定研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [52] Wang, X., Li, G., Gao, X., *et al.* (2011) Powdery Mildew Resistance Gene (Pm AN) Located in a Segregation Distortion Region of Melon LGV. *Euphytica*, **180**, 421-428. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0406-1>
- [53] 赵光伟, 徐永阳, 徐志红, 邢燕. 甜瓜抗白粉菌基因 SRAP 分子标记筛选[J]. 西北植物学报, 2010, 30(6): 1105-1110.
- [54] 艾子凌, 高鹏, 杜黎黎, 栾非时. 利用 CAPS 初步定位甜瓜 MR-1 白粉病抗性基因[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 66-70.
- [55] Perin, C., Hagen, L., De Conto, V., *et al.* (2002) A Reference Map of *Cucumis melo* Based on Two Recombinant Inbred Line Populations. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, **104**, 1017-1034. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-0864-x>
- [56] Percheplied, L., Bardin, M., Dogimont, C., *et al.* (2005) Relationship between Lociconferring Downy Mildew and Powdery Mildew Resistance in Melon Assessed by Quantitative Trait Loci Mapping. *Phytopathology*, **95**, 556-565. <https://doi.org/10.1094/PHTO-95-0556>
- [57] 韩瑞, 王贤磊, 李冠. 甜瓜抗白粉病候选基因片段克隆与序列分析[J]. 北方园艺, 2013(19): 110-113.
- [58] 王贤磊, 宁雪飞, 高兴旺, 谢丽琼, 李冠. 甜瓜 PMR5 抗白粉病基因的遗传定位[J]. 北方园艺, 2014(21): 118-122.
- [59] 宁雪飞, 王贤磊, 高兴旺, 卢浩, 李冠. 甜瓜白粉病抗性基因遗传分析及定位[J]. 生物技术, 2013, 23(6): 67-72.
- [60] 王晓娟, 张建农, 曲亚玲, 网强. 甜瓜抗白粉病基因的 SSR 标记[J]. 甘肃农业大学学报, 2012, 47(4): 61-63.
- [61] Bardin, M., Nicot, P.C., Norm, P., *et al.* (1997) Virulence Variation and DNA Polymorphism in *Sphaerotheca fuliginea*, Causal Agent of Powdery Mildew of Cucurbits. *European Journal of Plant Pathology*, **103**, 545-554.
- [62] 崔浩楠, 朱强龙, 朱子成, 樊超. 甜瓜白粉病及其抗性分子遗传研究进展[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(3): 1-7.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)