

输华柑橘种苗传带有害生物的风险分析研究

汪 军¹, 李晓霞², 刘 建³, 徐云龙¹, 周 游¹, 郭立佳¹, 黄俊生¹, 杨腊英^{1*}

1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南海口 571101; 2. 中国热带农业科学院科技信息研究所, 海南海口 571101; 3. 中华人民共和国菏泽海关, 山东菏泽 274000

摘 要: 对柑橘种苗传带有害生物风险分析, 评估其在我国的风险水平, 为其风险管理提供技术支持。通过查阅国内外文献资料, 确定境外输华柑橘种苗中可能传带的有害生物 259 种, 包括 53 种真菌, 9 种细菌, 9 种病毒, 11 种线虫, 167 种昆虫, 1 种软体动物, 1 种杂草, 8 种螨类 (包括蜘蛛)。根据在中国的分布情况 (未分布或分布未广)、官方管制情况、随输华柑橘种苗传带的可能性, 确定需要进一步评估的潜在检疫性有害生物 18 种, 包括真菌 4 种, 细菌 7 种, 病毒 4 种, 线虫 2 种, 昆虫 1 种。从入境、定殖、扩散可能性、经济影响等方面对以上 18 种潜在的检疫性有害生物进行定性分析和定量分析, 确定高风险有害生物 14 种, 极高风险有害生物 4 种。根据有害生物中风险水平最高者作为柑橘种苗的检疫风险, 判定输华柑橘种苗的检疫风险为极高。最终确定以上双胞双镰孢 (*Bisifusarium dimerum*) 等 18 种有害生物为输华柑橘种苗中需关注的检疫性有害生物, 并提出相应的风险管理措施。

关键词: 柑橘种苗; 有害生物; 风险分析

中图分类号: S436.66 文献标志码: A

Pest Risk Analysis for the Importation of Citrus Seedlings

WANG Jun¹, LI Xiaoxia², LIU Jian³, XU Yunlong¹, ZHOU You¹, GUO Lijia¹, HUANG Junsheng¹, YANG Laying^{1*}

1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Scientific and Technical Information Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 3. Heze Customs, People's Republic of China, Heze, Shandong, 274000, China

Abstract: In order to provide technical support for risk management, risk analysis and risk assessment of pests carried by citrus seedlings in China were carried out. Through consulting domestic and foreign literature, a total of 259 species of pests that may be transmitted to banana seedlings exported to China were determined, including 53 fungus, 9 bacteria, 9 viruses, 11 nematodes, 167 insects, 1 mollusc, 1 weed, 8 mites (including spiders). According to the distribution of pests in China (not distributed or not widely distributed), whether it is officially controlled, and the possibility of carrying with banana seedlings, 18 potential quarantine pests were determined to be further evaluated, including 4 fungus, 7 bacteria, 4 viruses, 2 nematodes and 1 insect. The 18 potential quarantine pests were qualitatively and quantitatively analyzed one by one in terms of entry, colonization, possibility of spread, economic impact and comprehensive evaluation of multiple indicators, and 14 high-risk pests and 4 extremely high-risk pests were identified. The quarantine risk of citrus seedlings imported to China was determined to be extremely high based on the highest risk level among all quarantine pests. Finally, 18 types pests including *Bisifusarium dimeru* on citrus seedlings imported to China were identified, and corresponding risk management measures were proposed.

Keywords: citrus seedlings; pest; risk analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.12.020

收稿日期 2024-07-31; 修回日期 2024-08-21

基金项目 海南省重大科技项目 (No. ZDKJ2021016); 海南省重点研发项目 (No. ZDYF2024XDNY211); 海南省自然科学基金项目 (No. 721RC631)。

作者简介 汪 军 (1981—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 植物有害生物生物防治和风险分析。*通信作者 (Corresponding author): 杨腊英 (YANG Laying), E-mail: layingyang1980@163.com。

柑橘 (*Citrus reticulata* Blanco) 是世界第一大类水果, 也是我国种植面积最广、经济地位最重要的果树^[1]。2008 年我国柑橘种植面积位居果园种植面积的 1 位, 此后一直保持在首位^[2]。国家统计局数据显示, 截至 2023 年, 我国柑橘产量、种植面积分别达到 6433.76 万 t、299.58 万 hm², 说明柑橘产业已成为我国农业的支柱产业。尽管我国是世界柑橘生产大国, 但是柑橘单产与美国等国相比还有差距^[2]。我国从 20 世纪 50 年代开始引种, 到 1998 年农业农村部实施柑橘品种引种与示范重大项目 (“948” 项目) 以来, 引进了葡萄柚、天草、不知火等世界各国的近百个优良品种^[1, 2-4]。近年来我国柑橘种植和需求增加, 引种过程中柑橘种苗传带的有害生物引起的柑橘黄龙病、溃疡病等多种病虫害对柑橘产业危害严重^[5-6], 严重制约柑橘产业的健康发展。在经济全球化背景下, 有害生物随农产品传播对输入国或地区的经济和生态破坏风险日益增加^[7]。有害生物风险分析 (pest risk analysis, PRA) 受到世界各国或组织的重视, 均将 PRA 作为国际植物及其产品贸易中的基本原则之一^[7-8]。

目前柑橘传带有害生物风险分析主要报道了进口美国柑橘果实传带的丁香疫霉 (*Phytophthora syringae*)^[9]、主要危害果实的柑橘小实蝇 (*Bactrocera dorsalis*) 和柑橘大实蝇 (*Tetracus citri*) 入侵湖北^[10-11]、蜜柑大实蝇 (*B. tsuneonis*) 入侵四川^[12]、危害树干的星天牛 (*Anoplophora chinensis*) 入侵广东^[13]、引起柑橘轮斑病的病原真菌 *Pseudofabrea citricarpa*^[14]。为加快种业发展, 需要不断从国外引入大量的种质资源^[15], 柑橘种苗传带多种有害生物的风险增加, 而输华柑橘种苗传带有害生物的风险分析尚处于空白。开展柑橘种苗传带有害生物风险分析对促进我国柑橘产业的健康发展具有重要意义。本研究针对有关国家输华柑橘种苗传带有害生物开展风险分析, 为检验检疫部门制定有害生物检疫处理策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

查询中国国家有害生物检疫信息系统 (<http://www.pestchina.com>) 等文献资料, 列出柑橘种苗可能携带的有害生物大名单 259 种。

1.2 方法

1.2.1 潜在检疫性有害生物的筛选 根据有害生

物在中国的分布情况 (未分布或分布未广)、是否官方管制、随柑橘种苗传带的可能性进行初步评估, 确定需要进一步评估的潜在检疫性有害生物 (quarantine pests, QP) 18 种。

1.2.2 潜在检疫性有害生物风险评估 (1) 定性风险评估。对需进一步评估的潜在 18 种检疫性有害生物, 参考刘福秀等^[16]的方法从其入境、定殖、扩散的可能性及其对经济的影响作出评估。

(2) 定量风险评估。参照蒋青等^[17]建立的多指标综合评价方法, 对确定的潜在检疫性有害生物进行定量风险分析。按以下公式计算风险指标值 (R): $R = \sqrt[5]{P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5}$, 其中, $P_2 = 0.6P_{21} + 0.2P_{22} + 0.2P_{23}$; $P_3 = \text{Max}(P_{31}, P_{32}, P_{33})$; $P_4 = \sqrt[5]{P_{41} \cdot P_{42} \cdot P_{43} \cdot P_{44} \cdot P_{45}}$; $P_5 = (P_{51} + P_{52} + P_{53})/3$, 其中, 一级指标 P_1 , 二级指标 P_{21} 、 P_{22} 、 P_{23} 、 P_{31} 、 P_{32} 、 P_{33} 、 P_{41} 、 P_{42} 、 P_{43} 、 P_{44} 、 P_{45} 、 P_{51} 、 P_{52} 、 P_{53} 均为根据定量风险评估指标的评判标准所得的赋值分。计算出 R 值后, 按照有害生物危险程度标准进行分级^[18]: I 级 ($R < 1.0$ 时, 无风险)、II 级 ($1.0 \leq R < 1.5$, 低风险)、III 级 ($1.5 \leq R < 2.0$, 中风险)、IV 级 ($2.0 \leq R < 2.5$, 高风险)、V 级 ($2.5 \leq R < 3.0$, 极高风险)。

1.2.3 风险评估结论 依据 1.2.2 的结果, 将中风险及以上等级的有害生物列为我国需要关注的检疫性有害生物。

1.2.4 提出风险管理措施 依据风险分析结果, 提出相应的风险管理措施。

2 结果与分析

2.1 柑橘种苗上有害生物大名单的生成

查阅中国国家有害生物检疫信息系统等文献资料, 确定有关国家输华柑橘种苗中可能传带的有害生物共有 259 种, 包括 53 种真菌, 9 种细菌, 9 种病毒, 11 种线虫, 167 种昆虫, 1 种软体动物, 1 种杂草, 8 种螨类 (包括蜘蛛)。

2.2 确定需要进一步评估的潜在检疫性有害生物

针对 2.1 大名单中的有害生物, 根据在中国的分布情况 (未分布或分布未广)、是否属于官方管制名单、随柑橘种苗传带的可能性进行评估, 确定需要进一步评估的潜在检疫性有害生物 18 种, 包括真菌 4 种, 细菌 7 种, 病毒 4 种, 线虫 2 种, 昆虫 1 种 (表 1)。

表 1 需要进一步评估的潜在检疫性有害生物
Tab. 1 List of potential quarantine pests that need to be further assessed

编号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name	编号 No.	中文名 Chinese name	学名 Scientific name
1	双胞双镰孢	<i>Bisifusarium dimerum</i>	10	柠檬螺原体	<i>Spiroplasma citri</i>
2	白粉菌属	<i>Erysiphe quercicola</i>	11	柑桔鳞皮病毒	<i>Ophiovirus citri</i>
3	柠檬干枯病菌	<i>Plenodomus tracheiphilus</i>	12	柑桔黄花叶病毒	<i>Badnavirus tesselloctitri</i>
4	安哥拉假尾孢	<i>Pseudocercospora angolensis</i>	13	柑桔粗糙病毒	<i>Citrus leprosis virus</i>
5	亚洲韧皮层杆菌	<i>Candidatus Liberibacter asiaticus</i>	14	柑桔脉突-木瘤病毒	<i>Citrus vein enation-woody gad virus</i>
6	非洲韧皮层杆菌	<i>Candidatus Liberibacter africanus</i>	15	原始毛刺线虫	<i>Trichodorus primitivus</i>
7	地毯草黄单胞菌柑桔致病变种 (柑橘溃疡病菌)	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>citri</i>	16	光滑拟毛刺线虫	<i>Paratrichodorus teres</i>
8	木质部难养菌(葡萄皮尔氏病菌)	<i>Xylella fastidiosa</i>	17	来檬金黄叶植原体	<i>Candidatus Phytoplasma aurantifolia</i>
9	丁香假单胞菌丁香致病变种	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i>	18	苹淡褐卷蛾	<i>Epiphyas postvittana</i> Walker

2.3 潜在检疫性有害生物的进一步评估

根据 18 种潜在检疫性有害生物的相关文献^[19-37]，对其定性与定量分析。

2.3.1 定性分析 根据表 1 中列出的 18 种潜在检疫性有害生物，对其入境、定殖、扩散的可能性和经济影响 4 个方面进行分析，结果表明 18 种有害生物均为高风险等级，分别为：真菌 4 种，包括双胞双镰孢（*B. dimerum*）、白粉菌属（*E. quercicola*）、柠檬干枯病菌（*P. tracheiphilus*）和安哥拉假尾孢（*P. angolensis*）；细菌 7 种，包括亚洲韧皮层杆菌（*C. Liberibacter asiaticus*）、非洲韧皮层杆菌（*C. Liberibacter africanus*）、地毯草黄

单胞菌柑桔致病变种（柑橘溃疡病菌）（*X. axonopodis* pv. *citri*）、木质部难养菌（葡萄皮尔氏病菌）（*X. fastidiosa*）、丁香假单胞菌丁香致病变种（*P. syringae* pv. *syringae*）、柠檬螺原体（*S. citri*）和来檬金黄叶植原体（*Candidatus Phytoplasma aurantifolia*）；病毒 4 种，包括柑桔鳞皮病毒（*Ophiovirus citri*）、柑桔黄花叶病毒（*Badnavirus tesselloctitri*）、柑桔粗糙病毒（*Citrus leprosis virus*）和柑桔脉突-木瘤病毒（*Citrus vein enation-woody gad virus*）；线虫 2 种，包括原始毛刺线虫（*T. primitivus*）、光滑拟毛刺线虫（*P. teres*）；昆虫 1 种，为苹淡褐卷蛾（*E. postvittana* Walker）（表 2）。

表 2 潜在的检疫性有害生物定性风险评估
Tab. 2 Qualitative risk assessment of potential quarantine pests

编号 No.	中文名 Chinese name	进入可能性 Entry possibility	定殖可能性 Colonization possibility	扩散可能性 Diffusion possibility	经济影响 Economic impact	整体风险 Overall risk
1	双胞双镰孢	高	高	高	高	高
2	白粉菌属	高	高	高	中	高
3	柠檬干枯病菌	高	高	高	中	高
4	安哥拉假尾孢	高	高	高	中	高
5	亚洲韧皮层杆菌	高	高	高	高	高
6	非洲韧皮层杆菌	高	高	高	高	高
7	地毯草黄单胞菌柑桔致病变种 (柑橘溃疡病菌)	高	高	高	高	高
8	木质部难养菌(葡萄皮尔氏病菌)	高	高	高	高	高
9	丁香假单胞菌丁香致病变种	高	高	中	高	高
10	柠檬螺原体	高	高	中	高	高
11	柑桔鳞皮病毒	高	高	高	高	高
12	柑桔黄花叶病毒	高	高	高	高	高
13	柑桔粗糙病毒	高	高	高	高	高
14	柑桔脉突-木瘤病毒	高	高	高	高	高
15	原始毛刺线虫	高	高	高	高	高
16	光滑拟毛刺线虫	高	高	高	高	高
17	来檬金黄叶植原体	高	高	高	高	高
18	苹淡褐卷蛾	高	高	中	中	高

2.3.2 定量分析 根据有害生物风险分析公式和风险指标赋值标准,计算出 18 种潜在的检疫性有害生物的风险指标值 (R)。依据有害生物危险程度标准^[18],判定高风险有害生物 14 种 ($2.0 \leq R < 2.5$),包括双胞双镰孢、白粉菌属、柠檬干枯病菌、亚洲韧皮层杆菌、非洲韧皮层杆菌、地毯草黄单胞菌柑桔致病变种(柑橘溃疡病菌)、木质部难养菌(葡萄皮尔氏病菌)、柑桔鳞皮病毒、柑桔黄花叶病毒、柑桔脉突-木瘤病毒、桔粗糙病毒、光滑拟毛刺线虫、来檬金黄叶植原体、莘淡褐卷蛾;极高风险有害生物 4 种 ($2.5 \leq R < 3.0$),包括安哥拉假尾孢(柑桔斑点病菌)、丁香假单胞菌丁香致病变种、柠檬螺原体和原始毛刺线虫(表 3)。

综合定性和定量风险分析结果,判定我国需要关注的柑橘种苗上高风险有害生物 14 种,极高风险有害生物 4 种,以风险水平最高者作为柑橘种苗的检疫风险,判定输华柑橘种苗的检疫风险为极高。

2.4 风险管理措施

基于风险分析的结论提出相应的风险管理措施,可有效控制将输华柑橘风险。

2.4.1 技术措施 要求输出国或者地区的柑橘种苗健康、干净、无伤口(虫伤或机械伤)、无病斑或夹带杂物,选用广谱性杀菌剂和杀虫(螨)剂进行种苗消毒,降低真菌、细菌和病毒传带风险;对于检测难度较大的有害生物,要求输出方出具未发生限定检疫对象的证明材料,引种后采用室内隔离种植和诱发发病检验;联合科研机构研发柑橘种苗传带的有害生物多目标检测技术以及绿色高效的靶向除害技术。

2.4.2 行政措施 (1)入境前检疫审批:严格审批禁止输华的检疫性有害生物名单、输出国的除害措施、我国的检疫处理技术;输出国出具的进口柑橘种苗上未发生我国要求的限定检疫性有害生物的证明。

(2)入境后检疫处理:无出口国实施检疫的证书或不符合我国实施检疫要求的,采用退回、销毁措施,并要求输出国停止柑橘种苗出口我国;如检疫发现种苗携带非检疫性有害生物,应采用除害措施并确认除害后入境;进境种苗须按每批和每品种 15%抽样,实施隔离检疫合格后,准许运往引种区域种植;对于难以检疫或诊断的有害生物,将按有关检疫法律法规处理,采用隔离检

疫或种植。

2.4.3 科学选择引种区域 优先选择从非疫区引种,但多数输出国不具备本文提出的柑橘种苗上禁止输华的检疫性有害生物的要求;仅选择从非疫区进口柑橘种苗不利于柑橘产业健康发展。如选择从疫区进口柑橘种苗,必须严格执行成本可控、操作性强、可持续的风险管理措施降低有害生物入境的风险。

2.4.4 加大对外宣传与沟通 加强柑橘种苗传带有害生物危害严重性的宣传,引种和生产过程发现有害生物及时上报检疫部门,联合疫区国家或地区建立综合防控网络。

3 讨论

有害生物入侵在经济全球化进程中不可避免,PRA 作为植物检疫的支撑技术之一,实时开展 PRA 有利于制定更加科学的植物疫情防控策略^[38-39]。

本研究采用定性和定量方法分析了柑橘种苗传带的有害生物,结果表明,高风险有害生物 14 种,极高风险有害生物 4 种。根据中国国家有害生物检疫信息系统等数据库显示,4 种极高风险的有害生物在国内尚未发现,除为害柑橘外,还为害多种寄主植物,其中安哥拉假尾孢(*P. angolensis*)分布于也门、安哥拉等 20 多个国家;丁香假单胞菌丁香致病变种(*P. syringae* pv. *syringae*)分布于美国、突尼斯、韩国和塞尔维亚;柠檬螺原体(*S. citri*)分布于西班牙;原始毛刺线虫(*T. primitivus*)已在加拿大发现^[35]。上述有害生物为害隐蔽性强,为害生长介质、植株等多个部位,难易精准识别,容易随种苗传带入境,我国应高度关注。

引进柑橘种质资源对优良品种选育对我国柑橘产业发展具有重要意义^[1],本研究中的 18 种有害生物入侵我国风险极高,应严格实施检疫措施。风险分析需要有效丰富的数据^[38-39],常用方法为定性或定量方法相结合用于 1~2 种有害生物分析,刘元明^[10]和王盛桥等^[11]从定殖、扩散和经济影响方面分析了柑橘小实蝇入侵湖北的风险;赵永田^[12]分析发现蜜柑大实蝇的风险值为 2.20,属于高度风险等级;黄咏槐等^[13]分析发现星天牛的风险值为 1.77,属于中度危险等级;徐永红等^[14]分析发现柑橘轮斑病菌(*Pseudofabrea citricarpa*)的风险值为 2.08,处于高度风险等级;何

续表 3 潜在检疫性有害生物定量风险评估
Tab. 3 Quantitative risk assessment of potential quarantine pests (continued)

		赋值分 Valuation									
一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	判断标准 Assessment standard	双胞双镰孢 <i>B. dimorum</i>	白粉菌属 <i>E. quercicola</i>	柠檬干枯病菌 <i>P. tracheiphilus</i>	安哥拉假尾孢 <i>P. angolensis</i>	亚洲韧皮层杆菌 <i>C. Liberibacter asiaticus</i>	非洲韧皮层杆菌 <i>C. Liberibacter africanus</i>	地毯草黄单胞菌柑桔致病变种 <i>X. axonopodis pv. citri</i>	木质部难养菌 <i>X. fastidiosa</i>	丁香假单胞菌丁香致病变种 <i>P. syringae pv. syringae</i>
传播可能性 (P_4)	截获难易 (P_{41})	经常, $P_{41}=3$; 偶尔, $P_{41}=2$; 从未或历史上少数几次, $P_{41}=1$; 因现有检验技术原因, 本项不设 0 级	1	1	1	1	3	1	3	1	1
	运输中有害生物存活率 (P_{42})	存活率 $>40\%$, $P_{42}=3$; $10\%<$ 存活率 $\leq 40\%$, $P_{42}=2$; $0<$ 存活率 $\leq 10\%$, $P_{42}=1$; 存活率为 0, $P_{42}=0$	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	国外分布 (P_{43})	在世界 50%以上国家有分布, $P_{43}=3$; $25\%<$ 分布国家 $\leq 50\%$, $P_{43}=2$; $0<$ 分布国家 $\leq 25\%$, $P_{43}=1$; 无分布, $P_{43}=0$	3	1	1	1	1	1	2	1	3
	国内适生区 (P_{44})	适生地区 $\geq 50\%$, $P_{44}=3$; $25\%<$ 适生地区 $\leq 50\%$, $P_{44}=2$; $0<$ 适生地区 $\leq 25\%$, $P_{44}=1$; 无分布, $P_{44}=0$	3	3	3	3	3	3	3	3	3
危险性管理难度 (P_5)	传播力 (P_{45})	气传, $P_{45}=3$; 由活动力很强的介体传播, $P_{45}=2$; 土传及传播力很弱, $P_{45}=1$; 该项不设 0 级	1	3	3	3	2	2	3	3	3
	检验鉴定 (P_{51})	现有方法的可靠性很低, 花费的时间很长, $P_{51}=3$; 非常可靠且简便快速, $P_{51}=0$; 介于二者之间, 偏向于 3, $P_{51}=2$; 偏向于 0, $P_{51}=1$	3	3	2	2	1	2	1	3	3
	除害处理 (P_{52})	现有除害处理几乎完全不能杀死有害生物, $P_{52}=3$; 除害率 $<50\%$, $P_{52}=2$; $50\% \leq$ 除害率 $<100\%$, $P_{52}=1$; 除害率为 100%, $P_{52}=0$	2	2	3	3	3	3	3	3	3
	根除 (P_{53})	田间防治效果差, 成本高, 难度大, $P_{53}=3$; 田间防治效果显著, 成本很低, 简便, $P_{53}=0$; 介于二者之间, 偏向于 3, $P_{53}=2$; 介于二者之间, 偏向于 0, $P_{53}=1$	3	2	3	3	3	3	2	3	3
综合风险值			2.23	2.18	2.37	2.52	2.03	2.48	2.09	2.42	2.70

续表 3 潜在检疫性有害生物定量风险评估
Tab. 3 Quantitative risk assessment of potential quarantine pests (continued)

		判断标准 Assessment standard	赋值分 Valuation									
一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index		柠檬螺 原体 <i>S. citri</i>	柑桔鳞皮 病毒 <i>Ophiovirus citri</i>	柑桔黄化 叶病毒 <i>Badnavirus tesselloctri</i>	柑桔粗糙 病毒 <i>Citrus leprosis virus</i>	柑桔脉突- 木瘤病毒 <i>Citrus vein enation-woody gad virus</i>	原始毛刺 线虫 <i>T. primitivus</i>	光滑拟毛 刺线虫 <i>P. teres</i>	来檬金黄 叶植原体 <i>Candidatus Phytoplasma aurantifolia</i>	苹淡褐卷蛾 <i>E. postvittana</i> Walker	
传播可能性 (<i>P</i> ₄)	截获难易 (<i>P</i> ₄₁)	经常, <i>P</i> ₄₁ =3; 偶尔, <i>P</i> ₄₁ =2; 从未或历史上少数几次, <i>P</i> ₄₁ =1; 因现有检验技术原因, 本项不设 0 级	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	运输中有害生物存活率 (<i>P</i> ₄₂)	存活率>40%, <i>P</i> ₄₂ =3; 10%<存活率≤40%, <i>P</i> ₄₂ =2; 0<存活率≤10%, <i>P</i> ₄₂ =1; 存活率为 0, <i>P</i> ₄₂ =0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	国外分布 (<i>P</i> ₄₃)	在世界 50%以上国家有分布, <i>P</i> ₄₃ =3; 25%<分布国家≤50%, <i>P</i> ₄₃ =2; 0<分布国家≤25%, <i>P</i> ₄₃ =1; 无分布, <i>P</i> ₄₃ =0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	国内适生区 (<i>P</i> ₄₄)	适生地区≥50%, <i>P</i> ₄₄ =3; 25%<适生地区≤50%, <i>P</i> ₄₄ =2; 0<适生地区≤25%, <i>P</i> ₄₄ =1; 无分布, <i>P</i> ₄₄ =0	3	3	3	3	3	3	3	3	2	
	传播力 (<i>P</i> ₄₅)	气传, <i>P</i> ₄₅ =3; 由活动力很强的介体传播, <i>P</i> ₄₅ =2; 土传及传播力很弱, <i>P</i> ₄₅ =1; 该项不设 0 级	2	2	2	2	2	1	1	2	2	
危险性管理难度 (<i>P</i> ₅)	检验鉴定 (<i>P</i> ₅₁)	现有方法的可靠性很低, 花费的时间很长, <i>P</i> ₅₁ =3; 非常可靠且简便快速, <i>P</i> ₅₁ =0; 介于二者之间, 偏向于 3, <i>P</i> ₅₁ =2; 偏向于 0, <i>P</i> ₅₁ =1	3	2	2	3	3	3	3	2	2	
	除害处理 (<i>P</i> ₅₂)	现有除害处理几乎完全不能杀死有害生物, <i>P</i> ₅₂ =3; 除害率<50%, <i>P</i> ₅₂ =2; 50%≤除害率<100%, <i>P</i> ₅₂ =1;除害率为 100%, <i>P</i> ₅₂ =0	3	3	3	3	3	3	3	2	3	
	根除 (<i>P</i> ₅₃)	田间防治效果差, 成本高, 难度大, <i>P</i> ₅₃ =3; 田间防治效果显著, 成本很低, 简便, <i>P</i> ₅₃ =0; 介于二者之间, 偏向于 3, <i>P</i> ₅₃ =2; 介于二者之间, 偏向于 0, <i>P</i> ₅₃ =1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	
综合风险值			2.59	2.43	2.43	2.49	2.49	2.51	2.47	2.30	2.44	

善勇等^[40]预测分析了苹淡褐卷蛾在我国的适生区；国内学者还分析了输华植物蓝莓^[41]、葡萄^[42]、卡特兰^[43]、仙人掌^[44]、红掌^[45]和苏铁^[46]种苗传带的检疫性有害生物和限定性非检疫有害生物。

当前柑橘种苗传带的有害生物种类较多，PRA 评估体系涉及到有害生物植物病理学、昆虫学、微生物学、线虫学以及生物信息学等多学科的理论和技术，PRA 评估体系将随着上述学科的不断发展和更加客观和科学，为国家生物安全提供有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 郭文武, 叶俊丽, 邓秀新. 新中国果树科学研究 70 年——柑橘[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1264-1272.
GUO W W, YE J L, DENG X X. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: *Citrus*[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1264-1272. (in Chinese)
- [2] 奎国秀, 祁春节. 我国柑橘产业生产贸易的变化及机遇与挑战[J]. 中国果树, 2021(6): 93-97.
KUI G X, QI C J. Changes in production and trade of citrus industry in my country, opportunities and challenges[J]. China Fruits, 2021(6): 93-97. (in Chinese)
- [3] 叶荫民. 葡萄柚(*Citrus paradisi* Macf)及其在我国的发展前景[J]. 中国南方果树, 1997(5): 7-9.
YE Y M. Grapefruit (*Citrus paradisi* Macf) and its development prospects in our country[J]. South China Fruits, 1997(5): 7-9. (in Chinese)
- [4] 唐科志, 杨方云, 周常勇, 赵学源, 黄森, 刘英, 刘科宏. 天草、不知火等日本柑桔品种的病毒病鉴定与脱毒[J]. 中国南方果树, 2005(4): 13-14.
TANG K Z, YANG F Y, ZHOU C Y, ZHAO X Y, HUANG S, LIU Y, LIU K H. Identification and detoxification of virus diseases in Japanese citrus varieties such as Tiancao and Shiranui[J]. South China Fruits, 2005(4): 13-14. (in Chinese)
- [5] WANG N. The citrus Huanglongbing crisis and potential solutions[J]. Molecular Plant, 2019, 12(5): 607-609.
- [6] HAMEED A, ATIQ M, AHMED Z, RAJPUT N A, YOUNAS M, REHMAN A, ALAM M W, SARFARAZ S, LIAQAT N, FATIMA K, TARIQ K. Predicting the impact of environmental factors on citrus canker through multiple regression[J]. PLoS One, 2022 5, 17(4): e0260746.
- [7] 刘慧, 赵守歧, 马晨. 我国农业植物有害生物风险分析工作探讨[J]. 中国植保导刊, 2023, 43(1): 84-86, 43.
LIU H, ZHAO S Q, MA C. Discussion on risk analysis of agricultural plant pests in China[J]. China Plant Protection, 2023, 43(1): 84-86, 43. (in Chinese)
- [8] 吕飞, 杜予州, 周奕景, 杨文晏. 有害生物风险分析研究概述[J]. 植物检疫, 2016, 30(2): 7-12.
LYU F, DU Y Z, ZHOU Y J, YANG W Y. Overview of pest risk analysis research[J]. Plant Quarantine, 2016, 30(2): 7-12. (in Chinese)
- [9] 张秋娥, 饶玉燕, 何友元, 严进. 丁香疫霉随进口美国柑橘果实传入中国风险分析[J]. 植物检疫, 2012, 26(2): 37-40.
ZHANG Q E, RAO Y Y, HE Y Y, YAN J. Risk analysis of the introduction of *Phytophthora syringae* into China with imported American citrus fruits[J]. Plant Quarantine, 2012, 26(2): 37-40. (in Chinese)
- [10] 刘元明. 湖北省柑橘大实蝇风险分析报告[J]. 湖北植保, 2002(6): 10-11.
LIU Y M. Risk analysis report on *Bactrocera minax* in Hubei province[J]. Hubei Plant Protection, 2002(6): 10-11. (in Chinese)
- [11] 王盛桥, 向子钧, 刘元明, 彭烈传, 杜高, 朱重彪. 湖北省柑橘小实蝇风险分析初报[J]. 湖北植保, 2009(3): 5-6.
WANG S Q, XIANG Z J, LIU Y M, PENG L C, DU G, ZHU C B. Preliminary report on risk analysis of *Bactrocera dorsalis* Hubei province[J]. Hubei Plant Protection, 2009(3): 5-6. (in Chinese)
- [12] 赵永田. 蜜柑大实蝇入侵四川的风险分析[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(4): 76-78, 100.
ZHAO Y T. Risk analysis of *Bactrocera tsuneonis* invading Sichuan[J]. China Plant Protection, 2021, 41(4): 76-78, 100. (in Chinese)
- [13] 黄咏槐, 钱明惠, 黄华毅, 黄焕华. 广东地区星天牛风险分析[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(5): 77-80.
HUANG Y H, QIAN M H, HUANG H Y, HUANG H H. Pest risk analysis for *Anoplophora chinensis* in Guangdong area[J]. Forestry and Environmental Science, 2018, 34 (05): 77-80. (in Chinese)
- [14] 徐永红, 陈力, 唐松, 丁德宽, 杨宇衡. 柑橘轮斑病的适生区预测及风险分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(21): 4430-4439.
XU Y H, CHEN L, TANG S, DING D K, YANG Y H. Prediction of suitable area and risk analysis for citrus target spot[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(21): 4430-4439. (in Chinese)
- [15] 王坤, 石娟, 孙双艳. 植物种质资源引进风险分析方法概述[J]. 生物安全学报, 2024, 33(1): 1-6.
WANG K, SHI J, SUN S Y. Overview of risk analysis methods for the introduction of plant germplasm resources[J]. Journal of Biosafety, 2024, 33(1): 1-6. (in Chinese)
- [16] 刘福秀, 杨祖江, 蔡波, 李伟东, 李娜, 林明光. 输华去皮毛椰子传带有害生物的风险分析研究[J]. 植物检疫, 2015, 29(2): 65-68.
LIU F X, YANG Z J, CAI B, LI W D, LI N, LIN M G. Pest

- risk analysis for the importation of dehusked coconut[J]. Plant Quarantine, 2015, 29(2): 65-68. (in Chinese)
- [17] 蒋青, 梁忆冰, 王乃扬, 姚文国. 有害生物危险性评价的定量分析方法研究[J]. 植物检疫, 1995, 9(4): 208-211.
- JIANG Q, LIANG Y B, WANG N Y, YAO W G. Study on the quantitative analysis methods of pest hazard assessment[J]. Plant Quarantine, 1995, 9(4): 208-211. (in Chinese)
- [18] 董丹丹, 刘崇怀, 樊秀彩, 孙海生, 张国海, 王忠跃. 葡萄根瘤蚜在中国的风险性分析[J]. 植物检疫, 2011, 25(1): 21-26.
- DONG D D, LIU C H, FAN X C, SUN H S, ZHANG G H, WANG Z Y. Risk analysis of grape phylloxera *Viteus vitifoliae* Fitch in China[J]. Plant Quarantine, 2011, 25(1): 21-26. (in Chinese)
- [19] SANDOVAL-DENIS M, GUARNACCIA V, POLIZZI G, CROUS P W. Symptomatic *Citrus* trees reveal a new pathogenic lineage in *Fusarium* and two new *Neocosmospora* species[J]. Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi, 2018, 40(1): 1-25.
- [20] TAM L T T, DUNG P N, LIEM N V. First report of powdery mildew caused by *Erysiphe quercicola* on mandarin in Vietnam[J]. Plant Disease, 2016, 100(8): 1777.
- [21] DIMARIA G, MOSCA A, ANZALONE A. Sour orange microbiome is affected by infections of *Plenodomus tracheiphilus* causal agent of citrus mal secco disease[J]. Agronomy, 2023, 13(3): 654.
- [22] HOSSEINZADEH S, HECK M. Variations on a theme: factors regulating interaction between *Diaphorina citri* and “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” vector and pathogen of citrus Huanglongbing[J]. Current Opinion in Insect Science, 2023, 56: 101025.
- [23] 姚廷山, 周彦, ACHOR Diann, LI J Y, WANG N, 周常勇. 土霉素对柑橘黄龙病的防治效果及对柑橘产量和品质的影响[J]. 植物保护学报, 2020, 47(6): 1353-1361.
- YAO T S, ZHOU Y, ACHOR D, LI J Y, WANG N, ZHOU C Y. Inhibition effect of oxytetracycline on citrus Huanglongbing and its effect on citrus yield and quality[J]. Journal of Plant Protection, 2020, 47(6): 1353-1361. (in Chinese)
- [24] AJENE I J, KHAMIS F, VAN ASCH B, PIETERSEN G, RASOWO B A, EKESI S, MOHAMMED S. Habitat suitability and distribution potential of *Liberibacter* species (“*Candidatus Liberibacter asiaticus*” and “*Candidatus Liberibacter africanus*”) associated with citrus greening disease[J]. Diversity and Distributions, 2020, 26(5): 575-588.
- [25] ROBÈNE I, MAILLOT-LEBON V, CHABIRAND A, MOREAU A, BECKER N, MOUMÈNE A, PRUVOST O. Development and comparative validation of genomic-driven PCR-based assays to detect *Xanthomonas citri* pv. *citri* in citrus plants[J]. BMC Microbiology, 2020, 20: 1-13.
- [26] CORNARA D, MORENTE M, MARKHEISER A, BODINO N, TSAI C W, FERERES A, LOPES J R S. An overview on the worldwide vectors of *Xylella fastidiosa*[J]. Entomologia Generalis, 2019, 39: 157-181.
- [27] ISLAM M S, SULTANA R, HASAN M A, ALAM M S, SIKDAR B, KAMARUZZAMAN M, ISLAM M A. Characterization and biocontrol measures of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* associated with citrus blast disease[J]. Vegetos, 2020, 33: 555-569.
- [28] BELABESS Z, SAGOUTI T, RHALLABI N, TAHIRI A, MASSART S, TAHZIMA R, JIJAKLI M H. Citrus psorosis virus: current insights on a still poorly understood *Ophiovirus*[J]. Microorganisms, 2020, 8(8): 1197.
- [29] VENKATARAVANAPPA V, MADHU G S, MURALIDHARA B M, HIREMATH S, REDDY M K. Molecular characterization of recombinant Citrus yellow mosaic badnavirus infecting Coorg mandarin exhibiting yellow mosaic disease symptoms in high humid tropic region of Western Ghats[J]. VirusDisease, 2024, 35: 310-320.
- [30] CHABI-JESUS C, RAMOS-GONZÁLEZ P L, POSTCLAM-BARRO M, FONTENELE R S, HARAKAVA R, BASSANEZI R B, FREITAS-ASTÚA J. Molecular epidemiology of Citrus leprosis virus c: a new viral lineage and phylodynamic of the main viral subpopulations in the americas[J]. Frontiers in Microbiology, 2021, 12: 641252.
- [31] 龙泽沛, 庞泽兴. 柑桔脉突病研究进展[J]. 中国南方果树, 2017, 46(4): 188-190.
- LONG Z P, PANG Z X. Research progress on citrus vein burst disease[J]. South China Fruits, 2017, 46(4): 188-190. (in Chinese)
- [32] DOU R, HUANG Q, HU T, YU F, HU H, WANG Y, QIAN Y. Molecular variation and genomic function of Citrus vein enation virus[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 24(1): 412.
- [33] ÇAĞLAR B K, SATAR G, BALOĞLU S, DRAIS M İ, DJELOUAH K. Detection of *Spiroplasma citri* from citrus trees in Turkey by molecular techniques[J]. Mediterranean Agricultural Sciences, 2020, 33(1): 37-42.
- [34] ALIZADEH H, QUAGLINO F, AZADVAR M, KUMAR S, ALIZADEH A, BOLBOLI F, BIANCO P A. First report of a new Citrus decline disease (CDD) in association with double and single infection by ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ and ‘*Candidatus Phytoplasma aurantifolia*’ related strains in Iran[J]. Plant Disease, 2017, 101(12): 2145-2145.
- [35] PEDRAM M, NIKNAM G, ROBBINS R T, DECRAEMER W, YE W, YU Q. First record of *Trichodorus primitivus* and morphological and molecular identification of *Longidorus*

- elongatus* from Canada[J]. Plant Disease, 2010, 94(6): 782-782.
- [36] DECRAEMER W, CANTALAPIEDRA-NAVARRETE C, ARCHIDONA-YUSTE A, VARELA-BENAVIDES I, GUTIÉRREZ-GUTIÉRREZ C, CASTILLO P, PALOMARES-RIUS J E. Integrative taxonomy unravels cryptic diversity in the *Paratrichodorus hispanus*-group complex and resolves two new species of the genus and the molecular phylogeny of the family (Nematoda: Trichodoridae)[J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 2019, 185(3): 656-692.
- [37] TREMATERRA P. *Thaumatotibia leucotreta* and *Epiphyas postvittana* found in Italy, invasive pests in Europe (Lepidoptera Tortricidae)[J]. Bulletin of Insectology, 2023, 76(2): 203-207.
- [38] 李志红, 秦誉嘉. 有害生物风险分析定量评估模型及其比较[J]. 植物保护, 2018, 44(5): 134-145.
LI Z H, QIN Y J. Review on the quantitative assessment models for pest risk analysis and their comparison[J]. Plant Protection, 2018, 44(5): 134-145. (in Chinese)
- [39] 王晓亮, 陈冉冉, 朱莉, 姜培, 马晨, 陈志群, 冯晓东. 2010 年—2022 年我国农业植物检疫性有害生物发生防控形势分析[J]. 植物保护, 2023, 49(5): 426-440.
WANG X L, CHEN R R, ZHU L, JIANG P, MA C, CHEN Z Q, FENG X D. Analysis of the occurrence and control strategy of the national agricultural plant quarantine pests in China from 2010 to 2022[J]. Plant Protection, 2023, 49(5): 426-440. (in Chinese)
- [40] 何善勇, 孙双艳, 黄静. 危险性有害生物苹淡褐卷蛾在我国的适生区预测[J]. 植物检疫, 2014, 28(6): 46-49.
HE S Y, SUN S Y, HUANG J. Prediction of the potential geographical distribution of danger pest light brown apple moth *Epiphyas postvittana* in China[J]. Plant Quarantine, 2014, 28(6): 46-49. (in Chinese)
- [41] 贾玉珍, 范成志, 肖银波, 周建华. 四川省进境蓝莓种苗有害生物风险分析[J]. 四川林业科技, 2013, 34(6): 99-103.
JIA Y Z, FAN C Z, XIAO Y B, ZHOU J H. Risk analysis of pests on imported blueberry seedlings in Sichuan[J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2013, 34(6): 99-103. (in Chinese)
- [42] 郭连英, 张苏卡, 沈阳. 进境葡萄苗截获有害生物风险分析[J]. 福建农业, 2014(9): 173-174.
GUO L Y, ZHANG S K, SHEN Y. Risk analysis of pest interception by imported grape seedlings[J]. Fujian Agriculture, 2014(9): 173-174. (in Chinese)
- [43] 姚文辉. 进境卡特兰种苗有害生物风险分析[J]. 福建农业学报, 2008(3): 265-269.
YAO W H. Risk analysis on the invasive species, *Cattleya hybrid* (Orchidaceae)[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2008(3): 265-269. (in Chinese)
- [44] 方志鹏, 廖富荣, 林玲玲, 黄蓬英, 陈红运. 进境仙人掌种苗有害生物风险分析[J]. 武夷科学, 2015, 31: 123-129.
FANG Z P, LIAO F R, LIN L L, HUANG P Y, CHEN H Y. Risk analysis of pests on imported Cactaceae seedlings[J]. Wuyi Scientific Journal, 2015, 31: 123-129. (in Chinese)
- [45] 张绍升. 进境红掌种苗有害生物风险分析[J]. 福建农业大学学报, 2003(4): 414-419.
ZHANG S S. Pest risk analysis for imported *Anthurium* seedlings[J]. Journal of Fujian Agriculture University, 2003(4): 414-419. (in Chinese)
- [46] 陈艺欣, 陈军, 黄月英. 进境苏铁种苗有害生物风险分析[J]. 福建农业学报, 2010, 25(3): 350-355.
CHEN Y X, CHEN J, HUANG Y Y. Risk analysis of pests on imported *Cycas revoluta* seedlings[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2010, 25(3): 350-355. (in Chinese)