

# 根肿菌 Williams 系统中各单孢生理小种的获得与鉴定

张 晶\*, 武 月\*, 冯 辉, 葛文杰, 刘旭垚, 吕明灿, 王艺琰, 冀瑞琴\*\*

(沈阳农业大学园艺学院, 辽宁省十字花科蔬菜遗传育种重点实验室, 沈阳 110866)

**摘 要:** 将根肿菌单孢分离技术和 Williams 生理小种鉴定方法结合, 对中国 9 个大白菜主要产区的根肿菌进行单孢分离及生理小种鉴定。共获得 281 个单孢菌株, 通过 Williams 鉴定, 这些单孢菌株分别属于该系统除 5 号生理小种之外的 15 个生理小种类型。其中 4 号生理小种所占比例最大, 共 191 个, 占 67.97%, 9 个地区的优势生理小种均为 4 号小种。

**关键词:** 十字花科蔬菜作物; 根肿病; 单孢分离技术; 生理小种鉴定

**中图分类号:** S 634

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2019) 12-2415-08

## Obtaining and Identification of Single-spore Physiological Races of *Plasmodiophora brassicae* in Williams System

ZHANG Jing\*, WU Yue\*, FENG Hui, GE Wenjie, LIU Xuyao, LÜ Mingcan, WANG Yilian, and JI Ruiqin\*\*

(Liaoning Provincial Key Laboratory of Genetics and Breeding of Cruciferous Vegetable Crops, Department of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** We combined the single spore isolation technology and Williams identification method to isolate single spores of *Plasmodiophora brassicae* from nine major Chinese cabbage producing areas in China and identify their physiological races, to obtain more types of single-spore physiological races. A total of 281 single-spore stains were obtained and identified by Williams identification, these single spores belong to 15 types of physiological races other than No. 5 physiological race in the system. Among them, 191 single-spores were of the No. 4 physiological race accounting for 67.97%. The dominant physiological race in the 9 regions was No. 4.

**Keywords:** Cruciferae vegetable crop; *Plasmodiophora brassicae*; single spore isolation technology; identification of physiological races

近年来, 十字花科蔬菜根肿病在中国东北、西南、山东及长江中上游等地区均有发生, 严重影响产业的发展 (周娜 等, 2018)。芸薹根肿菌在自然情况下以生理小种混生状态侵染十字花科作物使其发病, 但是存在着优势生理小种 (Honig, 1931)。根肿菌休眠孢子萌发和侵染的最适土温为

收稿日期: 2019-09-02; 修回日期: 2019-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31972412); 辽宁省自然科学基金项目 (2019-MS-283)

\* 共同第一作者

\*\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: jiruiqin888@163.com)

18~25℃, 土壤持水量 70%, pH 5.4~6.5。至今各文献中涉及的根肿菌生理小种鉴定系统有两种, Williams 生理小种鉴定系统和欧洲根肿菌生理小种鉴定系统 (European clubroot differential set, ECD)。ECD 鉴定系统是选用白菜型油菜 (*Brassica campestris*)、甘蓝型油菜 (*B. napus*) 和甘蓝品种 (*B. oleracea*) 中的 15 个鉴别寄主, 生理小种的序号需要和鉴别寄主的发病程度相对应, 并换算成二进制和十进制才能得出最终结果, 由于 ECD 法鉴别寄主种类多, 需鉴定菌株数较多, 鉴别工作较为繁琐, 且标准难以衡量。而 Williams 生理小种鉴定系统仅有 2 个结球甘蓝寄主 Badger Shipper (BS) 和 Jersey Queen (JQ) 和 2 个芜菁甘蓝寄主 Laurentian (LT) 和 Wilhelmsburger (WB), 根据 Williams (1966) 的生理小种鉴别寄主表与调查的实际发病情况相结合以确定生理小种。经 Williams 生理小种系统鉴别寄主种类少, 操作较为简便, 故在目前多数研究中使用。

病原菌的分离纯化经常使用单孢分离技术。例如玉米大斑病病菌、水稻稻瘟病病菌等病原菌一般利用单孢分离技术提取纯化后的分离物, 再通过鉴别寄主确定单孢小种的种类, 进而实现有针对性地防御, 为抗病育种研究提供重要依据 (杨耿斌, 2014)。但目前对于根肿菌单孢分离技术的报道较少。Jones 等 (2010) 将单孢分离技术与 ECD 鉴定系统结合使用, 用于根肿菌的生理小种鉴定并得到 4 个小种。李茜等 (2012) 将前人研发的微管吸附法与 Williams 鉴定系统相结合进行生理小种鉴定, 发现辽宁省新民市优势种群为 4 号, 四川彭州和西昌地区优势种群为 10 号。在前期研究中, 刘一凡等 (2017) 发展了一种更为快速精准的根肿菌单孢分离技术, 并利用该技术结合 Williams 鉴定系统对辽宁省沈阳市的根肿菌进行单孢分离, 获得 4 个生理小种, 其中 4 号小种为优势小种。

按照 Williams 鉴定系统理想化条件可以获得 16 种单孢, 但目前这些单孢尚未收集完全。本次试验采用了前期研究中发展的根肿菌单孢分离技术对中国 9 个大白菜主产区根肿菌进行单孢分离, 并采用 Williams 鉴定系统对分离到的单孢进行生理小种鉴定, 为后续十字花科作物抗病育种的系统研究提供重要资源。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验材料为沈阳农业大学十字花科蔬菜遗传育种重点实验室的大白菜感病品种 ‘SN742’ 和 Williams 生理小种鉴定系统的寄主材料结球甘蓝品种 Jersey Queen (JQ) 和 Badger Shipper (BS)、芜菁甘蓝品种 Laurentian (LT) 和 Wilhelmsburger (WB)。根肿菌来源于湖北利川、内蒙古通辽、陕西太白、山东青岛、北京、河南南阳、辽宁大连、沈阳以及云南昆明等 9 个地区的大白菜根肿病肿根。

### 1.2 ‘SN742’ 种子消毒催芽及菌液制备

将 ‘SN742’ 种子放在 50℃ 的温水中浸泡 30 min, 用无菌水冲洗 2 次, 两层滤纸剪成适合催芽盒格孔大小并充分浸湿铺于孔底, 将种子放入格孔后在 25℃ 的暗环境下催芽 24 h。

分别称取各地区大白菜发病肿根 1 g, 无菌水冲洗后用研钵研磨至根部组织破碎, 加入适量无菌水混匀, 用 8 层纱布过滤后  $3\,100\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 15 min, 弃上清液。此步骤重复 2~3 次。加入 50% 蔗糖溶液充分混匀后再离心, 取上清液, 于干净的试管中加无菌水,  $4\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  离心 5 min。将沉淀溶于 5 mL 的无菌水中, 通过血球计数板计算所得孢子悬浮液的浓度 (刘一凡等, 2017), 将孢子悬浮液浓度稀释为  $2\,000\text{ 个} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

1.3 各地区根肿菌单孢分离及培养

将大白菜 ‘SN742’ 2 日龄幼苗进行单孢接菌（刘一凡 等，2017）。将 1%的琼脂糖溶液滴在载玻片上凝固后，分别将各地区根肿菌孢子悬浮液滴在琼脂糖块上，在显微镜下观察，直至发现单个根肿菌游动孢子处于视野中央，用小刀将含单个孢子的琼脂糖切成 0.5 mm 方形小块，放在幼苗根毛上。在日温 25 ℃、夜温 16 ℃、湿度 60%的生长箱中暗培养 4 d，然后将幼苗转移到盛满蒸馏水的 2 mL 离心管中，管口用海绵轻轻包裹幼苗茎部。光照培养箱中培养 1 ~ 2 d 后，至 1/2Hongland 营养液培养，待显微观察幼苗根系被侵染（Ji et al., 2014）后，进行无菌基质过渡培养，植株长到 5 ~ 6 片真叶且根系较发达后，转至无菌土培养直到发病，统计成活植株数和发病植株数。收集病根，冷冻保存。

1.4 根肿菌单孢菌株的扩繁

将 20 粒大白菜 ‘SN742’ 种子催芽后，播种于无菌土的穴盘中，日温 25 ℃，夜温 10 ℃左右。2 d 后用无菌注射器将发酵好的各地区根肿菌单孢菌液注入穴盘中，每穴注入 2 mL。将各穴盘单独放入一个托盘中，防止相互污染。按时浇水，使土壤湿度在 80%~90%，待 60 d 左右植株发病后收集扩繁的各单孢菌株。

1.5 生理小种鉴定

将扩繁的各根肿菌单孢菌株制备悬浮液并发酵。将 Williams 鉴定系统中 4 个鉴定寄主（JQ/ BS/ WB/ LT）的种子催芽后，播种在无菌土穴盘中。参照彭莎莎等（2013）的方法对植株进行发病调查。每个寄主分别调查 30 株，重复 3 次。据 Williams（1966）报道的根肿菌生理小种鉴定标准（表 1）确定生理小种。病情指数 < 10 为抗病，病情指数 ≥ 10 为感病。病情指数 =  $\Sigma [（各级发病植株数 \times 相对级数） / （调查总株数 \times 5）] \times 100$ 。

表 1 Williams 根肿病生理小种鉴别寄主及小种划分标准  
Table 1 Host to *Plasmodiophora brassicae* races in Williams system

鉴别寄主 Differential host	生理小种 Race															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
JQ (Jersey Queen)	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
BS (Badger Shipper)	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
LT (Laurentian)	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-
WB (Wilhelmsburger)	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+

注：+ 代表感病；- 代表抗病。  
Note: + represents susceptible reaction; - represents resistant reaction.

2 结果与分析

2.1 各地区根肿菌单孢的获得

来源于 9 个地区的根肿菌单孢菌株各接菌 100 株，经水培—基质过渡—无菌土培养长到 5 ~ 6 片真叶且根系较发达时，统计成活植株数。

结果（表 2）显示，接菌不同地区根肿菌单孢后，成活植株数在 37~72 株之间，差异较大。成活的植株中选取根部发病的植株（图 1）进行单孢菌的扩繁，每株发病植株即为 1 个单孢菌株。各地区根肿菌中最终获得的单孢菌株数各不相同，湖北利川最少（20 个），山东青岛最多（48 个）。

表 2 各地区根肿菌分离的单孢接菌植株成活和发病情况  
Table 2 Survival and diseased state of plants inoculated by single-spore isolated from *P. brassicae* of each area

地区 Area	成活植株数 Number of surviving plants	发病植株数（单孢菌株数） Number of diseased plants (single-spore strains)
陕西太白 Taibai Shaanxi	43	40
河南南阳 Nanyang Henan	37	27
辽宁大连 Dalian Liaoning	41	25
云南 Yunnan	43	26
湖北利川 Lichuan Hubei	43	20
北京 Beijing	46	27
内蒙古通辽 Tongliao Inner Mongolia	53	29
辽宁沈阳 Shenyang Liaoning	67	40
山东青岛 Qingdao Shandong	72	48



图 1 根肿菌单孢接菌后获得的发病植株  
Fig. 1 Diseased plants inoculated by single-spores of *P. brassicae*

2.2 各地区根肿菌单孢的 Williams 生理小种鉴定

根据 Williams 鉴定标准调查寄主抗病及感病情况，结合本试验结果（表 3）发现：山东青岛分离出的 48 个单孢鉴定到 9 个生理小种；陕西太白分离到的 40 个单孢鉴定到 6 个生理小种；河南南阳分离出的 27 个单孢鉴定到 5 个生理小种；云南地区分离到的 26 个单孢鉴定到 8 个生理小种；湖北利川地区分离到的 20 个单孢鉴定到 7 个生理小种；内蒙古通辽、辽宁沈阳、辽宁大连和北京地区均分别鉴定到 4 个单孢生理小种。在 9 个地区的单孢生理小种中均以 4 号数量最多，占比最大，为优势小种。但是 5 号生理小种单孢尚未获得，可能由于 5 号生理小种单孢致病性较弱等原因未能存活，具体结论还有待后续探究。

**表 3 各地区根肿菌生理小种鉴定统计汇总表**  
**Table 3 Statistical summary of identification of physiological races of *P. brassicae* from different areas**

地区 Area	JQ	BS	LT	WB	生理小种号 Code of physiological race	单孢数 Single-spore number	所占比例% Proportion
山东青岛 Qingdao, Shandong	+	-	+	+	1	1	2.08
	+	+	+	-	2	3	6.25
	+	+	+	+	4	21	43.75
	-	-	+	-	8	1	2.08
	-	-	+	+	9	2	4.17
	-	+	+	+	11	16	33.33
	-	+	+	-	13	2	4.17
	-	+	-	-	15	1	2.08
	-	-	-	+	16	1	2.08
陕西太白 Taibai, Shaanxi	+	-	+	+	1	6	15.00
	+	+	+	-	2	2	5.00
	+	+	+	+	4	27	67.50
	-	-	+	-	8	1	2.50
	+	+	-	+	10	2	5.00
	-	+	-	-	15	2	5.00
辽宁沈阳 Shenyang, Liaoning	+	+	+	+	4	23	57.50
	-	-	+	-	8	1	2.50
	-	-	+	+	9	3	7.50
	-	+	+	+	11	13	32.50
内蒙古通辽 Tongliao, Inner Mongolia	+	-	+	+	1	2	6.90
	+	-	+	-	3	2	6.90
	+	+	+	+	4	22	75.86
	-	+	+	+	11	3	10.34
河南南阳 Nanyang, Henan	+	+	+	-	2	1	3.70
	+	+	+	+	4	22	81.48
	+	+	-	+	10	1	3.70
	-	+	+	+	11	2	7.40
	-	+	-	+	14	1	3.70
北京 Beijing	+	+	+	-	2	1	3.70
	+	+	+	+	4	24	88.89
	+	+	-	+	10	1	3.70
	+	-	-	+	12	1	3.70
云南 Yunnan	+	+	+	-	2	1	3.85
	+	+	+	+	4	19	73.08
	+	+	-	-	7	1	3.85
	-	-	+	+	9	1	3.85
	+	+	-	+	10	1	3.85
	-	+	+	+	11	1	3.85
	+	-	-	+	12	1	3.85
	-	+	-	-	15	1	3.85
辽宁大连 Dalian, Liaoning	+	+	+	+	4	22	88.00
	+	-	-	-	6	1	4.00
	+	+	-	-	7	1	4.00
	+	-	-	+	12	1	4.00
湖北利川 Lichuan, Hubei	+	-	+	+	1	1	5.00
	+	+	+	+	4	11	55.00
	+	+	-	-	7	1	5.00
	+	+	-	+	10	2	10.00
	-	+	+	+	11	2	10.00
	+	-	-	+	12	2	10.00
	-	+	-	+	14	1	5.00

注: + 代表感病, - 代表抗病。

Note: + represents susceptible reaction; - represents resistant reaction.

对 4 个寄主进行 Williams 生理小种鉴定，将每类单孢小种选出代表发病菌根洗净拍照（图 2），在根部形成白色肿大部分且须根也有膨大即为发病植株，将根肿分级统计并计算病情指数，发现 9 个地区 191 个 4 号生理小种其病情指数均不小于 10（寄主病情指数普遍在 10~57.48），全部感病，故判定 4 号为优势小种。

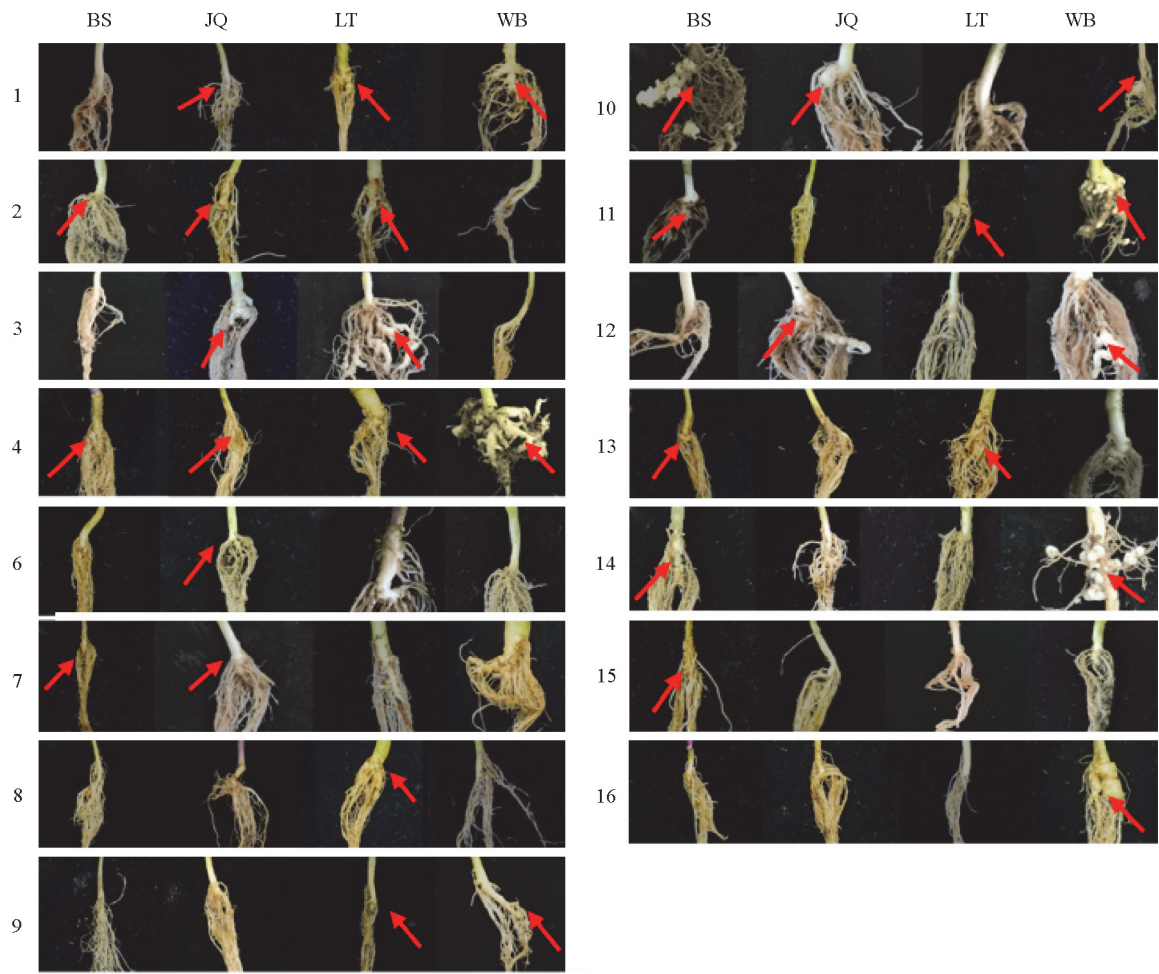


图 2 根肿菌生理小种 1~4、6~16 号在 Williams 鉴定系统 4 个寄主（BS、JQ、LT 和 WB）上的发病情况  
Fig. 2 The graph of diseased state of *P. brassicae* physiological races 1 - 4 and 6 - 16 in four Williams hosts (BS, JQ, LT and WB)

2.3 获得 15 种 Williams 生理小种单孢

综合 9 个地区根肿菌单孢分离及生理小种鉴定结果，共获得 281 个根肿菌单孢菌株，它们分别属于 Williams 根肿菌鉴定系统中除 5 号生理小种之外的 15 个生理小种。其中 4 号小种最多，有 191 个单孢，占 67.97%；11 号小种仅次于 4 号小种，有 37 个单孢，占 13.17%；1 号小种有 10 个单孢，占 3.56%；其余单孢小种数均不足 10 个（表 4）。

表 4 分离获得的根肿菌各单孢生理小种统计结果  
Table 4 Statistical summary of physiological races of *P. brassicae* single-spores isolated in this research

生理小种号 Code of physiological race	单孢数 Single-spore number	所占比例% Proportion	生理小种号 Code of physiological race	单孢数 Single-spore number	所占比例% Proportion
1	10	3.56	9	6	2.14
2	8	2.85	10	7	2.50
3	2	0.71	11	37	13.17
4	191	67.97	12	5	1.78
5	0	0	13	2	0.71
6	1	0.36	14	2	0.71
7	3	1.07	15	4	1.42
8	3	1.07	16	1	0.36

3 讨论

由于根肿菌生理小种混杂、分化较多，致使根肿病较难防御，对根肿菌进行系统研究较为重要。进行根肿菌单孢分离获得全部根肿菌单孢将对后续有针对性地防御根肿菌、培育抗病材料提供重要依据（杨耿斌，2014）。

目前，刘一凡等（2017）利用单孢分离技术从辽宁沈阳地区分离出 4、8、9、11 号单孢小种。但根肿菌单孢种类尚较少。本项研究中通过分离 9 个地区的根肿菌单孢并鉴定，已获得 Williams 15 个类型的生理小种单孢，但是 5 号生理小种单孢尚未获得，分析其原因发现 Williams 的 4 个寄主对该小种都不发病，可能成活但未发病的单孢菌株即为 5 号生理小种。相关结论有待通过后续试验进行验证。后续将进一步进行单孢分离，通过显微观察，收集侵染但未发病的单孢进行鉴定，努力集齐 Williams 的 16 个生理小种。

前期在混生根肿菌的鉴定中，很多专家发现 4 号生理小种为优势小种。沈向群等（2009）利用 Williams 生理小种鉴定方法，确定吉林乌拉街、梨树，辽宁大连、丹东，山东青岛、苍山，四川郫县等地区混生根肿菌的优势小种为 4 号生理小种。随后，多个地区的混生菌都被证明其优势小种为 4 号生理小种。如黑龙江南城、宁安，辽宁新民、抚顺等地区（赵杨 等，2013）、四川省通海、嵩明等地区（刘峰 等，2013）、湖北长阳、当阳、枝江、宣恩、鹤峰等地区（吴健雄，2013）和云南巍山、盘龙、玉溪，四川郫县、彭州、什邡，辽宁大连、山东青岛、陕西太白、重庆武隆、上海嘉定、湖北长阳等地区（丁云花 等，2013）。但通过单孢分离鉴定，确定优势小种的报道较少。刘一凡等（2017）通过单孢分离技术与 Williams 生理小种鉴定法，在中国沈阳地区的根肿菌根中分离出 4、8、9、11 号小种，确定 4 号小种为优势小种。本研究中对中国 9 个地区的根肿菌进行单孢分离，对获得的 281 个单孢鉴定，发现属于 4 号生理小种的单孢有 191 个，占总单孢数的 67.97%，进一步通过单孢分离证实了中国根肿菌的优势小种为 4 号生理小种。

在各地根肿菌单孢分离及扩繁过程中，发现在接种各地区植株中，成活植株数在 37~72 株，究其原因可能是植株从水培到基质培养过程中由于操作不当致使根部受伤，或者从基质培养到土培过程中，灭菌土的配制比例不规范等人为因素所致。在后续研究中需要注意规范操作。

References

Ding Yun-hua, Jian Yuan-cai, Yu Yang-jun, Wang Wei-hong, Geng Li-hua, Kang Jun-gen. 2013. Identification of pathotype of *Plasmodiophora brassicae* on crucifer vegetables in eight provinces of China. *China Vegetables*, (16): 85 - 88. (in Chinese)  
丁云花, 简元才, 余阳俊, 汪维红, 耿丽华, 康俊根. 2013. 中国 8 省市十字花科蔬菜根肿病菌生理小种的鉴定. *中国蔬菜*, (16): 85 - 88.



- Honig F. 1931. Der Kohlkopferreger (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) Eine Monographie. Gartenbauwissenschaft, 15: 116 - 225.
- Ji R, Zhao L, Xing M, Shen X, Bi Q, Peng S, Feng H. 2014. Infection of *Plasmodiophora brassicae* in Chinese cabbage. Genet Mol Res, 13 (4): 10976 - 10982.
- Jones D R, Ingram D S, Dixon G R. 2010. Factors affecting tests for differential pathogenicity in populations of *Plasmodiophora brassicae*. Plant Pathology, 31 (3): 229 - 238.
- Li Qian, Shen Xiang-qun, Geng Xin-cui, Li Lin. 2012. Separate inoculation of single resting spores and identification of *Plasmodiophora brassicae* races. Journal of Plant Protection, 38 (3): 95 - 101. (in Chinese)
- 李 茜, 沈向群, 耿新翠, 李 林. 2012. 芸薹根肿菌 (*Plasmodiophora brassicae*) 单孢分离接种及生理小种的鉴定. 植物保护, 38 (3): 95 - 101.
- Liu Feng, Zhang Li-hui, Ji Guang-hai. 2013. Identification of physiological race of *Plasmodiophora brassicae* in Yunnan and Tibet. China Vegetables, (20): 77 - 81. (in Chinese)
- 刘 峰, 张丽辉, 姬广海. 2013. 云南和西藏十字花科蔬菜根肿病菌生理小种鉴定. 中国蔬菜, (20): 77 - 81.
- Liu Yi-fan, Wang Sai, Chang Hong, Gao Shi-qi, Zhao Ying, Ji Ri-qin, Feng Hui. 2017. Technical system construction of *Plasmodiophora brassicae* single-spore isolation and identification of *Plasmodiophora brassicae* in Shenyang area. Acta Horticulturae Sinica, 44 (12): 2383 - 2390. (in Chinese)
- 刘一凡, 王 赛, 常 虹, 高诗琪, 赵 颖, 冀瑞琴, 冯 辉. 2017. 芸薹根肿菌单孢分离技术体系构建及沈阳地区根肿菌的鉴定. 园艺学报, 44 (12): 2383 - 2390.
- Peng Sha-sha, Ren Zuo-hua, Huang Xiao-li, Liu Min-jie, Sun Liang-fei, Liu Er-ming. 2013. Physiological race identification of *Plasmodiophora brassicae*. Changjiang Vegetables, (6): 46 - 49. (in Chinese)
- 彭沙沙, 任佐华, 黄小莉, 刘敏捷, 孙良菲, 刘二明. 2013. 湖南十字花科作物根肿病菌生理小种鉴定. 长江蔬菜, (6): 46 - 49.
- Shen Xiang-qun, Nie Kai, Wu Qiong, Zhang Yu-guang, Meng Xing-he. 2009. Initial research report on differentiation identification of Chinese cabbage clubroot main physiological races. China Vegetables, (8): 59 - 62. (in Chinese)
- 沈向群, 聂 凯, 吴 琼, 张玉光, 孟星河. 2009. 大白菜根肿病主要生理小种种群分化鉴定初报. 中国蔬菜, (8): 59 - 62.
- Williams P H. 1966. A system for the determination of races of *Plasmodiophora brassicae* that infect cabbage and rutabaga. Phytopathology, 56: 624 - 626.
- Wu Jian-xiong. 2013. Identification of physiological race and genetic diversity of *Plasmodiophora brassicae* Wor. in Hubei Province[M. D. Dissertation]. Wuhan: Huazhong Agricultural University. (in Chinese)
- 吴健雄. 2013. 湖北省十字花科根肿病菌生理小种鉴定及遗传多样性分析[硕士论文]. 武汉: 华中农业大学.
- Yang Geng-bin. 2014. Resistance analysis of breeding lines to northern corn leaf blight and identification of *Exserohilum turcicum* races in northern of Heilongjiang Province[M. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. (in Chinese)
- 杨耿斌. 2014. 黑龙江省北部玉米大斑病菌小种鉴定与育种材料抗大斑病特性分析[硕士论文]. 北京: 中国农业科学院.
- Zhao Yang, Bai Yuan-jun, Miao Ze-yan, Li Ying, Zhao Kui-hua. 2013. Identification of physiological races of *Plasmodiophora brassicae* causing club root in Chinese cabbage from Northeast China. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science Edition), 39 (2): 176 - 178. (in Chinese)
- 赵 杨, 白元俊, 苗则彦, 李 颖, 赵奎华. 2013. 东北地区大白菜根肿病菌生理小种鉴定. 湖南农业大学学报(自然科学版), 39 (2): 176 - 178.
- Zhou Na, Lu Jing-wei, Zheng Yang, Hu Yan, Tao Wei-lin. 2018. Research progress on the genetics of resistance and disease-resistant breeding of cruciferous vegetable clubroot. Vegetables, (2): 19 - 23. (in Chinese)
- 周 娜, 陆景伟, 郑 阳, 胡 燕, 陶伟林. 2018. 十字花科蔬菜根肿病抗性遗传及抗病育种研究进展. 蔬菜, (2): 19 - 23.