

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 (*Plasmidiophora 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作物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, 苤蓝 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 cm \times 10 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 3×10^8 cfu/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 3×10^8 cfu/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

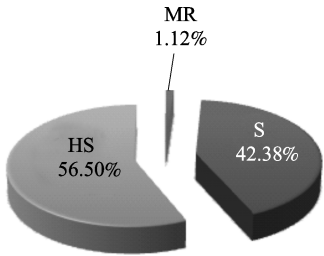
本研究中所有数据的统计分析在 Excel 2003 中进行。每份材料的病情指数为 3 个重复试验的平均值 ± 标准误。

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 ± 0	MR	12B71	91.67 ± 2.89	HS	12B316	80.00 ± 0	S
12B532	50.00 ± 10.00	MR	12B77	76.67 ± 9.43	S	12B317	100.00 ± 0	HS
12B601	52.78 ± 9.62	MR	12B78	91.67 ± 11.79	HS	12B320	98.33 ± 2.89	HS
13B495	55.56 ± 12.28	MR	12B80	91.07 ± 12.63	HS	12B325	92.50 ± 6.61	HS
13B530	63.06 ± 3.37	MR	12B82	68.75 ± 8.84	S	12B326	90.00 ± 14.14	HS
12B2	65.48 ± 14.43	S	12B86	72.92 ± 2.95	S	12B336	95.00 ± 8.66	HS
12B3	80.00 ± 0	S	12B95	81.75 ± 14.88	HS	12B352	93.75 ± 0	HS
12B4	82.50 ± 10.61	HS	12B96	78.35 ± 0.31	S	12B353	77.50 ± 3.54	S
12B6	100.00 ± 0	HS	12B97	81.35 ± 16.16	HS	12B354	88.10 ± 8.99	HS
12B11	87.92 ± 7.11	HS	12B102	91.67 ± 2.89	HS	12B357	75.00 ± 0	S
12B12	80.83 ± 9.46	HS	12B104	82.50 ± 10.90	HS	12B358	95.00 ± 8.66	HS
12B13	82.92 ± 4.02	HS	12B109	75.00 ± 0	S	12B359	100.00 ± 0	HS
12B15	96.67 ± 5.77	HS	12B110	89.29 ± 7.15	HS	12B360	95.83 ± 0	HS
12B18	88.33 ± 2.89	HS	12B111	87.50 ± 17.68	HS	12B361	91.07 ± 4.72	HS
12B19	85.00 ± 0	HS	12B113	86.84 ± 3.47	HS	12B362	100.00 ± 0	HS
12B33	87.50 ± 0	HS	12B116	75.00 ± 5.00	S	12B363	100.00 ± 0	HS
12B38	80.00 ± 8.66	S	12B120	80.24 ± 8.93	HS	12B366	75.00 ± 0	S
12B39	96.35 ± 5.05	HS	12B121	75.00 ± 0	S	12B367	66.67 ± 0	S
12B40	70.24 ± 2.07	S	12B122	65.17 ± 0	S	12B368	66.67 ± 0	S
12B42	96.67 ± 5.77	HS	12B123	95.24 ± 2.06	HS	12B369	92.08 ± 4.02	HS
12B48	80.00 ± 8.66	S	12B124	75.00 ± 0	S	12B371	76.11 ± 6.73	S
12B56	82.50 ± 10.61	HS	12B313	87.50 ± 0	HS	12B373	77.08 ± 9.55	S
12B66	93.33 ± 2.89	HS	12B314	87.08 ± 5.05	HS	12B376	83.75 ± 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
IMPERIAI	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、苤蓝、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	名称	来源	病情指数	抗性水平
Type	Name	Origins	Disease index	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
	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
甘蓝	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 1 号	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	88.39 ± 1.26	HS
芥蓝	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
	翠宝	日本武藏野种苗园株式会社	75.22 ± 4.74	S
苤蓝	绿宝	日本武藏野种苗园株式会社	75.71 ± 6.06	S
	苤蓝 1115	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	86.38 ± 6.00	HS
	苤蓝 1815	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	87.50 ± 12.63	HS
	苤蓝 0618	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	86.90 ± 6.73	HS
	大禹翠绿青苤蓝	河北大禹种业有限公司	75.00 ± 0	S
	紫翠苤蓝	甘肃省兴农种业有限公司	76.34 ± 6.94	S
	春秋青苤兰	河北省璐通种业有限公司	90.77 ± 7.16	HS
	天津青苤兰	天津地方品种	81.47 ± 4.10	HS
	内蒙苤蓝	内蒙地方品种	80.36 ± 7.58	HS
	菜心	广州市兴田种子有限公司	73.51 ± 8.00	S
甘蓝型油菜	日本甜脆 45 天	张掖市天脊种业有限公司	76.43 ± 12.12	S
	45H2R	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	73.33 ± 12.58	S
芜菁	73-77R	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	65.46 ± 11.40	S
	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莱菔硫烷(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莱菔硫烷品种的选育。

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,即应特别重视抗原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
- [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, 于拴仓, 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