

丁琳,梁海迪,赵辉,等. 湖南栽培油菜品种根肿病抗性鉴定及防控[J]. 江苏农业科学,2024,52(16):170-177.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.16.022

湖南栽培油菜品种根肿病抗性鉴定及防控

丁琳¹, 梁海迪¹, 赵辉¹, 丁佳丽¹, 凌丙英², 胡秋龙³, 王玉生¹, 任佐华¹, 谭琳¹

(1. 湖南农业大学植物保护学院,湖南长沙 410128; 2. 湖南省衡阳县农业农村局,湖南衡阳 421200;

3. 湖南农业大学园艺学院,湖南长沙 410128)

摘要:油菜根肿病是由芸薹根肿菌引起的严重影响油菜生产的土传病害,为鉴定评价不同油菜品种对根肿病的抗性与寻找防控方法,进行温室盆栽试验与田间病圃试验综合评价。结果表明,供试的 105 个油菜品种对根肿病的抗性存在差异。温室盆栽试验中,37 个品种表现为感病,占供试品种总数的 35.24%;68 个品种表现为高感,占供试品种总数的 64.76%。大田试验中,4 个品种表现为抗病,占供试品种总数的 3.81%;47 个品种表现为感病,占供试品种总数的 44.76%;54 个品种表现为高感,占供试品种总数的 51.43%。在盆栽试验和大田试验中,100 g/L 氰霜唑悬浮剂稀释 1 000 倍的防治效果分别为 67.37% 和 78.79%,1 kg 土壤添加 1.2 g 生石灰的防治效果分别为 45.52% 和 49.75%。结果对于油菜栽培品种的选择与根肿病的防控具有一定参考价值。

关键词:油菜;根肿病;抗性鉴定;防控;芸薹根肿菌

中图分类号:S435.654 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)16-0170-08

芸薹根肿菌 (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) 是引起土传病害根肿病的病原菌,生长在寄主根系细胞内,使寄主根部形成独特的肿根,为根肿菌生长提供营养,并为休眠孢子的形成提供空间,常导致植株发育迟缓,严重感病的植株会因根部溃烂而死亡^[1-2]。目前约有 75 个国家报道了根肿病,它很可能分布在全世界任何种植十字花科作物或有十字花科植物的地方^[3]。近年来,我国越来越多地区的根肿病发生日益严重,主要分布在四川、安徽、湖北、云南、湖南等地^[4]。由芸薹根肿菌引起的根肿

病已经成为全球油菜生产的主要威胁,发病地区油菜产量损失通常在 5%~60% 之间,严重发病地区产量损失甚至达到 100%,造成油菜绝收^[5]。

芸薹根肿菌的休眠孢子在土壤中的存活时间可以长达 20 年,这给根肿病的防治增添了极大的难度,对根肿病进行有效的综合防治势在必行^[6]。种植抗根肿病的油菜品种与轮作结合是为数不多能有效防治根肿病的策略之一^[7]。因此发掘油菜抗病品种、避免在油菜生产中大面积种植感病品种,对于防治根肿病显得尤为重要。本研究通过温室盆栽试验与田间病圃试验综合鉴定评价 105 个供试油菜品种对根肿病的抗性,并测定氰霜唑和生石灰对油菜根肿病的防治效果,以期为油菜生产与油菜根肿病防控提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

感染芸薹根肿菌的肿根采自湖南省衡阳市衡阳县,经鉴定为芸薹根肿菌 4 号生理小种,清洗干净

收稿日期:2023-09-22

基金项目:湖南省科技创新计划(编号:2023NK2024);国家自然科学基金青年项目(编号:32102286);湖南省教育厅优秀青年项目(编号:20B301)。

作者信息:丁琳(1999—),女,硕士,从事植物病理学研究。

E-mail:940561259@qq.com。

通信作者:谭琳,博士,副教授,硕士生导师,从事有害生物综合治理研究,E-mail:hqltanlin@163.com;任佐华,博士,副教授,硕士生导师,从事植物病理学研究,E-mail:819482969@qq.com。

isolates of *Penicillium bilaiae* MA-267 and *Penicillium chermesinum* EN-480[J]. Marine Drugs,2020,18(7):339.

[31] Nakahara S, Kusano M, Fujioka S, et al. Penipratynolene, a novel nematicide from *Penicillium bilaiae* chlabuda[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry,2004,68(1):257-259.

[32] de Vries R P, Burgers K, van de Vondervoort P J I, et al. A new

black *Aspergillus* species, *A. vadensis*, is a promising host for homologous and heterologous protein production[J]. Applied and Environmental Microbiology,2004,70(7):3954-3959.

[33] Dilokpimol A, Peng M, di Falco M, et al. *Penicillium subrubescens* adapts its enzyme production to the composition of plant biomass[J]. Bioresource Technology,2020,311:123477.

后保存于 -20 ℃ 冰箱备用。105 个供试油菜品种及来源见表 1。供试药剂为 100 g/L 氰霜唑(科佳)悬浮剂(日本石原产业株式会社)、生石灰(上高县腾顺钙业有限公司)。

表 1 供试油菜品种及来源

编号	品种	来源	编号	品种	来源
1	博油 50	四川力丰高科种业有限公司	44	晶康油 999	四川福乐种业有限公司
2	博油 100	四川力丰高科种业有限公司	45	滁核杂 1 号	四川迈德豪农业科技有限公司
3	博油 800	四川力丰高科种业有限公司	46	常杂油 9 号	湖南启程农业科技有限公司
4	春云 1 号	湖南省春云农业科技股份有限公司	47	德佳油 999	四川南马农业科技有限公司
5	春云 2 号	湖南省春云农业科技股份有限公司	48	德超油 000	四川成蔬种业有限公司
6	春云 3 号	湖南省春云农业科技股份有限公司	49	大地 55	绵阳市特研种业有限公司
7	德油 728	湖北省种子集团有限公司	50	沔油 868	安徽国豪农业科技有限公司
8	德兴油 558	绵阳汉飞种业有限公司	51	改良油菜王	河北省邢台兴达种业有限公司
9	沔油杂 77	湖北华泰先行农业科技有限公司	52	华油三月黄	世纪润农农业开发有限公司
10	沔油 679	陕西荣华农业科技有限公司	53	华油 100	世纪润农农业开发有限公司
11	沔油杂 979	湖北华泰先行农业科技有限公司	54	金矮油 777	四川福乐种业有限公司
12	丰油 730	湖南百分农业科技有限公司	55	极早 98	河南驻优种业有限公司
13	川油 45	四川福乐种业有限公司	56	宁油 26	连云港市丰源种业有限公司
14	禾盛油 555	湖北省种子集团有限公司	57	陕油 1309	陕西高农种业有限公司
15	华油 98	河南省华一种业有限公司	58	神鑫油 2 号	四川省三台县农业科学技术研究所
16	华湘油 12 号	湖南百分农业科技有限公司	59	浙油杂 319	浙江科诚种业股份有限公司
17	华湘油 13 号	湖南百分农业科技有限公司	60	驻优 777	河南驻优种业有限公司
18	金香油 9 号	湖南中朗种业有限公司	61	早熟 100 天	河南驻优种业有限公司
19	佳万农 1 号	长沙新万农种业有限公司	62	皖油 27 号	四川南马农业科技有限公司
20	康油 336	湖北康地科技有限公司	63	矮油 868	四川福乐种业有限公司
21	农油杂 007	湖北省种子集团有限公司	64	矮秆油宝	四川福乐种业有限公司
22	秦优七号	陕西鸿源种业有限公司	65	纯黄 808	临朐县百丰种业有限公司
23	秦研 211	湖北华泰先行农业科技有限公司	66	常杂油 5 号	湖南兴亚种业科技有限公司
24	丰油 10 号	四川福康农业科技有限公司	67	川油 42	四川金安特农业股份有限公司
25	湘杂油 512	长沙金田种业有限公司	68	德油 9 号	四川万德科技有限公司
26	湘杂油 553	长沙金田种业有限公司	69	德天 118	陕西鸿源种业有限公司
27	湘杂油 787	长沙金田种业有限公司	70	绵丰油 5 号	四川福乐种业有限公司
28	凯育 118	四川福康农业科技有限公司	71	沔油杂 776	湖北华泰先行农业科技有限公司
29	湘杂油 763	湖南省春云农业科技股份有限公司	72	沔油 306	陕西鸿源种业有限公司
30	孝油 737	四川德名种业有限公司	73	沔油 777	四川福康农业科技有限公司
31	油研 52	四川确良种业有限责任公司	74	核杂 9 号	天禾农业科技集团股份有限公司
32	益油杂 2 号	甘肃汇丰种业有限责任公司	75	华湘油 16 号	湖南亚华种业有限公司
33	亚美油 1 号	湖南亚华种业有限公司	76	汉飞油 1633	绵阳汉飞种业有限公司
34	洋油 792	湖南省春云农业科技股份有限公司	77	悍油 99	四川万德科技有限公司
35	亿油 8 号	安徽绿亿种业有限公司	78	华油 88	河南省华一种业有限公司
36	中油杂 30	湖北省种子集团有限公司	79	景油 69	湖南亚华种业有限公司
37	中油杂 39	湖北农发种业集团有限公司	80	正兴油 666	四川奥力星农业科技有限公司
38	中油 5628	安徽绿亿种业有限公司	81	康油 339	湖北康地科技有限公司
39	中研油王 777	河北金盛优品农业科技有限公司	82	龙盛 1 号	四川广汉龙盛种业有限公司
40	中油 589	湖北省种子集团有限公司	83	农华油 101	成都金卓农业股份有限公司
41	矮油 998	四川福乐种业有限公司	84	秦油三号	陕西辛辣种业有限公司
42	矮秆油 558	四川福乐种业有限公司	85	秦优 18	陕西油菜育种基地公司
43	蓉油 12 号	四川南马农业科技有限公司	86	秦优 1618	陕西荣华农业科技有限公司

表 1(续)

编号	品种	来源	编号	品种	来源
87	秦优 33	陕西鸿源种业有限公司	97	天油 10 号	陕西鸿源种业有限公司
88	庆油 8 号	重庆中一种业有限公司	98	秦油 88	陕西鸿源种业有限公司
89	秦油十号	燕丰种业有限责任公司	99	皖油 13 号	安徽春泽种业有限公司
90	秦优 1699	陕西鸿源种业有限公司	100	孝油 800	四川德名种业有限
91	黔油 16 号	四川华龙种业有限责任公司	101	亮油 9 号	衡阳市蔬菜种子有限公司公司
92	黔黄油 21 号	四川省蜀玉科技农业发展有限公司	102	浙油杂 59	浙江勿忘农种业股份有限公司
93	陕油 803	陕西盼丰农业科技有限公司	103	浙油 505	浙江勿忘农种业股份有限公司
94	陕油 107	安徽天益丰种业有限公司	104	中农油 6 号	四川田丰农业科技发展有限公司
95	硕油 985	湖北华泰先行农业科技有限公司	105	中油杂 16	甘肃汇丰种业有限责任公司
96	天禾油 12	天禾农业科技集团股份有限公司			

1.2 油菜品种根肿病抗性鉴定

1.2.1 温室人工接种根肿病 将保存于 -20 ℃ 冰箱的油菜根肿病肿根解冻,置于 24 ℃ 黑暗条件下腐烂 5 d,提高根肿菌休眠孢子的萌发率^[8]。用粉碎机搅碎肿根,加无菌水搅拌均匀后用 4 层纱布过滤,参照杨晓琴等的方法^[9]制备休眠孢子悬浮液,并用无菌水将休眠孢子悬浮液浓度调至 1×10^{10} 个/mL,保存于 4 ℃ 冰箱备用。采用菌土法接种芸薹根肿菌,使 1 g 土壤中根肿菌休眠孢子数为 1.0×10^8 个^[10]。以按体积比为 3 : 1 混合均匀的无菌土与珍珠岩为试验土壤,土壤含水量要达到手握成团、捏之即散的程度,于 24 ℃ 黑暗条件下密封发酵 48 h 后使用^[11]。每盆播种同一品种 15 粒油菜种子,每个品种播种 3 盆,出苗 7 d 后每盆留长势最好的 10 株幼苗,每个品种设 3 次重复。在温度为 24 ℃ 的温室内进行培养,根据盆栽土壤湿度浇水,每 3 d 浇 1 次营养液。出苗 45 d 后调查发病率与病情指数。

1.2.2 田间病圃诱发根肿病 试验田位于湖南省衡阳市衡阳县,为多年发生油菜根肿病的大田(冷冻的肿根采自该病区)。试验时间为 2022 年 9—11 月,采用随机区组设计^[12],起垄后在田垄上挖长宽均为 30 cm、深为 10 cm 的穴,每穴种植 15 株油菜,每行 4 个穴,2 行为 1 个处理,每个处理重复 3 次,全部农事操作一致。在油菜出苗 45 d 后调查各油菜品种根肿病的发生情况。

1.3 防控方法

1.3.1 温室盆栽防效测定 菌土制作方法和盆栽处理同“1.2.1”节,分为对照组(CK)、氰霜唑组、生石灰组,油菜种子统一使用高感品种亮油 9 号。氰霜唑组为稀释 1 000、1 500 倍的 100 g/L 氰霜唑悬浮剂,生

石灰组的生石灰用量为 1.2、1.4 g/kg,以清水为对照。生石灰组在播种前按不同处理浓度拌土;对照组和氰霜唑组分别在播种时以及播种后 7、14 d,每盆用 100 mL 不同浓度的溶液灌根^[13]。在温度为 24 ℃,光—暗周期为 12 h—12 h 的条件下进行培养,出苗 45 d 后拔出根部进行分级调查并统计发病情况。

1.3.2 田间病圃防效测定 田间处理与管理同“1.2.2”节,油菜品种统一使用亮油 9 号。生石灰组提前按 1 kg 土与 1.2、1.4 g 生石灰的比例分别将拌好的土放入穴中;清水对照(CK)和氰霜唑组在播种时、播种后 14 d,每穴分别用 500 mL 不同浓度的溶液灌根,其中氰霜唑组的溶液为稀释 1 000、1 500 倍的 100 g/L 氰霜唑悬浮剂。出苗 45 d、对照组发病后开始调查各组根肿病的发病情况。

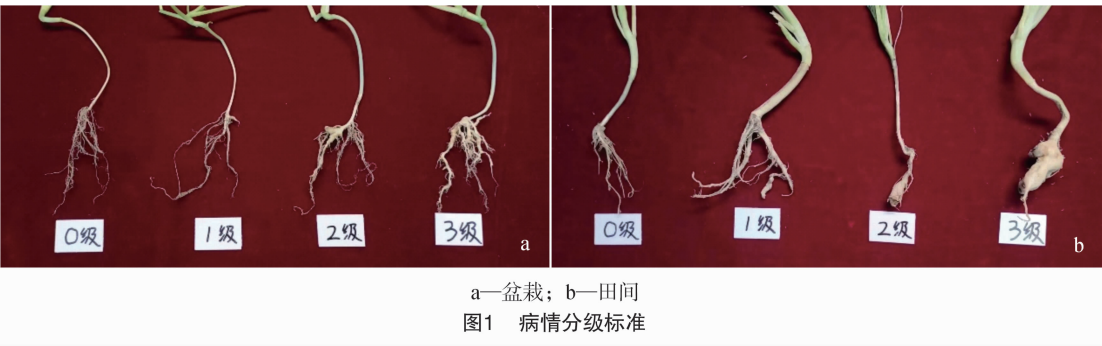
1.4 抗性评价标准与防效计算方法

病情分级与抗性评价标准参照《油菜根肿病抗性鉴定技术规程》^[14],0 级:根系正常,无症状;1 级:1/3 以下侧根形成直径为 0.5 cm 以下小肿瘤,主根无肿瘤;2 级:1/3 ~ 2/3 侧根形成肿瘤,或主根上肿瘤直径或长度为茎基直径的 3 倍以下;3 级:2/3 以上侧根形成肿瘤,主根肿瘤明显,肿瘤直径或长度为茎基直径的 3 倍以上,或肿瘤溃烂(图 1)。免疫(I):病情指数 = 0;高抗(HR):0 < 病情指数 ≤ 10;抗(R):10 < 病情指数 ≤ 30;感(S):30 < 病情指数 ≤ 50;高感(HS):病情指数 > 50^[15]。

发病率 = 发病株数/调查总株数 × 100% ;

病情指数 = Σ (发病级代表值 × 各级病株数) / (总株数 × 最高级发病代表值) × 100;

防治效果 = (对照病情指数 - 处理病情指数) / 对照病情指数 × 100% ^[16]。



2 结果与分析

2.1 油菜品种根肿病抗性鉴定

2.1.1 温室人工接种根肿病 在温室盆栽试验中, 105 个供试油菜品种对油菜根肿病的抗性鉴定与评价结果见表 2, 可以看出, 博油 100、春云 1 号、华湘油 13 号等 37 个油菜品种表现为感病, 占供试油菜品种总数的 35.24%; 沔油杂 979、华油 98、丰油 10 号等 68 个油菜品种表现为高感, 占 64.76%。在高感品种中, 皖油 27 号和德油 9 号的发病率均为

100% 且病情指数均达到 100。供试的 105 个油菜品种在盆栽试验中没有发现表现为抗病的品种。

2.1.2 田间病圃诱发根肿病 在田间病圃试验中, 供试的 105 个油菜品种对根肿病的抗性鉴定与评价结果见表 2, 可以看出, 德油 728、常杂油 9 号、驻优 777 和沔油 777 这 4 个品种在田间试验中表现为抗病, 占供试油菜品种总数的 3.81%; 益油杂 2 号、亚美油 1 号、中油杂 30 等 47 个油菜品种表现为感病, 占 44.76%; 湘杂油 787、油研 52、亮油 9 号等 54 个油菜品种表现为高感, 占 51.43%。

表 2 不同油菜品种根肿病抗性鉴定与评价

编号	温室人工接种			田间病圃诱发		
	发病率 (%)	病情指数	抗性评价	发病率 (%)	病情指数	抗性评价
1	85.19 ± 1.53	74.07 ± 3.08	HS	68.42 ± 2.96	60.53 ± 3.18	HS
2	77.14 ± 3.05	45.71 ± 1.96	S	72.73 ± 1.05	52.68 ± 2.29	HS
3	75.61 ± 1.97	52.85 ± 2.30	HS	65.52 ± 2.85	52.87 ± 2.76	HS
4	76.09 ± 2.15	43.48 ± 2.68	S	46.67 ± 3.71	36.67 ± 1.59	S
5	73.17 ± 2.72	52.85 ± 2.82	HS	62.86 ± 3.77	47.78 ± 2.86	S
6	81.25 ± 5.91	57.64 ± 3.79	HS	78.39 ± 1.97	64.86 ± 3.05	HS
7	66.67 ± 1.69	42.22 ± 2.62	S	36.84 ± 4.79	28.07 ± 2.17	R
8	70.27 ± 3.70	38.74 ± 3.32	S	54.05 ± 6.76	39.64 ± 3.61	S
9	70.59 ± 1.35	50.98 ± 1.80	HS	51.28 ± 4.35	42.22 ± 4.26	S
10	79.07 ± 0.46	49.61 ± 2.16	S	62.53 ± 3.33	45.83 ± 1.99	S
11	87.27 ± 1.71	63.03 ± 2.86	HS	68.57 ± 2.79	58.13 ± 2.61	HS
12	82.98 ± 2.30	62.41 ± 2.31	HS	67.56 ± 5.36	62.54 ± 4.09	HS
13	76.67 ± 2.27	63.33 ± 1.62	HS	64.78 ± 3.46	57.26 ± 3.66	HS
14	75.68 ± 1.23	54.95 ± 1.83	HS	60.42 ± 2.87	50.69 ± 1.92	HS
15	87.18 ± 4.05	58.97 ± 2.40	HS	65.67 ± 4.96	52.78 ± 5.18	HS
16	83.33 ± 1.09	51.85 ± 0.91	HS	53.85 ± 2.10	44.19 ± 4.29	S
17	78.79 ± 1.13	49.49 ± 3.23	S	54.76 ± 1.63	46.03 ± 3.07	S
18	70.37 ± 2.10	48.15 ± 1.37	S	61.54 ± 3.72	45.37 ± 3.13	S
19	62.22 ± 2.92	41.48 ± 2.20	S	44.24 ± 4.62	37.33 ± 5.16	S
20	61.54 ± 4.49	39.74 ± 1.93	S	58.06 ± 3.57	46.24 ± 2.48	S
21	80.65 ± 3.74	54.84 ± 0.72	HS	67.84 ± 2.52	62.22 ± 1.45	HS
22	70.16 ± 2.36	61.67 ± 2.11	HS	58.70 ± 5.22	42.75 ± 4.89	S
23	74.92 ± 3.40	49.46 ± 4.49	S	63.64 ± 2.61	55.30 ± 1.33	HS

表 2(续)

编号	温室人工接种			田间病圃诱发		
	发病率(%)	病情指数	抗性评价	发病率(%)	病情指数	抗性评价
24	82.35 ± 1.93	62.75 ± 2.92	HS	62.23 ± 3.56	55.56 ± 2.72	HS
25	68.57 ± 3.07	57.14 ± 2.42	HS	61.76 ± 1.70	44.12 ± 3.83	S
26	83.33 ± 1.84	67.74 ± 1.89	HS	52.62 ± 2.75	42.06 ± 6.85	S
27	81.08 ± 2.49	66.57 ± 3.35	HS	66.67 ± 1.18	51.28 ± 3.37	HS
28	71.63 ± 1.93	54.17 ± 2.09	HS	56.82 ± 2.56	46.97 ± 2.76	S
29	70.59 ± 4.67	62.75 ± 1.88	HS	70.59 ± 3.17	58.82 ± 3.81	HS
30	51.72 ± 3.90	44.83 ± 2.49	S	53.57 ± 4.71	47.62 ± 4.84	S
31	80.65 ± 4.82	62.37 ± 2.47	HS	82.76 ± 2.97	68.97 ± 5.39	HS
32	61.76 ± 2.44	53.92 ± 3.92	HS	59.46 ± 3.21	49.55 ± 1.40	S
33	74.94 ± 1.25	57.40 ± 1.75	HS	54.29 ± 6.44	44.76 ± 5.21	S
34	93.33 ± 2.49	82.22 ± 2.94	HS	63.33 ± 3.06	53.33 ± 2.29	HS
35	60.53 ± 3.23	45.61 ± 2.31	S	48.39 ± 5.23	39.78 ± 4.85	S
36	69.23 ± 3.37	48.72 ± 2.95	S	47.37 ± 2.98	37.72 ± 3.90	S
37	63.73 ± 2.60	46.67 ± 4.70	S	53.13 ± 4.35	40.63 ± 5.28	S
38	51.52 ± 3.22	40.40 ± 4.33	S	53.06 ± 3.76	40.14 ± 3.37	S
39	75.86 ± 2.17	57.47 ± 2.79	HS	85.19 ± 3.53	65.43 ± 7.09	HS
40	51.35 ± 2.43	42.34 ± 2.39	S	47.73 ± 1.51	36.17 ± 2.18	S
41	61.54 ± 0.83	55.56 ± 1.67	HS	51.37 ± 5.11	45.56 ± 3.70	S
42	64.52 ± 1.25	44.09 ± 2.17	S	51.72 ± 2.20	45.98 ± 3.65	S
43	94.12 ± 1.45	84.31 ± 3.25	HS	81.25 ± 3.23	72.92 ± 2.62	HS
44	55.88 ± 3.04	46.08 ± 2.88	S	47.83 ± 2.53	42.03 ± 4.12	S
45	93.55 ± 2.36	87.10 ± 2.27	HS	52.17 ± 4.09	46.38 ± 2.08	S
46	61.29 ± 2.17	39.78 ± 1.78	S	28.57 ± 1.80	22.62 ± 2.19	R
47	93.33 ± 2.60	84.44 ± 1.90	HS	52.17 ± 3.65	44.93 ± 1.22	S
48	68.75 ± 3.17	59.38 ± 3.25	HS	51.67 ± 5.60	40.48 ± 4.80	S
49	56.41 ± 1.85	43.59 ± 2.67	S	57.69 ± 1.80	52.56 ± 2.47	HS
50	67.57 ± 2.05	47.75 ± 2.87	S	66.67 ± 3.52	60.32 ± 3.34	HS
51	79.31 ± 1.30	54.02 ± 3.24	HS	63.83 ± 2.43	53.19 ± 2.14	HS
52	89.19 ± 2.35	69.37 ± 2.30	HS	58.06 ± 4.77	52.69 ± 3.57	HS
53	100.00 ± 0.00	91.11 ± 2.56	HS	87.56 ± 1.71	79.19 ± 5.73	HS
54	82.35 ± 1.91	56.86 ± 2.81	HS	54.55 ± 2.40	49.63 ± 1.83	S
55	55.88 ± 1.74	44.12 ± 3.32	S	50.42 ± 3.15	46.97 ± 2.85	S
56	63.64 ± 3.48	49.49 ± 2.18	S	51.74 ± 2.13	37.04 ± 2.77	S
57	97.67 ± 0.79	94.44 ± 1.82	HS	55.56 ± 3.91	51.85 ± 2.97	HS
58	87.56 ± 5.94	76.19 ± 3.44	HS	45.45 ± 4.21	40.15 ± 4.71	S
59	96.67 ± 1.65	78.89 ± 1.73	HS	71.70 ± 3.04	50.31 ± 2.95	HS
60	61.11 ± 2.42	38.89 ± 3.05	S	41.18 ± 5.19	24.51 ± 4.81	R
61	65.79 ± 1.66	40.35 ± 2.31	S	50.21 ± 3.46	42.11 ± 3.75	S
62	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	HS	56.86 ± 2.13	48.37 ± 3.19	S
63	63.33 ± 4.08	42.22 ± 3.12	S	52.36 ± 3.01	42.31 ± 2.33	S
64	100.00 ± 0.00	83.33 ± 0.77	HS	79.49 ± 4.48	71.79 ± 3.12	HS
65	69.44 ± 2.05	65.67 ± 1.59	HS	64.37 ± 2.31	53.13 ± 0.96	HS
66	77.42 ± 1.25	58.06 ± 2.19	HS	57.14 ± 2.59	48.91 ± 2.34	S
67	65.52 ± 3.32	50.57 ± 2.06	HS	67.64 ± 1.89	58.49 ± 1.76	HS

表 2(续)

编号	温室人工接种			田间病圃诱发		
	发病率(%)	病情指数	抗性评价	发病率(%)	病情指数	抗性评价
68	100.00 ± 0.00	100.00 ± 0.00	HS	69.78 ± 2.84	54.63 ± 2.02	HS
69	72.67 ± 2.24	53.33 ± 1.40	HS	74.61 ± 2.74	59.26 ± 4.84	HS
70	69.23 ± 1.58	59.62 ± 2.01	HS	76.26 ± 3.52	54.63 ± 3.29	HS
71	96.67 ± 3.15	82.22 ± 1.79	HS	71.14 ± 3.12	62.96 ± 2.24	HS
72	70.45 ± 3.16	56.82 ± 3.85	HS	66.67 ± 1.80	46.83 ± 1.98	S
73	54.35 ± 2.02	49.28 ± 2.39	S	54.29 ± 4.17	27.62 ± 4.09	R
74	62.96 ± 1.41	51.85 ± 1.88	HS	55.17 ± 3.57	40.23 ± 2.78	S
75	70.59 ± 0.76	41.18 ± 2.60	S	64.52 ± 1.75	49.46 ± 3.30	S
76	100.00 ± 0.00	67.90 ± 0.36	HS	43.33 ± 2.51	32.56 ± 1.76	S
77	89.74 ± 2.48	74.36 ± 1.42	HS	64.67 ± 3.59	52.22 ± 3.34	HS
78	56.25 ± 1.93	46.88 ± 1.07	S	68.97 ± 5.28	48.28 ± 4.63	S
79	62.86 ± 1.41	44.76 ± 2.72	S	63.89 ± 3.46	48.15 ± 1.62	S
80	66.67 ± 2.21	56.30 ± 1.24	HS	80.65 ± 3.83	64.52 ± 2.57	HS
81	86.67 ± 4.75	65.67 ± 3.59	HS	64.71 ± 3.92	57.52 ± 3.15	HS
82	65.91 ± 2.60	48.78 ± 5.09	S	63.83 ± 2.54	56.74 ± 3.51	HS
83	100.00 ± 0.00	88.19 ± 3.48	HS	71.43 ± 5.94	67.16 ± 4.56	HS
84	67.74 ± 2.08	52.69 ± 3.09	HS	62.07 ± 3.56	58.62 ± 5.56	HS
85	100.00 ± 0.00	90.48 ± 2.09	HS	62.79 ± 1.79	55.81 ± 3.10	HS
86	75.61 ± 1.69	61.79 ± 1.93	HS	70.37 ± 7.89	60.49 ± 5.65	HS
87	72.34 ± 2.08	60.28 ± 2.50	HS	76.79 ± 3.47	69.05 ± 4.26	HS
88	56.67 ± 2.59	45.56 ± 2.26	S	62.69 ± 5.64	54.23 ± 3.71	HS
89	76.67 ± 2.89	61.11 ± 2.74	HS	75.61 ± 1.76	68.29 ± 6.38	HS
90	63.54 ± 1.83	49.17 ± 2.35	S	57.14 ± 7.48	56.61 ± 2.96	HS
91	76.67 ± 2.70	60.26 ± 3.99	HS	77.42 ± 2.27	70.97 ± 2.57	HS
92	65.63 ± 2.63	51.04 ± 2.58	HS	67.74 ± 2.62	61.29 ± 3.27	HS
93	83.33 ± 2.29	71.11 ± 2.25	HS	70.45 ± 4.87	62.12 ± 2.94	HS
94	74.19 ± 2.06	55.91 ± 1.83	HS	55.32 ± 3.05	51.06 ± 2.85	HS
95	69.70 ± 4.05	45.45 ± 3.92	S	52.37 ± 4.36	41.67 ± 5.37	S
96	100.00 ± 0.00	83.91 ± 1.45	HS	66.67 ± 1.92	56.79 ± 1.31	HS
97	69.23 ± 3.30	64.10 ± 2.15	HS	67.86 ± 2.44	57.14 ± 3.43	HS
98	76.37 ± 1.10	59.52 ± 2.11	HS	64.52 ± 3.90	49.46 ± 4.38	S
99	63.41 ± 1.86	43.90 ± 1.37	S	56.76 ± 2.49	41.44 ± 5.41	S
100	76.14 ± 3.11	52.38 ± 2.54	HS	77.78 ± 1.80	52.78 ± 1.53	HS
101	77.17 ± 1.78	51.63 ± 3.30	HS	66.87 ± 2.01	58.19 ± 1.32	HS
102	59.52 ± 2.99	42.06 ± 2.22	S	62.51 ± 3.76	41.67 ± 2.82	S
103	100.00 ± 0.00	94.44 ± 0.81	HS	81.58 ± 2.15	62.28 ± 3.98	HS
104	65.91 ± 1.29	56.06 ± 1.14	HS	71.11 ± 1.95	56.49 ± 3.79	HS
105	67.35 ± 1.84	46.26 ± 2.66	S	62.50 ± 3.13	42.36 ± 2.85	S

注:表中数据为平均值 ± 标准误。下表同。

2.1.3 油菜品种根肿病抗性的综合评价 结合 105 个油菜品种温室盆栽试验与田间病圃试验的结果来看,不同油菜品种对根肿病的抗性存在差异。盆栽试验中无表现为抗病的油菜品种,田间试验中

有 4 个品种表现为抗病,在盆栽和田间抗病品种鉴定中无同时表现为抗病的品种。供试的 105 个油菜品种中,同一个油菜品种温室盆栽试验的发病率比田间病圃试验高的占 81.91%,与田间的发病率相

同的占 0.95%,比田间低的占 17.14%;同一品种盆栽试验病情指数比田间试验高的占 67.62%,比田间试验低的占 32.38%。由此可知,盆栽试验的发病率与病情指数大多高于田间试验,这可能是因为盆栽试验中根肿菌休眠孢子分布的均匀程度比田间高^[17],更利于根肿病的发生与病情的加重。

2.2 防控方法

2.2.1 温室盆栽防效测定 由表 3 可知,在温室盆

栽试验中,与对照相比,100 g/L 氰霜唑悬浮剂和生石灰处理的发病率与病情指数显著降低。100 g/L 氰霜唑悬浮剂对油菜根肿病的防治效果随着浓度的升高而增强,稀释 1 000 倍的 100 g/L 氰霜唑悬浮剂的防治效果为 67.37%,显著高于稀释 1 500 倍或生石灰处理。生石灰可以作为土壤 pH 值调节剂^[18],1 kg 土壤均匀拌入 1.2 g 生石灰时防治效果达到 45.52%,显著高于 1 kg 土壤拌 1.4 g 生石灰的处理。

表 3 不同处理对油菜根肿病的温室防治效果

处理	处理方法	发病率 (%)	病情指数	防治效果 (%)
CK	—	77.17±1.78a	51.63±3.30a	—
100 g/L 氰霜唑悬浮剂	稀释 1 000 倍	36.22±3.60d	16.85±0.55e	67.37±1.06a
	稀释 1 500 倍	40.26±1.92c	21.36±2.41d	58.62±4.66b
生石灰	拌土 1.2 g/kg	56.07±0.75b	28.13±1.47c	45.52±2.84c
	拌土 1.4 g/kg	56.48±1.90b	32.37±2.60b	37.31±5.04d

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.2.2 田间病圃防效测定 由表 4 可知,在田间病圃试验中,与空白对照相比,所有处理的发病率和病情指数均显著下降,说明各处理具有防控效果。100 g/L 氰霜唑悬浮剂稀释 1 000 倍的防治效果最好,达到了 78.79%,稀释 1 500 倍时的防效为 63.36%,显著高于同期 2 个生石灰处理(49.75%、

47.58%)。空白对照的田间发病率比盆栽低,而病情指数高于盆栽,这可能因为田间休眠孢子分布不均,但田间环境复杂并且具有微生物多样性,油菜在受到根肿菌侵染的同时可能也受到其他病原菌的侵染,使油菜整体抵抗力下降,更利于根肿菌的侵染,从而加重发病油菜根肿病的病情指数。

表 4 不同处理对油菜根肿病的田间防治效果

处理	处理方法	发病率 (%)	病情指数	防治效果 (%)
CK	—	66.87±2.01a	58.19±1.32a	—
100 g/L 氰霜唑悬浮剂	稀释 1 000 倍	20.17±4.62d	12.34±2.40d	78.79±4.13a
	稀释 1 500 倍	45.15±1.09b	21.32±1.75c	63.36±3.00b
生石灰	拌土 1.2 g/kg	35.97±2.34c	29.24±3.33b	49.75±5.72c
	拌土 1.4 g/kg	47.22±0.93b	30.50±2.14b	47.58±3.67c

3 结论与讨论

本研究收集了 105 个油菜栽培品种,通过温室盆栽试验与田间病圃试验,对其进行了油菜根肿病抗性鉴定与综合评价。休眠孢子能萌发并侵染油菜根毛是油菜感染根肿病的前提条件,所以盆栽试验要保证根肿菌休眠孢子的质量与数量,以反映寄主真实的抗性水平。在温室条件下通过人工接种根肿菌休眠孢子发现,37 个油菜品种表现为感病,占供试品种总数的 35.24%;68 个油菜品种表现为

高感,占供试品种总数的 64.76%。在病圃中进行根肿病自然诱发时,4 个品种表现为抗病,占供试品种总数的 3.81%;47 个品种表现为感病,占供试品种总数的 44.76%;54 个油菜品种表现为高感,占供试品种总数的 51.43%。黄蓉等的研究结果表明,在 200 余个油菜品种及育种材料中,94.74%的品种或育种材料对根肿菌 4 号小种表现为感病^[19]。张小丽等通过对 306 份甘蓝类材料进行根肿病抗性鉴定,仅发现 1 份高抗材料,感病和高感材料占总数的 65%以上^[20]。种植抗病品种被认为是控制根肿病

的环保策略^[21-22],但目前抗根肿病的种质资源匮乏,使得根肿病更加难以防治。

油菜幼苗期是根肿病发生的主要时期,也是防治油菜根肿病最关键的时期。氰霜唑和生石灰都能显著地降低油菜根肿病的发病率和病情指数,具有可观的防治效果。在盆栽试验和病圃试验中,100 g/L 氰霜唑悬浮剂稀释 1 000 倍后对根肿病的防治效果分别为 67.37% 和 78.79%,1 kg 土壤添加 1.2 g 生石灰对根肿病的防治效果分别为 45.52% 和 49.75%。氰霜唑作为线粒体呼吸抑制剂能有效减少根肿菌休眠孢子的萌发甚至灭活休眠孢子^[23-24],生石灰可以起到改良土壤酸碱度的作用,从而控制病害的发生与加重^[25]。本研究结果显示,100 g/L 氰霜唑悬浮剂对油菜根肿病的防治效果显著高于生石灰。根据油菜生产的实际情况进行综合对比可知,氰霜唑的防治效果佳但成本较高,生石灰处理虽然防效不及氰霜唑,但其具有成本低、使用方法简单的优点。因此,在油菜根肿病发生程度较轻的地区,建议以生石灰处理为主,适当结合使用氰霜唑,同时也应避免生石灰的长期使用造成土壤板结;在油菜根肿病发生严重的地区,建议提前撒施生石灰,并以使用氰霜唑为主,采用 2 种方法结合农田管理及其他防治方法对油菜根肿病进行防控,以减轻发病地区油菜产量的损失。

参考文献:

- [1] Malinowski R, Truman W, Blicharz S. Genius architect or clever thief – how *Plasmodiophora brassicae* reprograms host development to establish a pathogen – oriented physiological sink [J]. *Molecular Plant – Microbe Interactions*, 2019, 32(10): 1259 – 1266.
- [2] Kageyama K, Asano T. Life cycle of *Plasmodiophora brassicae* [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2009, 28(3): 203 – 211.
- [3] Struck C, Rütsh S, Strehlow B. Control strategies of clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae* [J]. *Microorganisms*, 2022, 10(3): 620.
- [4] 侯晓静, 龙永红, 龙 飞, 等. 基于因子分析的抗根肿病油菜品种(系)综合评价: 以荆门市掇刀区根肿病发病区为例 [J]. *中国油料作物学报*, 2022, 44(1): 183 – 189.
- [5] Zheng X R, Koopmann B, Ulber B, et al. A global survey on diseases and pests in oilseed rape: current challenges and innovative strategies of control [J]. *Frontiers in Agronomy*, 2020, 2: 590908.
- [6] Schwelm A, Ludwig – Müller J. Molecular pathotyping of *Plasmodiophora brassicae* – genomes, marker genes, and obstacles [J]. *Pathogens*, 2021, 10(3): 259.
- [7] Ernst T W, Kher S, Stanton D, et al. *Plasmodiophora brassicae* resting spore dynamics in clubroot resistant canola (*Brassica napus*) cropping systems [J]. *Plant Pathology*, 2018, 68(2): 399 – 408.
- [8] 肖崇刚, 郭向华. 甘蓝根肿病菌的生物学特性研究 [J]. *菌物系统*, 2002, 21(4): 597 – 603.
- [9] 杨晓琴, 马冠华, 周丹妮, 等. 芸薹根肿菌次生游动孢子侵染致病分析 [J]. *植物保护学报*, 2015, 42(2): 188 – 193.
- [10] 陈 欣, 王 超, 张晓炬, 等. 甘蓝根肿病的人工接种体系与抗源材料筛选 [J]. *植物保护*, 2015, 41(5): 121 – 126, 139.
- [11] 王丽丽, 王 鑫, 吴海东, 等. 我国主要抗根肿病大白菜品种抗性鉴定及评价 [J]. *中国蔬菜*, 2017(8): 46 – 50.
- [12] Li J, Yang Q L, Shi Z T, et al. Effects of deficit irrigation and organic fertilizer on yield, saponin and disease incidence in *Panax notoginseng* under shaded conditions [J]. *Agricultural Water Management*, 2021, 256: 107056.
- [13] 杨 进, 殷丽琴, 王 晓, 等. 4 种杀菌剂对油菜根肿病的防治潜力及对幼苗防御酶活性的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2017, 39(4): 546 – 550.
- [14] 中华人民共和国农业农村部. 油菜根肿病抗性鉴定技术规程: NY/T 3621—2020 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [15] 罗延青, 王云月, 赵德胜, 等. 抗根肿病甘蓝型油菜新种质的创制及抗性评价 [J]. *西南农业学报*, 2019, 32(4): 699 – 705.
- [16] 周晓肖, 李伟龙, 蒋 芯, 等. 青花菜根肿病田间防治技术研究 [J]. *植物保护*, 2020, 46(6): 259 – 263, 278.
- [17] 何朋杰, 崔文艳, 何鹏飞, 等. 叶面喷施枯草芽孢杆菌 XF-1 防治大白菜根肿病 [J]. *植物保护*, 2019, 45(1): 104 – 108.
- [18] 赵 倩. 不同药剂对根肿病的防效及土壤理化和微生物的变化 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.
- [19] 黄 蓉, 胡建坤, 黄瑞荣, 等. 江西省油菜根肿菌小种鉴定与油菜品种抗性分析 [J]. *中国油料作物学报*, 2019, 41(4): 604 – 613.
- [20] 张小丽, 单晓政, 顾宏辉, 等. 甘蓝类蔬菜品种(系)苗期根肿病抗性鉴定 [J]. *植物保护*, 2020, 46(5): 193 – 199, 210.
- [21] Rahman H, Peng G, Yu F, et al. Genetics and breeding for clubroot resistance in Canadian spring canola (*Brassica napus* L.) [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2014, 36: 122 – 134.
- [22] 陈红琳, 杨泽鹏, 陈尚洪, 等. 氰氨化钙施用量对油菜根肿病发生、产量和经济效益的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(10): 113 – 118.
- [23] 张 鹭, 侯玉霞, 袁会珠, 等. 复合物Ⅲ抑制剂型杀菌剂: 结构类型和作用机理 [J]. *化学进展*, 2010, 22(9): 1852 – 1868.
- [24] Mitani S, Sugimoto K, Hayashi H, et al. Effects of cyazofamid against *Plasmodiophora brassicae* Woronin on Chinese cabbage [J]. *Pest Management Science*, 2003, 59(3): 287 – 293.
- [25] Zhao L, Jiang W T, Chen R, et al. Quicklime and superphosphate alleviating apple replant disease by improving acidified soil [J]. *ACS Omega*, 2022, 7(9): 7920 – 7930.