

广东省橘园黄龙病发生与危害的影响因素研究

程保平, 彭埃天*, 宋晓兵, 凌金锋, 崔一平, 陈霞

广东省农业科学院植物保护研究所, 广东省植物保护新技术重点实验室, 广东 广州 510640

摘要:【目的】柑橘黄龙病是世界柑橘生产上的毁灭性病害。探明广东省橘园黄龙病发生与危害的影响因素, 可为该病的科学防控提供依据。【方法】在广东省惠州、肇庆、云浮、江门、阳江、清远、韶关等柑橘产区, 调查了不同柑橘品种、不同气候和地理条件、不同种植模式和不同管理水平果园的黄龙病发病率, 并以常规 PCR 和实时荧光定量 PCR 对样品进行了分子检测。【结果】不同柑橘栽培品种发病率: 红江橙为 78.05%, 马水橘为 76.04%, 砂糖橘为 73.20%, 贡柑为 69.30%, 年橘为 63.00%, 沙田柚为 58.68%, 柠檬为 56.96%; 砧木品种发病率: 酸橘为 15.30%, 枳壳为 6.57%, 柠檬为 4.43%; 低纬、高温、多台风地区果园的黄龙病发病率较高; 山地果园的黄龙病发病率低于平地果园; 连片种植果园的黄龙病发病率高于零散种植果园; 管理不善的果园中黄龙病发病率高于管理较好的果园。【结论】除了自然因素(低纬、高温、多台风、平原地形)外, 聚集种植和管理不善等因素也有利于黄龙病的发生与流行。因此, 有针对性地安排果园布局 and 加强果园管理可以减轻黄龙病的危害。

关键词: 黄龙病; 发病率; 流行规律; 柑橘品种

Factors affecting the incidence and damage caused by Huanglongbing in the orchards of Guangdong Province, China

CHENG Baoping, PENG Aitian*, SONG Xiaobing, LING Jinfeng, CUI Yiping, CHEN Xia

Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China

Abstract:【Aim】The Huanglongbing (HLB), caused by *Candidatus Liberibacter asiaticus* is one of the major diseases in citrus. Exploring the influence factors of HLB occurrence and harm in Guangdong Province can provide the basis for scientific prevention and control of this disease.【Method】The incidence and distribution of HLB were investigated by a real-time PCR and conventional PCR for various citrus cultivars grown under different climatic, environmental and geographical condition and culture practices in citrus production areas, including Huizhou, Zhaoqing, Yunfu, Jiangmen, Yangjiang, Qingyuan and Shaoguan in Guangdong Province, China.【Result】The incidence of HLB on different cultivars were: Hongjiangcheng 78.05%, Mashuiju 76.04%, Shatangju 73.20%, Gonggan 69.30%, Nianju 63.00%, Shatianyou 58.68%, Ningmeng 56.96%, and the incidence of this disease on different root stocks were: Sunanju 15.30%, Zhike 6.57%, Ningmeng 4.43%. Other factors such as low latitude, high temperature, more typhoons, location near the mountain, high density planting, and poor disease management were also associated with high incidence.【Conclusion】Apart from natural causes (low latitude/high temperature/more typhoons, plain terrain), several management-dependent factors were conducive to the prevalence of HLB. It is possible to mitigate the damage by improving orchard management practices.

Key words: Huanglongbing; incidence; epidemic regularity; citrus cultivar

柑橘黄龙病是世界柑橘生产上的毁灭性病害, 柑橘被侵染后, 品质大大降低(许美容等, 2016; Bové, 2006)。该病在亚洲、非洲和美洲的近 50 个国家(地区)均有发生。据美国国家科学研究委员

会报道, 至 2010 年, 世界上约有 1 亿株柑橘树被黄龙病摧毁。2006—2010 年, 该病已在美国佛罗里达州造成了 36.3 亿美元的损失(Gottwald, 2010)。目前, 佛罗里达州柑橘染病率已达 80% 以上。我国有

收稿日期(Received): 2017-02-18 接受日期(Accepted): 2017-03-16

基金项目: 广东省重大科技计划专项(2014B020203003); 广东省自然科学基金(2014A030310198); 广东省现代农业产业技术体系建设专项(2016LM1077); 广东省科技计划项目(广东省农作物病虫害绿色防控技术研究开发中心建设); 广东省农业标准化项目(粤财农[2016]310号); 广东省科技计划重点实验室项目(2014B030301053)

作者简介: 程保平, 男, 助理研究员。研究方向: 南方果树病害综合防控。E-mail: baopingcheng@qq.com

* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: pengait@163.com

9个柑橘主产省受到该病的危害。其中,广东省有24万 hm^2 橘园,目前有1/3以上感染该病,年损失达上百亿元(程保平等,2016;李韬和柯冲,2002;林亚玉等,2012;谢钟琛等,2009;熊红利等,2011;杨余兵,1989;赵学源等,1979)。

目前,所有商业柑橘品种对黄龙病菌均不表现抗病,但不同的柑橘品种对黄龙病菌的耐病性有一定差异(刘登全等,2014; Halbert & Manjunath, 2004; Hung, 2001; Miyakawa & Zhao, 1990; Shokrollah *et al.*, 2009)。如 Shokrollah *et al.* (2009) 利用嫁接的方法向不同品种柑橘树接种了黄龙病,结果表明,橘和橙的一些品种(*Citrus reticulata*, *Citrus sinensis*, *Citrus reshni* cv. *Cleopatra*)严重发病,金柑、翼橙和莱檬的一些品种(*Fortunella* sp. cv. *Kasturi Chinai*, *Citrus macrophylla*, *Citrus microcarpa*)中度发病,而枸橼、酸橙和粗柠檬的一些品种[*Citrus medica*, *Citrus aurantifolia*, *Citrus* sp. (natural biotype), *Citrus jambhiri*]则轻度发病。但是,有关广东省不同柑橘品种在田间的实际发病率尚缺乏详细的调研数据。

黄龙病的发生与危害与柑橘产区的环境有一定的关系。环境因素一方面直接影响黄龙病菌的传播虫媒——柑橘木虱 *Diaphorina citri* (Kuwayama) 的生存繁殖,另一方面通过影响柑橘的抽梢而影响虫媒的食源(程保平等,2016;李韬和柯冲,2002;谢钟琛等,2009;杨余兵,1989;赵学源等,1979),进而影响黄龙病的发生与流行。但有关广东省不同柑橘产区的环境条件与黄龙病发生与危害的关系尚无具体的调研分析。此外,关于果园病虫害防控措施、栽培习惯、水肥管理等人为因素对黄龙病发生与危害影响的研究较少。

本研究在田间调查的基础上,探索柑橘品种、果园环境和栽培管理等对广东省橘园黄龙病发生与危害的影响,以期广东省柑橘黄龙病的防控提供更多的依据。

1 材料与方法

1.1 调查时间与调查地概况

于2013—2014年,在广东省肇庆、湛江、清远、揭阳、阳江、云浮、江门、韶关和惠州的柑橘产区,根据不同实验需求选择果园进行调查。

广东省不同柑橘产区的气候和地理条件有一

定差别。根据广东省农村统计年鉴的数据,江门、阳江为沿海平原地区,常年多台风,纬度为 $21^{\circ}27' - 22^{\circ}51'$,年均相对湿度78.9%,年均温度 22.60°C ,年均降雨量1939.91 mL,年雨日148 d;而肇庆、云浮不临海且多山脉,纬度为 $22^{\circ}22' - 23^{\circ}30'$,年均相对湿度72.0%,年均温度 22.52°C ,年均降雨量1625.54 mL,年雨日148 d;清远、韶关也不临海且多山脉,纬度为 $23^{\circ}30' - 25^{\circ}31'$,年均相对湿度75.4%,年均温度 19.92°C ,年均降雨量1766.00 mL,年雨日156 d。

1.2 叶片样品采集及处理

田间采样时,采用5点取样法,每棵树东、南、西、北各选择1根枝条,每根枝条的顶部和基部各采集2片老熟叶,每棵树共采集16片叶,将采集的叶片置于塑封袋,再保存于冰盒,尽快带回实验室处理。制样时,清洗并晾干柑橘叶片,然后剪取叶片中脉并放入灭菌研钵中,加入液氮研磨成粉状。取200 mg样品,按爱思进公司试剂盒说明书提取样品的总基因组作为模板,使用常规PCR和荧光定量PCR对样品的发病率进行检测。

1.2.1 常规PCR 上游引物 OI1: $5' - \text{GCGCGTATGCAATACGAGCGGCA} - 3'$, 下游引物 OI2c: $5' - \text{GCTCGCGACTTCGCAACCCAT} - 3'$ (Jagoueix *et al.*, 1996)。引物对由广州英俊公司合成。PCR缓冲液、Taq酶等购自大连宝生物公司。基因组DNA提取试剂盒等购自爱思进公司。使用仪器为Molecular Imager Gel Doc XR+型凝胶成像系统。50 μL 反应体系: Premix Taq 25 μL , 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 上、下游引物各2 μL , DNA模板1 μL , 补水至50 μL 。扩增反应程序: 94°C 预变性3 min, 94°C 30 s, 55°C 30 s, 72°C 1 min, 共35个循环, 72°C 延伸10 min。

1.2.2 荧光定量PCR 引物序列参见 Li *et al.* (2006), 由广州英俊公司合成。参照程保平等(2014a, 2014b)和 Li *et al.* (2006)的方法进行检测。20 μL 反应体系,引物终浓度250 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 探针终浓度150 $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 缓冲液参照Takara探针法实时荧光定量PCR试剂盒说明书。PCR反应程序: 95°C 预变性20 s, 然后 95°C 5 s, 58°C 40 s, 40个循环。使用仪器为Roche, LightCycler® 480II型实时荧光定量PCR。

所有的PCR实验均以本研究室保存于防虫网内的健株柑橘叶脉DNA为阴性对照,以保存于防虫网内的感染黄龙病的柑橘叶脉DNA为阳性对照。

1.3 调查内容

1.3.1 不同柑橘品种的黄龙病发病率 (1)栽培品种。针对广东省的 7 种常见栽培品种——红江橙、马水橘、砂糖橘、贡柑、年橘、沙田柚和柠檬,在肇庆、湛江、清远、揭阳、阳江、云浮、江门、韶关和惠州的柑橘产区共随机选择 112 个环境和栽培管理条件相似的果园,从每个果园采集叶片样品,检测其黄龙病发病率。(2)砧木品种。针对广东省的 3 种常见砧木品种——酸橘、柠檬和枳壳,在肇庆、湛江、清远、揭阳、阳江、云浮、江门、韶关和惠州的柑橘产区共随机选择 31 个育苗条件相似的露天苗圃园,从每个苗圃园采集叶片样品,检测其黄龙病发病率。

1.3.2 黄龙病症状 柑橘受黄龙病菌感染后,生长减缓,病叶常表现为均匀或斑驳黄化,叶脉黄化肿大,病果变小或畸形,常出现“红鼻子果”症状,这些典型症状是田间诊断和识别黄龙病的重要依据(许美容等,2016)。然而,在 1.3.1 田间样品的采集过程中,找到了 5 种不属于典型黄龙病症状的病样。每种病样随机选择 20 份,进行实时荧光定量 PCR 检测,以确定其是否感染黄龙病菌。

1.3.3 不同环境果园的黄龙病发病率 (1)不同气候和地理条件。在江门、阳江、肇庆、云浮、清远和韶关产区(气候和地理条件见 1.1)共随机选择 194 个土壤和栽培管理条件相似的砂糖橘果园,从每个果园采集叶片样品,检测其黄龙病发病率。(2)不同地形。广东省柑橘产区同时具有大量平地 and 山地橘园:平地果园周边 5~10 km 有较为开阔的平地,环境比较开放;而山地果园一般位于山坡或紧靠的两山之间,环境相对封闭。在肇庆、惠州、清远、云浮和韶关共随机选择 199 个环境和栽培管理条件相似的平地 and 山地砂糖橘果园,从每个果园采集叶片样品,检测其黄龙病发病率。(3)不同种植模式。广东省柑橘主产区中有些果园聚集连片分布,有些果园零散分布,距离其他果园 5~10 km。在肇庆、惠州、清远、云浮、阳江和韶关产区共随机选择 157 个环境和栽培管理条件相似的聚集和分散种植的砂糖橘果园,从每个果园采集叶片样品,检测其黄龙病发病率。

1.3.4 不同管理水平果园的黄龙病发病率及产量 根据大量调研,管理较差的果园表现:苗木来自于露天育苗的私人苗圃场;种植户为个体,1~3 年

柑橘种植经验;一年施用化学肥料 3~4 次、有机肥 0~1 次、叶面肥 1~2 次、杀虫剂 3~4 次,使用化学杀梢剂和除草剂,果树环割重。管理较好的果园表现:苗木来自于政府制定的无毒苗木苗圃场;种植户有 10 年以上的柑橘种植经验;一年施用肥料 4~6 次,其中,有机肥用量占总用肥量的 50%以上,自建灌溉井,天旱时保证充足水分,一年施用叶面肥 4~5 次、杀虫剂 5~7 次,使用物理杀梢或营养控梢,机械除草,果树环割轻。

在肇庆、惠州、清远、云浮和阳江的柑橘产区共随机选择 154 个环境条件相似而栽培管理水平不同的果园,从每个果园采集叶片样品,检测其黄龙病发病率。另采用 5 点取样法随机选择 5 棵柑橘植株,在果实成熟季节,采集每棵树上的所有成熟果实并称其总质量。进一步在这 5 个柑橘产区各选择 4 个环境条件相似、栽培管理较好的无病果园,使用同样的方法采集果实并称其总质量,作为对照。

1.4 数据分析方法

利用 SPSS 19.0 对数据进行统计分析,并用 *T*-test 分析其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同柑橘品种的黄龙病发病率比较

由表 1 可知,广东省柑橘产区 7 个常见栽培品种的发病率有所不同,表现为红江橙>马水橘>砂糖橘>贡柑>年橘>沙田柚>柠檬。统计分析表明,红江橙、马水橘和砂糖橘的黄龙病发病率之间无显著差异($P>0.05$),且这些品种的发病率均显著高于沙田柚和柠檬($P<0.05$)。

由表 1 还可知,广东省常见的 3 种柑橘砧木(酸橘、柠檬、枳壳)均可感染黄龙病菌。样品发病率表现为酸橘>枳壳>柠檬。统计分析表明,酸橘砧木的黄龙病发病率显著高于枳壳和柠檬砧木($P<0.05$)。

2.2 不同症状叶片的检测结果

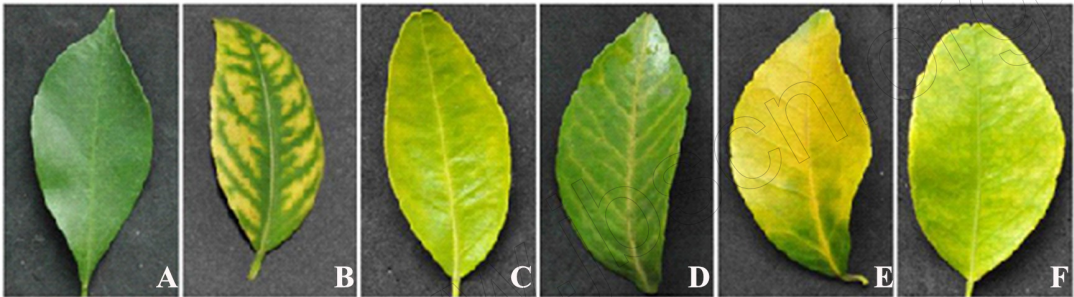
除了典型的黄龙病叶片斑驳及红鼻子果症状外,其他 5 种类型的病症见图 1。利用荧光定量 PCR 对这 5 种病症样品的检测发现,3 种病症(图 1 C、D、E)的阳性检出率均达 100%,其余 2 种病症(图 1 B、F)的阳性检出率均为 90%。

表 1 不同柑橘品种黄龙病检测

Table 1 Detection of the citrus greening disease pathogen on different citrus cultivars

品种 Cultivars	样品数/个 Samples	果园(苗圃)数/个 Orchard (nursery) numbers	阳性数/个 Positive numbers		发病率 Incidence/%
			常规 PCR Conventional PCR	实时荧光定量 PCR Real-time PCR	
红江橙 Hongjiangcheng	287	14	45	224	78.05±15.41a
马水橘 Mashuiju	217	11	59	165	76.04±17.38ab
砂糖橘 Shatangju	403	20	91	295	73.20±12.22ab
贡柑 Gonggan	596	30	102	413	69.30±8.26b
年橘 Nianju	281	14	41	177	63.00±11.11bc
沙田柚 Shatianyou	242	12	42	142	58.68±9.95c
柠檬 Ningmeng	237	11	38	135	56.96±12.98c
酸橘 Suanju	268	13	12	41	15.30±11.52a
枳壳 Zhike	213	10	3	14	6.57±7.20b
柠檬 Ningmeng	158	8	1	7	4.43±5.77b

同列数据后附不同小写字母者表示不同栽培品种或砧木品种间在 0.05 水平上差异显著。
Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different cultivars at $P=0.05$ level.



A:健康叶片;B:叶肉明显黄化,叶脉不变色;C:叶脉和叶肉均匀黄化;D:叶脉黄化,叶肉不变色;
E:叶片上半部黄化,下半部为绿色;F:叶脉不变色,叶缘变黄。
A: Healthy leaf; B: Mesophyll turns yellow while the vein remains normal; C: Mesophyll and vein turn yellow; D: Vein turns yellow while the mesophyll remains normal; E: Upper part turns yellow while the lower remains normal; F: Margin turns yellow while the vein remains normal.

图 1 柑橘叶片感染黄龙病的不同症状

Fig.1 Citrus leaves displaying various symptoms of the citrus greening disease

2.3 不同环境果园的黄龙病发病率比较 (74.74%, $P<0.05$);肇庆和云浮橘园的发病率也显著高于清远和韶关橘园的发病率(62.35%, $P<0.05$)。

由表 2 可知,江门和阳江橘园的黄龙病发病率最高,达90.01%,显著高于肇庆和云浮橘园的发病率

表 2 不同气候和地理条件果园的黄龙病检测

Table 2 Detection of the citrus greening disease pathogen in orchards with different climatic and geographical conditions

地点 Origin	气候和地理条件 Climatic and geographical conditions	样品数/个 Samples	果园数/个 Orchard numbers	阳性数/个 Positive numbers		发病率 Incidence/%
				常规 PCR Conventional PCR	实时荧光 定量 PCR Real-time PCR	
江门 Jiangmen	临海、多台风,相对低纬,多平原、高湿、高温、多雨 Coastal, typhoon-prone, relatively low latitude, plain, high humidity, high temperature, rainy	265	12	103	246	90.01±5.68a
阳江 Yangjiang		466	22	191	412	
总计 Total		731	34	294	658	
肇庆 Zhaoqing	不临海、相对中纬、多山脉、低湿、高温、少雨 Inland, relative middle latitude, mountainous, relatively low humidity, high temperature, little rain	1251	60	301	880	74.74±9.37b
云浮 Yunfu		606	30	218	508	
总计 Total		1857	90	519	1388	
清远 Qingyuan	不临海、相对高纬、多山脉、高湿、高温、多雨 Inland, relative high latitude, mountainous, relatively high humidity, high temperature, rainy	701	35	149	459	62.35±10.54c
韶关 Shaoguan		704	35	187	417	
总计 Total		1405	70	336	876	

同列数据后附不同小写字母者表示在 0.05 水平上差异显著。
Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at $P=0.05$ level.

表 3 表明,平地果园的发病率普遍高于山地果园。平地果园的黄龙病发病率总计为 84.72%,显著高于山地果园(65.97%, $P<0.05$)。表 4 表明,聚

集种植果园的黄龙病发病率普遍高于分散种植果园。聚集种植果园的黄龙病发病率总计为76.14%,显著高于零散种植果园(58.41%, $P<0.05$)。

表 3 不同地形果园的黄龙病检测

Table 3 Detection of the citrus greening disease pathogen in orchards with different topography

地点 Origin	地形 Topography	样品数/个 Samples	果园数/个 Orchard numbers	阳性数/个 Positive numbers		发病率 Incidence/%
				常规 PCR Conventional PCR	实时荧光定量 PCR Real-time PCR	
肇庆 Zhaoqing	平地 Flat	344	17	158	284	82.56±7.96a
	山地 Near mountain	907	43	143	596	65.71±15.28b
惠州 Huizhou	平地 Flat	384	19	118	349	90.89±9.17a
	山地 Near mountain	405	20	129	301	74.32±10.23b
清远 Qingyuan	平地 Flat	187	9	44	141	75.40±12.52a
	山地 Near mountain	514	26	105	322	62.65±18.69a
云浮 Yunfu	平地 Flat	230	11	51	212	92.17±4.23a
	山地 Near mountain	376	19	167	296	78.72±15.32b
韶关 Shaoguan	平地 Flat	164	8	103	123	75.00±11.24a
	山地 Near mountain	540	27	84	294	54.44±22.89b
总计 Total	平地 Flat	1309	64	474	1109	84.72±7.57a
	山地 Near mountain	2742	135	628	1809	65.97±9.43b

同一地区的 2 类果园相比,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Different lowercase letters indicate significant differences between two orchard types in the same area at $P=0.05$ level.

表 4 不同种植模式果园的黄龙病检测

Table 4 Detection of the citrus greening disease pathogen in orchards with different planting patterns

地点 Origin	种植模式 Planting patterns	样品数/个 Samples	果园数/个 Orchard numbers	阳性数/个 Positive numbers		发病率 Incidence/%
				常规 PCR Conventional PCR	实时荧光定量 PCR Real-time PCR	
肇庆 Zhaoqing	聚集 Aggregate	544	26	98	417	76.65±14.77a
	零散 Scattered	363	17	45	179	49.31±19.49b
惠州 Huizhou	聚集 Aggregate	260	13	93	207	79.62±11.21a
	零散 Scattered	145	7	36	94	64.83±12.37b
清远 Qingyuan	聚集 Aggregate	260	13	72	176	67.69±8.14a
	零散 Scattered	254	13	33	142	55.90±7.83b
云浮 Yunfu	聚集 Aggregate	219	11	147	183	83.56±11.57a
	零散 Scattered	157	8	20	113	71.97±14.33a
阳江 Yangjiang	聚集 Aggregate	270	13	111	262	97.04±3.54a
	零散 Scattered	196	9	80	150	76.53±11.39b
韶关 Shaoguan	聚集 Aggregate	383	19	66	229	59.79±21.43a
	零散 Scattered	157	8	18	65	41.40±14.23b
总计 Total	聚集 Aggregate	1936	95	587	1474	76.14±10.76a
	零散 Scattered	1272	62	232	743	58.41±12.84b

同一地区的 2 类果园相比,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Different lowercase letters indicate significant differences between two orchard types in the same area at $P=0.05$ level.

表 5 显示,管理较差果园的黄龙病发病率普遍高于管理较好的果园。管理较好果园的黄龙病发病率总计为 71.18%,显著低于管理较差的果园(87.28%, $P<0.05$)。

产量调查显示:管理较好果园的产量显著高于管理较差的果园($P<0.05$,表 5)。管理较好果园的总计产量为无病园的 75.02%,而管理较差果园的

总计产量为无病园的 52.26%。

以上实验均使用常规 PCR 和实时荧光定量 PCR 2 个方法对样品进行了检测,结果显示,常规 PCR 检测阳性数均大大低于实时荧光定量 PCR 检测的阳性数,说明实时荧光定量 PCR 对田间样品的检测效果好于常规 PCR。

表 5 不同管理水平果园的黄龙病检测
Table 5 Detection of the citrus greening disease pathogen in orchards with different management levels

地点 Origin	管理水平 Management levels	样品数/个 Samples	果园数/个 Orchard numbers	阳性数/个 Positive numbers		发病率 Incidence/%	平均产量 Average yield / (kg · hm ⁻²)
				常规 PCR Conventional PCR	实时荧光定量 PCR Real-time PCR		
肇庆 Zhaoqing	较好 High	334	16	85	231	69.16±11.78a	55876.25±7012.28a
	较差 Low	554	27	171	470	84.84±9.54b	39183.32±4485.45b
惠州 Huizhou	较好 High	218	11	62	161	73.85±12.51a	51315.67±6682.05a
	较差 Low	426	21	149	395	92.72±4.42b	37036.51±5647.05b
清远 Qingyuan	较好 High	420	21	80	256	60.95±10.61a	61842.36±8428.20a
	较差 Low	281	14	69	203	72.24±11.78b	43370.85±4432.24b
云浮 Yunfu	较好 High	184	9	82	148	80.43±7.22a	71367.33±3061.26a
	较差 Low	265	13	116	247	93.21±4.08b	47268.39±6113.70b
阳江 Yangjiang	较好 High	239	11	71	197	82.43±6.09a	38994.26±6473.73a
	较差 Low	227	11	120	215	94.71±4.83b	28587.62±5837.55b
总计 Total	较好 High	1395	68	380	993	71.18±7.82a	56300.25±11818.05a
	较差 Low	1753	86	625	1530	87.28±10.07b	39207.67±7381.65b

同一地区的 2 类果园相比,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。
Different lowercase letters indicate significant differences between two orchard types in the same area at $P=0.05$ level.

3 讨论与结论

3.1 柑橘品种对黄龙病发生的影响

已有室内接种实验表明,不同的柑橘品种对黄龙病菌的耐病性有一定差异(Hung,2001; Miyakawa & Zhao,1990)。本研究开展了大田实际调查,结果显示,广东 7 种常见柑橘栽培品种的田间发病率各不相同:红江橙、马水橘、砂糖橘的田间发病率最高,贡柑、年橘发病率次之,沙田柚和柠檬发病率最低。对苗圃园 3 种常见砧木品种的发病率调研显示,酸橘的发病率最高,枳壳与柠檬较低。因此,田间种植时应考虑各品种的耐病性。

3.2 果园环境对黄龙病发生的影响

黄龙病的流行和危害与柑橘所在产区的环境有一定的关系(谢钟琛等,2009; 杨余兵,1989; 赵学源等,1979)。本研究通过田间调研显示:在具有相似地理条件的产区中,清远、韶关产区的黄龙病发病率显著低于肇庆、云浮地区,可能是由于前者平均湿度、降雨量和雨日更大,而气温更低,柑橘发梢量相对少,不利于木虱生存;江门、阳江虽然有相对更大的湿度和降雨量,但其黄龙病发病率显著高于肇庆和云浮地区,可能是由于其沿海平原的地理特性与常年多台风的气候加速了柑橘木虱的长距离传播,而肇庆与云浮地区由于内陆位置及多山脉的地形削弱了台风的影响,减少了柑橘木虱的传播。本研究还显示:环境相对开放的平地果园的黄龙病发病率显著高于环境相对封闭的山地果园,集

中连片的柑橘种植区的发病率显著高于零散种植区域,可能都与柑橘木虱的传播便利性有关。因此,有针对性地安排果园布局有望减轻黄龙病的危害。

3.3 黄龙病发病症状

本研究表明,由于田间条件复杂,柑橘黄龙病除了表现典型症状外,其他类型的病症也极为丰富。选取 5 种其他常见症状的病样进行检测,结果显示,检出黄龙病菌的概率很大。这说明 5 种其他类型的常见病症也可为黄龙病的诊断提供参考。

3.4 管理水平对黄龙病发生的影响

本研究显示,果园管理水平对黄龙病的发生有一定影响:管理水平较高的果园的黄龙病发病率显著低于管理水平较低的果园。管理水平高主要体现在果农柑橘种植经验丰富,苗木质量把关较严,合理增施有机肥与叶面肥,科学使用杀虫剂,慎用化学杀梢剂与化学除草剂,减轻果树环割(宫庆涛等,2012; 兰成忠等,2011; 孙丽霞等,2012)。一方面,较好的果园管理可减少木虱种群数量,降低黄龙病传播速度;另一方面,较好的果园管理可以减少树体和根系损伤,维持果树的营养平衡,延缓树势衰退,使树体保持一定的抗病性和抗逆性,从而在一定程度上抵御和减轻黄龙病菌对树体的危害。因此,有针对性地加强栽培管理可以减轻黄龙病危害。

广东省存在一定数量的染病果园,全部砍除有助于黄龙病的防控(Bové,2006)。然而,很多病园

前期已投入巨资,尚未收回成本,且很多病树仍可盈利,因此,砍除病树的阻力很大;此外,一旦黄龙病发病率超过一定阈值,砍除病树所承担的后果巨大,难以实行。基于此种现状,应积极劝说农户加强对该病害的防治,同时加强病园的木虱防控(Lu *et al.*, 2015),防止病害扩散,并尽快筛选抗(耐)病品种和探索转基因抗病品种。

参考文献

- 程保平, 彭埃天, 宋晓兵, 凌金锋, 陈霞, 2014a. 三种 PCR 方法检测柑橘黄龙病菌的效果比较. 植物保护, 40(5): 106-110.
- 程保平, 赵弘巍, 彭埃天, 宋晓兵, 凌金锋, 陈霞, 2014b. 以 omp 基因为靶标的三种检测方法对柑橘黄龙病菌的检测效果对比研究. 广东农业科学, 41(5): 141-145.
- 程保平, 赵弘巍, 彭埃天, 宋晓兵, 凌金锋, 陈霞, 2016. 柑橘黄龙病的传播介体——柑橘木虱在广东果园的发生调查. 植物保护, 42(1): 189-192.
- 宫庆涛, 武可明, 唐松, 何林, 赵志模, 2012. 柑橘大实蝇羽化出土及橘园成虫诱集动态研究. 生物安全学报, 21(2): 153-158.
- 兰成忠, 李本金, 李炜, 赵健, 陈庆河, 翁启勇, 2011. 福建闽侯福橘黑斑病原菌的鉴定. 生物安全学报, 20(2): 147-150.
- 李韬, 柯冲, 2002. 应用 Nested PCR 技术检测柑桔木虱及其寄主九里香的柑桔黄龙病带菌率. 植物保护学报, 29(1): 31-35.
- 林亚玉, 殷幼平, 陈世钦, 王中康, 2012. 三种分子检测体系的比较及柑橘果园黄龙病监测. 植物保护学报, 39(6): 503-507.
- 刘登全, 崔朝宇, 蒋军喜, 龙珑, 2014. 不同柑橘品种对黄龙病的抗性鉴定. 江西农业大学学报, 36(1): 97-101.
- 孙丽霞, 杨雷亮, 樊小林, 2012. 砂糖橘果实大小及产量规律的研究. 广东农业科学, 39(7): 63-66.
- 谢钟琛, 李健, 施清, 谢文龙, 杨建榕, 陈跃飞, 钟连生, 2009. 福建省柑橘黄龙病危害及其流行规律研究. 中国农业科学, 42(11): 3888-3897.
- 熊红利, 林云彪, 项宇, 刘慧, 李潇楠, 2011. 柑橘黄龙病与柑橘木虱在我国发生北界调查. 植物检疫, 25(4): 79-80.
- 许美容, 陈燕玲, 邓晓玲, 2016. 柑橘黄龙病症状与“*Candidatus Liberibacter asiaticus*” PCR 检测结果的相关性分析. 植物病理学报, 46(3): 367-373.
- 杨余兵, 1989. 光、温湿度对柑橘木虱发育、繁殖与存活的影响. 生态学报, 9(4): 348-354.
- 赵学源, 蒋元晖, 李世菱, 邱柱石, 苏维芳, 1979. 柑橘木虱(*Diaphorina citri* Kuwayama)与柑橘黄龙病流行关系的初步研究. 植物病理学报, 9(2): 121-126.
- ALVAREZ S, ROHRIG E, SOLÍS D, 2016. Citrus greening disease (Huanglongbing) in Florida: economic impact, management and the potential for biological control. *Agricultural Research*, 5(2): 1-10.
- BOVÉ J, 2006. Huanglongbing: a destructive newly-emerging century-old disease of citrus. *Plant Pathology*, 88(1): 7-37.
- GOTTWALD T, 2010. Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. *Annual Review of Phytopathology*, 48: 119-139.
- HALBERT S, MANJUNATH K, 2004. Asian citrus psyllids (*Diaphorina citri* Kuwayama) and greening disease of citrus: a literature review and assessment of risk in Florida. *Florida Entomologist*, 87(3): 330-353.
- HUNG T H, WU M L, SU H J, 2001. Identification of the Chinese box-orange (*Severinia buxifolia*) as an alternative host of the bacterium causing citrus Huanglongbing. *European Journal of Plant Pathology*, 107(2): 183-189.
- JAGOUEIX S, BOVÉ M, GARNIER M, 1996. PCR detection of the two ‘*Candidatus Liberobacter*’ species associated with greening disease of citrus. *Molecular and Cellular Probes*, 10(1): 43-50.
- LI W, HARTUNG J S, LEVY L, 2006. Quantitative real-time PCR for detection and identification of *Candidatus Liberibacter* species associated with citrus Huanglongbing. *Journal of Microbiological Methods*, 66(1): 104-115.
- LU L, CHENG B, DU D, HU X, PENG A, PU Z, ZHANG X, HUANG Z, CHEN G, 2015. Morphological, molecular and pathogenic characterization of three *Lencicanillium* species infecting Asian citrus psyllids in Huangyan citrus groves. *Journal of Invertebrate Pathology*, 125: 45-55.
- MIYAKAWA T, ZHAO X Y, 1990. Citrus host range of greening disease//AUBERT B, TONTYAPORN S, BUANGSUWON D. *Proceedings of 4th International Asia Pacific Conference on Citrus Rehabilitation*. Chiang Mai, Thailand: 118-121.
- SHOKROLLAH H, ABDULLAH T L, SIJAM K, NOR S, ABDULLAH A, ASHIKIN N, ABDULLAH P, 2009. Differential reaction of citrus species in Malaysia to Huanglongbing (HLB) disease using grafting method. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 4(1): 32-38.

(责任编辑:杨郁霞)