

四川省根肿菌的分布和生理小种及品种抗性评估

彭宇龙 黄 云* 杨 辉

(四川农业大学农学院, 成都 611130)

摘要: 为探究四川省根肿菌 *Plasmodiophora brassicae* 分布、生理小种及品种抗性, 于2014–2016年向各县(区、市)植保站问卷调研了解四川省根肿病分布, 并利用 Williams 体系对采自四川省不同病田的22个根肿菌样进行生理小种鉴定, 利用其中18个对9个普通十字花科作物品种进行室内抗性评估。结果表明, 根肿病分布于四川省19市(州)89个县(区、市), 占总调查数的50%。按照极高、高、中等、低、极低、无分布6个根肿病分布密度等级依次划分为23、7、11、16、32和0个县(区、市), 其中11个县(区、市)根肿病病史较长, 大部分根肿病极高和高密度分布以及长病史县(区、市)都在地理位置上相对集中。22个根肿菌样共鉴定出2、4、7和11号4个生理小种, 其中4号为优势生理小种, 占77%。四川省表现出明显生理小种地域分布差异。抗性评估发现供试品种对绝大多数供试菌都表现感病, 且73%的供试组合病情指数在75以上。

关键词: 根肿菌; 分布; 生理小种; 抗性评估

Distribution and pathotype of *Plasmodiophora brassicae* in Sichuan and cultivar resistance evaluation

Peng Yulong Huang Yun* Yang Hui

(College of Agriculture, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan Province, China)

Abstract: In order to investigate the distribution, pathotypes of *Plasmodiophora brassicae* in Sichuan and cultivar resistance, the clubroot distribution was surveyed in the plant protection stations of each county of Sichuan from 2014 to 2016. Williams system was used to identify the pathotypes of 22 *P. brassicae* populations collected from different infested fields in Sichuan, 18 of which were selected to evaluate clubroot resistance on nine normal cruciferous cultivars in the greenhouse. The results showed that clubroots occurred in 89 counties of 19 cities in Sichuan, accounting for 50% of counties surveyed. These counties were classified as extreme, high, moderate, low, limited clubroot distribution density and no clubroot distribution, with 23, 7, 11, 16, 32 and 0 counties falling into each category. Eleven out of 89 counties had a relatively long disease history. Moreover, most counties with extreme and high clubroot distribution density or relatively long disease history were relatively concentrated geographically. Pathotype 2, 4, 7 and 11 were identified in 22 populations. Pathotype 4 constituted for 77%, indicating that it was the dominant pathotype in Sichuan. Geographical distribution of the pathotypes was observed obviously in Sichuan. Resistance evaluation concluded that all the cultivars tested showed susceptible reactions to most of the populations tested, and 73% of the host-population combinations had a disease index higher than (or equal to) 75.

Key words: *Plasmodiophora brassicae*; distribution; pathotype; resistance evaluation

根肿病是制约十字花科作物生产的世界性病害,该病由芸薹根肿菌 *Plasmodiophora brassicae* 引起,其典型症状是在病株根部形成根瘤,阻碍寄主对水分和营养物质的吸收(Hwang et al., 2012)。王华夫(1962)首次报道根肿病在四川省有发生,但未指明发病地点。余俊杰等(1990)和袁永凯(1995)明确报道了根肿病对成都市和雅安市十字花科蔬菜和油菜的危害。四川省是中国重要的油菜产区,该病已对油菜产量造成了严重威胁(费维新等, 2015)。迄今尚未见根肿病在四川省分布的详细报道。

选育和栽培抗性品种是根肿病防控策略中一项非常有效而且对环境友好的措施。由于根肿菌存在致病性分化,所以生理小种鉴定是抗性品种选育及合理布局的基础。当前世界范围内主要应用 Williams 鉴别体系(Williams, 1966)和欧洲根肿病鉴别体系(Buczacki et al., 1975)鉴定生理小种。沈向群等(2009)首次用 Williams 鉴别体系对我国部分地区根肿菌生理小种进行了鉴定,发现4号生理小种为中国优势生理小种,此外,四川省的根肿菌样分别被鉴定为4号、7号和10号。近年国内许多省份的生理小种鉴定结果也进一步证实了4号生理小种是目前国内的优势生理小种(Chai et al., 2014)。丁云花等(2013)、季海雯等(2013)和陈静等(2016)研究结果表明,四川省除了采自甘孜自治州、攀枝花市盐边县以及成都市新都区的3个根肿菌样被鉴定为7号和11号生理小种外,其余9个根肿菌样均被鉴定为4号生理小种。

我国已陆续培育出一些商品化抗根肿病十字花科作物品种(Chai et al., 2014),近期通过远缘杂交获得抗根肿病材料也取得了进展(彭丽莎等, 2016)。但为了更好地应对生理小种的多样性,还需不断丰富抗根肿病种质资源(Rahman et al., 2014)。目前,国内已开展了十字花科作物抗根肿病评估工作,评估对象包括各单位种质资源(陈欣等, 2015;陈静等, 2016)、抗根肿病品种(杨晓云等, 2015;甘彩霞等, 2016)以及部分省份如四川省、辽宁省和湖南省常规栽培品种(刘勇等, 2009;李颖等, 2013;黄小莉等, 2014)。但已报道的抗性评估结果多基于单一菌源或者未鉴定生理小种的菌源,如能利用不同地理来源、不同生理小种的菌源进行测试,品种的抗性将得到更加全面的评价。

为充分全面了解四川省根肿病的分布情况,本研究于2014—2016年向各县(区、市)植保站进行问卷调研,并对采自四川省不同病田的22个根肿菌样

进行生理小种鉴定,同时将18个供试菌样对普通十字花科作物品种进行抗性评估,以期对四川省抗病品种选育和合理布局策略提供较为详实的病原分布、生理小种分布构成以及基于不同生理小种的品种抗性信息,从而为四川省制定根肿病总体防控思路提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试病原菌:22个供试根肿菌样(命名为采集地缩写)均由本实验室采集自四川省22个不同十字花科作物发病田块的根瘤,分别为:LX(阿坝州理县,白菜)、DY(成都市大邑县,油菜)、LQ(成都市龙泉驿区,萝卜)、PX-E(成都市郫县,抱子芥)、PX-H(成都市郫县,红菜苔)、PX-Q(成都市郫县,青菜)、PZ(成都市彭州市,结球甘蓝)、QL(成都市邛崃市,青菜)、SL(成都市双流区,油菜)、WJ(成都市温江区,红菜苔)、XD(成都市新都区,油菜)、D-X(德阳市,油菜)、GH(德阳市广汉市,青菜)、LJ(德阳市罗江县,青菜)、SF(德阳市什邡市,白菜)、KD-L(甘孜州康定市,油菜)、KD-X(甘孜州康定市,白菜)、XC(凉山州西昌市,结球甘蓝)、DP(眉山市东坡区,油菜)、ST(绵阳市三台县,油菜)、ZT(绵阳市梓潼县,油菜)、SM(雅安市石棉县,寄主不明),所有根瘤样品采集后带回实验室置于-20℃冰冻保存。

供试植物:Williams 鉴别寄主为2个芜菁甘蓝 *Brassica napus* var. *napobrassica* 鉴别寄主 Wilhelmsburger 和 Laurentian,以及2个结球甘蓝 *Brassica oleracea* var. *capitata* 鉴别寄主 Badger Shipper 和 Jersey Queen,均由沈阳农业大学园艺学院提供。供试十字花科作物种子均在四川省种子市场随机选购,分别为5个白菜品种强春、良庆、高丽金娃娃、牛牌19号大白菜、黄金小白菜,1个结球甘蓝品种西元四号,2个油菜品种早丰和德油5号以及1个青梗菜品种速生。

仪器:九阳 JYL-510 搅拌机,九阳股份有限公司;RXZ 人工气候箱,宁波江南仪器厂;Centrifuge 5804R 冷冻离心机,德国 Eppendorf 公司;血球计数板,上海市求精生化试剂仪器有限公司;奥林巴斯 CX21 光学显微镜,日本奥林巴斯公司。

1.2 方法

1.2.1 四川省根肿病分布调研

于2014—2016年陆续以县(区、市)为调研单位向四川省21个市(州)下辖的178个县(区、市)的植

保站以问卷形式进行调研收集。调查内容包括各县(区、市)下辖乡镇根肿病分布情况以及全县(区、市)初次发现根肿病大致年份。依据汇总的调研资料,根据有根肿病分布的乡镇比例将各县(区、市)划分为6个分布密度等级:极高密度分布(乡镇分布比例 $\geq 75\%$);高密度分布($50\% \leq$ 乡镇分布比例 $< 75\%$);中等密度分布($25\% \leq$ 乡镇分布比例 $< 50\%$);低密度分布($10\% \leq$ 乡镇分布比例 $< 25\%$);极低密度分布($0 <$ 乡镇分布比例 $< 10\%$ 或者全县只在个别乡镇发现过零星病株);无分布(乡镇分布比例=0)。另外,以2000年为分界线,将2000年前初次发现根肿病发生的县(区、市)列为发病历史较长县(区、市);将2000年后初次发现根肿病发生的县(区、市)列为发病历史较短县(区、市);未从植保站收集到发病历史信息的县(区、市)列为情况不明。根据整理后的四川省根肿病分布和病史信息,利用Photoshop软件以2015年四川省标准地图政区简图为底图绘制四川省根肿病2014—2016年发生分布图。

1.2.2 根肿菌生理小种鉴定

菌悬液的制备:将冰冻保存的根瘤取出,充分解冻后放入搅拌器加400 mL蒸馏水搅拌成匀浆。用8层纱布过滤后将滤液进行离心。离心步骤参照肖崇刚和郭向华(2002)的方法并进行调整。首先在500 r/min下离心5 min,弃底部沉淀,再在3 100 r/min下离心10 min,去掉上清液保留沉淀。此步骤重复3次。最后将休眠孢子菌悬液浓度用血球计数板调整至 $2 \times 10^7 \sim 6 \times 10^7$ 个/mL。

人工接种:栽培基质按草炭土:珍珠岩:蛭石=2:1:1的体积比例进行混合并灭菌。灭菌后的栽培基质装入17.6 L桶中用蒸馏水充分浸湿后分装入50穴的53 cm $\times$ 28 cm $\times$ 5 cm(长 $\times$ 宽 $\times$ 深)塑料育苗盘

中。每穴装入湿土约38 g。用75%的酒精对寄主种子进行表面消毒,消毒5 min后播种于育苗盘栽培基质土表。待幼苗2片子叶充分展开时进行人工接种。每穴幼苗茎基部接种2 mL菌悬液。人工接种后将幼苗放入温室大棚进行栽培。人工接种试验于每年适宜根肿病发病的春季或秋季于四川农业大学成都校区温室大棚内进行。温室内昼温通过遮阳网遮阳、保温或通风等措施进行调整。当环境温度过高或过低,棚内温度无法控制在约18~28℃时,将幼苗暂时转移至室内或人工气候箱中(昼温25℃ 16 h/夜温18℃ 8 h)以回避不利于发病的温度。同时每1~2 d用蒸馏水对植株进行浇水以保证土壤充分湿润,利于发病。

病情调查:接种45~60 d后进行病情调查。供试鉴别寄主(2个芜菁甘蓝鉴别寄主,2个结球甘蓝鉴别寄主)分别与22个供试根肿菌样组合,一共有88个互作组合,每个寄主-病原菌互作组合作为一个处理,每个处理调查10~20株植株,即调查时植株存活数大于20株则调查20株植株,不足20株则全部调查。除SM、D-X、WJ、LQ和ST这5个根肿菌样外,其余菌样均进行2次重复。

病情分级标准参照Xue et al. (2008)使用的4级标准:0级,没有根瘤;1级,有少量较小根瘤(少于1/3的根部着生较小根瘤);2级,中度肿瘤(1/3~2/3的根部着生小型到中型的根瘤);3级,严重肿瘤(大于2/3的根部着生中型到大型的根瘤)。计算病情指数:病情指数= Σ (各级病株数 $\times$ 相对级数值) $\times 100 /$ (调查总株数 $\times$ 最高级数的代表值)(季海雯等,2013)。病情指数 < 10 划为抗病,病情指数 ≥ 10 划为感病。按照Williams鉴定体系(Williams, 1966)的标准进行生理小种划分(表1)。

表1 Williams生理小种鉴定体系
Table 1 Williams pathotype identification system

鉴别寄主 Differential host	生理小种 Pathotype															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Jersey Queen	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
Badger Shipper	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-
Laurentian	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-
Wilhelmsburger	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-	+

+ 代表感病反应;- 代表抗病反应。+ refers to susceptible reaction;- refers to resistant reaction.

1.2.3 普通十字花科作物品种抗性评估

按照1.2.2方法进行室内人工接种,供试的9种市售十字花科作物寄主(5个白菜品种、1个结球甘蓝品种、2个油菜品种以及1个青梗菜品种)分别与18个供试根肿菌样进行组合,一共有162个互作组

合,其中3个组合因抗性评估时调查样本数过少或未进行试验而未获得数据。获得数据的159个供试互作组合中除18个互作组合调查植株数不足20株(13~19株),其余141个组合均调查20株植株。全部供试寄主-病原菌组合均只重复1次。病情调查

分级标准及抗感反应划分标准均参考1.2.2方法。

2 结果与分析

2.1 四川省根肿病发生分布情况

2014—2016年调研结果显示,根肿病分布于四川省19个市(州)下辖的89个县(区、市),占总调查县(区、市)数的50%。其中,23个县(区、市)为极高密度分布;7个为高密度分布;11个为中等密度分

布;16个为低密度分布;32个为极低密度分布。从根肿病病史上看,有11个县(区、市)发病历史较长,病史较长;58个县(区、市)发病历史较短;20个县(区、市)情况不明(表2)。另一方面,大部分极高密度或高密度分布县(区、市)在地理位置上都相对集中,呈现出明显的中心密集型趋势(图1)。相似的是,11个有相对较长发病史的县(区、市)也均在该区域集中(图1)。

表2 四川省根肿病2014—2016年发生分布情况

Table 2 Clubroot occurrence and distribution in Sichuan Province from 2014 to 2016

分布地区 Distribution	分布县 (区、市)数 County	根肿病分布密度等级 Clubroot distribution density scale					病史类型 Disease history type		
		极高 Extreme	高 High	中 Moderate	低 Low	极低 Limited	较长病史 Relatively long	较短病史 Relatively short	情况不明 Information unavailable
阿坝 Aba	5	0	1	1	0	3	0	3	2
巴中 Bazhong	2	0	0	0	1	1	0	1	1
成都 Chengdu	14	8	1	3	2	0	5	8	1
德阳 Deyang	5	3	2	0	0	0	0	3	2
达州 Dazhou	2	0	0	0	0	2	0	1	1
广安 Guang'an	1	0	0	0	0	1	0	1	0
广元 Guangyuan	2	0	0	1	0	1	0	2	0
甘孜 Ganzi	9	1	0	2	1	5	1	7	1
乐山 Leshan	6	2	1	0	0	3	1	3	2
凉山 Liangshan	12	2	1	2	4	3	0	10	2
泸州 Luzhou	2	0	0	0	1	1	0	2	0
眉山 Meishan	5	5	0	0	0	0	1	3	1
绵阳 Mianyang	8	0	0	1	2	5	0	8	0
内江 Neijiang	1	0	0	0	0	1	0	0	1
攀枝花 Panzhihua	3	0	0	0	1	2	0	3	0
遂宁 Suining	1	0	0	0	0	1	0	1	0
雅安 Ya'an	7	2	1	0	4	0	3	1	3
宜宾 Yibin	3	0	0	1	0	2	0	1	2
资阳 Ziyang	1	0	0	0	0	1	0	0	1
合计 Total	89	23	7	11	16	32	11	58	20

2.2 生理小种鉴定

鉴定结果显示,供试的22个根肿菌样在2个芜菁甘蓝鉴别寄主Laurentian和Wilhelmsburger上有明显的致病性差异。根肿菌样LX、KD-X及XC对这2个鉴别寄主均表现不亲和反应,根肿菌样KD-L对Wilhelmsburger表现不亲和但对Laurentian却表现亲和反应,而其余18个根肿菌样对这2个鉴别寄主均表现出明显的亲和反应。除根肿菌样SF对Jersey Queen表现不亲和反应外,其余21个根肿菌样对2个结球甘蓝鉴别寄主均表现出明显的致病性。依据在这4个鉴别寄主上的抗感反应,将22个根肿

菌样鉴定为Williams 2号、4号、7号和11号4个生理小种。其中,77%的根肿菌样被鉴定为4号生理小种,所占比例最大;其次为7号生理小种,占供试根肿菌样的14%;剩余的2号和11号2个生理小种都分别只有1个根肿菌样(表3)。对单个或同时对2个芜菁甘蓝鉴别寄主表现不亲和的4个根肿菌样LX、KD-X、XC和KD-L均采集自四川省盆地外高山或高原地区,而对2个芜菁甘蓝寄主都表现出明显致病性的18个根肿菌样均采集自盆地内部城市,呈现出明显的生理小种地域分布差异(表3)。

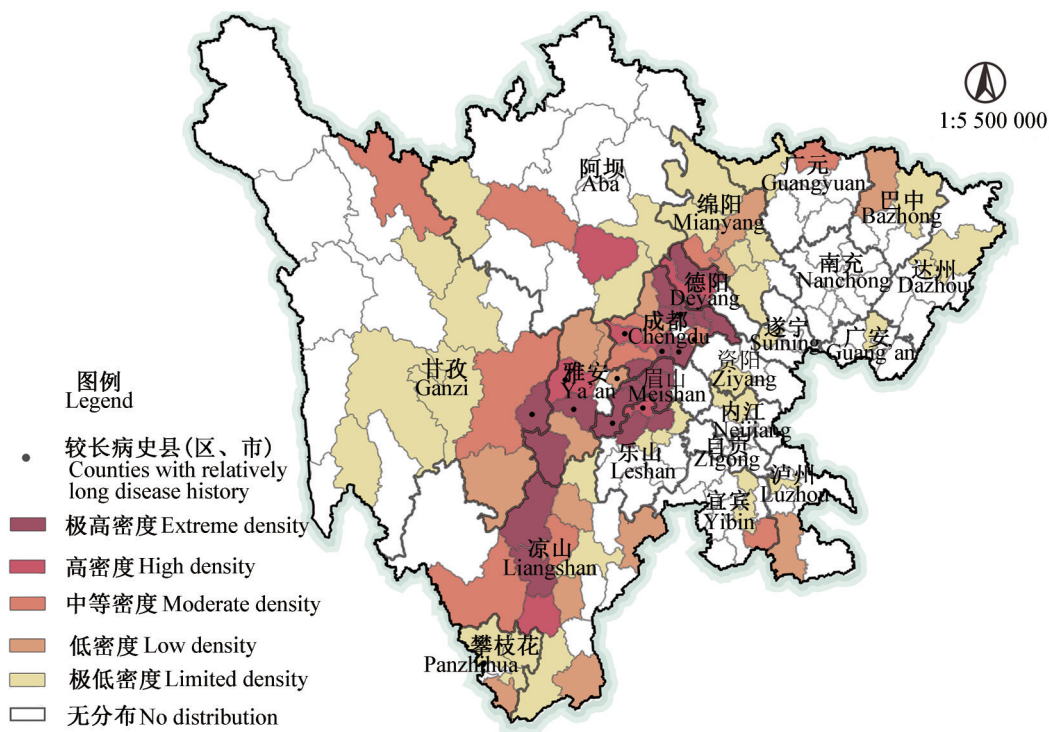


图 1 四川省根肿病 2014—2016 年发生分布图

Fig. 1 Clubroot occurrence and distribution map in Sichuan Province from 2014 to 2016

表 3 四川省 22 个根肿菌样生理小种鉴定结果

Table 3 Pathotype identification results of the 22 *Plasmodiophora brassicae* populations in Sichuan Province

根肿菌样 <i>P. brassicae</i> population	鉴别寄主病情指数 Disease index of the differential hosts				生理小种类型 Pathotype
	Wilhelmsburger	Laurentian	Badger Shipper	Jersey Queen	
KD-L	1.7	49.2	82.5	93.3	2
DP	65.1	35.4	52.6	35.2	4
D-X	81.7	91.7	60.4	65.0	4
DY	82.7	69.2	71.4	51.4	4
GH	84.0	85.0	71.5	37.0	4
LJ	50.0	71.3	62.4	66.4	4
LQ	63.3	95.0	80.4	73.3	4
PX-E	79.0	53.3	35.3	25.0	4
PX-H	70.0	86.2	43.5	48.3	4
PX-Q	38.1	81.2	55.4	69.3	4
PZ	50.0	85.0	85.0	92.1	4
QL	36.5	58.3	70.7	84.7	4
SL	58.3	84.7	44.8	44.2	4
SM	35.0	63.3	61.7	95.6	4
ST	76.7	73.3	68.3	66.7	4
WJ	73.3	90.0	85.0	74.4	4
XD	89.2	93.3	82.9	90.8	4
ZT	65.6	84.8	80.6	65.3	4
LX	0.8	4.2	72.5	60.3	7
KD-X	0.8	2.1	77.1	83.3	7
XC	0.0	0.0	43.9	90.8	7
SF	54.6	66.6	67.8	0.0	11

2.3 品种抗性评估结果

9 个随机选取的市售普通十字花科作物品种的 抗性评估结果表明,所有供试品种对绝大多数供试

根肿菌样均表现感病。所有供试的 159 个寄主-病原菌互作组合中除牛牌 19 号大白菜接种根肿菌样 PZ 表现为明显的不亲和反应外,其余 158 个供试互

作组合均为亲和反应 ($11.7 \leq \text{病情指数} \leq 100$), 其中 73% 的互作组合的病情指数均大于或等于 75, 表现出高度的感病性(表 4)。

表 4 四川省 9 种普通十字花科作物品种根肿病抗性评估结果

Table 4 Clubroot resistance evaluation results of nine normal cruciferous cultivars in Sichuan Province

根肿菌样 <i>P. brassicae</i> population	病情指数 Disease index							牛牌 19 号 大白菜	黄金 小白菜
	早丰 Zaofeng	德油 五号 Deyou 5	强春 Qiangchun	良庆 Liangqing	速生 Susheng	西元 四号 Xiyuan 4	高丽 金娃娃 Gaolijinwawa	Niupai19 Chinese cabbage	Huangjin Chinese cabbage
KD-L	80.0	41.7	100.0	100.0	100.0	83.3	—	70.0	91.7
D-X	83.3	50.0	83.3	100.0	95.0	66.7	91.7	83.3	96.7
DY	91.7	85.0	78.3	95.0	100.0	36.7	96.7	76.5	96.7
GH	100.0	93.3	91.7	98.3	95.0	80.0	98.0	91.2	95.0
LJ	93.3	60.0	91.7	93.3	91.7	68.3	80.0	90.0	96.7
LQ	100.0	93.3	96.7	96.7	98.3	81.7	84.6	—	98.3
PX-H	81.7	66.7	91.7	93.3	95.0	68.3	100.0	28.3	100.0
PZ	86.7	30.0	95.0	100.0	85.0	55.0	76.7	3.5	83.3
QL	78.3	15.0	88.3	96.7	81.7	76.7	91.7	71.9	88.3
SL	96.7	85.0	90.0	95.0	96.7	93.3	88.2	93.3	95.0
SM	61.7	31.7	31.7	81.7	63.3	70.0	88.3	56.7	55.0
ST	98.3	93.3	60.0	96.7	93.3	95.0	88.9	82.2	98.3
WJ	83.3	85.0	100.0	95.0	91.7	61.7	100.0	63.3	100.0
XD	31.7	30.0	60.0	95.0	75.0	85.0	68.3	60.8	70.0
ZT	58.3	40.0	81.7	100.0	71.7	51.7	65.0	100.0	75.0
LX	70.0	11.7	86.7	93.3	75.0	70.0	93.8	96.7	86.7
KD-X	73.3	16.7	96.7	100.0	100.0	93.3	90.0	66.7	96.7
SF	90.0	95.0	96.7	96.7	100.0	96.3	—	53.3	100.0

—: 为抗性评估时调查样本数过少或未进行试验。— refers to combinations without enough seedlings to investigate during the resistance evaluation or untested combinations.

3 讨论

本次调研结果显示,四川省除南充市和自贡市之外,其余 19 市(州)均有根肿病分布,总分布县(区、市)数已占调查总数的 50%,说明目前根肿病在四川省分布范围较广。在这些县(区、市)中,有 58 个均是在 2000 年之后才首次发现根肿病。这可能与近十多年来土壤酸化加重以及商品化种子的频繁调运有关(王靖等,2011)。从空间分布上看,大部分极高和高密度分布县(区、市)以及长病史县(区、市)分布均相对集中,这一方面说明该区域一些县(区、市)密集根肿病乡镇分布可能与其较长的发病史有关,另一方面,鉴于该密集分布区许多县(区、市)位于成都平原或安宁河谷平原,这两大平原稠密的地缘灌溉水系网(如都江堰灌溉水系)可能对该区域根肿菌高密度的乡镇分布现状起到重要作用,稠密的灌溉水系能够有效和快速实现根肿菌在邻近乡镇间的远距离传播(Chai et al., 2014)。

本试验共鉴定出 2 号、4 号、7 号和 11 号 4 个生理

小种,其中 2 号生理小种在四川省首次被鉴定出。另外,77% 的供试菌均被鉴定为 4 号生理小种,说明目前该生理小种在四川省属于优势生理小种,与已经报道的结果相一致(Chai et al., 2014; 陈静等, 2016)。目前国内大多数省份根肿菌的优势生理小种均为 4 号(Chai et al., 2014),当前国内育种工作应以选育抗 4 号生理小种的品种为主。另外,生理小种鉴定结果显示了明显的生理小种地域分布差异。盆地外高山或高原地区的生理小种(2 号和 7 号)相对于盆地内部城市鉴定出的生理小种(4 号和 11 号)而言,明显缺乏对芜菁甘蓝鉴别寄主的致病性,与前人的研究结果相似(李茜等,2012; Chai et al., 2014; 陈静等,2016)。四川省是中国重要的油菜产区,但盆地外高山或高原地区并不是四川省油菜的优势产区,这些地区许多县(区、市)主要种植十字花科蔬菜。而盆地内部城市绝大多数发病县(区、市)则既有大面积油菜又有十字花科蔬菜。鉴别寄主中的 2 个芜菁甘蓝和甘蓝型油菜为同个物种的不同变种,亲

缘关系近,由此可推断根肿菌生理小种在四川省差异性的地域分布可能与寄主的差异分布有关,寄主的选择作用可能会导致这些地区的根肿菌易出现对芜菁甘蓝鉴别寄主致病性的缺失。Strelkov et al. (2006)和Donald et al. (2006)在对加拿大和澳大利亚根肿菌生理小种进行鉴定时也观察到类似现象。但是沈向群等(2009)及赵扬等(2013)在对大面积种植白菜而缺乏油菜种植的东北地区进行生理小种鉴定时却发现除了1个供试菌样对Wilhelmsburger缺乏致病性外,其余菌样对2个芜菁甘蓝鉴别寄主均明显致病,说明寄主在田间对根肿菌生理小种选择作用的复杂性。

尽管抗性评估中供试的18个根肿菌样地理来源不同,且鉴定为4个不同的生理小种,但9个供试普通十字花科作物品种对绝大部分根肿菌样均表现感病。鉴于该9个普通品种均为随机选取,由此可推测目前可能不少市售普通十字花科作物品种对四川省不同地理来源的根肿菌均表现感病,少量外源根肿菌一旦通过各种传播途径传入未被感染的十字花科作物种植区,其有极高的概率在田间被感病寄主扩大繁殖并在邻近田块间扩展。Hwang et al. (2013)发现在感病加拿大油菜上产生的每克根瘤大约能向田间贡献 1×10^{10} 个休眠孢子,而本试验结果中,73%的互作组合的病情指数都大于或等于75,可能会极大地增加田间土壤休眠孢子含量,大量潜在初侵染源的产生可能构成了根肿菌在四川省乡镇间高效扩散的重要基础。

本研究可为四川省根肿病综合防治工作及本地抗病育种工作提供较为实用的参考信息。但是由于根肿分布信息是通过调研方式获得,个别乡镇的发生情况可能会与实际有一定出入,后续还需在各发病乡镇进行实地调查及危害评估,以获得更加详实的发生分布信息。此外,本试验对川东方位一些分布密度偏低县(区、市)未进行生理小种鉴定,后续还需对这些区域的生理小种信息进行补充以进一步完善四川省根肿病生理小种分布及构成信息。

参 考 文 献 (References)

- Buczacki ST, Toxopeus H, Mattusch P, Johnston TD, Dixon GR, Hobolth LA. 1975. Study of physiological specialization in *Plasmodiophora brassicae*: proposals for attempted rationalization through an international approach. Transactions of the British Mycological Society, 65(2): 295-303
- Chai AL, Xie XW, Shi YX, Li BJ. 2014. Research status of clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) on cruciferous crops in China. Canadian Journal of Plant Pathology, 36(S1): 142-153
- Chen J, Ren XS, Song HY, Li CQ, Yuan TC, Si J. 2016. 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), 38(1): 67-72 (in Chinese) [陈静, 任雪松, 宋洪元, 李成琼, 袁天成, 司军. 2016. 4个不同地区十字花科根肿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), 38(1): 67-72]
- Chen X, Wang C, Zhang XX, Wang S. 2015. The inoculation system of cabbage clubroot and screening of resistant germplasm resources. Plant Protection, 41(5): 121-126 (in Chinese) [陈欣, 王超, 张晓烜, 王帅. 2015. 甘蓝根肿病的人工接种体系与抗源材料筛选. 植物保护, 41(5): 121-126]
- Ding YH, Jian YC, Yu YJ, Wang WH, Geng LH, Kang JG. 2013. Identification of pathotype of *Plasmodiophora brassicae* on crucifer vegetables in eight provinces of China. China Vegetables, (16): 85-88 (in Chinese) [丁云花, 简元才, 余阳俊, 汪维红, 耿丽华, 康俊根. 2013. 我国8省市十字花科蔬菜根肿病菌生理小种的鉴定. 中国蔬菜, (16): 85-88]
- Donald EC, Cross SJ, Lawrence JM, Porter IJ. 2006. Pathotypes of *Plasmodiophora brassicae*, the cause of clubroot, in Australia. Annals of Applied Biology, 148(3): 239-244
- Fei WX, Wang SF, Hu BC, Li QS, Hou SM, Rong SB, Wu XY. 2015. Control effect of different fungicides on clubroot and yield loss caused by *Plasmodiophora brassicae* in *Brassica napus*. Plant Protection, 41(1): 201-204 (in Chinese) [费维新, 王淑芬, 胡宝成, 李强生, 侯树敏, 荣松柏, 吴晓芸. 2015. 不同杀菌剂对油菜根肿病的防效及对油菜产量损失的影响. 植物保护, 41(1): 201-204]
- Gan CX, Yu YJ, Yuan WL, Cui L, Yu XQ, Deng XH. 2016. Performance of domestic major cruciferous vegetable varieties resistant to clubroot in Hubei region. China Vegetables, (6): 53-58 (in Chinese) [甘彩霞, 余阳俊, 袁伟玲, 崔磊, 於校青, 邓晓辉. 2016. 国内主要十字花科抗根肿病品种在湖北病区的表现. 中国蔬菜, (6): 53-58]
- Huang XL, Ren ZH, Peng SS, Liu MJ, Sun LF, Liu EM. 2014. Identification and evaluation of resistance of Chinese cabbage in Hunan province against clubroot disease. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 40(1): 43-47 (in Chinese) [黄小莉, 任佐华, 彭沙沙, 刘敏捷, 孙良菲, 刘二明. 2014. 湖南白菜品种根肿病抗性鉴定及评价. 湖南农业大学学报(自然科学版), 40(1): 43-47]
- Hwang SF, Ahmed HU, Zhou Q, Rashid A, Strelkov SE, Gossen BD, Peng G, Turnbull GD. 2013. Effect of susceptible and resistance canola plants on *Plasmodiophora brassicae* resting spore populations in the soil. Plant Pathology, 62(2): 404-412
- Hwang SF, Strelkov SE, Feng J, Gossen BD, Howard RJ. 2012. *Plasmodiophora brassicae*: a review of an emerging pathogen of the Canadian canola (*Brassica napus*) crop. Molecular Plant Pathology, 13(2): 105-113
- Ji HW, Ren L, Chen KR, Xu L, Liu F, Sun CC, Li J, Liu SY, Fang XP.

2013. Identification of physiological races of club root and resistance of rape cultivars to *Plasmodiophora brassicae*. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 35(3): 301–306 (in Chinese) [季海雯, 任莉, 陈坤荣, 徐理, 刘凡, 孙超超, 李俊, 刘胜毅, 方小平. 2013. 油菜根肿病病原主要生理小种和品种抗病性鉴定. 中国油料作物学报, 35(3): 301–306]
- Li Q, Shen XQ, Geng XC, Li L. 2012. Separate inoculation of single resting spores and identification of *Plasmodiophora brassicae* races. Plant Protection, 38(3): 95–101 (in Chinese) [李茜, 沈向群, 耿新翠, 李林. 2012. 芸薹根肿菌(*Plasmodiophora brassicae*)单孢分离接种及生理小种的鉴定. 植物保护, 38(3): 95–101]
- Li Y, Miao ZY, Zhao Y, Bai YJ, Zhao KH. 2013. Clubroot resistance evaluation on Chinese cabbage cultivars in Liaoning. Liaoning Agricultural Sciences, (2): 17–19 (in Chinese) [李颖, 苗则彦, 赵杨, 白元俊, 赵奎华. 2013. 辽宁省白菜种植品种根肿病抗性评价. 辽宁农业科学, (2): 17–19]
- Liu Y, Huang XQ, Ke SY, Liu HY. 2009. Evaluation of resistance of rapeseed varieties to club root infected by *Plasmodiophora brassicae* in Sichuan. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 31(1): 90–93 (in Chinese) [刘勇, 黄小琴, 柯绍英, 刘红雨. 2009. 四川主栽油菜品种根肿病抗性研究. 中国油料作物学报, 31(1): 90–93]
- Peng LS, Zhou LL, Ren XS, Song HY, Li CQ, Si J. 2016. Development of new materials resistant to clubroot by crossing *Brassica oleracea* with *Brassica campestris* via embryo rescue. Journal of Plant Protection, 43(3): 419–426 (in Chinese) [彭丽莎, 周俐利, 任雪松, 宋洪元, 李成琼, 司军. 2016. 用胚挽救法创建甘蓝×大白菜抗根肿病新材料. 植物保护学报, 43(3): 419–426]
- Rahman H, Peng G, Yu F, Falk KC, Kulkarni M, Selvaraj G. 2014. Genetics and breeding for clubroot resistance in Canadian spring canola (*Brassica napus* L.). Canadian Journal of Plant Pathology, 36(S1): 122–134
- Shen XQ, Nie K, Wu Q, Zhang YG, Meng XH. 2009. Initial research report on differentiation identification of Chinese cabbage clubroot main physiological races. China Vegetables, (8): 59–62 (in Chinese) [沈向群, 聂凯, 吴琼, 张玉光, 孟星河. 2009. 大白菜根肿病主要生理小种群分化鉴定初报. 中国蔬菜, (8): 59–62]
- Strelkov SE, Tewari JP, Smith-Degenhart E. 2006. Characterization of *Plasmodiophora brassicae* from Alberta, Canada. Canadian Journal of Plant Pathology, 28(3): 467–474
- Wang HF. 1962. Discussion of clubroot disease on cruciferous vegetables in China - from the disease found in Jiamusi city. Journal of Northeast Agricultural University, (2): 47–48 (in Chinese) [王华夫. 1962. 从佳木斯地区发现十字花科蔬菜根肿病谈目前该病在我国的发生情况. 东北农学院学报, (2): 47–48]
- Wang J, Huang Y, Li XL, Li HZ. 2011. Research progress in clubroot of crucifers. Plant Protection, 37(6): 153–158 (in Chinese) [王靖, 黄云, 李小兰, 黎怀忠. 2011. 十字花科根肿病研究进展. 植物保护, 37(6): 153–158]
- Williams PH. 1966. A system for the determination of races of *Plasmodiophora brassicae* that infect cabbage and rutabaga. Phytopathology, 56(6): 624–626
- Xiao CG, Guo XH. 2002. Biological characteristic of *Plasmodiophora brassicae*. Mycosystema, 21(4): 597–603 (in Chinese) [肖崇刚, 郭向华. 2002. 甘蓝根肿病菌的生物学特性研究. 菌物系统, 21(4): 597–603]
- Xue S, Cao T, Howard RJ, Hwang SF, Strelkov SE. 2008. Isolation and variation in virulence of single-spore isolates of *Plasmodiophora brassicae* from Canada. Plant Disease, 92(3): 456–462
- Yang XY, Zhang SX, Zhang QX, Si CG, Wang Y, Wang DC. 2015. Identification of clubroot resistant varieties of Chinese cabbage to *Plasmodiophora brassicae* from different regions. China Vegetables, (6): 38–41 (in Chinese) [杨晓云, 张淑霞, 张清霞, 司朝光, 王媛, 王殿纯. 2015. 抗根肿病大白菜品种对不同地区根肿病菌的抗性鉴定. 中国蔬菜, (6): 38–41]
- Yu JJ, Peng HX, Zhang C. 1990. Clubroot occurrence and control on cruciferous vegetables in Chengdu. Sichuan Agricultural Technology, (4): 20 (in Chinese) [余俊杰, 彭化贤, 章春. 1990. 十字花科蔬菜根肿病在成都的发生与防治. 四川农业科技, (4): 20]
- Yuan YK. 1995. Research on occurrence and control of rape clubroot. Plant Doctor, 8(5): 25–27 (in Chinese) [袁永凯. 1995. 油菜根肿病发生及防治研究. 植物医生, 8(5): 25–27]
- Zhao Y, Bai YJ, Miao ZY, Li Y, Zhao KH. 2013. Identification of physiological races of *Plasmodiophora brassicae* causing club root in Chinese cabbage from Northeast China. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 39(2): 176–178 (in Chinese) [赵杨, 白元俊, 苗则彦, 李颖, 赵奎华. 2013. 东北地区大白菜根肿病菌生理小种鉴定. 湖南农业大学学报(自然科学版), 39(2): 176–178]

(责任编辑:高峰)