

油菜根肿病病原主要生理小种和品种抗病性鉴定

季海雯,任 莉,陈坤荣,徐 理,刘 凡,孙超超,李 俊,刘胜毅,方小平*
(农业部油料作物生物学与遗传育种重点实验室,中国农业科学院油料作物研究所,湖北 武汉,430062)

摘要:采用 Williams 法对采自国内油菜主产区的 19 个油菜根肿病菌进行生理小种鉴定。结果表明,我国甘蓝型油菜根肿病病原至少存在 2 号、4 号和 13 号等 3 个生理小种类型,其中 4 号小种存在的范围最广泛。湖北省枝江市、当阳市,安徽省黄山市歙县,云南省玉溪等 4 县(市),四川省绵阳等 5 县(市)共 16 个采样点的根肿病病原为 4 号生理小种;安徽省黄山市休宁县齐云山镇 2 个采集地点为 13 号生理小种;仅安徽省黄山市休宁县商山镇的病原为 2 号生理小种。分别在枝江、黄山根肿病重发病区对 52 个油菜品种进行抗性研究,结果表明,赣两优三号、蓉油 9 号、浙双 6 号、华油杂 12 号、中油 5628、扬油 8 号、宁油 12 号、浙油 28、中双 10 号、沔油 520 等 10 个油菜品种在枝江对 4 号生理小种表现抗病;成油杂 6 号、德 68 – 12、滁杂优 3 号 3 个杂交种在黄山对 13 号生理小种表现出抗病。它们可作为当地根肿病病区主栽品种及育种材料使用。

关键词:油菜;根肿病;生理小种;抗性
中图分类号:S435.654 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 – 9084(2013)03 – 0301 – 06

Identification of physiological races of club root and resistance of rape cultivars to *Plasmodiophora brassicae*

JI Hai – wen, REN Li, CHEN Kun – rong, XU Li, LIU Fan, SUN Chao – chao,
LI Jun, LIU Sheng – yi, FANG Xiao – ping*

(Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops, Ministry of Agriculture;
Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430062, China)

Abstract: Williams system was used to identify main physiological races of *Plasmodiophora brassicae*, the pathogen of oilseed rape (*Brassica napus* L.) clubroot from 19 main disease regions. Results indicated that at least 3 races (as Race 2, 4 and 13) existed in China. Race 4 was dominant in 16 locations, including Zhijiang and Dangyang of Hubei Province, She County of Anhui Province, 4 counties of Yunnan Province, 5 counties of Sichuan Province. Race 13 and 2 were distributed in Qiyunshan Town and Shangshan Town of Anhui Province, respectively. Resistance of 52 oilseed cultivars to clubroot was evaluated under field conditions in Zhijiang and Huangshan. Results showed 10 cultivars (as Ganliangyou 3, Rongyou 9, Zheshuang 6, Huayouza 12, Zhongyou 5628, Yangyou 8, Ningyou 12, Zheyou 28, Zhongshuang 10 and Fengyou 520) were resistant to Race 4 in Zhijiang, and 3 hybrid cultivars (as Chengyouza 6, De 68 – 12 and Chuzayou 3) were resistant to Race 13 in Huangshan. These cultivars were recommended as predominant cultivars and breeding materials in clubroot infected regions.

Key words: Oilseed rape; *Plasmodiophora brassicae*; Physiological race; Resistance

根肿病是由芸薹根肿菌(*Plasmodiophora brassicae*)引起的重要土传病害,是世界上十字花科植物最严重的病害之一,目前超过 60 个国家有发生^[1,2],导致全世界每年减产 10% ~ 15%^[2]。十字

花科作物根肿病在我国大部分省、市、自治区均有分布^[3,4],其中油菜根肿病主要分布在云南、四川、湖北宜昌、安徽黄山等地。

油菜是我国第一大油料作物,苗期和成株期均

收稿日期:2013-03-18
基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(201003029);国家科技支撑计划(2010BAD01B04);油菜产业技术体系(CARS – 13);国家自然科学基金(31101124)
作者简介:季海雯(1987 –),女,硕士研究生,研究方向为植物病理学,E – mail:jhwasyau2008@163.com
* 通讯作者:方小平(1964 –),男,副研究员,硕士,主要从事油料作物病害综合防治研究,E – mail:xpfang2008@163.com

可感染根肿病^[5]。油菜感染根肿病后,平均株高、角果数、每角粒数、千粒重和单株产量均极显著降低^[6]。根肿病为土传病害,其病原菌休眠孢子在土壤中可存活 10 年以上,防治困难。目前生产上主要采用农业防治^[7]、化学防治、物理防治、生物防治和抗病品种^[8]等。在症状表现后再使用药剂处理的效果并不明显,这给防治带来了很大的困难^[9],应用起来局限性很大。明确我国芸薹根肿菌生理小种的类型及分布,合理利用完全抗病或小种专化性抗病品种是防治根肿病最经济有效的方法。

芸薹根肿菌存在生理小种的现象最早由 Honig 报道^[10]。Williams 于 1965 年提出以两个结球甘蓝品种(Jersey Queen 和 Badger Shipper)和两个芜菁甘蓝品种(Laurentian 和 Wilhelmsburger)为鉴别寄主的鉴别系统,并对收集的来自 16 个国家的 124 个根肿菌菌株进行了验证,鉴定出 1~9 号生理小种^[11]。随后在日本鉴定出 1~5 和 8,9 号生理小种^[12]。我国沈向群对大白菜根肿病病菌生理小种进行了鉴定,鉴定出 2、4、7、10、11 号生理小种^[13]。但目前对甘蓝型油菜主产区根肿病发病率较高的地区,如湖北枝江,云南玉溪,四川成都,安徽黄山等地的生理小种并没有进行准确的鉴定。同时针对不同生理小种抗病品种的选育目前国内还没有开展。

本文采用国际通用的鉴别方法—Williams 法对采自国内油菜主产区的油菜根肿病菌进行生理小种鉴定,明确不同生理小种的分布和优势小种;针对不同生理小种进行油菜种质资源抗病性鉴定,筛选生理小种特异性的抗病资源或品种,为油菜抗根肿病育种提供抗源材料,为利用抗病品种有效防治根肿病提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

病原主要生理小种鉴定以国内油菜主产区根肿病大面积发病区的新鲜膨大根瘤为供试材料,洗净后密封,在 -20℃ 冰箱中保存。鉴别寄主为 2 个结球甘蓝品种 Jersey Queen 和 Badger Shipper,2 个芜菁甘蓝品种 Laurentian 和 Wilhelmsburger。

抗病筛选试验地设在湖北省枝江市中桥村和安徽省黄山市齐云山镇南坑村的根肿病发生严重地块。供试品种共 52 份(均从国内各育种单位引进),其中 15 份常规种,37 份杂交种。

1.2 休眠孢子的提取

参考肖崇刚^[4]、Castlebyry^[14] 和 Möller^[15] 的方法并稍作改进,制备孢子悬浮液。

1.3 播种方法

病原主要生理小种鉴定采用室内盆栽试验,各病原材料均进行 2 次独立的试验。

培养土按营养土:蛭石 = 1: 1 (V/V) 配制。取制备好的孢子悬浮液 240mL,加入到 2 400g 配制好的培养土中,搅拌均匀,病原菌孢子浓度为 5×10^7 个·g⁻¹。将制备好的菌土装入 40 个营养钵(规格为上底直径 6.5cm,下底直径 4.3cm,高 7.5cm),每钵装 60g 土。每个营养钵播 5 粒种子,每个寄主至少保苗 30 株。播种后置于人工培养室,昼温 20~25℃,夜温 10~15℃,光周期 14L/10D,土壤含水量保持在 60%~90%。

抗根肿病油菜品种筛选采用田间自然发病方法。根据生理小种鉴定的结果,在湖北的中桥村和安徽的南坑村重病地块于 2012 年 10 月采用条播方式播种,厢宽 1.8m,行距 0.3m,每个品种播 2 行,3 次重复,同一重复内各品种按顺序排列。

1.4 病害调查方法

盆栽试验于播种后 45d 调查所有植株的根肿病发生情况,并计算发病率和病情指数。

大田试验于薹期(播种后 120d)进行田间调查和统计,每个重复随机取 30 株进行调查,分别统计发病株数及发病等级,并计算发病率和病情指数,以 3 个重复的平均值作为最终结果。

1.5 病害分级及病情指数计算

根肿病的分级标准参考 Kuginuki 等人^[16]按照 0~3 级划分,具体为:0 级,根系正常,无病害症状;1 级,主根上无根肿,1/3 以下的侧根上形成少量小肿瘤;2 级,主根上形成根肿或 1/3~2/3 侧根上形成肿瘤;3 级,主根和 2/3 以上侧根上形成较大肿瘤。

病情指数计算公式如下:

$$DI = \frac{\sum(\text{发病级代表值} \times \text{各级病株数})}{\text{调查总株数} \times \text{最高发病级代表值}} \times 100$$

1.6 生理小种及油菜品种抗性等级划分标准
参照 Williams 的鉴别系统,按照根肿菌在 4 个寄主上的致病性的差异确定生理小种类型^[11](DI < 10 为抗病,DI ≥ 10 为感病^[13])。

油菜品种抗性等级划分标准:DI ≤ 10 为高抗,10 < DI ≤ 30 为抗病,30 < DI ≤ 50 为感病,DI > 50 为高感。

2 结果与分析

2.1 生理小种鉴定结果

国内油菜主产区根肿病病原生理小种鉴定结果见表 1。采集地点中,湖北省、云南省和四川省的油

菜根肿病病原均为 4 号生理小种;安徽省黄山市则存在 2 号、4 号和 13 号共 3 个生理小种类型,其中休宁县齐云山镇张村与郑村 2 个采集地点为 13 号

生理小种,歙县郑村为 4 号小种,休宁县商山镇新雁村为 2 号生理小种(表 1)。两次试验鉴定的结果一致。

表 1 油菜主产区 19 个地点油菜根肿病病原主要生理小种鉴定结果
Table 1 Physiological races of *P. brassicae* from 19 locations in main rapeseed production areas

采集地点 Location		鉴别寄主病情指数 Disease index of the differential host								生理小种 Physiological race	
		Jersey Queen		Badger Shipper		Laurentian		Wilhelmsburger		Physiological race	
		I	II	I	II	I	II	I	II		
湖北省 Hubei Province	枝江市中桥村 Zhongqiao Village, Zhijiang	63.2	27.5	58.3	21.8	73.2	38.7	59.6	24.2	4	4
	当阳市两河镇 Lianghe Town, Dangyang	14.8	31.1	38.9	24.0	53.5	44.4	17.1	40.9	4	4
安徽省黄山 Huangshan city Anhui Province	休宁县张村 Zhang Village, Xiuning County	0	0	37.3	63.9	10.5	33.3	0	0	13	13
	休宁县南坑村 Nankeng Village, Xiuning County	7.7	5.2	16.3	30.1	29	36.8	6	7.2	13	13
	休宁县新雁村 Xinyan Village, Xiuning County	24.2	23	23.8	14.8	19.1	14.4	0	6.7	2	2
	歙县郑村 Zheng Village, She County	88.9	56.2	53.3	50.0	65.6	28.9	16.7	10.9	4	4
云南省 Yunnan Province	玉溪市赵桅村 1 组 Group 1 Zhaowei Village, Yuxi	54.1	35.9	24.6	38.2	29.3	81.4	22.6	72.9	4	4
	玉溪市赵桅村 6 组 Group 6 Zhaowei Village, Yuxi	84.7	79.2	38.7	42.3	77.5	80.4	86.5	88.7	4	4
	大理州巍山县庙街镇 Miaojie Town, Weishan County, Dali	75.3	48.9	41	43.6	30.4	92.7	20.5	47.5	4	4
	大理州新桥村 Xinqiao Village, Dali	87.7	81.3	91	82.5	96.3	90.4	92.8	95.6	4	4
	保山市板桥镇郎义村 Langyi Village, Banqiao Town, Baoshan	82.1	78.4	55.6	60.3	95.2	96.7	91.5	88.4	4	4
	保山市板桥镇世科村 Shike Village, Banqiao Town, Baoshan	79.2	70.4	67.3	59.6	79.7	81.5	86.2	78.2	4	4
	保山市板桥镇孟官村 Mengke Village Banqiao Town Baoshan	81.3	76.3	42.1	46.7	85.9	78.5	91.8	88.4	4	4
	腾冲县和顺镇十字路村 Shizilu Village, Heshun Town, Tengchong County	88.9	92.1	86.8	83.2	98.4	97.6	95.5	92.1	4	4
四川省 Sichuan Province	成都市郫县友爱镇迎风村 Yingfeng Village, Pi County, Chengdu	32.7	21.3	31.4	22.5	17.9	26.8	42.1	32.7	4	4
	邛崃市牟礼镇乌木村 Wumu Village, Mouli Town ,Qionglai	90.9	84.3	95.7	91.2	77.5	80.9	76.3	73.7	4	4
	眉山市东坡区红钢村 Honggang Village, Meishan	37.6	23.4	49.5	42.5	32.1	22.6	16.1	27.5	4	4
	广汉市三星镇三星村 Sanxing Village Sanxing Town Guanghan City	37.6	13.0	15.4	23.1	29.3	25.9	35.7	28.9	4	4
	绵阳市三台县永明镇团新村 Tuanxin Village Yongming Town Santai county Mianyang City	17.1	15.2	38.7	23.5	52.9	49.3	37.7	32.5	4	4

4 个鉴别寄主中,结球甘蓝品种 Badger Shipper 与芜菁甘蓝品种 Laurentian 对所有采集点的病原菌均表现为感病;而结球甘蓝品种 Jersey Queen 仅在

安徽省黄山市休宁县齐云山镇张村和南坑村表现抗病;芜菁甘蓝品种 Wilhelmsburger 对安徽省黄山市休宁县商山镇新雁村、齐云山镇张村和南坑村 3 个

采集点的病原菌表现抗病。表1还可以看出,湖北、云南、四川的油菜根肿病病原虽都为4号生理小种,但病原菌对鉴别寄主的致病力有差异,云南省的病原致病力显著强于湖北和四川的病原。

2.2 抗病油菜品种筛选结果

2.2.1 不同油菜品种根肿病抗性差异 在自然发病条件下,供试的52个品种在枝江和黄山的发病率分别为28.7%~90.4%和43.3%~100%,平均发

病率为59.2%和80.7%,病情指数分别为19.2~74.2和27.4~100。赣两优三号、蓉油9号、浙双6号、华油杂12号、中油5628、扬油8号、宁油12号、浙油28、中双10号、沔油520等10个品种对枝江的4号生理小种表现为抗病。成油杂6号、德68-12、滁杂优3号3个杂交品种对黄山的13号生理小种表现为抗病(表2)。

表2 不同油菜品种根肿病抗性差异
Table 2 Resistance reaction of rapeseed cultivars to *P. brassicae*

编号 No.	品种 Cultivar	枝江 Zhijiang			黄山 Huangshan			编号 No.	品种 Cultivar	枝江 Zhijiang			黄山 Huangshan		
		DI	DR/%	R/S	DI	DI	R/S			DI	DR/%	R/S	DI	DR/%	R/S
1	赣两优三号 Ganliangyou 3	19.2	36.3	R	81.1	90.0	HS	27	中油 589 Zhongyou 589	46.2	64.4	S	100.0	100.0	HS
2	蓉油 9 号 Rongyou 9	20.4	28.7	R	59.5	75.0	HS	28	苏油 4 号 Suyou 4	46.4	64.4	S	85.8	90.0	HS
3	浙双 6 号 Zheshuang 6	22.1	32.3	R	100.0	100.0	HS	29	希望 98 Xiwang 98	47.1	68.9	S	48.7	84.6	S
4	华油杂 12 号 Huayouza 12	23.9	45.1	R	94.2	100.0	HS	30	史力佳 Shilijia	47.2	59.5	S	87.7	96.3	HS
5	中油 5628 Zhongyou 5628	27.4	37.9	R	86.0	93.5	HS	31	赣两优二号 Ganliangyou 2	47.2	57.1	S	77.1	84.4	HS
6	扬油 8 号 Yangyou 8	27.4	37.5	R	100.0	100.0	HS	32	皖油 29 号 Wanyou 29	47.6	64.8	S	88.5	100.0	HS
7	宁油 12 号 Ningyou 12	27.4	45.0	R	74.4	86.7	HS	33	丰双 9 号 Fengshuang 9	48.7	65.9	S	90.3	93.5	HS
8	浙油 28 Zheyou 28	27.7	39.0	R	100.0	100.0	HS	34	华双 5 号 Huashuang 5	49.0	63.3	S	50.5	67.7	HS
9	沔油 520 Fengyou 520	28.2	45.2	R	91.4	96.3	HS	35	红油杂 2 号 Hongyouza 2	50.1	63.0	HS	45.5	72.7	S
10	中双 10 号 Zhongshuang 10	28.4	32.5	R	78.7	96.0	HS	36	华皖油 5 号 Huawanyou 5	51.0	61.2	HS	100.0	100.0	HS
11	华油杂 62 Huayouza 62	36	46.2	S	59.1	83.9	HS	37	德油杂 108 Deyouza 108	52.4	71.4	HS	46.6	67.7	S
12	浙平 4 号 Zheping 4	36.1	47.7	S	83.3	93.3	HS	38	德油杂 881 Deyouza 881	54.2	71.7	HS	49.0	71.9	S
13	希望 528 Xiwang 528	36.5	49.9	S	40.2	69.0	S	39	德 68-12 De 68-12	54.4	66.7	HS	30.0	43.3	R
14	华油杂 10 号 Huayouza 10	36.7	53.6	S	70.0	83.3	HS	40	滁杂优 3 号 Chuzayou 3	56.3	69.9	HS	30.0	43.3	R
15	绵油 17 号 Mianyou 17	37.1	54.2	S	37.0	52.8	S	41	中双 6 号 Zhongshuang 6	57.2	73.0	HS	97.1	97.1	HS
16	中油 519 Zhongyou 519	37.3	44.6	S	77.0	86.2	HS	42	滁核杂 1 号 Chuheza 2	58.7	78.6	HS	48.9	60.0	S
17	华双 4 号 Huanshuang 4	37.6	46.0	S	62.4	74.2	HS	43	核优 46 Heyou 46	59.5	75.5	HS	82.1	89.3	HS
18	红油 3 号 Hongyou 3	38.3	46.0	S	89.2	93.5	HS	44	成油杂 6 号 Chengyouza 6	63.5	78.6	HS	27.4	46.4	R
19	高油 605 Gaoyou 605	38.7	53.7	S	38.7	48.4	S	45	青杂 3 号 Qingza 3	64.1	80.5	HS	42.2	53.3	S
20	凉油 11 Liangyou 11	40.2	60.0	S	62.1	75.9	HS	46	中双 9 号 Zhongshuang 9	64.6	72.7	HS	98.1	100.0	HS
21	蓉杂油 6 号 Rongzayou 6	40.4	46.1	S	46.7	65.7	S	47	广源 59 Guangyuan 59	65.6	79.7	HS	40.4	60.6	S
22	德油 6 号 Deyou 6	42.8	61.8	S	60.0	73.3	HS	48	铜油 2008 Tongyou 2008	65.7	76.5	HS	81.1	86.7	HS
23	渝油 23 Yuyou 23	43.0	53.1	S	56.6	66.7	HS	49	德油 4 号 Deyou 4	67.5	77.5	HS	39.3	67.9	S
24	油王 999 Yongwang 999	43.8	54.8	S	85.3	88.2	HS	50	德油杂 10 号 Deyouza 10	70.6	90.4	HS	50.0	87.5	S
25	中油杂 12 Zhongyouza 12	44.1	54.5	S	73.8	88.1	HS	51	德油 13 Deyou 13	71.4	85.7	HS	44.4	75.0	S
26	渝黄 4 号 Yuhuang 4	45.8	59.8	S	94.4	100	HS	52	科乐 521 Kele 521	74.2	85.0	HS	66.7	75.9	HS

注: DI 病情指数 Disease index; DR 发病率 Disease rate; R/S 抗性反应类型 Resistance type; R 抗病, Resistant; S 感病, Susceptible; HS 高感, High Susceptible

高抗、抗病、感病、高感4个抗感类群分别占总品种数目百分比如图1所示。供试品种在枝江、黄山两地均未表现高抗,52个品种中19.2%(10个)的品种在枝江表现抗病,感病与高感品种分别为46.2%(24个)、34.6%(18个);在黄山表现抗病、感病、高感的品种分别占5.8%(3个)、26.9%(14个)、67.3%(35个)。

在枝江表现抗病的10个品种在黄山均为高感,同样在黄山表现抗病的3个品种在枝江表现为高感;52个品种中仅有5个品种同时在枝江、黄山两地表现感病,同时表现高感的品种为6个。结合表1生理小种鉴定结果可知,黄山试验田中病原菌主要生理小种为13号,枝江为4号,同一油菜品种针对不同根肿菌生理小种表现出不同的抗感类型。

2.2.2 根肿病发病率与病情指数相关性分析 不同油菜品种根肿病发病率与病情指数的相关性分析可知,油菜病情指数(Y)与发病率(x)呈显著线性正相关($P<0.05$)(图2)。

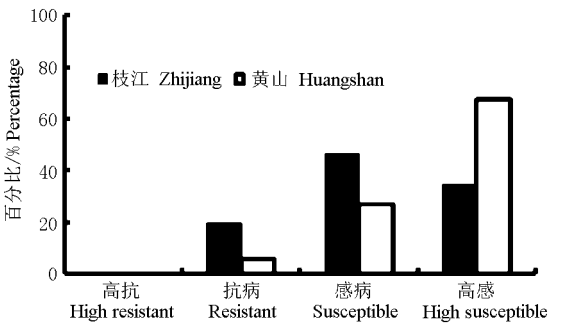


图1 供试油菜品种对枝江和黄山两地的芸薹根肿菌的抗感反应类型分布
Fig.1 Resistance level contribution of tested rapeseed cultivars to *P. brassicae*

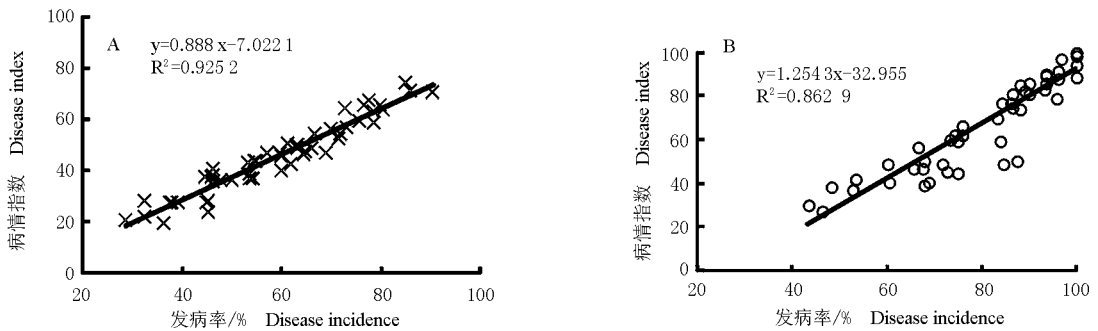


图2 两地(A枝江,B黄山)油菜根肿病发病率与病情指数关系
Fig.2 Relations between disease incidence and disease index of cultivars at Zhijiang (A) and Huangshan (B)

3 讨论与结论

本试验采用 Williams 系统鉴定了国内油菜主产区的油菜根肿病病原芸薹根肿菌的生理小种,共鉴定出2号、4号和13号3种类型,其中4号生理小种在供试的19个地点中的16个地点存在,表明4号生理小种为国内油菜主产区根肿菌主要的生理小种,与沈向群^[13]等在大白菜上的研究结果一致。安徽黄山的生理小种较多,可能与黄山山区的土壤、气候和环境条件多变易引起病菌变异有关。

刘勇等人研究发现四川省的油菜主栽品种中15.2%的品种属低抗品种,大多不抗根肿病^[17];杨玉珠等在云南保山市板桥镇筛选出花油7号、云油双1号和A35等3个抗病品种^[18];从本研究的根肿菌主要生理小种鉴定结果来看,四川和云南的油菜品种抗病性主要是抗4号小种。本研究针对枝江的4号小种和黄山的13号小种筛选抗病的油菜品种,获得10个抗4号生理小种的油菜品种和3个抗13号小种的品种,未获得高抗根肿病和同时抗4号与13号生理小种的油菜品种。从目前研究结果分析,油菜根肿菌4号小种为主,抗4号小种的油菜品种较多,但抗性水平不高,主要原因可能是抗病性定向选择强度不够,多为自然筛选结果。根肿菌生理小种繁多,可能是高抗、多抗品种缺乏的原因之一。在今后油菜抗病育种中选育抗4号小种品种同时,注意选育抗多个小种的油菜品种,并对生理小种的种群动态进行预测和预警。在正常栽培条件下同一油菜品种对不同生理小种的抗感反应存在差异。但是由于枝江、黄山两地生产条件不同,还需要室内控制条件下接种不同芸薹菌生理小种,以确定品种对某一生理小种的抗性。

本试验通过室内鉴定根肿菌生理小种与田间鉴定油菜品种抗病性,初步明确我国油菜根肿病主要

发病区域根肿病病原的生理小种为4号,筛选出10个抗4号生理小种和3个抗13号生理小种油菜品种。研究结果为油菜抗根肿病育种提供抗源材料,病菌生理小种初步鉴定结果为抗病品种合理布局利用提供理论依据。

参考文献:

- [1] Voorrips R E. *Plasmodiophora brassicae*: aspects of pathogenesis and resistance in *Brassica oleracea* [J]. Euphytica, 1995, 83: 139 - 146.
- [2] Dixon G R. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2009, 28: 194 - 202.
- [3] 郭向华. 甘蓝根肿病菌的生物学特性及致病性研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2001.
- [4] 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.
- [5] 吕佩珂, 高振江, 张宝棣, 等. 中国经济作物、药用植物病虫害识别与防治下册 [M]. 呼和浩特: 远方出版社, 1999. 537 - 538.
- [6] 王靖, 黄云, 胡晓玲, 等. 油菜根肿病症状、病原形态及产量损失研究 [J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(1): 112 - 115.
- [7] Cheah L H, Gowers S, Marsh A T. Clubroot control using *Brassica* break crops [J]. Acta Horticulturae, 2006, 706: 329 - 332.
- [8] Donald E C, Porter I J. Integrated control of clubroot [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2009, 28: 289 - 303.
- [9] 王芳展, 刘亚培, 张梅, 等. 十字花科作物根肿病的侵染生理与抗性遗传研究进展 [J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(2): 215 - 224.
- [10] Honig F. Der Kohlkropferreger (*Plasmodiophora brassicae* Wor.) Eine Monographie [M]. Springer, 1931.
- [11] Williams P H. A system for the determination of races of *Plasmodiophora brassicae* that infect cabbage and rutaba-

ga[J]. *Phytopathology*,1966,56:624 – 626.

[12] 吉川宏昭. アフテナ科野菜根ぶ病菌の病原性の分化[J]. *植物防疫*,1990,44(7):295 – 298.

[13] 沈向群,聂凯,吴琼,等. 大白菜根肿病主要生理小种种群分化鉴定初报[J]. *中国蔬菜*,2009,8:59 – 62.

[14] Castlebyry L A, Maddox J V, Glawe D A. A technique for the extraction and purification of viable *Plasmodiophora brassicae* resting spores from host root tissue[J]. *Mycologia*,1994,86:458 – 460.

[15] Möler M, Harling R. Randomly amplified polymorphic DNA (RAPD) profiling of *Plasmodiophora brassicae* [J]. *Lett Appl Microbio*,1996,22:70 – 75.

[16] Kuginuki Y, Yoshikawa H, Hirai M. Variation in virulence of *Plasmodiophora brassicae* in Japan tested with clubroot – resistant cultivars of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) [J]. *European Journal of Plant Pathology*,1999,105:327 – 332.

[17] 刘勇,黄小琴,柯绍英,等. 四川主栽油菜品种根肿病抗性研究[J]. *中国油料作物学报*,2009,31(1):90 – 93.

[18] 杨玉珠,张晓兰,杨卫国,等. 油菜抗根肿病品种筛选试验研究[J]. *中国农学通报*,2011,27(16):278 – 282.

(责任编辑:郭学兰)