

青花菜及近缘种属种质资源抗根肿病鉴定

张小丽, 刘玉梅, 方智远, 杨丽梅, 庄 木, 张扬勇, 李占省, 吕红豪

(中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081)

摘要:根肿病是十字花科蔬菜作物的主要病害之一,造成了蔬菜产业巨大经济损失。青花菜是一种重要的十字花科蔬菜,具有良好的防癌保健功效。近年来青花菜根肿病在我国浙江、云南等青花菜主产区发生日益严重,鉴定和筛选青花菜抗根肿病资源,从而培育抗病品种是防治该病最经济有效的方法。为挖掘和丰富可利用的根肿病抗源,本试验针对我国优势根肿菌小种—4号小种,利用苗期人工接种鉴定方法—伤根灌菌法对531份青花菜及其近缘种属材料进行了抗根肿病鉴定。结果显示,446份青花菜材料(其中高代自交系393份,杂交种53份)中缺乏高抗(HR)和抗病(R)材料,包括中抗(MR)材料5份,均为自交系,占供试种质的1.12%,感病(S)材料189份,占供试种质的42.38%,高感(HS)材料252份,占供试种质的56.50%。85份近缘种属材料(其中甘蓝9份,花椰菜32份,大白菜7份,芜菁4份,芥蓝12份,苤蓝8份,菜心8份,油菜2份,野生种2份,欧洲山芥1份)中,包括免疫(I)材料1份,高抗(HR)材料1份,抗病(R)材料5份,中抗(MR)材料2份,感病(S)材料39份,高感(HS)材料37份。总体上高抗青花菜材料缺乏,近缘种属材料中抗源材料比例略高,这些材料为青花菜及甘蓝类蔬菜抗根肿病育种提供了抗性资源。

关键词:青花菜;近缘种属;根肿病;抗源筛选

Identification of Germplasm Resistant to Clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) in Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) and Its Relatives

ZHANG Xiao-li, LIU Yu-mei, FANG Zhi-yuan, YANG Li-mei, ZHUANG Mu,

ZHANG Yang-yong, LI Zhan-sheng, LV Hong-hao

(Institute of Vegetables and Flowers of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Clubroot is a destructive disease of cruciferae vegetable crops, which causes great economic loss. Broccoli is an important cruciferae vegetable, which has good anti-cancer effects. In recent years, the incidence of clubroot is increasing in the main producing areas of broccoli, such as Zhejiang, Yunnan province. Cultivating resistant varieties based on identifying and screening clubroot-resistance accessions is the most cost-effective method of preventing the disease. To explore available resistant germplasm against No. 4 race, the mainstream *Plasmodiophora brassicae* race in China, 531 broccoli accessions and their relatives were artificially inoculated using irrigating injured root method. The results suggested that 5 accessions (inbred lines) were middle resistant (MR), accounting for 1.12%; 189 accessions were susceptible (S), accounting for 42.38%; 252 accessions were highly susceptible (HS), accounting for 56.50%; no accessions were highly resistant (HR) or resistant (R) among 446 broccoli accessions (including 393 inbred lines, 53 hybrids). Among 85 relatives (including 9 cabbage accessions, 32 cauliflower,

收稿日期: 2016-01-15 修回日期: 2016-04-05 网络出版日期: 2016-10-12

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20161012.0917.030.html>

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-25-A);国家科技支撑计划课题项目(2013BAD01B04);国家高新技术发展计划“863”项目(2012AA100105);农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目;中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-IVFCAAS)

第一作者研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: zxl19871009@163.com

通信作者: 刘玉梅, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: liuyumei@caas.cn

7 Chinese cabbage, 4 turnip, 12 chinese kale, 8 kohlrabi, 8 flowering chinese cabbage, 2 oilseed rape, 2 wild accessions, 1 *Barbarea vulgaris* R. Br.), 1 accession showed immune (I), 1 highly resistance (HR), 5 resistant (R), 2 middle resistance (MR), 39 susceptible (S) and 37 highly susceptible (HS). In short, there were more resistant type lines (HR, R, and MR) in relatives than that in broccoli lines. These materials would provide clubroot-resistance source for breeding in *Brassica oleracea* L.

Key words: broccoli; relatives; clubroot; screening for resistance source

十字花科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性病害,近年来成为我国威胁十字花科蔬菜作物最严重的病害之一,在全世界大部分国家和地区均有分布^[1]。20世纪50年代,我国首次报道了发生在江西省南昌市的根肿病^[2],迄今为止,根肿病在我国东北地区、西南地区、长江中上游地区以及山东青岛等地迅速扩大^[3]。作为蔬菜生产大国,根肿病的爆发与流行使我国十字花科蔬菜产量和产值严重下降,严重制约着十字花科蔬菜产业的发展。据统计,根肿病在我国常年危害面积约320万~400万 hm^2 ,占十字花科作物总面积的1/3以上,发病严重年份危害面积甚至可高达900万 hm^2 ,平均产量损失达20%~30%,发病严重地块损失可达60%以上甚至绝收^[4]。青花菜 (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) 是十字花科芸薹属甘蓝种中以绿色花球为食用产品的变种,深受广大消费者的喜爱,是一些地区重要的出口创汇蔬菜^[5]。近年来,随着栽培面积的扩大,种植集约化程度的提高,青花菜根肿病在我国浙江台州^[6]、云南通海等青花菜主产区发生日益严重。防治根肿病最经济有效的方法是种植抗病品种。国外开展根肿病抗性鉴定及抗源筛选工作较早,并以抗源材料为亲本育成了具有抗性的栽培品种^[7-8]。我国开展根肿病抗性鉴定及抗源筛选工作则相对较晚,发现的抗病种质较少^[9-11],抗病育种工作进展较慢。因此,筛选抗病种质资源,发掘抗病基因,加速育种进程意义重大。

青花菜根肿病的抗性鉴定是筛选抗病种质、发掘抗病基因、开展抗病育种的基础。但目前有关青花菜根肿病抗源材料的筛选研究较少,有关青花菜抗病品种的育成尚未见报道。本研究利用苗期人工接种鉴定方法—伤根灌菌法,对中国农业科学院蔬菜花卉研究所收集的446份青花菜材料及85份近缘种属材料进行了抗根肿病鉴定,以期明确其抗病水平,筛选出抗性优质种质资源,为青花菜及甘蓝类蔬菜抗根肿病育种提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料

鉴定材料共531份,由中国农业科学院蔬菜花卉研究所甘蓝青花菜课题组提供,包括446份青花菜材料(包括自交系和杂交种)和85份近缘种属材料(包括甘蓝9份,花椰菜33份,大白菜7份,芜菁4份,芥蓝12份,苕蓝8份,菜心8份,油菜2份,野生种2份,欧洲山芥1份),其中,393份青花菜自交系材料由中国农业科学院蔬菜花卉研究所甘蓝青花菜课题组选育,53份青花菜杂交种及85份近缘种属材料的名称、来源分别见表1、表2。以上材料选取21粒饱满无病种子,播种于口径为10 $\text{cm} \times 10\text{cm}$ 育种钵内,设3次重复,每重复7株苗。育苗基质为中国农业科学院蔬菜花卉研究所配制的育苗土(蛭石:草炭:土壤=1:1:2),灭菌处理后使用。

1.2 接种体制备

取预存于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱的大白菜根肿块搅碎,用4层纱布过滤,冷冻离心机2500 r/min 离心5 min ,弃上清液;用蒸馏水悬浮沉淀,重复3次,用血球计数板统计接种菌液浓度,用蒸馏水调至 $3 \times 10^8\text{ cfu}/\text{mL}$, $4\text{ }^\circ\text{C}$ 保存备用,24 h 之内使用。其中该大白菜肿块采自云南省玉溪市通海县,经鉴定根肿菌类型为4号小种^[12]。

1.3 抗病鉴定

取长到2~3叶期植株幼苗,接种前先用刀片在幼苗根部一侧将部分根部轻轻切断,给根系造成机械伤害,后将5 mL 浓度为 $3 \times 10^8\text{ cfu}/\text{mL}$ 的接种菌液灌入伤根部位,以青花菜自交系‘8554’为感病对照(经多年多次鉴定均表现为高感根肿病)。接种后置于 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 温室环境中,16 h 光照条件,6~7周后调查发病情况,计算病情指数(DI),病情分级参照李妍等^[13]的标准,寄主抗性等级分别为:免疫(I): $\text{DI} = 0$;高抗(HR): $0 < \text{DI} \leq 25$;抗病(R): $25 < \text{DI} \leq 45$;中抗(MR): $45 < \text{DI} \leq 65$;感病(S): $65 < \text{DI} \leq 80$;高感(HS): $\text{DI} > 80$ 。

1.4 数据统计

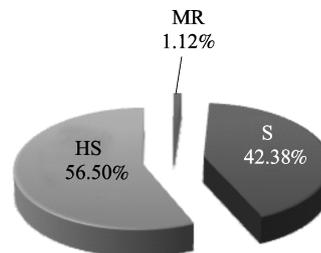
本研究中所有数据的统计分析在 Excel 2003 中进行。每份材料的病情指数为 3 个重复试验的平均值 \pm 标准误。

2 结果与分析

2.1 青花菜种质资源抗病性鉴定结果

本研究采用苗期人工接种鉴定方法—伤根灌菌法,对 446 份青花菜种质资源进行抗根肿病鉴定,其中高代自交系 393 份,杂交种 53 份,鉴定评价结果如图 1 所示,在 446 份种质中,缺乏高抗(HR)和抗病(R)种质,筛选出中抗(MR)5 份,均为本课题组经过多年选育的高代纯和自交系,占供试种质的 1.12%;感病(S)189 份,占供试种质的 42.38%;高感(HS)252 份,占供试种质的 56.50%。393 份自交系材料中,包括 5 份中抗(MR)材料,177 份感病(S)

材料和 211 份高感(HS)材料(表 1)。对来自国内外的 53 份青花菜杂交种的抗根肿病评价中,包括感病(S)材料 12 份,高感(HS)材料 41 份,且未发现抗病(R)材料(表 2)。



I: 免疫;HR:高抗;R:抗病;MR:中抗;S:感病;HS:高感,下同
I: Immune, HR: Highly resistant, R: Resistant, MR: Moderately resistant, S: Susceptible, HS: Highly susceptible, the same as below

图 1 446 份青花菜种质资源抗性结果

Fig.1 The resistant results to clubroot of 446 accessions of broccoli

表 1 393 份青花菜自交系的抗性鉴定结果

Table 1 The resistant results to clubroot of 393 broccoli inbred lines

| 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|
| 12B189 | 46.43 \pm 0 | MR | 12B71 | 91.67 \pm 2.89 | HS | 12B316 | 80.00 \pm 0 | S |
| 12B532 | 50.00 \pm 10.00 | MR | 12B77 | 76.67 \pm 9.43 | S | 12B317 | 100.00 \pm 0 | HS |
| 12B601 | 52.78 \pm 9.62 | MR | 12B78 | 91.67 \pm 11.79 | HS | 12B320 | 98.33 \pm 2.89 | HS |
| 13B495 | 55.56 \pm 12.28 | MR | 12B80 | 91.07 \pm 12.63 | HS | 12B325 | 92.50 \pm 6.61 | HS |
| 13B530 | 63.06 \pm 3.37 | MR | 12B82 | 68.75 \pm 8.84 | S | 12B326 | 90.00 \pm 14.14 | HS |
| 12B2 | 65.48 \pm 14.43 | S | 12B86 | 72.92 \pm 2.95 | S | 12B336 | 95.00 \pm 8.66 | HS |
| 12B3 | 80.00 \pm 0 | S | 12B95 | 81.75 \pm 14.88 | HS | 12B352 | 93.75 \pm 0 | HS |
| 12B4 | 82.50 \pm 10.61 | HS | 12B96 | 78.35 \pm 0.31 | S | 12B353 | 77.50 \pm 3.54 | S |
| 12B6 | 100.00 \pm 0 | HS | 12B97 | 81.35 \pm 16.16 | HS | 12B354 | 88.10 \pm 8.99 | HS |
| 12B11 | 87.92 \pm 7.11 | HS | 12B102 | 91.67 \pm 2.89 | HS | 12B357 | 75.00 \pm 0 | S |
| 12B12 | 80.83 \pm 9.46 | HS | 12B104 | 82.50 \pm 10.90 | HS | 12B358 | 95.00 \pm 8.66 | HS |
| 12B13 | 82.92 \pm 4.02 | HS | 12B109 | 75.00 \pm 0 | S | 12B359 | 100.00 \pm 0 | HS |
| 12B15 | 96.67 \pm 5.77 | HS | 12B110 | 89.29 \pm 7.15 | HS | 12B360 | 95.83 \pm 0 | HS |
| 12B18 | 88.33 \pm 2.89 | HS | 12B111 | 87.50 \pm 17.68 | HS | 12B361 | 91.07 \pm 4.72 | HS |
| 12B19 | 85.00 \pm 0 | HS | 12B113 | 86.84 \pm 3.47 | HS | 12B362 | 100.00 \pm 0 | HS |
| 12B33 | 87.50 \pm 0 | HS | 12B116 | 75.00 \pm 5.00 | S | 12B363 | 100.00 \pm 0 | HS |
| 12B38 | 80.00 \pm 8.66 | S | 12B120 | 80.24 \pm 8.93 | HS | 12B366 | 75.00 \pm 0 | S |
| 12B39 | 96.35 \pm 5.05 | HS | 12B121 | 75.00 \pm 0 | S | 12B367 | 66.67 \pm 0 | S |
| 12B40 | 70.24 \pm 2.07 | S | 12B122 | 65.17 \pm 0 | S | 12B368 | 66.67 \pm 0 | S |
| 12B42 | 96.67 \pm 5.77 | HS | 12B123 | 95.24 \pm 2.06 | HS | 12B369 | 92.08 \pm 4.02 | HS |
| 12B48 | 80.00 \pm 8.66 | S | 12B124 | 75.00 \pm 0 | S | 12B371 | 76.11 \pm 6.73 | S |
| 12B56 | 82.50 \pm 10.61 | HS | 12B313 | 87.50 \pm 0 | HS | 12B373 | 77.08 \pm 9.55 | S |
| 12B66 | 93.33 \pm 2.89 | HS | 12B314 | 87.08 \pm 5.05 | HS | 12B376 | 83.75 \pm 2.17 | HS |

表 1(续)

| 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|
| 12B377 | 75.00 ± 0 | S | 12B763 | 95.24 ± 8.25 | HS | 12B143 | 75.00 ± 0 | S |
| 12B379 | 75.00 ± 0 | S | 13B146 | 88.89 ± 10.48 | HS | 12B144 | 97.50 ± 3.54 | HS |
| 12B380 | 93.75 ± 8.84 | HS | 13B147 | 71.43 ± 9.45 | S | 12B145 | 95.00 ± 0 | HS |
| 12B381 | 100.00 ± 0 | HS | 13B154 | 71.43 ± 16.37 | S | 12B146 | 97.50 ± 0 | HS |
| 12B382 | 93.75 ± 8.84 | HS | 13B162 | 73.81 ± 16.49 | S | 12B149 | 81.94 ± 9.79 | HS |
| 12B384 | 96.67 ± 2.89 | HS | 13B164 | 67.86 ± 6.19 | S | 12B150 | 81.35 ± 9.15 | HS |
| 12B385 | 97.50 ± 3.54 | HS | 13B165 | 69.94 ± 13.05 | S | 12B152 | 84.44 ± 5.09 | HS |
| 12B394 | 70.83 ± 8.78 | S | 13B166 | 80.65 ± 2.10 | HS | 12B153 | 80.00 ± 8.66 | S |
| 12B396 | 72.42 ± 23.26 | S | 13B192 | 73.22 ± 12.5 | S | 12B154 | 88.79 ± 5.23 | HS |
| 12B399 | 83.33 ± 10.41 | HS | 13B210 | 72.62 ± 8.41 | S | 12B155 | 71.91 ± 0 | S |
| 12B404 | 100.00 ± 0 | HS | 13B211 | 96.43 ± 0 | HS | 12B156 | 75.00 ± 0 | S |
| 12B405 | 100.00 ± 0 | HS | 13B318 | 86.67 ± 4.72 | HS | 12B158 | 83.33 ± 0 | HS |
| 12B408 | 85.00 ± 8.66 | HS | 13B339 | 75.40 ± 6.53 | S | 12B161 | 90.00 ± 10.00 | HS |
| 12B412 | 75.83 ± 11.27 | S | 13B344 | 91.67 ± 8.99 | HS | 12B167 | 76.80 ± 22.71 | S |
| 12B416 | 95.00 ± 8.66 | HS | 13B432 | 91.67 ± 2.06 | HS | 12B168 | 97.50 ± 3.54 | HS |
| 12B420 | 85.00 ± 15.28 | HS | 13B433 | 70.14 ± 10.80 | S | 12B169 | 96.43 ± 0 | HS |
| 12B425 | 91.67 ± 0 | HS | 13B438 | 90.00 ± 14.14 | HS | 12B170 | 85.00 ± 0 | HS |
| 12B427 | 95.56 ± 4.19 | HS | 13B473 | 65.87 ± 6.77 | S | 12B175 | 70.83 ± 8.78 | S |
| 12B429 | 98.22 ± 2.52 | HS | 13B474 | 68.33 ± 13.09 | S | 12B177 | 71.79 ± 10.52 | S |
| 12B435 | 100.00 ± 0 | HS | 13B497 | 92.46 ± 3.64 | HS | 12B178 | 83.33 ± 5.77 | HS |
| 12B437 | 78.33 ± 2.89 | S | 13B498 | 89.29 ± 10.10 | HS | 12B180 | 87.62 ± 6.64 | HS |
| 12B671 | 75.00 ± 8.33 | S | 13B534 | 91.67 ± 5.46 | HS | 12B181 | 71.91 ± 7.87 | S |
| 12B673 | 91.90 ± 7.33 | HS | 13B542 | 92.81 ± 6.17 | HS | 12B184 | 77.50 ± 3.54 | S |
| 12B674 | 80.00 ± 0 | S | 13B624 | 83.33 ± 4.12 | HS | 12B185 | 72.50 ± 3.54 | S |
| 12B675 | 70.00 ± 7.07 | S | 13B625 | 89.29 ± 10.10 | HS | 12B187 | 77.78 ± 0 | S |
| 12B677 | 79.17 ± 19.09 | S | 13B626 | 92.86 ± 7.15 | HS | 12B188 | 98.61 ± 2.41 | HS |
| 12B679 | 79.17 ± 7.22 | S | 13B627 | 100.00 ± 0 | HS | 12B190 | 84.03 ± 9.39 | HS |
| 12B690 | 86.51 ± 6.98 | HS | 12B125 | 83.33 ± 0 | HS | 12B192 | 89.80 ± 9.73 | HS |
| 12B693 | 96.43 ± 5.05 | HS | 12B127 | 93.75 ± 10.83 | HS | 12B200 | 77.50 ± 3.54 | S |
| 12B696 | 65.48 ± 7.44 | S | 12B128 | 72.92 ± 9.55 | S | 12B202 | 77.50 ± 38.91 | S |
| 12B698 | 83.33 ± 23.57 | HS | 12B130 | 93.85 ± 3.96 | HS | 12B204 | 75.00 ± 0 | S |
| 12B705 | 68.33 ± 5.77 | S | 12B132 | 71.88 ± 4.42 | S | 12B443 | 70.83 ± 8.78 | S |
| 12B710 | 70.00 ± 7.07 | S | 12B135 | 96.67 ± 2.89 | HS | 12B447 | 68.65 ± 2.48 | S |
| 12B714 | 75.00 ± 0 | S | 12B136 | 66.11 ± 8.39 | S | 12B449 | 100.00 ± 0 | HS |
| 12B715 | 79.17 ± 3.61 | S | 12B137 | 80.95 ± 16.10 | HS | 12B450 | 96.88 ± 4.42 | HS |
| 12B732 | 90.00 ± 7.07 | HS | 12B138 | 71.43 ± 10.10 | S | 12B451 | 66.67 ± 0 | S |
| 12B737 | 75.00 ± 7.07 | S | 12B139 | 75.00 ± 0 | S | 12B452 | 90.00 ± 14.14 | HS |
| 12B740 | 72.42 ± 2.25 | S | 12B140 | 75.00 ± 0 | S | 12B453 | 72.92 ± 2.95 | S |
| 12B751 | 91.61 ± 10.50 | HS | 12B141 | 66.67 ± 15.02 | S | 12B455 | 75.00 ± 3.54 | S |
| 12B753 | 96.43 ± 6.18 | HS | 12B142 | 72.62 ± 19.67 | S | 12B456 | 77.50 ± 15.00 | S |

表 1(续)

| 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|
| 12B460 | 70.84 ± 11.79 | S | 13B636 | 84.72 ± 5.13 | HS | L9 | 81.25 ± 2.95 | HS |
| 12B466 | 80.00 ± 0 | S | 13B639 | 78.57 ± 3.57 | S | L10 | 72.92 ± 2.95 | S |
| 12B468 | 80.00 ± 0 | S | 13B640 | 79.76 ± 4.12 | S | L11 | 78.57 ± 5.05 | S |
| 12B469 | 87.50 ± 3.54 | HS | 13B641 | 100.00 ± 0 | HS | 12B206 | 79.17 ± 5.89 | S |
| 12B470 | 90.00 ± 10.61 | HS | 13B642 | 96.43 ± 5.05 | HS | 12B207 | 84.17 ± 1.18 | HS |
| 12B472 | 100.00 ± 0 | HS | 13B643 | 87.95 ± 8.21 | HS | 12B211 | 96.13 ± 0.42 | HS |
| 12B473 | 70.00 ± 7.07 | S | 13B644 | 77.01 ± 7.25 | S | 12B215 | 92.86 ± 9.45 | HS |
| 12B474 | 70.00 ± 7.07 | S | 13B651 | 84.13 ± 20.70 | HS | 12B219 | 70.00 ± 7.07 | S |
| 12B475 | 71.88 ± 4.42 | S | 13B691 | 66.94 ± 21.42 | S | 12B222 | 84.58 ± 9.38 | HS |
| 12B482 | 81.67 ± 7.64 | HS | 13B692 | 79.56 ± 22.75 | S | 12B225 | 88.10 ± 11.48 | HS |
| 12B484 | 75.00 ± 0 | S | 13B694 | 80.95 ± 14.43 | HS | 12B227 | 89.58 ± 8.84 | HS |
| 12B485 | 75.00 ± 7.07 | S | 13B697 | 89.15 ± 3.58 | HS | 12B228 | 81.25 ± 0 | HS |
| 12B486 | 72.50 ± 10.61 | S | 13B704 | 95.00 ± 7.07 | HS | 12B230 | 93.75 ± 8.84 | HS |
| 12B487 | 80.63 ± 0.88 | HS | 13B705 | 78.57 ± 6.18 | S | 12B233 | 81.25 ± 8.84 | HS |
| 12B494 | 98.61 ± 2.41 | HS | 13B706 | 80.95 ± 14.87 | HS | 12B236 | 94.65 ± 2.52 | HS |
| 12B495 | 83.33 ± 7.64 | HS | 13B709 | 89.24 ± 5.35 | HS | 12B238 | 75.00 ± 0 | S |
| 12B502 | 92.46 ± 7.18 | HS | 13B715 | 85.52 ± 12.70 | HS | 12B239 | 66.67 ± 12.54 | S |
| 12B504 | 100.00 ± 0 | HS | 13B719 | 89.29 ± 3.58 | HS | 12B240 | 77.50 ± 3.54 | S |
| 12B505 | 96.88 ± 4.42 | HS | 13B720 | 77.98 ± 9.83 | S | 12B242 | 86.67 ± 11.55 | HS |
| 12B506 | 100.00 ± 0 | HS | 13B722 | 84.52 ± 8.99 | HS | 12B243 | 95.00 ± 0 | HS |
| 12B509 | 80.00 ± 7.07 | S | 13B723 | 72.82 ± 16.15 | S | 12B245 | 83.33 ± 2.36 | HS |
| 12B511 | 93.45 ± 6.27 | HS | 13B725 | 79.76 ± 14.43 | S | 12B246 | 97.22 ± 4.81 | HS |
| 12B513 | 72.50 ± 3.54 | S | 13B728 | 69.64 ± 6.44 | S | 12B255 | 97.62 ± 4.12 | HS |
| 12B514 | 67.86 ± 0 | S | 13B731 | 71.43 ± 6.18 | S | 12B257 | 92.50 ± 10.61 | HS |
| 12B515 | 72.62 ± 2.06 | S | 13B735 | 84.33 ± 10.59 | HS | 12B258 | 89.29 ± 5.06 | HS |
| 12B517 | 68.25 ± 24.75 | S | 13B737 | 78.22 ± 7.44 | S | 12B259 | 96.23 ± 3.59 | HS |
| 12B520 | 80.06 ± 22.30 | HS | 13B741 | 88.10 ± 4.13 | HS | 12B262 | 92.50 ± 3.54 | HS |
| 12B521 | 71.67 ± 7.64 | S | 13B742 | 80.00 ± 28.28 | S | 12B265 | 96.43 ± 5.05 | HS |
| 12B527 | 86.81 ± 5.24 | HS | 13B750 | 74.11 ± 4.97 | S | 12B270 | 92.50 ± 3.54 | HS |
| 12B528 | 67.86 ± 0 | S | 13B769 | 90.00 ± 7.07 | HS | 12B273 | 84.44 ± 10.05 | HS |
| 12B530 | 80.83 ± 6.61 | HS | 13B771 | 96.43 ± 6.18 | HS | 12B277 | 75.00 ± 0 | S |
| 12B533 | 80.00 ± 0 | S | 13B774 | 95.00 ± 7.07 | HS | 12B278 | 75.00 ± 10.71 | S |
| 12B536 | 67.86 ± 0 | S | L1 | 84.23 ± 7.16 | HS | 12B279 | 93.75 ± 8.84 | HS |
| 12B537 | 82.50 ± 2.5 | HS | L2 | 75.00 ± 8.84 | S | 12B281 | 70.36 ± 21.72 | S |
| 12B538 | 69.65 ± 2.52 | S | L3 | 77.58 ± 2.25 | S | 12B282 | 81.67 ± 16.07 | HS |
| 12B539 | 75.00 ± 7.07 | S | L4 | 94.05 ± 3.37 | HS | 12B287 | 70.00 ± 13.23 | S |
| 12B540 | 75.00 ± 0 | S | L5 | 78.27 ± 10.52 | S | 12B290 | 83.13 ± 2.65 | HS |
| 13B630 | 84.92 ± 10.80 | HS | L6 | 82.14 ± 0 | HS | 12B294 | 96.03 ± 4.18 | HS |
| 13B633 | 87.10 ± 4.78 | HS | L7 | 79.17 ± 0 | S | 12B298 | 85.83 ± 5.20 | HS |
| 13B634 | 82.94 ± 16.68 | HS | L8 | 85.71 ± 0 | HS | 12B301 | 80.00 ± 0 | S |

表 1(续)

| 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance | 编号 No. | 病情指数 Disease index | 抗级 Resistance |
|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|-----------|-----------------------|------------------|
| 12B302 | 80.00 ± 0 | S | 12B581 | 77.38 ± 8.98 | S | L15 | 84.17 ± 1.18 | HS |
| 12B303 | 77.50 ± 3.54 | S | 12B583 | 77.18 ± 0 | S | L16 | 85.42 ± 6.36 | HS |
| 12B306 | 90.42 ± 7.94 | HS | 12B584 | 72.42 ± 2.25 | S | L17 | 91.27 ± 1.82 | HS |
| 12B309 | 100.00 ± 0 | HS | 12B585 | 95.00 ± 8.66 | HS | L18 | 90.77 ± 7.16 | HS |
| 12B310 | 90.00 ± 14.14 | HS | 12B587 | 73.81 ± 22.96 | S | L19 | 82.14 ± 0 | HS |
| 12B311 | 97.50 ± 3.54 | HS | 12B588 | 66.67 ± 0 | S | L20 | 85.00 ± 14.14 | HS |
| 12B312 | 77.50 ± 3.54 | S | 12B590 | 75.00 ± 0 | S | L21 | 82.74 ± 0.84 | HS |
| 12B541 | 92.50 ± 2.50 | HS | 12B591 | 88.10 ± 12.54 | HS | L22 | 82.14 ± 5.05 | HS |
| 12B542 | 72.50 ± 2.50 | S | 12B592 | 81.15 ± 3.96 | HS | L23 | 82.14 ± 5.05 | HS |
| 12B545 | 66.67 ± 0 | S | 12B593 | 78.57 ± 6.18 | S | L24 | 78.54 ± 0 | S |
| 12B551 | 82.34 ± 3.27 | HS | 12B594 | 66.67 ± 8.34 | S | L25 | 77.08 ± 2.95 | S |
| 12B552 | 66.67 ± 0 | S | 12B595 | 79.17 ± 3.61 | S | L26 | 85.71 ± 0 | HS |
| 12B554 | 70.00 ± 7.07 | S | 12B596 | 92.86 ± 9.45 | HS | L27 | 76.79 ± 12.63 | S |
| 12B555 | 70.00 ± 7.07 | S | 12B597 | 75.00 ± 7.14 | S | L28 | 93.93 ± 1.52 | HS |
| 12B556 | 68.75 ± 8.84 | S | 12B598 | 70.00 ± 7.07 | S | L29 | 83.33 ± 8.99 | HS |
| 12B557 | 80.95 ± 2.06 | HS | 12B599 | 86.11 ± 3.47 | HS | L30 | 76.79 ± 2.53 | S |
| 12B559 | 79.56 ± 7.77 | S | 12B600 | 69.05 ± 5.45 | S | L31 | 83.93 ± 7.58 | HS |
| 12B561 | 70.00 ± 5.00 | S | 12B601 | 65.08 ± 3.83 | S | L32 | 81.25 ± 2.95 | HS |
| 12B562 | 70.83 ± 5.89 | S | 12B604 | 78.57 ± 6.18 | S | L33 | 84.23 ± 7.16 | HS |
| 12B565 | 76.11 ± 6.73 | S | 12B612 | 80.00 ± 0 | S | L34 | 73.21 ± 2.53 | S |
| 12B571 | 71.43 ± 0 | S | 12B628 | 68.33 ± 11.55 | S | L35 | 79.17 ± 0 | S |
| 12B574 | 75.00 ± 0 | S | 12B633 | 75.00 ± 0 | S | L36 | 78.28 ± 3.14 | S |
| 12B575 | 85.72 ± 12.37 | HS | 12B655 | 73.21 ± 17.68 | S | L37 | 75.00 ± 0 | S |
| 12B576 | 77.18 ± 14.42 | S | 12B656 | 86.67 ± 4.72 | HS | L38 | 81.25 ± 8.84 | HS |
| 12B577 | 80.00 ± 0 | S | 12B663 | 70.00 ± 0 | S | L39 | 84.38 ± 0 | HS |
| 12B578 | 87.50 ± 17.68 | HS | L12 | 80.36 ± 2.53 | HS | L40 | 86.61 ± 1.26 | HS |
| 12B579 | 78.57 ± 0 | S | L13 | 76.79 ± 2.53 | S | L41 | 83.93 ± 7.58 | HS |
| 12B580 | 66.82 ± 16.88 | S | L14 | 81.25 ± 2.95 | HS | L42 | 85.71 ± 5.05 | HS |

表 2 53 份青花菜杂交种抗性结果

Table 2 The resistant results to clubroot of 53 hybrids of broccoli

| 名称 Name | 来源 Origins | 病情指数 Disease index | 抗性水平 Resistance |
|----------|----------------|--------------------|-----------------|
| 中青 8 号 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 89.29 ± 0 | HS |
| 中青 9 号 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 88.69 ± 4.21 | HS |
| 中青 10 号 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 85.71 ± 0 | HS |
| 高拱王 2 号 | 北京捷利亚种业有限公司 | 77.38 ± 14.43 | S |
| NCB-7 | 北京华耐种子有限公司 | 83.93 ± 12.63 | HS |
| NCB-6 | 北京华耐种子有限公司 | 91.07 ± 2.53 | HS |
| NCB-1 | 北京华耐种子有限公司 | 89.29 ± 15.15 | HS |
| 14HNBR05 | 北京华耐种子有限公司 | 87.50 ± 12.63 | HS |

表 2(续)

| 名称 Name | 来源 Origins | 病情指数 Disease index | 抗性水平 Resistance |
|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| BH11109 | 北京华耐种子有限公司 | 66.67 ± 12.54 | S |
| SHAKA | 北京华耐种子有限公司 | 81.25 ± 6.25 | HS |
| NT5917 | 北京华耐种子有限公司 | 66.67 ± 12.54 | S |
| 金桥 118 | 兰州金桥种业有限责任公司 | 84.05 ± 10.14 | HS |
| 神良宝塔花菜 | 浙江神良种业有限公司 | 77.50 ± 3.54 | S |
| 神良紫花 1 号 | 浙江神良种业有限公司 | 77.38 ± 8.42 | S |
| 马尼拉 | 浙江神良种业有限公司 | 92.86 ± 3.57 | HS |
| 新秀 | 上海市农业科学院园艺研究所 | 88.10 ± 8.99 | HS |
| B-60 庆农 | 庆农种苗(台湾)有限公司 | 85.71 ± 5.05 | HS |
| 绿天下 | 台湾合欢农产有限公司 | 76.79 ± 2.53 | S |
| 佳绿 | 台湾合欢农产有限公司 | 91.96 ± 5.58 | HS |
| LUCKY | 荷兰 Bejo(必久)种子有限公司 | 81.79 ± 4.55 | HS |
| 泰和 | 荷兰尼克森公司 | 80.36 ± 12.63 | HS |
| Waltham29 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 89.29 ± 10.10 | HS |
| Jade Hybrid | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 91.07 ± 7.58 | HS |
| 钢铁 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 82.14 ± 0 | HS |
| 南秀 366 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 85.71 ± 0 | HS |
| 大丽 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 87.86 ± 7.56 | HS |
| 强汉 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 80.95 ± 10.31 | HS |
| IMPERIAL | 未知 | 86.51 ± 17.55 | HS |
| 蔓陀绿 | 北京先正达种业有限公司 | 80.36 ± 17.68 | HS |
| 撒利奥 | 北京先正达种业有限公司 | 85.71 ± 0 | HS |
| 博爱 026 | 寿光先正达种业有限公司 | 94.05 ± 4.12 | HS |
| 万绿 | 兰州东平种子有限公司 | 85.42 ± 8.84 | HS |
| 优秀 | 日本坂田种苗株式会社 | 86.90 ± 6.73 | HS |
| 耐寒优秀 | 日本坂田种苗株式会社 | 89.29 ± 5.05 | HS |
| 绿秀 | 韩国兴农种苗株式会社 | 79.17 ± 5.89 | S |
| 玉冠 | 兰州天马种业有限责任公司 | 78.57 ± 5.05 | S |
| 誉玺 | 未知 | 79.83 ± 8.06 | S |
| 优胜 | 厦门市文兴蔬菜种苗有限公司 | 78.27 ± 10.52 | S |
| 冰岛绿 F1 | 济南田丰种业中心 | 77.08 ± 14.73 | S |
| 青藏 77 | 寿光市勇智胡萝卜专业合作社 | 92.26 ± 0.84 | HS |
| 合欢 007 | 台湾合欢农产有限公司 | 100.00 ± 0 | HS |
| 旺绿 | 日本坂田种苗株式会社 | 87.50 ± 0 | HS |
| 绿雄 60 | 日本 TOKITA 种子有限公司 | 80.65 ± 2.10 | HS |
| 绿雄 90 | 从日本 TOKITA 种子有限公司 | 78.57 ± 10.10 | S |
| 秀绿 | 日本坂田种苗株式会社 | 94.64 ± 2.53 | HS |
| 绿辉 | 台湾农友种苗股份有限公司 | 94.05 ± 4.12 | HS |
| 马拉松 | 日本坂田种苗株式会社 | 100.00 ± 0 | HS |
| 寒秀 | 北京华耐种子有限公司 | 96.43 ± 0 | HS |
| 寒绿 | 上海瑞奇种业有限公司 | 98.21 ± 2.53 | HS |
| 圣绿 | 江苏镇江瑞繁农艺有限公司 | 96.88 ± 0 | HS |
| 绿花王 | 香港蔡兴利国际有限公司 | 83.93 ± 3.09 | HS |
| 炎秀 | 日本坂田种苗株式会社 | 83.45 ± 11.95 | HS |
| 越秀 | 锦州金子种苗有限公司 | 85.72 ± 15.57 | HS |

2.2 近缘种属种质资源抗病性鉴定结果

本研究对 85 份近缘种属种质资源进行了根肿病抗性鉴定,包括自交系 16 份(大白菜 CR20466、CR1101、Granaat、甘蓝 79156、96100、Jersey queen、Badger Shipper、甘蓝型油菜 45H2R、73-77R、芜菁 A20603、13QB813、Wilhelmsburg、Laurentian、野生种 12B756、B2013、欧洲山芥 13B817)及花椰菜、大白菜、甘蓝、芥蓝、苜蓝、菜心品种共 69 份,从中筛选出免疫(I)种质 1 份,高抗(HR)1 份,抗病(R)5 份,中

抗(MR)2 份,感病(S)39 份,高感(HS)37 份(表 3)。其中,免疫(I)种质 13B817 属于山芥属欧洲山芥种,在多年多次的鉴定中均未发病;高抗(HR)种质 B2013 属于甘蓝近缘野生种自交系;抗病(R)种质分别为大白菜品种抗大 3 号、德高 CR117、康根 118、甘蓝品种先甘 336 及芜菁自交系 A20603;中抗(MR)种质分别为花椰菜品种托尼及甘蓝自交系 Jersey queen(William 根肿菌小种鉴别系统的鉴别寄主之一)。

表 3 85 份近缘种属种质资源抗性结果

Table 3 The resistant results to clubroot of 85 accessions of relative species

| 类型 Type | 名称 Name | 来源 Origins | 病情指数 Disease index | 抗性水平 Resistance |
|------------|---------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| 花椰菜 | 青梗松花菜 95 天 | 浙江神良种业有限公司 | 82.14 ± 0 | HS |
| | 青梗松花菜 105 天 | 浙江神良种业有限公司 | 78.57 ± 10.10 | S |
| | 特新白玉 60 | 浙江神良种业有限公司 | 82.14 ± 0 | HS |
| | 特新白玉 80 | 浙江神良种业有限公司 | 83.85 ± 0.75 | HS |
| | 春雪 1 号 | 天津科润农业科技股份有限公司蔬菜研究所 | 82.14 ± 0 | HS |
| | 玉雪 | 兰州市种子管理站 | 83.33 ± 5.89 | HS |
| | 雪玉 | 兰州润丰种业有限责任公司 | 75.00 ± 0 | S |
| | S-65 青梗花椰菜 | 庆农种苗(台湾)有限公司 | 80.36 ± 2.53 | HS |
| | S-85 青梗花椰菜 | 庆农种苗(台湾)有限公司 | 85.71 ± 5.05 | HS |
| | S-90 青梗花椰菜 | 庆农种苗(台湾)有限公司 | 81.25 ± 8.84 | HS |
| | 阿里山 90 天青梗花椰菜 | 浙江神良种业有限公司 | 83.93 ± 2.53 | HS |
| | 宝岛青梗花椰菜 | 福建宝岛种业有限公司 | 76.79 ± 2.53 | S |
| | 雪美 85 天青梗松花菜 | 庆农种苗(台湾)有限公司 | 75.00 ± 0 | S |
| | 春将 | 厦门市文兴蔬菜种苗有限公司 | 81.35 ± 2.48 | HS |
| | 京雪 88 | 北京四季同达农业科技有限公司 | 74.70 ± 5.47 | S |
| | 雪狼 | 广州市兴田种子有限公司 | 73.21 ± 7.58 | S |
| | 雪旺一号 | 北京聚宏种苗技术有限公司 | 88.69 ± 4.21 | HS |
| | 荷兰 83 | 甘肃省武威西凉蔬菜种苗有限公司 | 77.60 ± 9.58 | S |
| | 羞月 | 北京华耐种子有限公司 | 78.57 ± 5.05 | S |
| | 高雪 | 兰州东平种子有限公司 | 75.00 ± 0 | S |
| | 高雪二号 | 兰州东平种子有限公司 | 71.13 ± 0.42 | S |
| | 圣雪 | 甘肃省农业科学院蔬菜研究所 | 80.36 ± 2.53 | HS |
| | 麦宝 65 | 河北省固安县新华种业 | 77.68 ± 13.89 | S |
| | 雪洁 70 | 北京凤鸣雅世科技有限公司 | 82.44 ± 4.63 | HS |
| | 卡罗拉 | 北京华耐种子有限公司 | 71.43 ± 5.05 | S |
| | 阿凡达 | 北京天诺泰隆科技发展有限公司 | 80.95 ± 3.37 | HS |
| | CHIEFTAIN | 美国皮托种子子公司 | 78.87 ± 0.42 | S |
| | 雪霏 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 80.36 ± 7.58 | HS |
| | 福门 | 圣尼斯种子(北京)有限公司 | 86.01 ± 9.68 | HS |
| | 托尼 | 北京凤鸣雅世科技发展有限公司 | 47.22 ± 8.61 | MR |

表 3(续)

| 类型 Type | 名称 Name | 来源 Origins | 病情指数 Disease index | 抗性水平 Resistance |
|------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 花椰菜 | 雪霸(雪白) | 云南京滇种业有限公司 | 75.00 ± 0 | S |
| | 科顿 | 山东寿光先正达种子有限公司 | 76.19 ± 7.43 | S |
| 大白菜 | CR20466 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 75.00 ± 0 | S |
| | CR1101 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 81.96 ± 5.52 | HS |
| | 抗大 3 号 | 云南省农业科学院园艺作物研究所 | 29.37 ± 10.80 | R |
| | 德高 CR117 | 山东省德州市德高蔬菜种苗研究所 | 30.65 ± 2.10 | R |
| | 康根 118 | 昆明市华兴种业有限公司 | 35.86 ± 1.57 | R |
| | Granaat | 沈阳农业大学园艺学院 | 83.93 ± 22.73 | HS |
| 甘蓝 | 迷您黄 1 号 | 云南省农业科学院园艺作物研究所 | 84.82 ± 3.79 | HS |
| | 先甘 336 | 北京先正达种业有限公司 | 38.06 ± 3.37 | R |
| | 79156 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 100.00 ± 0 | HS |
| | 96100 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 100.00 ± 0 | HS |
| | 苏甘 25 号 | 江苏省农业科学院蔬菜研究所 | 79.17 ± 7.22 | S |
| | 凯旋 | 韩国高农种苗株式会社 | 86.31 ± 4.21 | HS |
| | 超越 | 日本坂田种苗株式会社 | 80.36 ± 7.58 | HS |
| | 铁头八号 | 北京华耐种子有限公司 | 85.71 ± 15.15 | HS |
| | Jersey queen | 沈阳农业大学园艺学院 | 53.82 ± 15.67 | MR |
| | Badger Shipper | 沈阳农业大学园艺学院 | 66.82 ± 15.85 | S |
| 芥蓝 | 芥蓝 1 号 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 88.39 ± 1.26 | HS |
| | 芥蓝 2 号 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 83.93 ± 12.63 | HS |
| | 芥蓝 S24 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 70.83 ± 5.89 | S |
| | 翠美 | 广东省农业科学院蔬菜研究所 | 82.14 ± 0 | HS |
| | 四季香菇芥蓝 | 广东澄海 | 81.47 ± 4.10 | HS |
| | 夏翠 | 广东省农业科学院蔬菜研究所 | 82.14 ± 10.10 | HS |
| | 秋盛 | 广东省农业科学院蔬菜研究所 | 77.50 ± 3.54 | S |
| | 广东粗条芥蓝 | 广东省顺祺农业有限公司 | 82.14 ± 15.15 | HS |
| | 大种迟花芥蓝 | 北京凤鸣雅世科技发展有限公司 | 78.87 ± 0.42 | S |
| | 青宝 | 日本武藏野种苗园株式会社 | 75.30 ± 5.47 | S |
| 苜蓝 | 翠宝 | 日本武藏野种苗园株式会社 | 75.22 ± 4.74 | S |
| | 绿宝 | 日本武藏野种苗园株式会社 | 75.71 ± 6.06 | S |
| | 苜蓝 1115 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 86.38 ± 6.00 | HS |
| | 苜蓝 1815 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 87.50 ± 12.63 | HS |
| | 苜蓝 0618 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 86.90 ± 6.73 | HS |
| | 大禹翠绿青苜蓝 | 河北大禹种业有限公司 | 75.00 ± 0 | S |
| | 紫翠苜蓝 | 甘肃省兴农种业有限公司 | 76.34 ± 6.94 | S |
| | 春秋青苜蓝 | 河北省璐通种业有限公司 | 90.77 ± 7.16 | HS |
| | 天津青苜蓝 | 天津地方品种 | 81.47 ± 4.10 | HS |
| | 内蒙苜蓝 | 内蒙地方品种 | 80.36 ± 7.58 | HS |
| 菜心 | 澳洲超级 608 | 广州市兴田种子有限公司 | 73.51 ± 8.00 | S |
| | 日本甜脆 45 天 | 张掖市天脊种业有限公司 | 76.43 ± 12.12 | S |
| 甘蓝型油菜 | 45H2R | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 73.33 ± 12.58 | S |
| | 73-77R | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 65.46 ± 11.40 | S |
| 芜菁 | A20603 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 30.95 ± 16.88 | R |
| | 13QB813 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 70.49 ± 17.56 | S |
| | Wilhelmsburg | 沈阳农业大学园艺学院 | 69.17 ± 6.29 | S |
| | Laurentian | 沈阳农业大学园艺学院 | 76.39 ± 14.63 | S |
| 野生种 | 12B756 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 66.67 ± 4.12 | S |
| | 甘蓝近缘野生种 B2013 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 9.14 ± 1.42 | HR |
| 欧洲山芥 | 13B817 | 中国农业科学院蔬菜花卉研究所 | 0 ± 0 | I |

3 讨论

苗期人工接种鉴定根肿病抗性是一种广泛使用的抗病鉴定方法,其优点在于温、光、水、湿、病、虫等环境条件容易控制,占用空间小,易于防止高危病害扩散,且试验周期较短,因此得到育种工作者的普遍重视^[14],其中伤根灌菌法接种效果优于其他方法^[15],本试验使用该方法在对 446 份青花菜种质资源的抗根肿病鉴定中,发现具有较高抗性的青花菜种质较少,仅有 5 份中抗自交系材料,在对市场上现有的部分青花菜杂种一代进行的抗病鉴定中发现,53 份杂种一代均表现为感病或高感,甚至是青花菜育种水平较为先进的日本,所鉴定的若干份青花菜品种对我国 4 号根肿菌小种同样表现感病或高感。因此,继续开展青花菜种质资源对根肿病的抗性鉴定,发掘新的抗病种质,并以此为材料进行青花菜抗根肿病育种,是一项亟不可待的任务。

在本研究中,用同样的方法对 85 份近缘种属种质资源进行了根肿病抗性鉴定,发现了 1 份免疫种质,1 份高抗种质,5 份抗病种质及 1 份中抗种质。其中,免疫的欧洲山芥 13B817 属十字花科山芥属欧洲山芥种 (*Barbarea vulgaris* R. Br.),除抗根肿病外,在田间试验中也发现该材料对小菜蛾有很强的抗性。这与 A. B. Idris 等^[16]报道的关于欧洲山芥 G 型对小菜蛾幼虫具有较强的诱杀作用的研究结果相符。该材料可通过远缘杂交和原生质体融合技术将抗病或抗虫基因转移到栽培品种中去。高抗种质 B2013 为甘蓝近缘野生种自交系,与甘蓝类作物有性杂交不存在不亲和现象,且结籽较多,同时发现该材料叶片中具有较高含量的菜菔硫烷(尚未发表),因此,可以直接用于甘蓝类蔬菜的抗根肿病育种或高含量菜菔硫烷品种的选育。

总之,由于栽培甘蓝类蔬菜中高抗根肿病资源的匮乏迫使今后应将目光转向近缘种和野生种资源,以期通过回交转育或远缘杂交的手段将抗性基

因转到栽培作物中,为甘蓝类作物抗病育种及抗病基因的挖掘提供基础材料。

另外,本试验仅用了采自一个地区的根肿菌,不具有广泛性,在今后的研究工作中,需要在不同地区广泛调查和取样,扩大菌源范围,在室内人工控制条件下接种不同生理小种,即应特别重视抗源材料抗性水平的鉴定和筛选,为选育高抗、多抗、综合抗性品种打下基础。

参考文献

- [1] Hirai M. Genetic analysis of clubroot resistance in *Brassica* crops [J]. *Breeding Sci*, 2006, 56(3): 223-229
- [2] 黄齐望, 欧阳凉. 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
- [3] 李金萍, 柴阿丽, 孙日飞, 等. 十字花科蔬菜根肿病研究新进展 [J]. *中国蔬菜*, 2012(8): 1-4
- [4] 王靖, 黄云, 李小兰, 等. 十字花科根肿病研究进展 [J]. *植物保护*, 2012, 37(6): 153-158
- [5] 舒金帅, 刘玉梅, 方智远, 等. 青花菜两类雄性不育系花器官形态结构的比较 [J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 113-119
- [6] 余山红, 王会福, 张顺昌. 枯草芽孢杆菌防治西兰花根肿病药效试验 [J]. *浙江农业学报*, 2012(7): 1008-1009
- [7] Wit F, Van de Weg M. Clubroot-resistance in turnips (*Brassica campestris* L.) [J]. *Euphytica*, 1964, 13(1): 9-18
- [8] Tjallingii F. Testing clubroot-resistance of turnips in the Netherlands and the physiologic specialization of *Plasmodiophora brassicae* [J]. *Euphytica*, 1965, 14(1): 1-22
- [9] 司军, 李成琼, 宋洪元, 等. 结球甘蓝对根肿病的抗性鉴定与评价 [J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2009(6): 26-30
- [10] 任莉, 王婧, 贾建光, 等. 十字花科作物对根肿病的抗性能力初探 [C]. *中国植物病理学会学术年会*, 2010
- [11] 宁宁, 张茹琴, 鄢洪海. 大白菜品种间根肿病抗性鉴定及抗性生理分析 [J]. *北方园艺*, 2012(11): 140-143
- [12] 张小丽, 刘玉梅, 方智远, 等. 十字花科蔬菜根肿病生理小种鉴定及抗源筛选 [J]. *园艺学报*, 2015, 42(S1): 2682
- [13] 李妍, 谢学文, 向文胜, 等. 白菜根肿病的接种方法 [J]. *植物保护学报*, 2011, 38(1): 95-96
- [14] 龚振平, 于控仓, 苏同兵, 等. 大白菜骨干自交系的苗期抗病性评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(6): 1194-1205
- [15] 张小丽. 青花菜抗根肿病遗传分析与种质创制 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014
- [16] Idris A B, Grafius E. Effects of wild and cultivated host plants on oviposition, survival, and development of diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) and its parasitoid *diadegma insulare* (*Hymenoptera: Ichneumonidae*) [J]. *Environ Entomol*, 1996, 25(4): 825-833