

# 江西省油菜根肿菌小种鉴定与油菜品种抗性分析

黄蓉<sup>1</sup>, 胡建坤<sup>1</sup>, 黄瑞荣<sup>1\*</sup>, 华菊玲<sup>1</sup>, 檀根甲<sup>2</sup>, 丁云花<sup>3</sup>, 刘甫祥<sup>4</sup>

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所, 江西 南昌, 330200; 2. 安徽农业大学植物保护学院, 安徽 合肥, 230036; 3. 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京, 100097; 4. 龙南县农业局植保站, 江西 赣州, 341700)

**摘要:**明确江西省油菜根肿病菌类型及油菜品种对病害的抗性,对指导油菜生产及景区观光业的发展具有重要意义。为了探明油菜根肿病的分布及其病菌的致病性分化,于2011年至2016年持续对江西省油菜根肿病的地理分布进行调查,并对病区油菜根肿病株进行生理小种鉴定。结果表明,江西油菜根肿病主要分布在赣东北局部区域,致病菌为4号和9号生理小种,其中4号小种仅发现在赣东北区域分布。在4号和9号小种的病区分别设置田间病圃进行200余个油菜品种的抗性鉴定,结果表明,测试的全部油菜品种对9号小种表现抗病,而94.74%油菜品种对4号小种表现感病;萝卜籽花和59-013等12个品种对4号小种具中抗以上水平。本研究筛选到生理小种特异性的抗病资源或品种,可为油菜抗根肿病育种提供抗源。

**关键词:**油菜;景区观光;根肿菌;小种鉴定;抗性分析

**中图分类号:**S432.4+4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-9084(2019)04-0604-10

## Race identification of *Plasmodiophora brassicae* and resistance of rape varieties in Jiangxi Province

HUANG Rong<sup>1</sup>, HU Jian-kun<sup>1</sup>, HUANG Rui-rong<sup>1\*</sup>, HUA Ju-lin<sup>1</sup>, TAN Gen-jia<sup>2</sup>, DING Yun-hua<sup>3</sup>, LIU Fu-xiang<sup>4</sup>  
(1. Institute of Plant Protection, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang 330200, China; 2. School of Plant Protection, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 4. Plant Protection Station, Agriculture Bureau of Longnan County, Ganzhou 341700, China)

**Abstract:** To improve production of rapeseed and development of scenic spots in Jiangxi Province, distribution of rape clubroot (by *Plasmodiophora brassicae*) and its pathogenic differentiation had been investigated from 2011 to 2016. Results showed that the disease was mainly distributed in the local area of northeast Jiangxi. Race 4 and 9 of *P. brassicae* in the clubroot rape were collected in different years. Identification showed that Race 4 was only found in the northeast of Jiangxi. More than 200 rape cultivars and lines were artificial inoculated in fields of disease nurseries. Results showed that all materials were resistant to Race 9, but 94.74% were susceptible to Race 4. Only 12 varieties, including Luobozihua and 59-013, showed medium resistance to Race 4. These results supplied race-specific resistant resources for breeding.

**Key words:** rape; scenic spots; *Plasmodiophora brassicae*; race identification; resistance analysis

由芸薹根肿菌(*Plasmodiophora brassicae* Woron)引起的十字花科根肿病是一种重要的世界性植物病害。我国根肿病分布区域较广,大部分省市十字花科作物种植区均有分布<sup>[1,2]</sup>,而油菜根肿病主要分布在四川、云南、安徽、湖北等地<sup>[3]</sup>。江西省最早在1955年报道有根肿病发生<sup>[4]</sup>,如今几乎遍布各县

(市),主要感病作物为大白菜、小白菜、紫菜薹等十字花科蔬菜,但油菜根肿病并不多见。2011年,江西省油菜根肿病首次在婺源李坑风景区发现,至今婺源、浮梁和上饶等县局部区域发生,并有扩散蔓延之趋势。油菜根肿病的发生不仅影响到油菜产业的发展,对婺源县5A级景区油菜观赏的持续效应

收稿日期:2018-11-14

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(201003029);江西省科研院所基础设施配套项目(20151BBA13034);江西省重点研究计划(20161ACF60015);江西省科技支撑计划(20151BBF60068)

作者简介:黄蓉(1983-),女,副研究员,博士,从事植物病害防治研究,E-mail:huangrong8229@163.com

\* 通讯作者:黄瑞荣(1964-),男,研究员,主要从事植物病害防治研究,E-mail: huangruirong073@163.com

也带来了潜在的高风险。

Honig 在 1931 年报道了芸薹根肿菌存在生理小种的差异<sup>[5]</sup>。Williams 于 1965 年提出以两个结球甘蓝品种 (Jersey Queen 和 Badger Shipper) 和两个芜菁甘蓝品种 (Laurentian 和 Wilhelmsburger) 为鉴别寄主的生理小种鉴别系统<sup>[6]</sup>。季海雯等人采用 Williams 法对采自湖北、安徽、云南、四川的 19 个油菜根肿病菌进行生理小种鉴定, 鉴定出 2 号、4 号和 13 号生理小种<sup>[3]</sup>。费维新等人从分离自安徽、四川、云南、湖北、贵州、湖南等 6 个省病区的 14 个油菜根肿病菌菌株中鉴定出 2、4、5、7 号生理小种<sup>[7]</sup>。明确江西省油菜根肿病菌类型及油菜品种对病害的抗性, 对指导作物生产及景区观光业的发展具有重要意义。

前期研究表明江西省十字花科蔬菜根肿病菌存在致病性分化, 鉴定出不同的生理小种<sup>[8]</sup>。为了探明油菜根肿病的分布及其病菌的致病性分化, 我们于 2011 年至 2016 年持续对江西省油菜根肿病的地理分布进行了调查, 并在病区采集油菜根肿病株, 鉴定病菌的生理小种; 在已知病菌小种的病区设置田间病圃, 鉴定油菜品种的抗性, 并随机选择部分油菜品种人工接种 4 号和 9 号根肿病菌生理小种, 对比分析油菜品种对不同小种的抗性结果, 筛选生理小种特异性的抗病资源或品种, 为油菜抗根肿病育种提供抗源, 同时为根肿病防治提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

1.1.1 供试菌株 油菜根肿病菌生理小种参与鉴定的菌株样本共计 23 份, 其中采集于江西省赣东北的婺源县、上饶县和浮梁县的菌株 21 份、采集于江西省南昌县的病株 2 份 (田块为蔬菜根肿病重发区播种油菜而感染)。人工接种鉴定采用的菌株为 XT-3 (2015 年采集于江西省婺源县溪头乡) 和 LT-8 (2013 年采集于江西省南昌县莲塘镇)。两菌株经 Williams 根肿病菌鉴别系统鉴定, 分别为 4 号和 9 号生理小种。将两参试菌株接种高感根肿病的小白菜苏州青, 扩繁接种体肿根。收集各自繁殖的肿根, 保存于 -20℃ 冰箱中备用。菌种保存时间, 9 号小种 1~2 年, 4 号小种 1 年之内。

1.1.2 试验品种 根肿病菌生理小种鉴别寄主采用 Williams 鉴别系统, 4 个鉴别寄主均由沈阳农业大学沈向群教授惠赠。参鉴油菜品种均属甘蓝型油菜。2013-2014 年, 分别为油菜全国区试品种、江西省主栽品种、江西省农业科学院作物所选育的新品种与育种中间材料, 共计 63 份; 2015-2016 年, 参鉴油菜品种分别为江西省农业科学院作物研究所选育的新品种及育种中间材料, 江西主栽品种, 共计 228 份。供试品种主要由江西省农业科学院作物研究所提供, 部分油菜品种为市售 (表 1)。品种抗性鉴定中, 感病对照 (CK) 品种为小白菜 (四季上海青)。

表 1 供试品种及来源

Table 1 List of varieties and their sources

| 年份   | 编号   | 品种                            | 编号     | 品种                      | 编号   | 品种                        | 编号   | 品种                     |
|------|------|-------------------------------|--------|-------------------------|------|---------------------------|------|------------------------|
| Year | Code | Cultivar                      | Number | Cultivar                | Code | Cultivar                  | Code | Cultivar               |
| 2013 | 1    | H 1675                        | 7      | 2011jxq2                | 13   | 龙油 668<br>Longyou 668     | 19   | DT 142                 |
|      | 2    | 清齐油 4 号<br>Qingqiyou 4        | 8      | JH 16                   | 14   | 08-6                      | 20   | F 1103                 |
|      | 3    | D 0241                        | 9      | 中油杂 2 号<br>Zhongyouza 2 | 15   | gM 035                    | 21   | 丰油杂 88<br>Fengyouza 88 |
|      | 4    | 嘉油 1 号<br>Jiayou 1            | 10     | gM 049                  | 16   | gM 006                    | 22   | DT 138                 |
|      | 5    | 0709                          | 11     | gM 001                  | 17   | GSPP                      | 23   | 杂 363<br>Za 363        |
|      | 6    | JH 26                         | 12     | 11611                   | 18   | 清贵油 201<br>Qingguiyou 201 |      |                        |
| 2014 | 24   | 2012P 兰 3 母<br>2012P Lan 3 mu | 34     | J 杂 2336<br>J za 2336   | 44   | 丰油 730<br>Fengyou 730     | 54   | 蓉优 10 号<br>Rongyou 10  |

续表

| 年份   | 编号     | 品种                             | 编号     | 品种                     | 编号    | 品种                       | 编号    | 品种                    |
|------|--------|--------------------------------|--------|------------------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------|
| Year | Code   | Cultivar                       | Number | Cultivar               | Code  | Cultivar                 | Code  | Cultivar              |
|      | 25     | AM-013                         | 35     | 9M001(9M050)           | 45    | 南油杂1号<br>Nanyouza 1      | 55    | 油研50<br>Youyan 50     |
|      | 26     | H1675                          | 36     | 中11P50<br>Zhong 11P50  | 46    | 华湘油12号<br>Huaxiangyou 12 | 56    | 湘油15号<br>Xiangyou 15  |
|      | 27     | 华2011-崇22<br>Hua 2011-chong 22 | 37     | IM053                  | 47    | 华油杂13号<br>Huayouza 13    | 57    | 中双9号<br>Zhongshuang 9 |
|      | 28     | HSR302                         | 38     | RS1009                 | 48    | 中双11号<br>Zhongshuang 11  | 58    | 华油杂9号<br>Huayouza 9   |
|      | 29     | 中油杂2号<br>Zhongyouza 2          | 39     | 19-111                 | 49    | 德杂油18<br>Dezayou 18      | 59    | 德油5号<br>Deyou 5       |
|      | 30     | 1234112江西<br>1234112 Jiangxi   | 40     | 19-113                 | 50    | 创油杂5号<br>Chuangyouza 5   | 60    | 华油杂62<br>Huayouza 62  |
|      | 31     | 11611                          | 41     | 浙油50<br>Zheyou 50      | 51    | 华赣油1号<br>Huaganyou 1     | 61    | 浔油8号<br>Xunyou 8      |
|      | 32     | 大地38<br>Dadi 38                | 42     | 中油杂12<br>Zhongyouza 12 | 52    | 华油杂14号<br>Huayouza 14    | 62    | 湘杂油2号<br>Xiangzayou 2 |
|      | 33     | 杂363<br>Za 363                 | 43     | 南油68<br>Nanyou 68      | 53    | 秦优七号<br>Qinyou 7         | 63    | 沪油21<br>Huyou 21      |
| 2015 | 64     | 49-001                         | 104    | A-01                   | 144   | 4v110                    | 184   | 4v174                 |
|      | 65     | 49-002                         | 105    | A-02                   | 145   | 4v111                    | 185   | 4v177                 |
|      | 66     | 49-003                         | 106    | A-03                   | 146   | 4v112                    | 186   | 4v180                 |
|      | 67     | 49-004                         | 107    | A-04                   | 147   | 4v113                    | 187   | 4v184                 |
|      | 68     | 49-005                         | 108    | A-05                   | 148   | 4v114                    | 188   | 4v186                 |
|      | 69     | 49-006                         | 109    | A-06                   | 149   | 4v115                    | 189   | 4v187                 |
|      | 70     | 49-007                         | 110    | A-07                   | 150   | 4v116                    | 190   | 4v188                 |
|      | 71     | 49-008                         | 111    | A-08                   | 151   | 4v117                    | 191   | 4v189                 |
|      | 72     | 49-009                         | 112    | A-09                   | 152   | 4v118                    | 192   | 4v190                 |
|      | 73     | 49-010                         | 113    | A-10                   | 153   | 4v119                    | 193   | 4v191                 |
|      | 74     | 49-011                         | 114    | A-11                   | 154   | 4v120                    | 194   | 4v192                 |
|      | 75     | 49-013                         | 115    | A-12                   | 155   | 4v121                    | 195   | 4v194                 |
|      | 76     | 49-014                         | 116    | B-01                   | 156   | 4v122                    | 196   | 4v195                 |
|      | 77     | 49-015                         | 117    | B-02                   | 157   | 4v124                    | 197   | 4v196                 |
|      | 78     | 49-016                         | 118    | B-03                   | 158   | 4v125                    | 198   | 4v197                 |
|      | 79     | 49-017                         | 119    | B-04                   | 159   | 4v126                    | 199   | 4v198                 |
|      | 80     | 49-018                         | 120    | B-05                   | 160   | 4v127                    | 200   | 4v199                 |
|      | 81     | 49-019                         | 121    | B-06                   | 161   | 4v128                    | 201   | 4v200                 |
|      | 82     | 49-020                         | 122    | B-07                   | 162   | 4v129                    | 202   | 4v201                 |
|      | 83     | 49-021                         | 123    | B-08                   | 163   | 4v130                    | 203   | 4v202                 |
|      | 84     | 49-022                         | 124    | B-09                   | 164   | 4v131                    | 204   | 4v203                 |
| 85   | 49-023 | 125                            | B-10   | 165                    | 4v132 | 205                      | 4v204 |                       |
| 86   | 49-024 | 126                            | B-11   | 166                    | 4v134 | 206                      | 4v205 |                       |
| 87   | 49-025 | 127                            | B-12   | 167                    | 4v136 | 207                      | 4v206 |                       |
| 88   | 49-026 | 128                            | C01    | 168                    | 4v137 | 208                      | 4v207 |                       |
| 89   | 49-028 | 129                            | C02    | 169                    | 4v139 | 209                      | 4v208 |                       |
| 90   | 49-029 | 130                            | C03    | 170                    | 4v140 | 210                      | 4v210 |                       |
| 91   | 49-030 | 131                            | C04    | 171                    | 4v144 | 211                      | 4v211 |                       |
| 92   | 49-031 | 132                            | C05    | 172                    | 4v156 | 212                      | 4v212 |                       |
| 93   | 49-032 | 133                            | C06    | 173                    | 4v157 | 213                      | 4v213 |                       |

续表

| 年份   | 编号   | 品种       | 编号     | 品种       | 编号   | 品种       | 编号   | 品种                           |
|------|------|----------|--------|----------|------|----------|------|------------------------------|
| Year | Code | Cultivar | Number | Cultivar | Code | Cultivar | Code | Cultivar                     |
|      | 94   | 49-033   | 134    | C07      | 174  | 4v158    | 214  | 4v214                        |
|      | 95   | 49-034   | 135    | C08      | 175  | 4v159    | 215  | 4v215                        |
|      | 96   | 49-035   | 136    | C09      | 176  | 4v160    | 216  | 4v216                        |
|      | 97   | 49-036   | 137    | C10      | 177  | 4v161    | 217  | 4v217                        |
|      | 98   | 49-037   | 138    | 4v104    | 178  | 4v162    | 218  | 4v218                        |
|      | 99   | 49-038   | 139    | 4v105    | 179  | 4v163    | 219  | 4v236                        |
|      | 100  | 49-039   | 140    | 4v106    | 180  | 4v167    | 220  | 4v233                        |
|      | 101  | 49-040   | 141    | 4v107    | 181  | 4v168    |      |                              |
|      | 102  | 49-041   | 142    | 4v108    | 182  | 4v169    |      |                              |
|      | 103  | 49-042   | 143    | 4v109    | 183  | 4v170    |      |                              |
|      | 221  | 5K001    | 239    | 5K45     | 257  | 5K95     | 275  | 59-016                       |
|      | 222  | 5K002    | 240    | 5K46     | 258  | 5K101    | 276  | 萝卜籽花<br>Luobozihua           |
| 2016 | 223  | 5K004    | 241    | 5K53     | 259  | 5K104    | 277  | 9号 No.9                      |
|      | 224  | 5K005    | 242    | 5K58     | 260  | 59-001   | 278  | 赣两优5号<br>Ganliangyou 5       |
|      | 225  | 5K006    | 243    | 5K59     | 261  | 59-002   | 279  | T2159                        |
|      | 226  | 5K008    | 244    | 5K63     | 262  | 59-003   | 280  | 浙优201<br>Zheyou 201          |
|      | 227  | 5K010    | 245    | 5K64     | 263  | 59-004   | 281  | 宜油25<br>Yiyou 25             |
|      | 228  | 5K016    | 246    | 5K65     | 264  | 59-005   | 282  | 丰油730<br>Fengyou 730         |
|      | 229  | 5K021    | 247    | 5K66     | 265  | 59-006   | 283  | 德泽油9号<br>Dezeyou 9           |
|      | 230  | 5K022    | 248    | 5K69     | 266  | 59-007   | 284  | 泮油737<br>Fengyou 737         |
|      | 231  | 5K023    | 249    | 5K71     | 267  | 59-008   | 285  | 泮油5103<br>Fengyou 5103       |
|      | 232  | 5K024    | 250    | 5K72     | 268  | 59-009   | 286  | 宁杂11号<br>Ningza 11           |
|      | 233  | 5K026    | 251    | 5K80     | 269  | 59-010   | 287  | 平头4号<br>Pingtou 4            |
|      | 234  | 5K028    | 252    | 5K82     | 270  | 59-011   | 288  | 中农油2008<br>Zhongnongyou 2008 |
|      | 235  | 5K032    | 253    | 5K83     | 271  | 59-012   | 289  | 绿油杂3号<br>Lvyouza 3           |
|      | 236  | 5K034    | 254    | 5K84     | 272  | 59-013   | 290  | 泮油520<br>Fengyou 520         |
|      | 237  | 5K035    | 255    | 5K86     | 273  | 59-014   | 291  | 纯玉油1号<br>Chunwangyou 1       |
|      | 238  | 5K43     | 256    | 5K88     | 274  | 59-015   |      |                              |

注:编号:1~227,为江西省农业科学院旱作物研究所提供;编号:278~291,为市售

Note: 1-227: materials from the Institute of Upland Crops Jiangxi Academy of Agricultural Sciences; 278-291: from the market

## 1.2 方法

1.2.1 油菜根肿病调查与病菌生理小种鉴定  
2011年~2015年,针对江西省南昌市、抚州市、吉安

市、赣州市、九江市、上饶市、鹰潭市、景德镇市、宜春市等辖区的部分县市油菜种植区进行根肿病调查,并收集疫区油菜根肿病株根组织。采用 Wil-

liams 根肿菌生理小种鉴别寄主系统及菌土接种法<sup>[8]</sup>,对从江西省赣东北地区的婺源县、上饶县、浮梁县油菜根肿病区收集到的21份油菜根肿病根组织,及江西南昌蔬菜根肿病区采集的2份油菜根肿病根组织,进行致病菌生理小种的鉴定。2011年-2013年采集的根肿菌株于2013年进行鉴定;2014年-2015年采集的菌株均于当年鉴定。取保存于-20℃冰箱中的各参鉴油菜根肿菌株进行匀浆,双层纱布过滤,配制成含有 $2.4 \times 10^6$ /mL的休眠孢子菌液,将200mL菌液加入到600g已灭菌的育苗基质中,搅拌均匀,24℃避光密封发酵48h。将灭菌的育苗基质装入塑料秧盘(60cm×40cm×15cm),浇足底水,实心棒打穴(深5cm直径3cm),置菌土于穴中,每盘40穴,每穴播3~5粒植物种子。每菌株接种1盘,并播种一套鉴别寄主及小白菜感病对照品种苏州青,每品种播8穴。生长温度20~25℃。试验重复3次。接种50d后调查统计病情指数并按照鉴别系统分类法进行小种分类<sup>[9]</sup>。

**1.2.2 油菜品种自然病圃抗性测定** 2013年、2014年和2016年,在南昌县十字花科蔬菜根肿病菌9号小种疫区病田(经提取菌土和作物病组织中的病菌鉴定均为9号生理小种)设立田间自然病圃,在病圃中分别播种油菜供试品种;2015年和2016年,在婺源县溪头乡桃源村根肿病菌4号小种疫区病田(经提取菌土和作物病组织中的病菌鉴定均为4号生理小种)设立病圃,分别播种油菜供试品种。试验于每年的9-12月进行,9月下旬或10月上中旬播种,每个品种播种3行,留苗30~50株/行,设3次重复,小区随机区组排列。

**1.2.3 油菜品种抗根肿病人工接种鉴定** 接种体制备:取保存于-20℃冰箱中的4号和9号根肿病菌生理小种的繁殖体肿根,融冰后捣碎匀浆,将滤液配制成 $2.4 \times 10^6$ /mL的休眠孢子菌液供配制接种菌土备用。接种方法同1.2.1。

2016年,从南昌和婺源两病圃参试的71个油菜品种中随机选取13个品种,进行人工接种4号和9号生理小种的抗性鉴定,每个品种播种2盘,分别播种在4号和9号小种接种菌土的秧盘中,重复3次。试验于每年9月-11月在江西省农业科学院植物保护研究所的试验基地的玻璃温室中进行,油菜苗生长温度20~25℃。

**1.2.4 抗性鉴定病情调查** 田间病圃于寄主出苗后60d进行调查,人工接种的于寄主出苗后50d进行调查,调查各品种所有植株的根部病情。

病情指数 =  $[\sum(\text{各级发病株数} \times \text{级数}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高病情级数})] \times 100$

比率(%) =  $(\text{同一抗性反应型的品种数} / \text{同种作物参鉴品种数}) \times 100$

抗病性鉴定的病情分级和品种抗病性的划分参见十字花科蔬菜抗根肿病鉴定技术规范(DB36/T765-2013)。

病情分级标准:0级,根系正常,无肿瘤;1级,侧根有小肿瘤;3级,主根肿大,其直径小于2倍茎基部;5级,主根肿大,其直径是茎基部的2~3倍;7级,主根肿大,其直径是茎基部的3~4倍;9级,主根肿大,其直径是茎基部的4倍以上或肿大的根部出现变黑。

抗性评价标准:高抗(HR),病情指数 $\leq 5$ ;抗(R), $5 < \text{病情指数} \leq 10$ ;中抗(MR), $10 < \text{病情指数} \leq 20$ ;中感(MS), $20 < \text{病情指数} \leq 30$ ;感(S), $30 < \text{病情指数} \leq 50$ ;高感(HS),病情指数 $> 50$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 油菜根肿病疫区与病原菌生理小种鉴定

江西省油菜根肿病疫区分布情况抽样调查结果显示,自2011年油菜根肿病在婺源县发现以来,该病已扩展到景德镇的浮梁和上饶县等赣东部分县市的局部区域。病情由最初李坑景区个别田块零星发生,到2014年婺源县溪头乡桃源村油菜根肿病成片发生,并出现死苗现象,部分田块绝收。重病区田间病株率达90%以上,病株病级多在7~9级。江西省十字花科蔬菜根肿病分布广泛,但除赣东部分区域外,油菜根肿病在其它县市通常极少发生。南昌县十字花科蔬菜根肿病重发区设立田间病圃,播种在病圃中的油菜多数品种不发病,少数品种的个别植株可偶发根肿病,病株病级低,多为1~3级。通常情况下蔬菜根肿病区油菜根肿病一般不发生。

病原菌生理小种鉴定结果见表2。参鉴的23个根肿菌株鉴定出4号和9号小种,其中2011年采集于婺源县的2个菌株鉴定为9号小种,菌株来源于白菜型油菜;2013年采集于南昌的2个菌株为9号小种,菌株来源于甘蓝型油菜;2014年至2015年采集于婺源、上饶和景德镇的19个菌株均为4号小种,菌株来源于甘蓝型油菜。

### 2.2 油菜根肿病品种抗性田间病圃鉴定

**2.2.1 油菜品种在9号小种病圃抗性鉴定** 南昌县9号小种病圃,2013年播种油菜23个品种,抗性

表2 油菜根肿菌生理小种鉴定结果  
Table 2 Identification of physiological race of *Plasmodiophora brassicae*

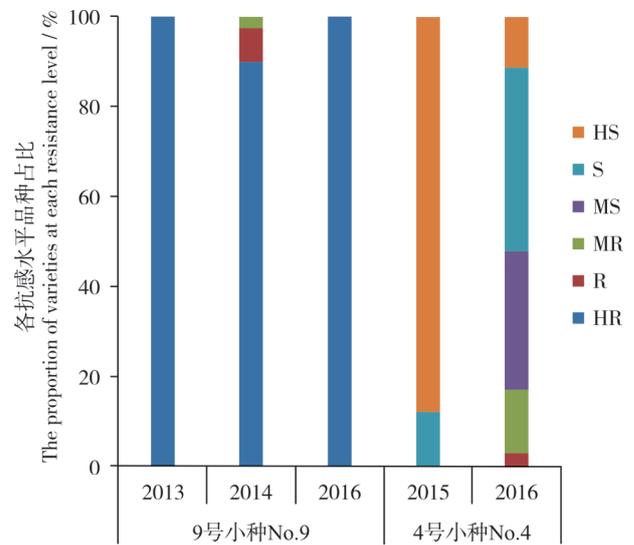
| 采集年 Year | 采集地 Place      | 菌株数 Number of strain | 小种 Race |
|----------|----------------|----------------------|---------|
| 2011     | 婺源 Wuyuan      | 2                    | 9       |
| 2013     | 南昌 Nanchang    | 2                    | 9       |
| 2014     | 婺源 Wuyuan      | 8                    | 4       |
| 2015     | 上饶 Shangrao    | 3                    | 4       |
| 2015     | 婺源 Wuyuan      | 5                    | 4       |
| 2015     | 景德镇 Jingdezhen | 3                    | 4       |

水平均表现为高抗。2014年播种油菜40个品种,除中11P50品种在病圃抗性表现为中抗外,其余品种均表现为抗病或高抗(图1、表3)。由此可见,油菜品种多数对9号小种具有中抗以上的抗性水平。

2.2.2 4号小种病圃抗性鉴定 鉴于2014年婺源县溪头乡油菜根肿病的严重发生,采集病样并鉴定为4号生理小种,2015年在溪头乡桃源村设置了油菜根肿病田间自然病圃,鉴定了157个油菜品种与育种材料的田间抗性。从结果可知,参试的油菜品种无抗病类型,除49-018为中感外,其余品种均为高感或感病,且高感占多数,比率达87.9%(图1、表3)。这与9号小种区域多数品种表现为抗病的结果截然相反。

2.2.3 4号小种和9号小种病圃抗性比较试验 鉴于不同区域、不同年份油菜品种抗根肿病鉴定结果出现显著差异,2016年收集了71个油菜品种,分别在南昌县和婺源县两个病圃同时播种进行抗病性鉴定试验。从表4可以看出,参试的油菜品种在南昌病圃的抗性表现依然为抗病,未发现病株。婺源病圃的抗性则出现分化,萝卜籽花等12个品种为抗病或中抗,其余59个品种为中感至高感,其中抗病、中抗、中感、感病和高感的油菜品种分别有2、10、22、29和8个,比率分别为3%、14%、31%、41%、

11%,抗病类型占比17%,感病类型占比83%(图1、表4)。田间病圃对比试验,重现并印证了油菜品种在9号小种区域种植总体表现为抗病,而在4号小种区域种植则多表现为感病的前期研究结果。



注:HS:高感;S:感病;MS:中度感病;MR:中度抗病;R:抗病;HR:高抗  
Note: HS: highly susceptible; S: susceptible; MS: medium susceptible; MR: medium resistant; R: resistant; HR: highly resistant

图1 田间抗性鉴定结果抗感水平统计

Fig. 1 Statistics of field resistance identification results at each resistance level

表3 田间病圃抗性鉴定结果(2013-2015)

Table 3 Result of field resistance identification (2013-2015)

| 编号<br>Code   | DI   | 抗感等级<br>Resistance | 编号<br>Code | DI   | 抗感等级<br>Resistance | 编号<br>Code | DI    | 抗感等级<br>Resistance |
|--|------|--------------------|------------|------|--------------------|------------|-------|--------------------|
| 2013年(9号小种病圃) In the disease nursery of race 9 in 2013 |      |                    |            |      |                    |            |       |                    |
| 1  | 0.00 | HR                 | 9          | 1.90 | HR                 | 17         | 0.00  | HR                 |
| 2  | 1.67 | HR                 | 10         | 0.00 | HR                 | 18         | 0.00  | HR                 |
| 3  | 3.33 | HR                 | 11         | 0.00 | HR                 | 19         | 0.00  | HR                 |
| 4  | 0.00 | HR                 | 12         | 0.00 | HR                 | 20         | 0.00  | HR                 |
| 5  | 0.00 | HR                 | 13         | 0.00 | HR                 | 21         | 0.00  | HR                 |
| 6  | 0.00 | HR                 | 14         | 0.00 | HR                 | 22         | 0.00  | HR                 |
| 7  | 1.45 | HR                 | 15         | 0.00 | HR                 | 23         | 0.00  | HR                 |
| 8  | 0.00 | HR                 | 16         | 0.00 | HR                 | CK         | 45.30 | S                  |

续表

| 编号<br>Code   | DI    | 抗感等级<br>Resistance | 编号<br>Code | DI     | 抗感等级<br>Resistance | 编号<br>Code | DI     | 抗感等级<br>Resistance |
|--|-------|--------------------|------------|--------|--------------------|------------|--------|--------------------|
| 2014年(9号小种病圃)In the disease nursery of race 9 in 2014  |       |                    |            |        |                    |            |        |                    |
| 24   | 0.65  | HR                 | 38         | 2.47   | HR                 | 52         | 0.00   | HR                 |
| 25   | 1.71  | HR                 | 39         | 0.00   | HR                 | 53         | 0.00   | HR                 |
| 26   | 7.04  | R                  | 40         | 2.47   | HR                 | 54         | 0.00   | HR                 |
| 27   | 2.73  | HR                 | 41         | 0.65   | HR                 | 55         | 0.00   | HR                 |
| 28   | 0.65  | HR                 | 42         | 0.65   | HR                 | 56         | 0.65   | HR                 |
| 29   | 4.60  | HR                 | 43         | 0.00   | HR                 | 57         | 0.00   | HR                 |
| 30   | 3.03  | HR                 | 44         | 0.00   | HR                 | 58         | 0.00   | HR                 |
| 31   | 7.29  | R                  | 45         | 0.00   | HR                 | 59         | 0.00   | HR                 |
| 32   | 2.73  | HR                 | 46         | 0.00   | HR                 | 60         | 0.00   | HR                 |
| 33   | 3.03  | HR                 | 47         | 0.65   | HR                 | 61         | 0.00   | HR                 |
| 34   | 0.00  | HR                 | 48         | 0.00   | HR                 | 62         | 0.00   | HR                 |
| 35   | 5.08  | R                  | 49         | 0.00   | HR                 | 63         | 1.28   | HR                 |
| 36   | 11.97 | MR                 | 50         | 0.00   | HR                 | CK         | 45.40  | S                  |
| 37   | 0.00  | HR                 | 51         | 0.65   | HR                 |            |        |                    |
| 2015年(4号小种病圃) In the disease nursery of race 4 in 2015 |       |                    |            |        |                    |            |        |                    |
| 64   | 65.74 | HS                 | 117        | 56.57  | HS                 | 170        | 84.44  | HS                 |
| 65   | 34.44 | S                  | 118        | 70.63  | HS                 | 171        | 87.88  | HS                 |
| 66   | 50.00 | HS                 | 119        | 60.68  | HS                 | 172        | 81.82  | HS                 |
| 67   | 70.00 | HS                 | 120        | 71.85  | HS                 | 173        | 95.06  | HS                 |
| 68   | 53.09 | HS                 | 121        | 69.05  | HS                 | 174        | 34.26  | S                  |
| 69   | 70.37 | HS                 | 122        | 82.91  | HS                 | 175        | 85.19  | HS                 |
| 70   | 87.65 | HS                 | 123        | 59.26  | HS                 | 176        | 52.38  | HS                 |
| 71   | 77.78 | HS                 | 124        | 43.06  | S                  | 177        | 60.00  | HS                 |
| 72   | 76.92 | HS                 | 125        | 38.89  | S                  | 178        | 50.00  | HS                 |
| 73   | 43.33 | S                  | 126        | 69.70  | HS                 | 179        | 82.22  | HS                 |
| 74   | 75.56 | HS                 | 127        | 69.44  | HS                 | 180        | 46.67  | S                  |
| 75   | 55.56 | HS                 | 128        | 46.67  | S                  | 181        | 94.44  | HS                 |
| 76   | 87.65 | HS                 | 129        | 59.26  | HS                 | 182        | 62.96  | HS                 |
| 77   | 56.41 | HS                 | 130        | 38.19  | S                  | 183        | 95.06  | HS                 |
| 78   | 67.68 | HS                 | 131        | 51.85  | S                  | 184        | 71.43  | HS                 |
| 79   | 41.11 | S                  | 132        | 39.81  | S                  | 185        | 86.67  | HS                 |
| 80   | 24.69 | MS                 | 133        | 30.56  | S                  | 186        | 51.28  | HS                 |
| 81   | 44.44 | S                  | 134        | 57.58  | HS                 | 187        | 80.00  | HS                 |
| 82   | 46.91 | S                  | 135        | 68.63  | HS                 | 188        | 64.10  | HS                 |
| 83   | 75.00 | HS                 | 136        | 85.19  | HS                 | 189        | 100.00 | HS                 |
| 84   | 75.93 | HS                 | 137        | 63.49  | HS                 | 190        | 75.00  | HS                 |
| 85   | 88.89 | HS                 | 138        | 69.44  | HS                 | 191        | 61.62  | HS                 |
| 86   | 79.08 | HS                 | 139        | 88.89  | HS                 | 192        | 61.90  | HS                 |
| 87   | 79.80 | HS                 | 140        | 93.33  | HS                 | 193        | 77.78  | HS                 |
| 88   | 74.60 | HS                 | 141        | 77.78  | HS                 | 194        | 77.78  | HS                 |
| 89   | 42.22 | S                  | 142        | 100.00 | HS                 | 195        | 74.60  | HS                 |
| 90   | 95.56 | HS                 | 143        | 100.00 | HS                 | 196        | 65.08  | HS                 |
| 91   | 69.84 | HS                 | 144        | 100.00 | HS                 | 197        | 87.30  | HS                 |
| 92   | 57.58 | HS                 | 145        | 55.56  | HS                 | 198        | 77.78  | HS                 |
| 93   | 85.86 | HS                 | 146        | 88.89  | HS                 | 199        | 69.70  | HS                 |
| 94   | 87.18 | HS                 | 147        | 100.00 | HS                 | 200        | 87.30  | HS                 |
| 95   | 82.96 | HS                 | 148        | 88.89  | HS                 | 201        | 73.33  | HS                 |

续表

| 编号<br>Code | DI    | 抗感等级<br>Resistance | 编号<br>Code | DI     | 抗感等级<br>Resistance | 编号<br>Code | DI     | 抗感等级<br>Resistance |
|------------|-------|--------------------|------------|--------|--------------------|------------|--------|--------------------|
| 96         | 83.33 | HS                 | 149        | 94.44  | HS                 | 202        | 62.96  | HS                 |
| 97         | 57.58 | HS                 | 150        | 94.44  | HS                 | 203        | 92.59  | HS                 |
| 98         | 89.63 | HS                 | 151        | 100.00 | HS                 | 204        | 96.30  | HS                 |
| 99         | 57.04 | HS                 | 152        | 100.00 | HS                 | 205        | 86.11  | HS                 |
| 100        | 54.81 | HS                 | 153        | 100.00 | HS                 | 206        | 77.78  | HS                 |
| 101        | 87.88 | HS                 | 154        | 100.00 | HS                 | 207        | 69.44  | HS                 |
| 102        | 73.33 | HS                 | 155        | 73.33  | HS                 | 208        | 100.00 | HS                 |
| 103        | 79.01 | HS                 | 156        | 95.06  | HS                 | 209        | 96.30  | HS                 |
| 104        | 68.89 | HS                 | 157        | 88.89  | HS                 | 210        | 40.28  | S                  |
| 105        | 92.59 | HS                 | 158        | 95.06  | HS                 | 211        | 55.56  | HS                 |
| 106        | 85.19 | HS                 | 159        | 93.65  | HS                 | 212        | 92.59  | HS                 |
| 107        | 66.67 | HS                 | 160        | 95.06  | HS                 | 213        | 83.33  | HS                 |
| 108        | 79.37 | HS                 | 161        | 68.89  | HS                 | 214        | 37.04  | S                  |
| 109        | 62.63 | HS                 | 162        | 70.37  | HS                 | 215        | 57.41  | HS                 |
| 110        | 73.02 | HS                 | 163        | 72.22  | HS                 | 216        | 84.62  | HS                 |
| 111        | 94.87 | HS                 | 164        | 77.78  | HS                 | 217        | 77.78  | HS                 |
| 112        | 84.62 | HS                 | 165        | 77.78  | HS                 | 218        | 83.84  | HS                 |
| 113        | 42.42 | S                  | 166        | 97.78  | HS                 | 219        | 51.11  | HS                 |
| 114        | 92.59 | HS                 | 167        | 100.00 | HS                 | 220        | 60.61  | HS                 |
| 115        | 80.56 | HS                 | 168        | 81.48  | HS                 | CK         | 85.40  | HS                 |
| 116        | 68.25 | HS                 | 169        | 100.00 | HS                 |            |        |                    |

注:DI:病情指数;HS:高感;S:感病;MS:中度感病;MR:中度抗病;R:抗病;HR:高抗;下同

Note: DI: disease index; HS: highly susceptible; S: susceptible; MS: medium susceptible; MR: medium resistant; R: resistant; HR: highly resistant. Same as below

### 2.3 油菜根肿病品种抗性人工接种鉴定

2016年,从南昌和婺源两病圃参试的71个油菜品种中随机选取13个进行人工接种4号和9号小种,结果见表5。结果表明,13个油菜品种对9号小种均表现为抗病,对4号小种除萝卜籽花表现为抗病外,其余品种均表现感病或高感。这一结果与田间病圃鉴定结果趋于一致。由此可见,油菜品种多数具有抗9号小种而感4号小种的特性。

### 3 讨论

本文中采集到23个根肿病菌株,除2个菌株来自南昌外,其它菌株均来自于江西省赣东北部油菜产区,病原菌鉴定到4号和9号生理小种。9号生理小种在江西省十字花科蔬菜产区广泛分布,但4号生理小种目前仅在江西省油菜根肿病区出现,主要分布在赣东北部分县市局部区域。4号小种在赣东北油菜产区的出现,一方面存在繁育的油菜籽可能部分来源于根肿病4号小种区域,种子带菌传入;另一方面可能与观光产业的兴盛有关。婺源与黄山毗邻,黄山市辖区是油菜根肿病重要病区,也是4号小种分布的优势区域<sup>[9]</sup>,频繁往来的乡村观光客

可能把黄山的根肿病菌传入婺源;油菜花观光又助推病菌在赣东北油菜产区扩散蔓延。

不同年份不同地区病圃鉴定油菜品种抗性的结果表明,绝大多数油菜品种在9号小种病圃表现为抗性,在4号小种病圃则表现为感病。2015年-2016年,4号小种田间病圃鉴定油菜品种及育种材料共计228份,感病类型材料216份,占94.74%。以9号小种和4号小种的繁殖体接种参试油菜品种得到与病圃鉴定基本一致的结果。人工接种试验中病情指数有所偏低可能与接种菌株保存时间较长致病力下降有关,也可能接种条件仍需进一步优化。但感病对照品种抗感反应类型仍属于感病之列,其结果尚可作为抗性评价依据。9号小种经人工接种在特定环境条件下可使油菜少数品种有致病现象,但诱发病情轻微;4号小种对油菜致病性强,可使多数油菜品种感病。由此可见,9号小种对油菜致病性弱,对江西省油菜生产尚不构成威胁。江西省十字花科蔬菜根肿病以9号为优势小种<sup>[8]</sup>,大白菜、小白菜等根肿病可重度发生,但油菜根肿病除赣东北局部区域发生较普遍外,其它县市并不多见。这一结果与多数油菜品种具有感4号小种而抗

表4 油菜品种在不同生理小种病圃中抗性比较(2016)

Table 4 Resistance comparison of rape varieties in disease nurseries infected with different races (2016)

| 编号<br>Code | Race 9 |                    | Race 4 |                    | 编号<br>Code | Race 9 |                    | Race 4 |                    |
|------------|--------|--------------------|--------|--------------------|------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
|            | DI     | 抗感等级<br>Resistance | DI     | 抗感等级<br>Resistance |            | DI     | 抗感等级<br>Resistance | DI     | 抗感等级<br>Resistance |
| 221        | 0.0    | HR                 | 46.5   | S                  | 257        | 0.0    | HR                 | 23.8   | MS                 |
| 222        | 0.0    | HR                 | 57.4   | HS                 | 258        | 0.0    | HR                 | 31.0   | S                  |
| 223        | 0.0    | HR                 | 29.3   | MS                 | 259        | 0.0    | HR                 | 41.4   | S                  |
| 224        | 0.0    | HR                 | 49.7   | S                  | 260        | 0.0    | HR                 | 20.2   | MS                 |
| 225        | 0.0    | HR                 | 50.0   | S                  | 261        | 0.0    | HR                 | 25.3   | MS                 |
| 226        | 0.0    | HR                 | 42.8   | S                  | 262        | 0.0    | HR                 | 46.0   | S                  |
| 227        | 0.0    | HR                 | 46.0   | S                  | 263        | 0.0    | HR                 | 18.2   | MR                 |
| 228        | 0.0    | HR                 | 30.0   | MS                 | 264        | 0.0    | HR                 | 16.7   | MR                 |
| 229        | 0.0    | HR                 | 31.9   | S                  | 265        | 0.0    | HR                 | 41.4   | S                  |
| 230        | 0.0    | HR                 | 32.8   | S                  | 266        | 0.0    | HR                 | 34.2   | S                  |
| 231        | 0.0    | HR                 | 32.1   | S                  | 267        | 0.0    | HR                 | 41.8   | S                  |
| 232        | 0.0    | HR                 | 35.2   | S                  | 268        | 0.0    | HR                 | 29.4   | MS                 |
| 233        | 0.0    | HR                 | 58.6   | HS                 | 269        | 0.0    | HR                 | 42.9   | S                  |
| 234        | 0.0    | HR                 | 61.6   | HS                 | 270        | 0.0    | HR                 | 10.4   | MR                 |
| 235        | 0.0    | HR                 | 40.2   | S                  | 271        | 0.0    | HR                 | 22.2   | MS                 |
| 236        | 0.0    | HR                 | 59.1   | HS                 | 272        | 0.0    | HR                 | 9.5    | R                  |
| 237        | 0.0    | HR                 | 66.2   | HS                 | 273        | 0.0    | HR                 | 27.0   | MS                 |
| 238        | 0.0    | HR                 | 51.9   | HS                 | 274        | 0.0    | HR                 | 33.3   | S                  |
| 239        | 0.0    | HR                 | 70.0   | HS                 | 275        | 0.0    | HR                 | 34.0   | S                  |
| 240        | 0.0    | HR                 | 46.5   | S                  | 276        | 0.0    | HR                 | 6.7    | R                  |
| 241        | 0.0    | HR                 | 67.6   | HS                 | 277        | 0.0    | HR                 | 19.2   | MR                 |
| 242        | 0.0    | HR                 | 33.8   | S                  | 278        | 0.0    | HR                 | 20.5   | MS                 |
| 243        | 0.0    | HR                 | 41.9   | S                  | 279        | 0.0    | HR                 | 27.8   | MS                 |
| 244        | 0.0    | HR                 | 23.8   | MS                 | 280        | 0.0    | HR                 | 25.8   | MS                 |
| 245        | 0.0    | HR                 | 24.8   | MS                 | 281        | 0.0    | HR                 | 13.9   | MR                 |
| 246        | 0.0    | HR                 | 24.4   | MS                 | 282        | 0.0    | HR                 | 44.6   | S                  |
| 247        | 0.0    | HR                 | 28.3   | MS                 | 283        | 0.0    | HR                 | 13.9   | MR                 |
| 248        | 0.0    | HR                 | 25.2   | MS                 | 284        | 0.0    | HR                 | 43.1   | S                  |
| 249        | 0.0    | HR                 | 32.1   | S                  | 285        | 0.0    | HR                 | 29.5   | MS                 |
| 250        | 0.0    | HR                 | 16.0   | MR                 | 286        | 0.0    | HR                 | 25.5   | MS                 |
| 251        | 0.0    | HR                 | 24.3   | MS                 | 287        | 0.0    | HR                 | 30.0   | MS                 |
| 252        | 0.0    | HR                 | 18.5   | MR                 | 288        | 0.0    | HR                 | 20.1   | MS                 |
| 253        | 0.0    | HR                 | 22.2   | MS                 | 289        | 0.0    | HR                 | 44.4   | S                  |
| 254        | 0.0    | HR                 | 17.3   | MR                 | 290        | 0.0    | HR                 | 37.6   | S                  |
| 255        | 0.0    | HR                 | 13.7   | MR                 | 291        | 0.0    | HR                 | 31.1   | S                  |
| 256        | 0.0    | HR                 | 35.2   | S                  | CK         | 37.0   | S                  | 37.7   | S                  |

表5 人工接种抗性鉴定结果

Table 5 Result of resistance identification by artificial inoculation

| 编号<br>Code | Race 9 |                    | Race 4 |                    | 编号<br>Code | Race 9 |                    | Race 4 |                    |
|------------|--------|--------------------|--------|--------------------|------------|--------|--------------------|--------|--------------------|
|            | DI     | 抗感等级<br>Resistance | DI     | 抗感等级<br>Resistance |            | DI     | 抗感等级<br>Resistance | DI     | 抗感等级<br>Resistance |
| 226        | 0.0    | HR                 | 31.4   | S                  | 241        | 0.0    | HR                 | 31.8   | S                  |
| 227        | 0.0    | HR                 | 48.0   | S                  | 253        | 0.0    | HR                 | 35.3   | S                  |
| 233        | 0.0    | HR                 | 35.8   | S                  | 269        | 0.0    | HR                 | 51.8   | HS                 |
| 234        | 0.0    | HR                 | 39.5   | S                  | 276        | 0.0    | HR                 | 0.0    | HR                 |
| 236        | 0.0    | HR                 | 40.5   | S                  | 282        | 0.0    | HR                 | 64.4   | HS                 |
| 238        | 3.4    | HR                 | 38.0   | S                  | 290        | 0.0    | HR                 | 44.4   | S                  |
| 239        | 1.4    | HR                 | 32.2   | S                  | CK         | 38.9   | S                  | 46.8   | S                  |

9号小种的特性密切相关,4号小种的区域性分布是导致油菜根肿病区域发生的主要和直接原因。

鉴于4号小种对油菜安全生产带来的危害性,鉴定、筛选抗4号小种的油菜品种和种质是当前生产和抗病新品种选育的迫切需要。费维新等<sup>[7]</sup>在温室人工接种条件下,筛选到12份抗性资源对2号、4号和5号小种等表现出不同程度的抗性,其中抗性材料CR5对来自安徽休宁、黟县、广德和四川广汉的4号小种、安徽宁国2号小种和安徽绩溪5号小种均表现出完全的免疫抗性。本试验在婺源病圃中鉴定到对4号小种具有中抗以上水平抗性的油菜品种12份,其中萝卜籽花和59-013两份材料表现为抗病。由此可见,油菜种质及现有品种中存在抗4号小种的品种,但占比很小,这预示着油菜根肿病区利用抗病品种治理根肿病尚面临不小的压力与困难。令人欣慰的是我国油菜抗根肿病育种技术取得重大突破,通过远缘杂交和种质创新技术,已经育成了多个抗根肿病的优良品种<sup>[10,11]</sup>。华中农业大学将抗根肿病芜菁和大白菜中的优异抗根肿病资源通过远缘杂交技术导入优良油菜常规品种或优良杂交种亲本中,育成华双5R和华油杂62R两个抗根肿病油菜品种<sup>[12,13]</sup>,对根肿病4号小种具有免疫抗性。这对我国油菜根肿病的有效治理具有重要作用。

鉴于油菜根肿病菌存在致病性分化,油菜品种对不同生理小种的抗性存在显著差异,建议在研究鉴定油菜品种对根肿病的抗性时,最好能明确其对不同小种或当地优势小种的抗性,并探明抗病材料的遗传规律,为抗病品种的合理利用奠定基础,从而更好地发挥抗病品种在治理根肿病中的独特作用。

#### 参考文献:

[1] 杨佩文,李家瑞,杨勤忠,等.十字花科蔬菜根肿病

研究进展[J].植物保护,2002,28(5):43-45.

- [2] 王靖,黄云,李小兰,等.十字花科根肿病研究进展[J].植物保护,2011,37(6):153-158.
- [3] 季海雯,任莉,陈坤荣,等.油菜根肿病病原主要生理小种和品种抗病性鉴定[J].中国油料作物学报,2013,35(3):301-306.
- [4] 黄齐望,欧阳谅.江西十字花科根肿病的观察和防治意见[J].植物保护通讯,1955(8):1-4.
- [5] Honig F. Der Kohlkropferreger (*Plasmiodiophora brassicae* Wor.) Eine Monographie [M]. Springer, 1931.
- [6] Williams P H. A system for the determination of races of *Plasmiodiophora brassicae* that infect cabbage and rutabaga [J]. Phytopathology, 1966(6): 624-626.
- [7] 费维新, HWANG Sheau-fang, 王淑芬, 等. 根肿菌生理小种鉴定与甘蓝型油菜品种资源的抗性评价[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(5): 626-639.
- [8] 黄蓉, 胡建坤, 张景云, 等. 江西省蔬菜根肿病菌致病性分化研究[J]. 植物病理学报, 2017, 47(1): 133-137.
- [9] 汪春, 李凯旋, 彭衍彪, 等. 安徽油菜根肿病菌生理小种鉴定及品种抗病性评价[J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41(5): 772-776.
- [10] 王爱凡, 康雷, 李鹏飞, 等. 我国甘蓝型油菜远缘杂交和种质创新研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(5): 691-698.
- [11] Niemann J, Kaczmarek J, Książczyk T, et al. Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*): a valuable source of resistance to clubroot (*Plasmiodiophora brassicae*) [J]. Eur J Plant Pathol, 2017, 147(1): 181-198.
- [12] 战宗祥, 江莹芬, 朱紫媛, 等. 与位点 *PbBa<sub>8,1</sub>* 紧密连锁分子标记的开发及甘蓝型油菜根肿病抗性育种[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(6): 766-771.
- [13] 宁娇, 庞文星, 陈兵, 等. 基于大白菜近等基因系的抗根肿病 QTL *QS\_B3.1* 的验证[J]. 分子植物育种, 2015, 13(12): 2782-2787.

(责任编辑:郭学兰)