

# 松花菜种质资源评价及根肿病、黑斑病兼抗材料筛选

张小丽<sup>1</sup>, 文正华<sup>1</sup>, 柴阿丽<sup>2</sup>, 刘莉莉<sup>1</sup>, 姚星伟<sup>1</sup>, 江汉民<sup>1</sup>, 牛国保<sup>1</sup>, 孙德岭<sup>1</sup>, 单晓政<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>天津科润蔬菜研究所 / 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 300384;

<sup>2</sup>中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

**摘要:** 松花菜是目前我国花椰菜消费的主要类型。根肿病和黑斑病是直接影响松花菜产量及品质的重要病害。选育商品性好、高抗多抗品种是松花菜的主要育种目标之一。本研究首次建立了松花菜种质资源花球性状评价体系, 从花球紧实度、球形、球面光滑度、球面颜色、球面蕾粒大小、二级侧枝长度、花梗颜色、球面长毛情况 8 个方面对 66 份松花菜自交系进行评价, 并对不同性状赋值以便统计、比较。利用上述体系共筛选出 11 份花球性状优良的材料。采用苗期人工接种技术分别对松花菜根肿病和黑斑病抗性进行鉴定评价, 结果显示无免疫根肿病材料, 有 2 份高抗材料, 9 份抗病, 16 份中抗; 无免疫和高抗黑斑病材料, 有 4 份抗病材料, 10 份中抗。另外, 兼抗两种病害的材料较少, 其中 GY-40 对两种病害均表现抗病, GY-21 对根肿病表现抗病, 对黑斑病表现中抗, GY-39 对两种病害均表现中抗。值得一提的是, GY-40 性状优良且同时对根肿病和黑斑病具有较高抗性, 是选育商品性好、抗病性强松花菜品种的理想亲本。本研究结果为评价松花菜种质资源花球相关性状提供了参考, 对于规范资源的收集、整理和保存具有重要意义, 同时为开展抗根肿病和黑斑病松花菜品种选育提供了优异材料。

**关键字:** 松花菜; 种质资源; 根肿病; 黑斑病; 兼抗

## Evaluation of Germplasm Resources and Screening of Accessions with Dual Resistance to Clubroot and Black Spot Diseases in Loose-curd Cauliflower

ZHANG Xiao-li<sup>1</sup>, WEN Zheng-hua<sup>1</sup>, CHAI A-li<sup>2</sup>, LIU Li-li<sup>1</sup>, YAO Xing-wei<sup>1</sup>, JIANG Han-min<sup>1</sup>,  
NIU Guo-bao<sup>1</sup>, SUN De-ling<sup>1</sup>, SHAN Xiao-zheng<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Tianjin Kernel Vegetable Research Institute/State Key Laboratory of Vegetable Germplasm Innovation/

Tianjin Enterprise Key Laboratory of Vegetable Genetics and Breeding, Tianjin 300384;

<sup>2</sup>Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Loose-curd cauliflower is currently the main type of cauliflower consumed in China. Clubroot and black spot diseases are important diseases that directly and adversely affect the yield and quality of cauliflower. Therefore, to select varieties of good commercial quality with high and multiple resistance is one of the major goals in cauliflower breeding. In this study, we for the first time established the evaluation system of curd traits for loose-curd cauliflower germplasm resources. Sixty-six accessions of loose-curd cauliflower inbred lines were evaluated for eight characters of curd compactness, curd shape, surface smoothness, surface color, buds size, length of secondary lateral branch, pedicel color and curd hairiness. Each character was assigned a value for statistics and comparison. Eleven inbred lines were selected for excellent traits based on the evaluation system. With artificial inoculation at seedling stage, we identified and evaluated the resistance to clubroot and black spot of loose-curd cauliflower respectively. The results showed that none of the accessions were immune to clubroot,

收稿日期: 2019-06-25 修回日期: 2019-08-09 网络出版日期: 2019-08-22

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20190625002>

第一作者研究方向为蔬菜遗传育种, E-mail: zx119871009@163.com

通信作者: 单晓政, 研究方向为蔬菜遗传育种, E-mail: shanxiaozheng1981@163.com

**基金项目:** 天津市青年科技人员创新研究与实验项目 (2018014); 国家重点研发计划课题 (2017YFD0101805); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-23-A-07)

**Foundation projects:** Tianjin Innovative Research and Experiment Project for Young Researchers (2018014), National Key Research and Development Program of China (2017YFD0101805); Modern Agro-Industry Technology Research System, China (CARS-23-A-07)

with 2 of high resistance, 9 of fair resistance, 16 of medium resistance, and none of the accessions were immune or highly resistant to black spot, with 4 of fair resistance, 10 of medium resistance. Only a few accessions were found to have dual resistance to clubroot and black spot diseases. Among them, GY-40 showed relatively high resistance to both diseases, GY-21 showed fair resistance to clubroot and medium resistance to black spot, and GY-21 showed medium resistance to both diseases. GY-40 is therefore an ideal parent line for breeding cauliflower varieties, due to its excellent traits and relatively high dual resistance to both clubroot and black spot diseases. The study will provide reference for evaluating curd traits of cauliflower germplasm resources, be of great significance for standardization of resources collection, sorting and preservation, and provide excellent accessions for breeding of loose-curd cauliflower varieties with dual resistance to clubroot and black spot diseases.

**Key words:** loose-curd cauliflower; germplasm resources; clubroot; black spot; dual resistance

花椰菜 (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.,  $2n=18$ , CC) 是芸薹属甘蓝种的变种之一, 其商品器官是由大量未决定的花序分生组织组成的花球<sup>[1]</sup>。据联合国粮农组织 (FAOSTAT) 统计, 2017 年全世界花椰菜 (包括青花菜) 种植面积约 140 万  $\text{hm}^2$ , 年总产量约 2600 万 t; 我国种植面积约 53 万  $\text{hm}^2$ , 占世界总面积 38%, 年总产量约 1045 万 t, 占世界总产量 40%。我国是世界上花椰菜种植面积最大、总产量最高的国家<sup>[2]</sup>。

松散型花椰菜 (简称松花菜) 是花椰菜的一种特殊类型, 具有花球松大、梗青花白、生脆可口、久煮不糊等特点<sup>[3]</sup>。松花菜中叶绿素、类胡萝卜素、维生素 C、3- 甲基亚磺酞丙基芥子油苷等含量均高于普通紧实型花椰菜 (紧花菜)<sup>[4]</sup>。由于具有较高的营养价值和防癌抗癌等功效, 松花菜已成为深受人们推崇的健康食品。松花菜种植区域由我国东南沿海地区逐渐向北部、西部及华北平原地区发展。近年来, 松花菜种植面积逐年增加且增速很快, 目前已占我国花椰菜栽培总面积的 70% 左右<sup>[5]</sup>。可见, 松花菜已成为我国花椰菜消费的主要类型, 在部分地区已经完全取代了紧花菜, 发展潜力巨大。

根肿病和黑斑病是威胁花椰菜生产的重要病害, 随着松花菜栽培面积的逐年增加及不合理栽培方式的影响, 其危害程度日趋严重。根肿病是由专性寄生菌 - 芸薹根肿菌 (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) 侵染引起的一种土传病害, 能够侵染白菜、甘蓝、花椰菜、油菜等十字花科重要蔬菜作物<sup>[6]</sup>, 造成产量和品质的严重下降。植株感病后, 根部会形成肿块, 导致根和茎吸收传导养分受阻, 造成植株生产缓慢、叶片萎蔫, 直至死亡<sup>[7]</sup>。链格孢黑斑病是通过种子传播的真菌性病害<sup>[8]</sup>, 病原菌主要包括 3 种, 分别为芸薹链格孢 (*Alternaria brassicae* (Berk.) Sacc.)、芸薹生链格孢 (*Alternaria brassicicola* (Berk.) Sacc.) 和萝卜链格

孢 (*Alternaria japonica* (Berk.) Sacc.)<sup>[9]</sup>。该病能够危害花椰菜的叶片、叶柄、花梗、花球、种荚、种子等多个部位, 叶片病斑为圆形, 灰褐色或褐色, 有或无明显的同心轮纹, 病斑上生有黑色霉状物<sup>[10-11]</sup>, 未成熟种荚感染病菌后易脱落, 内部种子逐渐萎缩并失去活力<sup>[12]</sup>。据不完全统计, 黑斑病造成的花椰菜平均产量损失达 30%~47%<sup>[13]</sup>。

传统的物理和化学防治成本较高、收效甚微且易对环境造成污染, 培育抗病品种是防治根肿病和黑斑病最经济有效的方法。另外, 随着栽培面积的逐年增加和栽培方式的转变, 多种病害同时发生的情况越来越多, 对高抗、兼抗品种的需求也愈来愈强烈。抗源材料的利用是抗病育种的前提和基础, 为了培育优质、多抗品种, 亟待筛选出一批综合性状优良且具备复合抗性的材料。

本研究首先对课题组多年收集的松花菜种质资源进行初步评价, 随后开展了根肿病与黑斑病抗病鉴定和筛选, 为性状优良、兼抗品种的选育提供资源; 同时, 获得的抗源材料将为开展松花菜根肿病、黑斑病抗性遗传规律、抗性基因挖掘、抗病机理探究等研究奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 供试菌株** 根肿菌肿块采自云南省昆明市嵩明县, 经 Williams 系统鉴定根肿菌类型为 4 号小种, 清洗干净后保存于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  低温冰箱备用。黑斑病菌株为芸薹生链格孢 (*Alternaria brassicicola* (Berk.) Sacc.), 由中国农业科学院蔬菜花卉研究所植物菜病综防课题组提供, 菌株编号为 BC11072601。

**1.1.2 供试材料** 松花菜材料由天津科润蔬菜研究所花椰菜课题组提供, 共 66 份, 均为自交系, 编号为 HYC-1 至 HYC-66, 其中对黑斑病抗性鉴定不包括 HYC-12、HYC-16、HYC-18、HYC-51、HYC-55、

HYC-61 这 6 份材料。

### 1.2 试验方法

松花菜材料苗期根肿病鉴定分别于 2017 年 9 月、2018 年 5 月和 2018 年 9 月进行两年三季的接种试验,地点为天津市农业科学院现代农业创新基地花椰菜课题组温室内。

黑斑病于 2019 年 4 月进行人工接种鉴定试验,地点为中国农业科学院蔬菜花卉研究所菜病综防课题组日光温室内。

**1.2.1 松花菜资源评价内容及分类级别** 本试验主要针对松花菜商品器官即花球相关性状作评价和分类,并对不同性状进行赋值,以便于对各材料的花球综合性状进行评价。主要评价内容及分类级别如表 1 所示。

表 1 松花菜种质资源评价内容及分类级别  
Table 1 Evaluation classification of germplasm resources of loose-curd cauliflower

| 评价内容<br>Evaluation content                   | 分类级别及赋值<br>Classification level and assigned value                                   |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 花球紧实度<br>Curd compactness                    | 全松(1)和半松(1)                                                                          |
| 球形<br>Curd shape                             | 伞形(1)、平面形(1)和半球形(1)                                                                  |
| 球面光滑度<br>Curd smoothness                     | 粗糙(1)和光滑(3)                                                                          |
| 球面颜色<br>Curd color                           | 白(5)、乳白(3)和黄色(1)                                                                     |
| 球面蕾粒大小<br>Buds size                          | 大蕾粒(1):球面紧实,无缝隙;中蕾粒(3):球面稍软,小缝隙;小蕾粒(5):球面软,缝隙均匀                                      |
| 二级侧枝长度<br>Length of secondary lateral branch | 长二级枝(5):二级枝长度与一级枝长度比例大于 1<br>中二级枝(3):二级枝长度与一级枝长度比例约等于 1<br>短二级枝(1):二级枝长度与一级枝长度比例小于 1 |
| 花梗颜色<br>Pedicel color                        | 绿色(5)、浅绿色(3)和白色(1)                                                                   |
| 球面长毛情况<br>Hairiness                          | 多毛(1)、少毛(3)和无毛(5)                                                                    |

括号内数字代表赋值标准。下同  
The values in brackets represent the assigned criteria. The same as below

**1.2.2 根肿病抗性鉴定方法** 每份材料设 3 组重复,每组重复 7 株幼苗,接种 6~7 周后调查发病情况。具体的接种液制备、接种方法、病情分级、抗性水平划分等参考张小丽等<sup>[14]</sup>,其中抗性水平划分作以下修改,免疫(I):DI=0;高抗(HR):DI≤12.5;

抗病(R):12.5<DI≤25;中抗(MR):25<DI≤45;感病(S):45<DI≤65;高感(HS):DI>65。另外,对抗性水平进行赋值,即 I=11,HR=9,R=7,MR=5,S=3,HS=1。

**1.2.3 黑斑病抗性鉴定方法** 育苗:取试验所用种子 30 粒放入 55℃的温水中,浸泡 15 min,室温下继续浸种 7~8 h 后,随后将种子置于 28℃温箱催芽,待芽长至 1 mm 时,播种于装有灭菌土的育苗钵(10 cm×10 cm)中。每钵播 1 粒,待幼苗长至 3~4 片真叶时(约 30 d 苗龄),选择生长健壮、一致的幼苗进行接种鉴定。

接种:(1)接种菌液制备:将供试菌株接种到 PDA 平板上,培养 5 d 活化后,转接至 PD 培养基中,置于 28℃环境下 120 r/min 摇床震荡培养 7 d,用双层无菌纱布过滤除去菌丝,离心后取沉淀物后加蒸馏水调至浓度为 1×10<sup>8</sup> 个孢子/mL 的孢子悬浮液。(2)接种方法:采用喷雾法接种,上述浓度孢子悬液 10 mL 均匀喷洒于幼苗表面,以滴水为宜。接种后,放入密闭的玻璃柜中保湿 48 h。温室中常规管理。病情调查和分级:每份材料设 3 组重复,每组重复 20 株幼苗,接种 7 d 后,调查每个处理全株叶片的发病情况,根据以下分级标准分别记录叶片病情级别,并计算病情指数(Disease index)。分级标准为:0 级:全部无病;1 级:病斑面积占整个叶面积的 5% 以下;3 级:病斑面积占 6%~10%;5 级:病斑面积占 11%~20%;7 级:病斑面积占 21%~50%;9 级:病斑面积占 51% 以上。DI=Σ(各级病叶数×相对病极值)/(调查总叶数×9)×100。抗性水平划分:根据病情指数划分为 6 级,分别为免疫(I):DI=0;高抗(HR):DI≤15;抗病(R):15<DI≤30;中抗(MR):30<DI≤45;感病(S):45<DI≤70;高感(HS):DI>70。抗性水平赋值标准参照 1.2.2 中根肿病赋值标准。

### 1.3 数据统计与处理

利用 Excel 2007 软件统计分析数据,每份材料根肿病的鉴定结果根据两年三季的整合数据进行计算,病情指数为 9 次重复的平均值±标准差。黑斑病的病情指数为 3 次重复的平均值±标准差;此外,通过不同性状的赋值,分别计算花球综合性状得分和抗病性得分,二者求和的总分作为某一材料商品性和抗病性的综合评价指标。

## 2 结果与分析

### 2.1 松花菜自交系材料的评价和分类

本试验主要针对松花菜花球相关性状进行评



表 2 松花菜花球相关性状的评价结果及根肿病和黑斑病抗性鉴定结果

Table 2 The evaluation results of curd traits and resistance to clubroot and black spot diseases of cauliflower germplasm resources

| 代号<br>Code | 材料<br>名称<br>Name | 地理<br>来源<br>Origin | 熟性<br>Maturity | 花球性状评价 Evaluation of curd traits |             |                         |                           |                         |                                                    |                          |                         |             |                           | 根肿病 Clubroot                |                           |                             |             | 黑斑病 Black spot |  |  |  | 总分<br>Total<br>score |
|------------|------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|----------------|--|--|--|----------------------|
|            |                  |                    |                | 花球<br>紧实度<br>Compactness         | 球形<br>Shape | 球面<br>光滑度<br>Smoothness | 花球<br>颜色<br>Curd<br>color | 花球蕾粒<br>大小<br>Buds size | 二级侧枝长度<br>Length of<br>secondary<br>lateral branch | 花梗颜色<br>Pedicel<br>color | 球面长<br>毛情况<br>Hairiness | 得分<br>Score | 病情<br>指数<br>Disease index | 抗病级别<br>Resistance<br>level | 病情<br>指数<br>Disease index | 抗病级别<br>Resistance<br>level | 得分<br>Score |                |  |  |  |                      |
|            |                  |                    |                |                                  |             |                         |                           |                         |                                                    |                          |                         |             |                           |                             |                           |                             |             |                |  |  |  |                      |
| HYC1       | GZ-1             | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 22          | 32.50 ± 5.30              | MR(5)                       | 58.49 ± 8.55              | S(3)                        | 8           | 30             |  |  |  |                      |
| HYC2       | GZ-2             | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 多毛(1)                   | 18          | 34.67 ± 3.07              | MR(5)                       | 61.88 ± 2.40              | S(3)                        | 8           | 26             |  |  |  |                      |
| HYC3       | GZ-4             | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 20          | 28.04 ± 2.78              | MR(5)                       | 57.56 ± 11.45             | S(3)                        | 8           | 28             |  |  |  |                      |
| HYC4       | GZ-5             | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 28          | 34.58 ± 8.49              | MR(5)                       | 90.98 ± 2.73              | HS(1)                       | 6           | 34             |  |  |  |                      |
| HYC5       | GZ-11            | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 22          | 11.91 ± 5.06              | R(7)                        | 66.02 ± 6.01              | S(3)                        | 10          | 32             |  |  |  |                      |
| HYC6       | GZ-15            | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 白(5)                      | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 22          | 38.79 ± 5.76              | MR(5)                       | 54.30 ± 9.26              | S(3)                        | 8           | 30             |  |  |  |                      |
| HYC7       | GZ-16            | 日本                 | 早熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 24          | 16.45 ± 2.04              | R(7)                        | 55.54 ± 5.53              | S(3)                        | 10          | 34             |  |  |  |                      |
| HYC8       | GZ-19            | 日本                 | 早熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 短二级枝(1)                                            | 白(1)                     | 无毛(5)                   | 12          | 19.74 ± 5.81              | R(7)                        | 78.67 ± 7.18              | HS(1)                       | 8           | 20             |  |  |  |                      |
| HYC9       | GZ-20            | 日本                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 24          | 61.16 ± 1.90              | S(3)                        | 46.71 ± 8.12              | S(3)                        | 6           | 30             |  |  |  |                      |
| HYC10      | GY-21            | 日本                 | 早熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 无毛(5)                   | 28          | 19.60 ± 0.57              | R(7)                        | 39.31 ± 5.04              | MR(5)                       | 12          | 40             |  |  |  |                      |
| HYC11      | GZ-23            | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 20          | 10.36 ± 5.56              | R(7)                        | 57.39 ± 6.18              | S(3)                        | 10          | 30             |  |  |  |                      |
| HYC12      | GZ-25            | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 粗糙(1)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 中二级枝(3)                                            | 浅绿(3)                    | 多毛(1)                   | 16          | 6.55 ± 2.52               | HR(9)                       | —                         | —                           | 9           | 25             |  |  |  |                      |
| HYC13      | GZ-26            | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 18          | 16.82 ± 0.97              | R(7)                        | 52.62 ± 5.52              | S(3)                        | 10          | 28             |  |  |  |                      |
| HYC14      | GY-27            | 台湾                 | 早熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 28          | 47.28 ± 3.22              | S(3)                        | 66.59 ± 11.55             | S(3)                        | 6           | 34             |  |  |  |                      |
| HYC15      | GY-28            | 印度                 | 早熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 无毛(5)                   | 26          | 68.75 ± 8.84              | HS(1)                       | 17.66 ± 6.61              | R(7)                        | 8           | 34             |  |  |  |                      |
| HYC16      | GY-29            | 印度                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 中蕾粒(3)                  | 中二级枝(3)                                            | 白(1)                     | 多毛(1)                   | 18          | 23.54 ± 3.83              | R(7)                        | —                         | —                           | 7           | 25             |  |  |  |                      |
| HYC17      | GY-30            | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 白(5)                      | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 22          | 20.24 ± 6.73              | R(7)                        | 70.40 ± 4.59              | HS(1)                       | 8           | 30             |  |  |  |                      |
| HYC18      | GY-31            | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 18          | 25.95 ± 0.34              | MR(5)                       | —                         | —                           | 5           | 23             |  |  |  |                      |
| HYC19      | GY-34            | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 30          | 58.82 ± 7.42              | S(3)                        | 41.95 ± 2.36              | MR(5)                       | 8           | 38             |  |  |  |                      |
| HYC20      | GY-35            | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 22          | 55.95 ± 8.41              | S(3)                        | 58.92 ± 8.50              | S(3)                        | 6           | 28             |  |  |  |                      |
| HYC21      | GY-36            | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 16          | 52.45 ± 4.72              | S(3)                        | 39.76 ± 0.49              | MR(5)                       | 8           | 24             |  |  |  |                      |
| HYC22      | GZ-37            | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 22          | 59.29 ± 8.08              | S(3)                        | 47.49 ± 7.66              | S(3)                        | 6           | 28             |  |  |  |                      |
| HYC23      | GY-38            | 台湾                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 中蕾粒(3)                  | 短二级枝(1)                                            | 白(1)                     | 多毛(1)                   | 10          | 32.28 ± 4.70              | MR(5)                       | 51.48 ± 0.70              | S(3)                        | 8           | 18             |  |  |  |                      |



表 2 (续)

| 代号<br>Code | 材料<br>名称<br>Name | 地理<br>来源<br>Origin | 熟性<br>Maturity | 花球性状评价 Evaluation of curd traits |             |                         |                           |                         |                                                    | 根肿病 Clubroot             |                         |             |                           | 黑斑病 Black spot              |                           |                             |             |
|------------|------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------|
|            |                  |                    |                | 花球<br>紧实度<br>Compactness         | 球形<br>Shape | 球面<br>光滑度<br>Smoothness | 花球<br>颜色<br>Curd<br>color | 花球蕾粒<br>大小<br>Buds size | 二级侧枝长度<br>Length of<br>secondary<br>lateral branch | 花梗颜色<br>Pedicel<br>color | 球面长<br>毛情况<br>Hairiness | 得分<br>Score | 病情<br>指数<br>Disease index | 抗病级别<br>Resistance<br>level | 病情<br>指数<br>Disease index | 抗病级别<br>Resistance<br>level | 得分<br>Score |
| HYC24      | GY-39            | 台湾                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 粗糙(1)                   | 乳白(3)                     | 大蕾粒(1)                  | 短二级枝(1)                                            | 白(1)                     | 无毛(5)                   | 14          | 29.17 ± 2.35              | MR(5)                       | 44.52 ± 8.77              | MR(5)                       | 10          |
| HYC25      | GY-40            | 印度                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 无毛(5)                   | 26          | 15.39 ± 6.87              | R(7)                        | 25.38 ± 17.43             | R(7)                        | 14          |
| HYC26      | GY-41            | 日本                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 26          | 10.76 ± 1.65              | HR(9)                       | 51.95 ± 13.33             | S(3)                        | 12          |
| HYC27      | GY-44            | 日本                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 浅绿(3)                    | 多毛(1)                   | 12          | 54.04 ± 6.07              | S(3)                        | 59.02 ± 17.69             | S(3)                        | 6           |
| HYC28      | GY-45            | 印度                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 中二级枝(3)                                            | 白(1)                     | 无毛(5)                   | 20          | 44.57 ± 0.95              | S(3)                        | 48.81 ± 8.94              | S(3)                        | 6           |
| HYC29      | GY-46            | 印度                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 小蕾粒(5)                  | 中二级枝(3)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 24          | 28.60 ± 0.87              | MR(5)                       | 52.45 ± 4.77              | S(3)                        | 8           |
| HYC30      | GY-48            | 印度                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 28          | 32.15 ± 6.17              | MR(5)                       | 46.75 ± 9.79              | S(3)                        | 8           |
| HYC31      | GY-49            | 印度                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 中蕾粒(3)                  | 短二级枝(1)                                            | 白(1)                     | 多毛(1)                   | 10          | 78.48 ± 7.45              | HS(1)                       | 45.43 ± 4.47              | S(3)                        | 4           |
| HYC32      | GY-51            | 印度                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 20          | 57.44 ± 8.41              | S(3)                        | 46.29 ± 8.40              | S(3)                        | 6           |
| HYC33      | GZ-107           | 印度                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 22          | 59.89 ± 6.82              | S(3)                        | 45.59 ± 4.32              | S(3)                        | 6           |
| HYC34      | GZ-108           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 白(5)                      | 中蕾粒(3)                  | 中二级枝(3)                                            | 浅绿(3)                    | 多毛(1)                   | 18          | 75.12 ± 6.90              | HS(1)                       | 58.67 ± 12.08             | S(3)                        | 4           |
| HYC35      | GY-110           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 黄(1)                      | 中蕾粒(3)                  | 中二级枝(3)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 18          | 49.85 ± 0.21              | S(3)                        | 52.39 ± 9.74              | S(3)                        | 6           |
| HYC36      | GY-111           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 多毛(1)                   | 14          | 38.99 ± 2.95              | MR(5)                       | 54.38 ± 9.33              | S(3)                        | 8           |
| HYC37      | GY-113           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 中二级枝(3)                                            | 白(1)                     | 少毛(3)                   | 16          | 53.22 ± 9.60              | S(3)                        | 48.33 ± 9.21              | S(3)                        | 6           |
| HYC38      | GY-115           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 18          | 65.09 ± 8.97              | HS(1)                       | 46.68 ± 8.25              | S(3)                        | 4           |
| HYC39      | GY-116           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 乳白(3)                     | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 无毛(5)                   | 24          | 48.04 ± 1.01              | S(3)                        | 57.21 ± 14.77             | S(3)                        | 6           |
| HYC40      | GY-117           | 印度                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 黄(1)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 22          | 72.15 ± 7.75              | HS(1)                       | 29.12 ± 7.97              | R(7)                        | 8           |
| HYC41      | GY-118           | 日本                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 少毛(3)                   | 28          | 38.60 ± 0.70              | MR(5)                       | 47.51 ± 7.66              | S(3)                        | 8           |
| HYC42      | GY-119           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 乳白(3)                     | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 白(1)                     | 多毛(1)                   | 12          | 63.51 ± 5.64              | S(3)                        | 44.50 ± 1.70              | MR(5)                       | 8           |
| HYC43      | GY-120           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 粗糙(1)                   | 乳白(3)                     | 中蕾粒(3)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 20          | 80.98 ± 3.92              | HS(1)                       | 41.14 ± 7.31              | MR(5)                       | 6           |
| HYC44      | GY-121           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 光滑(3)                   | 黄(1)                      | 小蕾粒(5)                  | 长二级枝(5)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 22          | 48.54 ± 1.64              | S(3)                        | 21.04 ± 2.31              | R(7)                        | 10          |
| HYC45      | GY-122           | 台湾                 | 中熟             | 半松(1)                            | 半球形(1)      | 光滑(3)                   | 白(5)                      | 小蕾粒(5)                  | 短二级枝(1)                                            | 白(1)                     | 无毛(5)                   | 22          | 77.13 ± 12.31             | HS(1)                       | 55.41 ± 4.68              | S(3)                        | 4           |
| HYC46      | GY-123           | 台湾                 | 中熟             | 全松(1)                            | 伞形(1)       | 粗糙(1)                   | 白(5)                      | 大蕾粒(1)                  | 长二级枝(5)                                            | 绿(5)                     | 多毛(1)                   | 20          | 49.11 ± 3.03              | S(3)                        | 58.10 ± 16.44             | S(3)                        | 6           |
| HYC47      | GZ-126           | 台湾                 | 晚熟             | 全松(1)                            | 平面形(1)      | 光滑(3)                   | 黄(1)                      | 大蕾粒(1)                  | 中二级枝(3)                                            | 浅绿(3)                    | 少毛(3)                   | 16          | 49.17 ± 10.61             | S(3)                        | 38.73 ± 8.30              | MR(5)                       | 8           |

表 2 (续)

| 代号    | 材料名称   | 地理来源 | 熟性 | 花球性状评价 Evaluation of curd traits |        |            |            |           | 根肿病 Clubroot             |               |           | 黑斑病 Black spot |               |       | 总分            |       |       |    |
|-------|--------|------|----|----------------------------------|--------|------------|------------|-----------|--------------------------|---------------|-----------|----------------|---------------|-------|---------------|-------|-------|----|
|       |        |      |    | 花球紧实度                            | 球形     | 球面光滑度      | 花球颜色       | 花蕾大小      | 二级侧枝长度                   | 花梗颜色          | 球面长毛情况    | 得分             | 病情指数          | 抗病级别  |               | 病情指数  | 抗病级别  | 得分 |
|       |        |      |    | Compactness                      | Shape  | Smoothness | Curd color | Buds size | secondary lateral branch | Pedicel color | Hairiness | Score          | Disease index | level | Disease index | level | Score |    |
| HYC48 | GY-127 | 台湾   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 光滑(3)      | 乳白(3)      | 大蕾粒(1)    | 长二级枝(5)                  | 绿(5)          | 无毛(5)     | 24             | 88.65 ± 4.15  | HS(1) | 61.80 ± 8.44  | S(3)  | 4     | 28 |
| HYC49 | GY-128 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 平面形(1) | 粗糙(1)      | 乳白(3)      | 大蕾粒(1)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 少毛(3)     | 18             | 59.64 ± 8.58  | S(3)  | 52.91 ± 1.57  | S(3)  | 6     | 24 |
| HYC50 | GY-129 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 伞形(1)  | 粗糙(1)      | 乳白(3)      | 中蕾粒(3)    | 长二级枝(5)                  | 白(1)          | 无毛(5)     | 20             | 40.85 ± 0.88  | MR(5) | 47.58 ± 10.20 | S(3)  | 8     | 28 |
| HYC51 | GY-131 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 伞形(1)  | 粗糙(1)      | 白(5)       | 大蕾粒(1)    | 中二级枝(3)                  | 浅绿(3)         | 多毛(1)     | 16             | 80.00 ± 12.97 | HS(1) | —             | —     | 1     | 17 |
| HYC52 | GY-132 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 平面形(1) | 光滑(3)      | 黄(1)       | 大蕾粒(1)    | 中二级枝(3)                  | 绿(5)          | 少毛(3)     | 18             | 78.10 ± 2.35  | HS(1) | 42.04 ± 14.07 | MR(5) | 6     | 24 |
| HYC53 | GY-133 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 伞形(1)  | 粗糙(1)      | 白(5)       | 大蕾粒(1)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 多毛(1)     | 18             | 84.19 ± 6.68  | HS(1) | 45.64 ± 6.83  | S(3)  | 4     | 22 |
| HYC54 | GY-134 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 平面形(1) | 粗糙(1)      | 乳白(3)      | 中蕾粒(3)    | 中二级枝(3)                  | 白(1)          | 少毛(3)     | 16             | 72.71 ± 8.24  | HS(1) | 45.05 ± 12.41 | S(3)  | 4     | 20 |
| HYC55 | GY-135 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 平面形(1) | 光滑(3)      | 黄(1)       | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 绿(5)          | 无毛(5)     | 26             | 68.19 ± 6.27  | HS(1) | —             | —     | 1     | 27 |
| HYC56 | GY-136 | 台湾   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 光滑(3)      | 黄(1)       | 中蕾粒(3)    | 短二级枝(1)                  | 白(1)          | 无毛(5)     | 16             | 49.29 ± 4.04  | S(3)  | 60.42 ± 11.95 | S(3)  | 6     | 22 |
| HYC57 | GZ-142 | 日本   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 光滑(3)      | 白(5)       | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 无毛(5)     | 28             | 37.03 ± 8.59  | MR(5) | 58.57 ± 8.86  | S(3)  | 8     | 34 |
| HYC58 | GZ-144 | 日本   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 粗糙(1)      | 乳白(3)      | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 无毛(5)     | 24             | 71.88 ± 11.15 | HS(1) | 44.18 ± 9.48  | MR(5) | 6     | 30 |
| HYC59 | GY-145 | 日本   | 晚熟 | 全松(1)                            | 伞形(1)  | 光滑(3)      | 乳白(3)      | 中蕾粒(3)    | 中二级枝(3)                  | 白(1)          | 少毛(3)     | 18             | 50.40 ± 0.56  | S(3)  | 68.85 ± 5.00  | S(3)  | 6     | 24 |
| HYC60 | GY-146 | 印度   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 粗糙(1)      | 乳白(3)      | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 绿(5)          | 少毛(3)     | 24             | 51.34 ± 3.66  | S(3)  | 50.96 ± 13.39 | S(3)  | 6     | 30 |
| HYC61 | GY-147 | 印度   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 光滑(3)      | 黄(1)       | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 多毛(1)     | 20             | 30.09 ± 5.43  | MR(5) | —             | —     | 5     | 25 |
| HYC62 | GY-148 | 印度   | 晚熟 | 全松(1)                            | 平面形(1) | 粗糙(1)      | 白(5)       | 大蕾粒(1)    | 中二级枝(3)                  | 白(1)          | 少毛(3)     | 16             | 50.20 ± 1.96  | S(3)  | 66.10 ± 5.81  | S(3)  | 6     | 22 |
| HYC63 | GY-150 | 印度   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 粗糙(1)      | 黄(1)       | 中蕾粒(3)    | 短二级枝(1)                  | 白(1)          | 无毛(5)     | 14             | 50.60 ± 0.84  | S(3)  | 51.03 ± 20.51 | S(3)  | 6     | 20 |
| HYC64 | GY-166 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 伞形(1)  | 光滑(3)      | 乳白(3)      | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 绿(5)          | 多毛(1)     | 24             | 58.43 ± 6.61  | S(3)  | 56.24 ± 10.13 | S(3)  | 6     | 30 |
| HYC65 | GY-199 | 台湾   | 晚熟 | 全松(1)                            | 平面形(1) | 粗糙(1)      | 白(5)       | 大蕾粒(1)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 无毛(5)     | 22             | 28.47 ± 3.51  | MR(5) | 71.73 ± 1.46  | HS(1) | 6     | 28 |
| HYC66 | GZ-200 | 台湾   | 晚熟 | 半松(1)                            | 半球形(1) | 光滑(3)      | 乳白(3)      | 小蕾粒(5)    | 长二级枝(5)                  | 浅绿(3)         | 多毛(1)     | 22             | 47.03 ± 14.81 | S(3)  | 41.69 ± 13.12 | MR(5) | 8     | 30 |

HR: 高抗; R: 抗病; MR: 中抗; S: 感病; HS: 高感

HR: Highly resistant, R: Fairly resistant, MR: Moderately resistant, S: Susceptible, HS: Highly susceptible

价并作分类,同时对其地理来源和花球熟性作统计,具体见表2。从地理来源来看,66份松花菜自交系材料中共计42份来自中国台湾,占63.64%,来自日本和印度的分别为10份、14份;从熟性来看,中、晚熟材料居多,共计51份,早熟材料仅15份,占22.73%;从花球紧实度和球形来看,全松类型材料居多,共46份,球形表现为伞形和半球形,半松类型共20份,球形为半球形;从花球二级侧枝长度来看,长二级侧枝材料较多,主要因为大多数全松类型材料二级侧枝较长;从球色和花梗颜色来看,花球白色或乳白、花梗绿色或浅绿色即“白花青梗”类型的材料较多。从花球综合性状来看,赋值总分介于10~30之间,总分越高,代表性状越优良,其中有11份材料总分大于25,即大多数表现为球面光滑、颜色较白、蕾粒小、二级侧枝长、梗绿、球面无毛或少毛等,是选育松花菜商品种的重要亲本。

## 2.2 松花菜自交系材料对根肿病的抗性表现

在鉴定的66份自交系中,无免疫根肿病材料;2份表现高抗,分别为GZ-25和GY-41,占总数3.0%;抗病材料9份,占总数13.6%;中抗材料16份,占总数24.2%;感病材料25份,占总数37.9%;高感材料14份,占总数21.2%。总体来说,松花菜根肿病抗性水平主要集中在感病上,中抗材料也占有较大比例。其中,GZ-25与GY-41抗病性最强,表现稳定,平均病情指数仅为6.55和10.76。

进一步对表2和图1不同抗性自交系的地理来源及熟性和花球紧实度进行分析发现,在地理来源方面,高抗或抗病材料中有4份来自日本,5份来自中国台湾,2份来自印度,由于本试验中日本材料仅有10份,可见日本材料中抗性强的比例较

高,其次是印度;从熟性来看,晚熟材料中高抗或抗病材料,中熟材料中有4份,早熟材料中有7份,占早熟材料总数的50%;从花球紧实度来看,高抗的2份材料均为全松类型,抗病材料中半松类型比例较高。

## 2.3 松花菜自交系材料对黑斑病的抗性表现

经过抗病性鉴定发现,不同松花菜材料对黑斑病抗性不同。苗期喷雾接种后,各材料平均病情指数在17.66~90.98之间,材料间差异显著。松花菜材料中无黑斑病免疫和高抗材料;抗病材料4份,即GY-28、GY-40、GY-117和GY-121,平均病情指数在17.66~29.12之间;中抗材料10份,占总数的16.7%,平均病情指数在38.73~44.52之间;感病材料42份,占70%;高感材料4份,占6.7%。可见,松花菜黑斑病抗性水平主要表现为感病,黑斑病抗性水平整体低于根肿病。

进一步分析发现(表2和图1),抗病材料中有1份来自中国台湾,3份来自印度,印度材料中抗黑斑病比例较高;从熟性来看,晚熟材料中无抗病材料,中熟和早熟材料分别有3份和1份表现抗病;从花球紧实度来看,半松和全松类型中各有2份表现抗病,且半松材料比例较高。

## 2.4 性状优良且兼抗根肿病和黑腐病材料的筛选

通过进一步对66份松花菜自交系抗性分析可知(表2和图2),兼抗根肿病和黑斑病的材料较少,仅3份对两种病害表现抗病或中抗,其中GY-40对两种病害均表现抗病,GY-21对根肿病表现抗病,对黑斑病表现中抗,GY-39对两种病害均表现中抗。这3份材料可作为双抗种质资源,用于松花菜抗病育种研究。

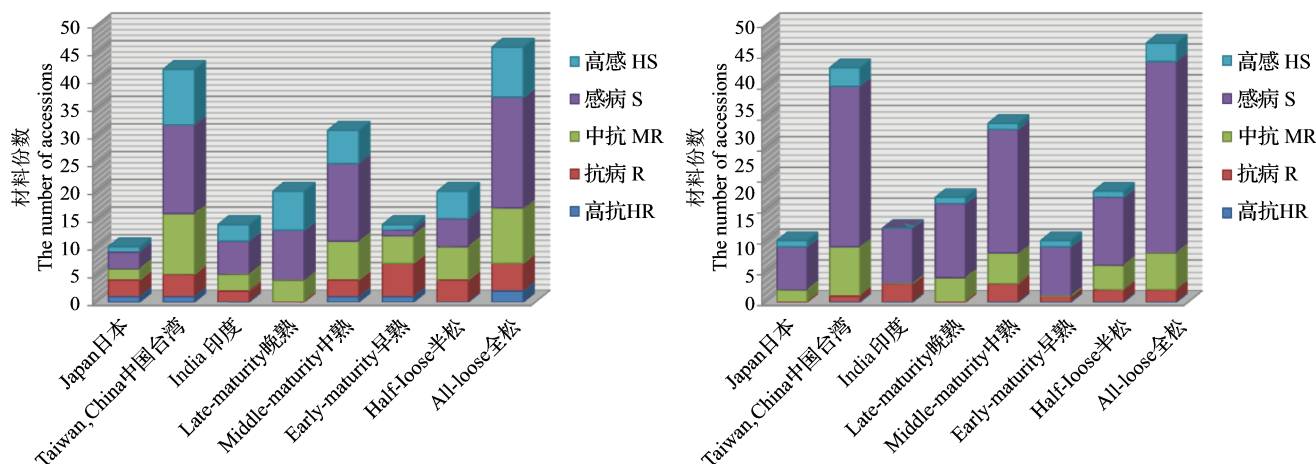


图1 不同地理来源、熟性及花球紧实度松花菜材料的根肿病(左图)和黑斑病抗性(右图)

Fig. 1 Clubroot (left) and black spot (right) resistance of loose-curd cauliflowers with different geographical origins, maturity and curd compactness



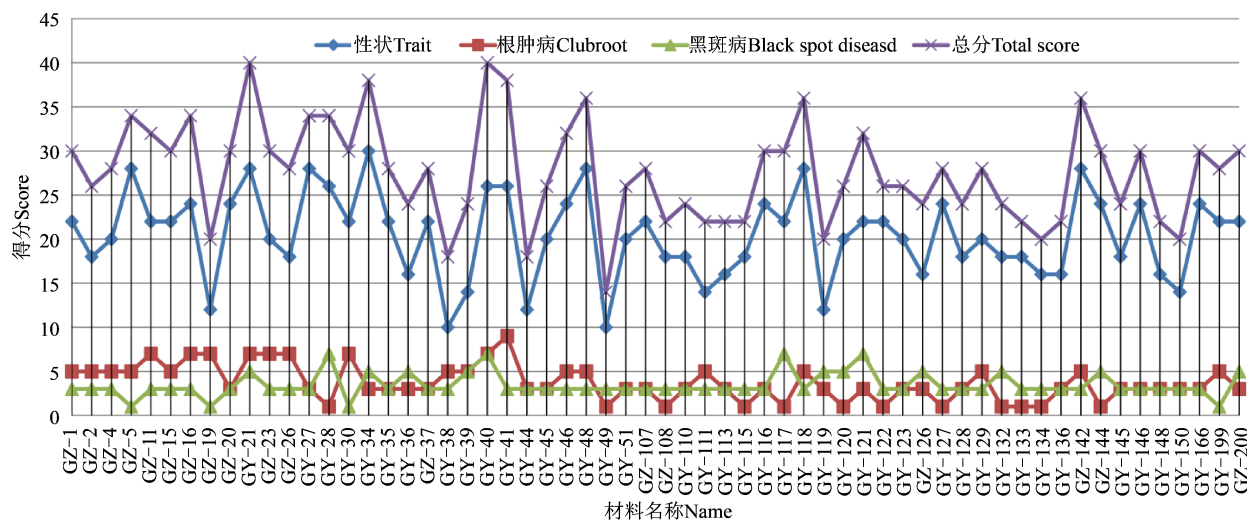


图2 各松花菜材料花球综合性状、根肿病和黑斑病抗性得分及总分

Fig. 2 Scores of comprehensive curd traits, resistance to clubroot and black spot diseases and total scores of each loose-curd cauliflower accession

结合花球性状、抗病性赋值及总分分析发现(表2和图2),一些性状优良的材料,抗病性较弱,如GY-34;一些抗性较强的材料,综合性状较差,如GY-39。从根肿病抗性来讲,11份高抗或抗病材料中,仅有3份材料即GY-21、GY-40和GY-41性状赋值得分大于25,而GZ-25、GZ-26、GY-29、GZ-19等抗性材料,综合性状得分均小于20分。从黑斑病抗性来讲,4份抗病材料中有2份即GY-28和GY-40性状优良。兼抗性材料中,GY-40和GY-21均为半松类型,性状表现优良,将为松花菜优质、多抗品种的选育提供基础材料。

### 3 讨论

据不完全统计,目前我国松花菜种植面积达33万 $\text{hm}^2$ ,占花椰菜种植总面积的65%~70%<sup>[5]</sup>,已成为我国花椰菜消费的主要类型。目前生产上使用的松花菜品种60%左右来自中国台湾,由于气候和生态环境的不同,许多台湾品种在我国北方种植容易出现“水土不服”,表现为花球黄化、球面出现“毛球”、病害严重等现象。为了规范资源的收集、整理和保存,进一步保护和利用资源,本研究首次建立了松花菜种质资源花球性状评价体系,筛选出一些优异的资源,如半松型资源可作为选育具有“松花品质、紧花产量”且耐贮运品种的亲本材料,花球白色资源即耐晒资源是选育目前市场上需要的“强光直射下花球不变黄”品种的重要材料,这些优异种质资源将为选育具有自主知识产权、适应大陆气候特点、符合市场需求的松花菜品种奠定基础。

松花菜资源遗传背景狭窄,目前生产上所用的品种同质化程度高,再加上过于注重丰产性,使得优质、抗病等品种相对缺乏。抗病新品种的选育有赖于抗病种质资源的挖掘<sup>[15]</sup>。本研究采用苗期灌菌法和喷雾法人工接种方法分别对66份国内外松花菜材料根肿病和黑斑病抗性进行鉴定评价,鉴定结果表明同一材料对两者的抗性表现不尽相同,各材料之间也存在着显著的差异,且兼抗两种病害的材料较少。这是我国首次对松花菜兼抗根肿病和黑斑病资源进行筛选。值得一提的是,虽然来自国外的种质资源份数较少,但是抗病比例较高,如日本资源中抗根肿病比例较高,印度资源中抗黑斑病比例较高。因此,在今后的松花菜抗病育种中应进一步加强种质资源的收集和抗病性鉴定,尤其要重视国外资源的收集。然而,目前国外的一些具有抗性的甘蓝类优良品种大多为Ogura胞质不育类型,如先正达公司选育的结球甘蓝品种先甘336<sup>[16-17]</sup>和本课题组收集的一份对根肿病表现高水平抗性的日本花椰菜品种均为胞质不育,无法通过自交分离进一步利用其抗病基因,以Ogura CMS恢复系为桥梁来聚合抗病基因和Rfo基因,创制出具有抗性的育性恢复材料可能是今后育种家进行种质资源创新和改造的主要途径之一。

选育商品性好且抗病性强的品种一直是蔬菜作物育种家追求的目标<sup>[18]</sup>。抗病过程是一个耗能的免疫过程,高抗病的品种往往在一些商品性状上表现不良,而商品性好的品种也常常面临感病问题。本研究中,筛选到1份性状优良且同时对根肿病和

黑斑病具有较高抗性的自交系材料 GY-40, 该材料为半松类型, 球面耐晒, 二级侧枝较长, 这一材料将是选育商品性好、抗病性强的松花菜品种的理想亲本, 在今后的育种中应重点利用。

## 参考文献

- [1] 曹文广. 花球发育调控机制的研究. 北京: 中国科学院研究生院, 2005  
Cao W G. Study of mechanism on regulation of curd development. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2005
- [2] Singh B K, Singh B, Singh P M. Breeding cauliflower: a review. *International Journal of Vegetable Science*, 2018, 24 (1): 58-84
- [3] 顾宏辉, 金昌林, 赵振卿, 盛小光, 虞慧芳, 王建升. 我国松花菜产业现状及前景分析. *中国蔬菜*, 2012 (23): 1-5  
Gu H H, Jin C L, Zhao Z Q, Sheng X G, Yu H F, Wang J S. Analysis of the present situation and prospect of Chinese cauliflower industry. *China Vegetables*, 2012 (23): 1-5
- [4] 王建升, 赵振卿, 盛小光, 虞慧芳, 顾宏辉. 松花菜花球中主要生物活性成分及抗氧化能力分析. *中国园艺学会十字花科分会第十届学术研讨会论文集*, 2012: 129-134  
Wang J S, Zhao Z Q, Sheng X G, Yu H F, Gu H H. Analysis of bioactive components in loose-curd cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*). The 10th Academic Seminar of Cruciferous Session of Chinese Society for Horticultural Science, 2012: 129-134
- [5] 单晓政, 张小丽, 文正华, 刘莉莉, 姚星伟, 江汉民, 牛国保, 孙德岭. 京津冀花椰菜产业现状、发展趋势及对策建议. *蔬菜*, 2019 (3): 43-46  
Shan X Z, Zhang X L, Wen Z H, Liu L L, Yao X W, Jiang H M, Niu G B, Sun D L. Status, development trend and countermeasure analysis of cauliflower industry in Beijing-Tianjin-Hebei Region. *Vegetables*, 2019 (3): 43-46
- [6] Howard R J, Strelkov S E, Harding M W. Clubroot of cruciferous crops—new perspectives on an old disease. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2010, 32 (1): 43-57
- [7] Dixon G R. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009, 28 (3): 194-202
- [8] Sharma M, Deep S, Bhati D S, Chowdappa P, Selvamani R, Sharma P. Morphological, cultural, pathogenic and molecular studies of *Alternaria brassicae* infecting cauliflower and mustard in India. *African Journal of Microbiology Research*, 2013, 7 (26): 3351-3363
- [9] 肖长坤, 李勇, 李健强. 十字花科蔬菜种传黑斑病研究进展. *中国农业大学学报*, 2003, 8 (5): 61-68  
Xiao C K, Li Y, Li J Q. Research in seed-borne black spot disease in cruciferous vegetables. *Journal of China Agricultural University*, 2003, 8 (5): 61-68
- [10] 周艳芳, 李宝聚, 谢学文, 邱正明, 朱凤娟, 石延霞, 郭英兰. 湖北长阳火烧坪高山蔬菜病害调查. *中国蔬菜*, 2009 (21): 18-20  
Zhou Y F, Li B J, Xie X W, Qiu Z M, Zhu F J, Shi Y X, Guo Y L. Diseases investigation on mountain vegetables in Huo Shao Ping, Changyang, Hubei Province. *China Vegetables*, 2009 (21): 18-20
- [11] 刘杰, 李文, 刘天浩. 花椰菜、青花菜黑斑病的发生与综合防治. *吉林蔬菜*, 2009 (5): 46  
Liu J, Li W, Liu T H. Occurrence and comprehensive control of black spot of cauliflower and broccoli. *Jilin Vegetables*, 2009 (5): 46
- [12] Köhl J, van Tongeren C A M, Groenenboom-de Haas B H, van Hoof R A, Driessen R, van der Heijden L. Epidemiology of dark leaf spot caused by *Alternaria brassicicola* and *A. brassicae* in organic seed production of cauliflower. *Plant Pathology*, 2010, 59 (2): 358-367
- [13] Tamayo M P J, Becerra V D C, Jaramillo N J E. *Alternaria brassicae*, agente causal de pudrición de la cabeza en coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.). *ASCOLFI Informa*, 2001, 27: 10-11
- [14] 张小丽, 刘玉梅, 方智远, 杨丽梅, 庄木, 张扬勇, 李占省, 吕红豪. 青花菜及近缘种属种质资源抗根肿病鉴定. *植物遗传资源学报*, 2016, 17 (6): 1106-1115  
Zhang X L, Liu Y M, Fang Z Y, Yang L M, Zhuang M, Zhang Y Y, Li Z S, Lv H H. Identification of germplasm resistant to clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) and its relatives. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17 (6): 1106-1115
- [15] 胡兰, 刘可杰, 徐婧, 姜钰, 徐秀德. 高粱种质资源对黑束病的抗性鉴定与评价. *植物遗传资源学报*, 2019, 20 (30): 550-555  
Hu L, Liu K J, Xu J, Jiang Y, Xu X D. Screening and evaluation of sorghum germplasm for resistance to black bundle disease. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20 (3): 550-555
- [16] 张小丽. 青花菜抗根肿病遗传分析和种质创新. 北京: 中国农业科学院, 2014  
Zhang X L. Genetic analysis and created germplasm of clubroot resistance in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014
- [17] 陈静, 任雪松, 宋洪元, 李成琼, 袁天成, 司军. 4 个不同地区十字花科根肿病菌生理小种鉴定及甘蓝新组合的抗性鉴定. *西南大学学报: 自然科学版*, 2016, 38 (1): 67-72  
Chen J, Ren X S, Song H Y, Li C Q, Yuan T C, Si J. Identification of races of *Plasmodiophora brassicae* from four different regions and resistance identification of new cabbage cross combinations. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2016, 38 (1): 67-72
- [18] Liu M, Shi Z, Zhang X, Wang M, Zhang L, Zheng K, Liu J, Hu X, Di C, Qian Q, He Z, Yang D. Inducible overexpression of *Ideal Plant Architecture1* improves both yield and disease resistance in rice. *Nature Plants*, 2019, 5 (4): 389-400