

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20240037

基于 SOM 方法的粉蚧在中国定殖风险评估

谷 雨^{1,2,3}, 汤敬诚^{1,2,3}, 梁志扬^{1,2}, 王佳楠^{1,2,3*}

¹海南大学热带农林学院, 海南 海口 570228; ²海南大学热带农林生物灾害绿色防控教育部重点实验室, 海南 海口 570228; ³海南大学儋州入侵生物海南省野外科学观测研究站, 海南 儋州 571799

摘要:【目的】粉蚧是具有较强繁殖和扩散能力的生物类群, 严重危害芒果、荔枝等果树和其他经济作物, 有必要加强外来有害粉蚧入侵风险评估。本研究采用自组织映射地图 (self-organization map, SOM) 完全定量模型, 评估了粉蚧在世界各国, 特别是我国的定殖可能性, 筛选出潜在入侵粉蚧物种, 从而把粉蚧物种数量降低到一个可以管理的水平, 为我国粉蚧早期预警、检疫措施及综合防控提供可靠的理论依据。【方法】本研究整理出 109 种粉蚧在世界 176 个国家的地理分布 0/1 矩阵, 利用 SOM 算法进行粉蚧科具有相似集合体的国家聚类分析。【结果】176 个国家被聚成 49 类, 具有较相似的粉蚧物种集合体的国家聚为一类, 地理位置上相邻或接近的国家聚为一类。进一步筛选出尚未在中国定殖的粉蚧物种的 SOM 指数并对其进行排序, 得到定殖风险排名名单。重点评估截获秀粉蚧、李比利氏灰粉蚧和葡萄绵粉蚧在包括我国在内的尚未分布国家的定殖风险。上述 3 种粉蚧在我国的定殖风险排名分别为第 1、第 2 和第 6 名。【结论】可造成严重经济损失的截获秀粉蚧、李比利氏灰粉蚧和葡萄绵粉蚧在我国具有很高的定殖可能性, 建议加强有针对性的口岸和产地检疫及综合防控, 防止这些危险性粉蚧的传入, 从而促进我国水果贸易的健康发展。

关键词: 粉蚧; 果树; 自组织映射地图; 定殖



开放科学标识码
(OSID 码)

Assessment of mealybug establishment risk in China based on a self-organizing map method

GU Yu^{1,2,3}, TANG Jingcheng^{1,2,3}, LIANG Zhiyang^{1,2}, WANG Jianan^{1,2,3*}

¹School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; ²Key Laboratory of Green Prevention and Control of Tropical Plant Diseases and Pests, Ministry of Education, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; ³Danzhou Invasive Species Observation and Research Station of Hainan Province, Hainan University, Danzhou, Hainan 571799, China

Abstract:【Aim】The mealybug (Pseudococcidae) is a biological group with strong reproductive and dispersal capacities, posing significant threat to mangoes and litchis among fruits and cash crops. Therefore, strengthening the risk assessment of alien mealybug invasion is necessary. In this study, we used a self-organizing map (SOM), a comprehensive quantitative model, to assess the global establishment risk, particularly in China. We screened out potentially invasive mealybug species to reduce the number of species to a manageable level, providing a reliable theoretical basis for early warning, quarantine measures, comprehensive prevention, and mealybug control in China.【Method】We summarized and constructed a geographically absent/present matrix including 109 Pseudococcidae species in 176 countries globally. Next, we performed a national cluster analysis using the SOM algorithm, based on similarities in species assemblages.【Result】We clustered 176 countries into 49 categories, grouping countries with similar species assemblages and geographically adjacent countries together. We further screened and ranked the SOM indices of the Pseudococcidae species not yet established in China, determining a ranking list of the establishment risks. We evaluated the establishment risks of *Paracoccus interceptus*, *Dysmicoccus lepelleyi*, and *Planococcus ficus* in countries where they are not yet present, including China. Our results demonstrated that the risks of these three mealybugs ranked first, second, and sixth in China, respectively.【Conclusion】Our findings indicated that *Paracoccus interceptus*, *D. lepelleyi*, and *Planococcus ficus*, which can cause serious economic losses.

收稿日期 (Received): 2024-03-13 接受日期 (Accepted): 2024-05-18
基金项目: 海南省芒果产业技术体系 (HNARS-07) 专项资金
作者简介: 谷雨, 女。研究方向: 植物保护。E-mail: 2436977945@qq.com
* 通信作者 (Author for correspondence), 王佳楠, E-mail: jnwang@hainanu.edu.cn

ses, display high establishment potential in China. Therefore, we recommend strengthening the original area, port quarantine inspections, and implementing integrated management strategies to prevent the introduction of these harmful mealybugs, ensuring the healthy development of fruit trade in China.

Key words: Pseudococcidae; fruits; SOM; establishment

随着世界经济全球化进程的加快,各国进出口贸易不断增长以及国际交流日益增多,外来有害生物给全球农业生产和生态安全带来了巨大的挑战。鉴于此,许多国际组织及发达国家制定了针对性的法律法规,采取积极有效的措施,以期能够预防外来有害生物入侵,减轻可能造成的经济损失。近年来我国外来物种入侵数量呈上升趋势,成为世界上遭受外来物种入侵危害最严重的国家之一。截至2020年,全国已发现660多种外来入侵物种,其中71种对自然生态系统已造成或具有潜在威胁并被列入《中国外来入侵物种名单》(中华人民共和国生态环境部,2021)。

有害生物定殖是指有害生物在新的自然环境中能够成功繁衍,长期存在,并对入侵地生物的多样性、农林牧渔业生产以及人类健康造成经济损失或生态灾难的过程(冯喆,2018)。自组织映射地图(self-organizing map, SOM)是将非线性的高维数据映射到一个二维拓扑网络中的一种无监督的人工神经网络,该方法具有降维、聚类、可视化的特点,可用于开展有害生物定殖风险分析(李志红和秦誉嘉,2018)。SOM方法可基于物种集群的相似性,将一些有相似集群规律的地理单元聚集在一起,产生不同的集合。同一个集合中的地理单元,物种集群间相似度很高,在某地理单元分布的物种有可能定殖到同集合的其他单元中。通过分析物种集群与地理单元之间的联系,物种在一个地理单元中的SOM指数可表征其定殖可能性,即该物种在地理单元可能发生的程度(迟志浩等,2017;李志红和秦誉嘉,2018)。具有相似的有害生物集合体的2个地区也可能拥有相同的环境特征,那么其中一个地区的有害生物可以定殖到另外一个地区。SOM的定殖可能性评估可以一次同时批量预测有害生物在某个地区的定殖可能性,因此,通过使用SOM方法进行的有害生物定殖可能性评估将会对预测有害生物目标地的风险等级并获得风险名单发挥必要的作用,该方法已成功应用于多种有害生物在特定地区的定殖可能性风险评估研究(雷鸣,2016;秦誉嘉,2017; Paini *et al.*, 2010; Qin *et al.*, 2015;

Worner & Gevrey, 2006)。

粉蚧科隶属半翅目 Hemiptera 蚧总科 Coccoidea, 数量仅次于盾蚧科, 是蚧总科中第二大科(张江涛, 2020)。粉蚧体型较小, 生活隐蔽, 适宜生存于各类环境中, 分布在除南极洲外的各大动物地理区系(张江涛, 2020; 赵明, 2020), 严重危害芒果 *Mangifera indica* L.、山竹 *Garcinia mangostana* L.、龙眼 *Dimocarpus longan* Lour.、荔枝 *Litchi chinensis* Sonn.、剑麻 *Agave sisalana* Perr. ex Engelm.、棉花 *Gossypium* spp 等多种农作物以及观赏植物夹竹桃 *Nerium oleander* L.、悬铃木 *Platanus × acerifolia* (Aiton) Willd. 等(乔艳艳等, 2022; 湛安然, 2021)。植物寄主被粉蚧危害后, 因缺乏营养正常生理活动被削弱, 生长逐渐缓慢或停止, 受害叶片扭曲畸形, 受害果实延迟成熟、降低品质; 分泌的蜜露导致煤烟病的发生, 某些种类可传播植物病毒, 是热带和亚热带作物中重要的害虫(任竞妹, 2016; 王子清, 2001; Sether & Hu, 2002; Sether *et al.*, 1998)。例如, 作为我国重要检疫对象的新菠萝灰粉蚧 *Dysmicoccus neobrevipes* (Beardsley) 和扶桑绵粉蚧 *Pseudococcus solenopsis* (Tinsley) 危害性较强, 对我国农林生产存在很大潜在威胁(李德伟等, 2023; 闫鹏飞等, 2013)。因具有较强的繁殖和扩散能力, 多种有害粉蚧是国际上较为重要的检疫性害虫(张江涛, 2020), 一旦传入将对我国的农林产业等造成巨大的经济损失。因此, 本研究采用 SOM 方法, 针对粉蚧科物种在世界和我国定殖风险进行定量评估, 并排列出定殖风险等级, 为提高粉蚧检出率、降低外来有害生物定殖风险和制定相应的建议决策提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

通过 EPPO 数据库(<https://gd.eppo.int/>)查询获得粉蚧科下所有种的学名, 通过国门生物安全基础数据信息资源平台(<http://www.pestchina.com>), 将同种拉丁异名的归为一种, 并剔除重复的拉丁异名后, 最终得到粉蚧科物种的名单, 共收集 109 种

粉蚧在 176 个国家的地理分布信息。在 109 种粉蚧中,主要包括粉蚧属 *Pseudococcus*、绵粉蚧属 *Phenacoccus*、臀纹粉蚧属 *Planococcus*、灰粉蚧属 *Dysmicoccus* 和根粉蚧属 *Rhizoecus* 共 5 个属 66 种粉蚧以及其他 26 个属的 43 种粉蚧,各粉蚧属在 6 大洲的分布情况见表 1。

表 1 6 大洲的粉蚧科分布统计
Table 1 Distribution statistics of Pseudococcidae in six continents

大洲 Continent	粉蚧属 <i>Pseudococcus</i>	绵粉蚧属 <i>Phenacoccus</i>	臀纹粉蚧属 <i>Planococcus</i>	灰粉蚧属 <i>Dysmicoccus</i>	根粉蚧属 <i>Rhizoecus</i>	其他 Other	总计 Total
亚洲 Asia	16	13	7	6	4	34	80
非洲 Africa	4	8	5	3	1	16	37
北美洲 North America	13	12	4	8	7	23	67
南美洲 South America	9	8	4	5	3	12	41
欧洲 Europe	6	13	4	6	4	15	48
大洋洲 Oceania	13	5	4	6	4	14	46
世界 World	19	21	8	11	7	43	109

1.2 试验方法

使用 Excel 完成数据的记录、排序、转置、筛选等,使用 Python 3.8.1 软件(www.python.org)中 pip 工具下载获得的 MiniSom 模块(<https://github.com/JustGlowing/minisom>),以及 pandas、os、numpy、matplotlib.patches、matplotlib.pyplot、mpl_toolkits.axes_grid1/matplotlib 和 matplotlib.lines 等模块进行 SOM 分析。在 Excel 中根据上述 2 个数据库获得的粉蚧科地理分布数据,对粉蚧科中各物种在某一国家的分布情况进行赋值记录,有分布时记录为“1”,无分布则记录为“0”,生成粉蚧科各物种的地理分布 0/1 矩阵列表。根据 Worner 的具体描述设置 SOM 分析中长宽和神经元的个数,对粉蚧科进行 SOM 分析时设置的长宽和神经元的个数分别 9×6 (54 个神经元),迭代次数为 27000 次(神经元的个数×500)。迭代至最大次数后,得到量化误差变化曲线,将每个国家匹配到一个优胜节点,在 SOM 中匹配至相同优胜节点的国家即为同一类。每一个优胜节点的权重作为所有物种在每个国家的定殖指数,筛选剔除在已发生国家的数据,最终获得粉蚧科在未发生国家的定殖可能性排名,重点报告尚未在我国定殖并严重危害重要经济作物、果树的截获秀粉蚧 *Paracoccus interceptus* (Lit)、李比利氏灰粉蚧 *Dysmicoccus lepelleyi* (Betrem) 和葡萄绵粉蚧 *Planococcus ficus* (Signoret) 的定殖指数的排序结果。

2 结果与分析

构建粉蚧科在全世界各国地理分布的 0/1 矩

阵列表。在所有分析的国家中,美国和中国存在 50 种以上粉蚧科害虫,主要来自粉蚧属、绵粉蚧属、灰粉蚧属、根粉蚧属和臀纹粉蚧属。在粉蚧科物种丰富度最高的前十名共 16 个国家(含并列),有 8 个国家来自亚洲,包括中国、印度、菲律宾、印度尼西亚、泰国、日本、马来西亚和斯里兰卡,另外 8 个国家是美国、墨西哥、意大利、澳大利亚、特立尼达和多巴哥、巴西、古巴和危地马拉。而记录的粉蚧科物种丰富度较低的国家则大多来自欧洲。

通过 SOM 分析方法得到了 176 个国家 109 种粉蚧科物种的定殖概率名单,从中选取 6 大洲中具有代表性的 6 个国家(中国、美国、澳大利亚、意大利、巴西和南非)进行展示。表 2 中报告了目前尚未在上述 6 个国家定殖的前 10 种粉蚧科物种在该国家的定殖指数。在中国有 3 种粉蚧属的排名靠前且在美国、意大利、澳大利亚以及南非的定殖指数排序前 10 名内。

对国家进行聚类分析并得到聚类结果,176 个国家被聚成 49 类(表 3),具有较相似的粉蚧科物种集合体的国家聚为一类。整体上地理位置上相邻或接近的国家被聚为一类。例如,地理位置上相邻的菲律宾、马来西亚、斯里兰卡、泰国、印度、印度尼西亚、越南和中国被聚在一类,波兰、俄罗斯联邦、法国、捷克、乌克兰、匈牙利和英国被聚在一类,欧洲部分国家被聚在一起,非洲部分国家聚在一起,亚洲部分国家聚在一起。

表 2 尚未在 6 个代表性国家分布的定殖指数排在前 10 名的粉蚧科物种名单
Table 2 Top ten ranked Pseudococcidae by establishment index for six countries

国家 Country	种名 Species	定殖指数 Establishment index	国家 Country	种名 Species	定殖指数 Establishment index
中国 China	截获秀粉蚧 <i>Paracoccus interceptus</i>	0.52	美国 Amercia	南洋臀纹粉蚧 <i>Planococcus lilacinus</i>	0.60
	李比利氏灰粉蚧 <i>Dysmicoccus lepelleyi</i>	0.31		西非垒粉蚧 <i>Rastrococcus invadens</i>	0.44
	甘蔗簇粉蚧 <i>Pseudococcus hispidus</i>	0.30		蛛丝平刺粉蚧 <i>Rastrococcus spinosus</i>	0.44
	多孔曼粉蚧 <i>Maconellicoccus multipori</i>	0.29		截获秀粉蚧 <i>Paracoccus interceptus</i>	0.35
	魔芋根粉蚧 <i>Rhizoecus amorphophalli</i>	0.27		吹绵垒粉蚧 <i>Rastrococcus iceryoides</i>	0.28
	葡萄绵粉蚧 <i>Planococcus ficus</i>	0.20		热带拂粉蚧 <i>Ferrisia malvastra</i>	0.28
	墨西哥绵粉蚧 <i>Phenacoccus gossypii</i>	0.19		东亚蔗粉蚧 <i>Pseudococcus saccharicola</i>	0.25
	石斛粉蚧 <i>Pseudococcus dendrobiorum</i>	0.17		丝鳞粉蚧 <i>Nipaecoccus filamentosus</i>	0.22
	香蕉粉蚧 <i>Pseudococcus elisae</i>	0.14		甘蔗簇粉蚧 <i>Pseudococcus hispidus</i>	0.21
	蛇根木蜜露绒蚧 <i>Trabutina serpentina</i>	0.12		李比利氏灰粉蚧 <i>Dysmicoccus lepelleyi</i>	0.20
意大利 Italy	白尾安粉蚧 <i>Antonina crawii</i>	0.30	澳大利亚 Australia	杰克贝尔氏粉蚧 <i>Pseudococcus jackbeardsleyi</i>	0.65
	康氏粉蚧 <i>Pseudococcus comstocki</i>	0.26		东亚椰粉蚧 <i>Palmicultor palmarum</i>	0.53
	葡萄粉蚧 <i>Pseudococcus maritimus</i>	0.26		新菠萝灰粉蚧 <i>Dysmicoccus neobrevipes</i>	0.52
	扶桑绵粉蚧 <i>Phenacoccus solenopsis</i>	0.23		木瓜秀粉蚧 <i>Paracoccus marginatus</i>	0.48
	蔗洁粉蚧 <i>Dysmicoccus boninsis</i>	0.19		柑橘棘粉蚧 <i>Pseudococcus cryptus</i>	0.48
	桔腺刺粉蚧 <i>Ferrisia virgata</i>	0.16		西非垒粉蚧 <i>Rastrococcus invadens</i>	0.44
	蔗茎红粉蚧 <i>Saccharicoccus sacchari</i>	0.16		蛛丝平刺粉蚧 <i>Rastrococcus spinosus</i>	0.44
	紫藤灰粉蚧 <i>Dysmicoccus wistariae</i>	0.13		美地绵粉蚧 <i>Phenacoccus madeirensis</i>	0.35
	桔鳞粉蚧 <i>Nipaecoccus viridis</i>	0.11		石蒜绵粉蚧 <i>Phenacoccus solani</i>	0.35
	柑橘棘粉蚧 <i>Pseudococcus cryptus</i>	0.10		截获秀粉蚧 <i>Paracoccus interceptus</i>	0.35
巴西 Brazil	香蕉灰粉蚧 <i>Dysmicoccus grassii</i>	0.56	南非 South Frica	美地绵粉蚧 <i>Phenacoccus madeirensis</i>	0.47
	美洲根粉蚧 <i>Rhizoecus americanus</i>	0.54		大洋臀纹粉蚧 <i>Planococcus minor</i>	0.39
	马缨丹绵粉蚧 <i>Phenacoccus parvus</i>	0.53		马缨丹绵粉蚧 <i>Phenacoccus parvus</i>	0.33
	麦肯锡灰粉蚧 <i>Dysmicoccus mackenziei</i>	0.40		扶桑绵粉蚧 <i>Phenacoccus solenopsis</i>	0.33
	木槿曼粉蚧 <i>Maconellicoccus hirsutus</i>	0.37		仙人掌根粉蚧 <i>Rhizoecus cacticans</i>	0.32
	木瓜秀粉蚧 <i>Paracoccus marginatus</i>	0.33		杰克贝尔氏粉蚧 <i>Pseudococcus jackbeardsleyi</i>	0.27
	热带拂粉蚧 <i>Ferrisia malvastra</i>	0.33		叶子花绵粉蚧 <i>Phenacoccus peruvianus</i>	0.25
	仙人掌根粉蚧 <i>Rhizoecus cacticans</i>	0.30		新菠萝灰粉蚧 <i>Dysmicoccus neobrevipes</i>	0.25
	东亚椰粉蚧 <i>Palmicultor palmarum</i>	0.16		咖啡地粉蚧 <i>Geococcus coffeae</i>	0.24
	霜根粉蚧 <i>Rhizoecus falcifer</i>	0.16		香蕉灰粉蚧 <i>Dysmicoccus grassii</i>	0.24

表 3 粉蚧科物种集合体的国家聚类名单

Table 3 The countries assigned to the same neuron according to the Pseudococcidae assemblages in the SOM analysis

SOM 组 SOM group	国家或地区 Country or region
1 组 Group 1	中国 China、菲律宾 Philippines、马来西亚 Malaysia、斯里兰卡 Sri Lanka、泰国 Thailand、印度 India、印度尼西亚 Indonesia、越南 Viet Nam
2 组 Group 2	巴布亚新几内亚 Papua New Guinea、孟加拉国 Bangladesh、巴基斯坦 Pakistan
3 组 Group 3	所罗门群岛 Solomon Islands、马达加斯加 Madagascar、埃及 Egypt、毛里求斯 Mauritius、柬埔寨 Cambodia
4 组 Group 4	肯尼亚 Kenya、坦桑尼亚 Tanzania、乌干达 Uganda
5 组 Group 5	马拉维 Malawi、安哥拉 Angola、赞比亚 Zambia、苏丹 Sudan
6 组 Group 6	加纳 Ghana、科特迪瓦 Ivory Coast、多哥 Togo、塞内加尔 Senegal、刚果 Congo、喀麦隆 Cameroon、贝宁 Benin、刚果民主共和国 The Democratic Republic of the Congo、塞拉利昂 Sierra Leone、尼日利亚 Nigeria
7 组 Group 7	美国 United States、澳大利亚 Australia
8 组 Group 8	日本 Japan
9 组 Group 9	新加坡 Singapore
10 组 Group 10	莫桑比克 Mozambique、巴拉圭 Paraguay
11 组 Group 11	圣多美和普林西比 Sao Tome and Principe、利比里亚 Liberia
12 组 Group 12	墨西哥 Mexico
13 组 Group 13	基里巴斯 Kiribati、密克罗尼西亚联邦 The Federated States of Micronesia、斐济 Fiji、瓦努阿图 Vanuatu
14 组 Group 14	帕劳 Palau
15 组 Group 15	几内亚 Guinea、几内亚比绍 Guinea-Bissau、加蓬 Gabon、卢旺达 Rwanda、马里 Mali、尼日尔 Niger、布隆迪 Burundi、玻利维亚 Bolivia

续表 3

SOM 组 SOM group	国家或地区 Country or region
16 组 Group 16	巴拿马 Panama、哥斯达黎加 Costa Rica、古巴 Cuba、洪都拉斯 Honduras、特立尼达和多巴哥 Trinidad And Tobago、牙买加 Jamaica、危地马拉 Guatemala、巴西 Brazil、厄瓜多尔 Ecuador、哥伦比亚 Colombia
17 组 Group 17	巴哈马 Bahamas、苏里南 Suriname
18 组 Group 18	海地 Haiti、萨尔瓦多 El Salvador
19 组 Group 19	萨摩亚 Samoa、图瓦卢 Tuvalu、库克群岛 Cook Islands、汤加 Tonga
20 组 Group 20	纽埃 Niue、马绍尔群岛 Marshall Islands、塞舌尔 Seychelles、索马里 Somalia
21 组 Group 21	秘鲁 Peru
22 组 Group 22	多米尼加 Dominican Republic、安提瓜和巴布达 Antigua And Barbuda、圭亚那 Guyana
23 组 Group 23	巴巴多斯 Barbados、格林纳达 Grenada、圣基茨和尼维斯 Saint Kitts and Nevis、尼加拉瓜 Nicaragua
24 组 Group 24	伯利兹 Belize
25 组 Group 25	科摩罗 Comoros
26 组 Group 26	老挝 Laos、缅甸 Myanmar、沙特阿拉伯 Saudi Arabia、也门 Yemen、文莱 Brunei
27 组 Group 27	津巴布韦 Zimbabwe、南非 South Africa、阿根廷 Argentina
28 组 Group 28	委内瑞拉 Venezuela
29 组 Group 29	圣卢西亚 Saint Lucia
30 组 Group 30	埃塞俄比亚 Ethiopia
31 组 Group 31	布基纳法索 Burkina Faso、乍得 Chad、马尔代夫 Maldives、阿联酋 United Arab Emirates
32 组 Group 32	智利 Chile、西班牙 Spain、伊朗 Iran、以色列 Israel
33 组 Group 33	乌拉圭 Uruguay、葡萄牙 Portugal
34 组 Group 34	比利时 Belgium
35 组 Group 35	圣文森特和格林纳丁斯 Saint Vincent And the Grenadines、阿尔及利亚 Algeria、圣马力诺 San Marino、黎巴嫩 Lebanon
36 组 Group 36	厄立特里亚 Eritrea、斯威士兰 Swaziland、约旦 Jordan
37 组 Group 37	冈比亚 Gambia、中非 Central African Republic、尼泊尔 Nepal、阿曼 Oman
38 组 Group 38	意大利 Italy、荷兰 Netherlands
39 组 Group 39	摩洛哥 Morocco、土耳其 Turkey
40 组 Group 40	希腊 Greece、奥地利 Austria
41 组 Group 41	突尼斯 Tunisia、佛得角 Cape Verde、马耳他 Malta
42 组 Group 42	利比亚 Libya、叙利亚 Syrian Arab Republic
43 组 Group 43	纳米比亚 Namibia、不丹 Bhutan
44 组 Group 44	新西兰 New Zealand、英国 United Kingdom、法国 France、俄罗斯联邦 Russian Federation、捷克 Czech Republic、乌克兰 Ukraine、波兰 Poland、匈牙利 Hungary、格鲁吉亚 Georgia
45 组 Group 45	加拿大 Canada、德国 Germany、保加利亚 Bulgaria
46 组 Group 46	丹麦 Denmark、瑞典 Sweden、瑞士 Switzerland、阿富汗 Afghanistan、韩国 Republic of Korea、亚美尼亚 Armenia、阿塞拜疆 Azerbaijan
47 组 Group 47	罗马尼亚 Romania、塞浦路斯 Cyprus、朝鲜 Democratic People's Republic of Korea (DPRK)、土库曼斯坦 Turkmenistan、伊拉克 Iraq、乌兹别克斯坦 Uzbekistan
48 组 Group 48	摩尔多瓦 Moldova、哈萨克斯坦 Kazakhstan、塔吉克斯坦 Tajikistan
49 组 Group 49	赤道几内亚 Equatorial Guinea、博茨瓦纳 Botswana、莱索托 Lesotho、爱尔兰 Ireland、克罗地亚 Croatia、拉脱维亚 Latvia、摩纳哥 Monaco、挪威 Norway、塞尔维亚 Serbia、斯洛文尼亚 Slovenia、芬兰 Finland、立陶宛 Lithuania、科威特 Kuwait、蒙古 Mongolia、吉尔吉斯斯坦 Kyrgyzstan

从得到的总计 176 个国家的粉蚱科定殖可能性排名单中,筛选出尚未在中国分布的物种及其定殖指数并对其从大到小进行排序。由于排在前 10 名的其他物种对国内危害较小,本研究重点关注了作为经济害虫需要重点防控的在未分布国家排名第 1 的截获秀粉蚱、排名第 2 的李比利氏灰粉蚱和排名第 6 的葡萄绵粉蚱。如表 4 所示,欧洲和南美洲的大部分国家,截获秀粉蚱的定殖风险排名均较低;在亚洲和非洲的大部分国家,截获秀粉蚱的定殖风险排名均很高,其中在中国排名第 1。如表 5 所示,非洲的大部分国家和亚洲的部分国家,李比利氏灰粉蚱排名较高,在中国排名第 2;在北美洲、大洋洲、南美洲和欧洲的大部分国家排名较低。如表 6 所示,葡萄绵粉蚱在北美洲、非洲、南美洲、欧洲和亚洲的大部分国家的排名均很高,在中国的排名第 6;在大洋洲的大部分国家排名较低。

表 4 基于定殖指数的截获秀粉蚧在尚未分布国家的定殖风险排名

Table 4 Rank of establishment risk of *Paracoccus interceptus* in the undistributed countries

北美洲 North America	排名 Rank	大洋洲 Oceania	排名 Rank	非洲 Africa	排名 Rank	南美洲 South America	排名 Rank	欧洲 Europe	排名 Rank	亚洲 Asia	排名 Rank
美国 United States	4	巴布亚新几内亚 Papua New Guinea	8	肯尼亚 Kenya	17	玻利维亚 Bolivia	34	爱尔兰 Ireland	54	中国 China	1
墨西哥 Mexico	18	澳大利亚 Australia	10	马达加斯加 Madagascar	17	巴拉圭 Paraguay	36	克罗地亚 Croatia	54	孟加拉国 Bangladesh	7
伯利兹 Belize	35	所罗门群岛 Solomon Islands	20	毛里求斯 Mauritius	17	苏里南 Suriname	50	拉脱维亚 Latvia	55	巴基斯坦 Pakistan	10
巴哈马 Bahamas	49	马绍尔群岛 Marshall Islands	30	布基纳法索 Burkina Faso	18	巴西 Brazil	58	摩纳哥 Monaco	55	老挝 Laos	11
海地 Haiti	52	纽埃 Niue	32	坦桑尼亚 Tanzania	19	厄瓜多尔 Ecuador	60	挪威 Norway	55	缅甸 Myanmar	11
萨尔瓦多 El Salvador	53	帕劳 Palau	38	乍得 Chad	19	哥伦比亚 Colombia	60	塞尔维亚 Serbia	55	沙特阿拉伯 Saudi Arabia	11
特立尼达和多巴哥 Trinidad and Tobago	57	汤加 Tonga	40	埃及 Egypt	19	圭亚那 Guyana	72	斯洛文尼亚 Slovenia	55	日本 Japan	11
古巴 Cuba	58	基里巴斯 Kiribati	41	尼日利亚 Nigeria	22	秘鲁 Peru	74	芬兰 Finland	55	也门 Yemen	14
危地马拉 Guatemala	58	萨摩亚 Samoa	41	乌干达 Uganda	23	阿根廷 Argentina	76	立陶宛 Lithuania	55	马尔代夫 Maldives	17
巴巴多斯 Barbados	59	图瓦卢 Tuvalu	41	加纳 Ghana	24	乌拉圭 Uruguay	80	意大利 Italy	57	阿联酋 United Arab Emirates	19
格林纳达 Grenada	59	密克罗尼西亚联邦 The Federated States of Micronesia	43	科特迪瓦 Ivory Coast	26	委内瑞拉 Venezuela	83	圣马力诺 San Marino	65	新加坡 Singapore	23
牙买加 Jamaica	61	库克群岛 Cook Islands	43	塞内加尔 Senegal	26	智利 Chile	84	英国 United Kingdom	66	尼泊尔 Nepal	29
圣基茨和尼维斯 Saint Kitts and Nevis	61	斐济 Fiji	46	多哥 Togo	27			法国 France	71	阿曼 Oman	31
巴拿马 Panama	62	瓦努阿图 Vanuatu	47	刚果 Congo	27			葡萄牙 Portugal	75	不丹 Bhutan	40
哥斯达黎加 Costa Rica	62	新西兰 New Zealand	76	喀麦隆 Cameroon	27			俄罗斯 Russian Federation	75	约旦 Jordan	49
尼加拉瓜 Nicaragua	62			科摩罗 Comoros	27			摩尔多瓦 Moldova	75	科威特 Kuwait	55
圣文森特和格林纳丁斯 Saint Vincent and The Grenadines	64			贝宁 Benin	28			塞浦路斯 Cyprus	76	蒙古 Mongolia	55
洪都拉斯 Honduras	66			刚果民主共和国 The Democratic Republic of the Congo	28			西班牙 Spain	77	吉尔吉斯斯坦 Kyrgyzstan	55
多米尼加 Dominican Republic	69			塞拉利昂 Sierra Leone	29			乌克兰 Ukraine	77	黎巴嫩 Lebanon	63
安提瓜和巴布达 Antigua and Barbuda	72			马拉维 Malawi	29			罗马尼亚 Romania	77	叙利亚 Syrian Arab Republic	64
圣卢西亚 Saint Lucia	73			塞舌尔 Seychelles	30			荷兰 Netherlands	78	朝鲜 DPRK	72
加拿大 Canada	75			安哥拉 Angola	31			捷克 Czech Republic	78	哈萨克斯坦 Kazakhstan	73
				赞比亚 Zambia	31			波兰 Poland	78	阿富汗 Afghanistan	74

续表 4

北美洲 North America	排名 Rank	大洋洲 Oceania	排名 Rank	非洲 Africa	排名 Rank	南美洲 SouthAmerica	排名 Rank	欧洲 Europe	排名 Rank	亚洲 Asia	排名 Rank
				冈比亚 Gambia	31			希腊 Greece	78	伊拉克 Iraq	74
				中非 Central African Republic	31			马耳他 Malta	78	格鲁吉亚 Georgia	75
				苏丹 Sudan	32			匈牙利 Hungary	79	韩国 Republic of Korea	75
				索马里 Somalia	33			德国 Germany	80	土库曼斯坦 Turkmenistan	75
				加蓬 Gabon	35			奥地利 Austria	80	塔吉克斯坦 Tajikistan	75
				几内亚 Guinea	36			丹麦 Denmark	80	乌兹别克斯坦 Uzbekistan	77
				埃塞俄比亚 Ethiopia	36			瑞典 Sweden	81	伊朗 Iran	78
				莫桑比克 Mozambique	37			瑞士 Switzerland	81	土耳其 Turkey	78
				圣多美和普林 西比 Sao Tome and Principe	37			比利时 Belgium	82	亚美尼亚 Armenia	78
				几内亚比绍 Guinea-Bissau	37			保加利亚 Bulgaria	82	阿塞拜疆 Azerbaijan	79
				卢旺达 Rwanda	37					以色列 Israel	80
				马里 Mali	37						
				尼日尔 Niger	37						
				利比里亚 Liberia	38						
				布隆迪 Burundi	38						
				纳米比亚 Namibia	38						
				斯威士兰 Swaziland	47						
				厄立特里亚 Eritrea	49						
				博茨瓦纳 Botswana	54						
				赤道几内亚 Equatorial Guinea	55						
				莱索托 Lesotho	55						
				阿尔及利亚 Algeria	63						
				利比亚 Libya	63						
				南非 South Africa	74						
				突尼斯 Tunisia	77						
				佛得角 Cape Verde	78						
				津巴布韦 Zimbabwe	82						
				摩洛哥 Morocco	82						

表 5 基于定殖指数的李比利氏灰粉蚧在尚未分布国家的定殖风险排名
Table 5 Rank of establishment risk of *Dysmicoccus lepelleyi* in the undistributed countries

北美洲 North America	排名 Rank	大洋洲 Oceania	排名 Rank	非洲 Africa	排名 Rank	南美洲 SouthAmerica	排名 Rank	欧洲 Europe	排名 Rank	亚洲 Asia	排名 Rank
美国 United States	10	巴布亚新几内亚 Papua New Guinea	15	马达加斯加 Madagascar	18	巴拉圭 Paraguay	39	意大利 Italy	67	中国 China	2
墨西哥 Mexico	34	所罗门群岛 Solomon Islands	21	毛里求斯 Mauritius	18	玻利维亚 Bolivia	42	英国 United Kingdom	75	印度 India	6
伯利兹 Belize	61	澳大利亚 Australia	22	肯尼亚 Kenya	20	巴西 Brazil	63	法国 France	80	斯里兰卡 Sri Lanka	8
海地 Haiti	61	基里巴斯 Kiribati	43	埃及 Egypt	20	厄瓜多尔 Ecuador	65	西班牙 Spain	81	泰国 Thailand	11
特立尼达和多巴哥 Trinidad and Tobago	62	帕劳 Palau	43	坦桑尼亚 Tanzania	22	哥伦比亚 Colombia	65	俄罗斯 Russian Federation	84	孟加拉国 Bangladesh	13
萨尔瓦多 El Salvador	62	密克罗尼西亚联邦 The Federated States of Micronesia	45	尼日利亚 Nigeria	24	苏里南 Suriname	67	葡萄牙 Portugal	86	巴基斯坦 Pakistan	15
古巴 Cuba	63	汤加 Tonga	46	加纳 Ghana	26	圭亚那 Guyana	75	乌克兰 Ukraine	86	日本 Japan	20
危地马拉 Guatemala	63	萨摩亚 Samoa	47	乌干达 Uganda	26	秘鲁 Peru	78	捷克 Czech Republic	87	新加坡 Singapore	33
巴哈马 Bahamas	66	图瓦卢 Tuvalu	47	科特迪瓦 Ivory Coast	28	阿根廷 Argentina	80	波兰 Poland	87	文莱 Brunei	60
牙买加 Jamaica	66	斐济 Fiji	48	塞内加尔 Senegal	28	委内瑞拉 Venezuela	86	荷兰 Netherlands	88	老挝 Laos	61
巴拿马 Panama	67	瓦努阿图 Vanuatu	49	多哥 Togo	29	智利 Chile	88	匈牙利 Hungary	88	缅甸 Myanmar	61
哥斯达黎加 Costa Rica	67	库克群岛 Cook Islands	49	刚果 Congo	29	乌拉圭 Uruguay	91	爱尔兰 Ireland	90	沙特阿拉伯 Saudi Arabia	61
洪都拉斯 Honduras	71	马绍尔群岛 Marshall Islands	52	喀麦隆 Cameroon	29			克罗地亚 Croatia	90	也门 Yemen	64
多米尼加共和国 Dominican Republic	72	纽埃 Niue	54	贝宁 Benin	30			德国 Germany	91	马尔代夫 Maldives	78
安提瓜和巴布达 Antigua and Barbuda	75	新西兰 New Zealand	85	刚果民主共和国 The Democratic Republic of the Congo	30			希腊 Greece	91	阿联酋 United Arab Emirates	80
加拿大 Canada	86			马拉维 Malawi	30			拉脱维亚 Latvia	91	伊朗 Iran	82
巴巴多斯 Barbados	87			塞拉利昂 Sierra Leone	31			摩纳哥 Monaco	91	以色列 Israel	84
格林纳达 Grenada	87			安哥拉 Angola	32			挪威 Norway	91	格鲁吉亚 Georgia	84
圣基茨和尼维斯 Saint Kitts and Nevis	89			赞比亚 Zambia	32			塞尔维亚 Serbia	91	阿富汗 Afghanistan	86
圣卢西亚 Saint Lucia	90			苏丹 Sudan	33			斯洛文尼亚 Slovenia	91	韩国 Republic of Korea	87
尼加拉瓜 Nicaragua	90			莫桑比克 Mozambique	40			芬兰 Finland	91	尼泊尔 Nepal	87
圣文森特和格林纳丁斯 Saint Vincent and The Grenadines	92			圣多美和普林西比 Sao Tome and Principe	40			立陶宛 Lithuania	91	土耳其 Turkey	89
				利比里亚 Liberia	41			丹麦 Denmark	92	阿曼 Oman	89

续表 5

北美洲 North America	排名 Rank	大洋洲 Oceania	排名 Rank	非洲 Africa	排名 Rank	南美洲 SouthAmerica	排名 Rank	欧洲 Europe	排名 Rank	亚洲 Asia	排名 Rank
				加蓬 Gabon	43			圣马力诺 San Marino	93	朝鲜 DPRK	89
				几内亚 Guinea	44			奥地利 Austria	93	亚美尼亚 Armenia	90
				几内亚比绍 Guinea-Bissau	45			保加利亚 Bulgaria	93	约旦 Jordan	90
				卢旺达 Rwanda	45			瑞典 Sweden	93	不丹 Bhutan	90
				马里 Mali	45			瑞士 Switzerland	93	黎巴嫩 Lebanon	91
				尼日尔 Niger	45			塞浦路斯 Cyprus	93	阿塞拜疆 Azerbaijan	91
				布隆迪 Burundi	46			罗马尼亚 Romania	94	伊拉克 Iraq	91
				塞舌尔 Seychelles	52			比利时 Belgium	95	科威特 Kuwait	91
				索马里 Somalia	55			摩尔多瓦 Moldova	95	蒙古 Mongolia	91
				科摩罗 Comoros	73			马耳他 Malta	96	吉尔吉斯斯坦 Kyrgyzstan	91
				南非 South Africa	78					土库曼斯坦 Turkmenistan	92
				布基纳法索 Burkina Faso	79					哈萨克斯坦 Kazakhstan	93
				乍得 Chad	80					乌兹别克斯坦 Uzbekistan	94
				津巴布韦 Zimbabwe	86					叙利亚 Syrian Arab Republic	95
				斯威士兰 Swaziland	88					塔吉克斯坦 Tajikistan	95
				纳米比亚 Namibia	88						
				冈比亚 Gambia	89						
				中非 Central African Republic	89						
				埃塞俄比亚 Ethiopia	89						
				厄立特里亚 Eritrea	90						
				博茨瓦纳 Botswana	90						
				阿尔及利亚 Algeria	91						
				赤道几内亚 Equatorial Guinea	91						
				莱索托 Lesotho	91						
				摩洛哥 Morocco	93						
				利比亚 Libya	94						
				突尼斯 Tunisia	95						
				佛得角 Cape Verde	96						

表 6 基于定殖指数的葡萄绵粉蚧在尚未分布国家的定殖风险排名

Table 6 Rank of establishment risk of *Planococcus ficus* in the undistributed countries

北美洲 North America	排名 Rank	大洋洲 Oceania	排名 Rank	非洲 Africa	排名 Rank	南美洲 South America	排名 Rank	欧洲 Europe	排名 Rank	亚洲 Asia	排名 Rank
圣文森特和格林纳丁斯 Saint Vincent and The Grenadines	2	新西兰 New Zealand	9	佛得角 Cape Verde	1	委内瑞拉 Venezuela	5	比利时 Belgium	1	土耳其 Turkey	1
圣卢西亚 Saint Lucia	6	巴布亚新几内亚 Papua New Guinea	13	津巴布韦 Zimbabwe	2	厄瓜多尔 Ecuador	7	奥地利 Austria	1	亚美尼亚 Armenia	2
加拿大 Canada	6	所罗门群岛 Solomon Islands	15	摩洛哥 Morocco	2	哥伦比亚 Colombia	9	马耳他 Malta	1	乌兹别克斯坦 Uzbekistan	2
墨西哥 Mexico	7	澳大利亚 Australia	23	阿尔及利亚 Algeria	3	秘鲁 Peru	9	荷兰 Netherlands	2	韩国 Republic of Korea	3
古巴 Cuba	8	马绍尔群岛 Marshall Islands	26	厄立特里亚 Eritrea	4	圭亚那 Guyana	14	罗马尼亚 Romania	2	朝鲜 DPRK	3
巴拿马 Panama	9	基里巴斯 Kiribati	28	斯威士兰 Swaziland	4	苏里南 Suriname	20	瑞典 Sweden	3	哈萨克斯坦 Kazakhstan	3
危地马拉 Guatemala	9	纽埃 Niue	28	纳米比亚 Namibia	6	巴拉圭 Paraguay	32	瑞士 Switzerland	3	塔吉克斯坦 Tajikistan	3
哥斯达黎加 Costa Rica	10	密克罗尼西亚联邦 The Federated States of Micronesia	30	肯尼亚 Kenya	8	玻利维亚 Bolivia	32	摩尔多瓦 Moldova	3	约旦 Jordan	4
牙买加 Jamaica	10	帕劳 Palau	32	博茨瓦纳 Botswana	8			英国 United Kingdom	4	中国 China	6
洪都拉斯 Honduras	13	斐济 Fiji	33	埃塞俄比亚 Ethiopia	9			圣马力诺 San Marino	4	不丹 Bhutan	8
安提瓜和巴布达 Antigua and Barbuda	14	瓦努阿图 Vanuatu	34	莱索托 Lesotho	9			德国 Germany	4	科威特 Kuwait	9
巴巴多斯 Barbados	15	汤加 Tonga	35	坦桑尼亚 Tanzania	10			丹麦 Denmark	4	吉尔吉斯斯坦 Kyrgyzstan	9
格林纳达 Grenada	15	萨摩亚 Samoa	36	赤道几内亚 Equatorial Guinea	10			保加利亚 Bulgaria	5	文莱 Brunei	10
圣基茨和尼维斯 Saint Kitts and Nevis	17	图瓦卢 Tuvalu	36	冈比亚 Gambia	12			俄罗斯 Russian Federation	6	老挝 Laos	10
尼加拉瓜 Nicaragua	18	库克群岛 Cook Islands	38	布基纳法索 Burkina Faso	13			捷克 Czech Republic	6	缅甸 Myanmar	10
巴哈马 Bahamas	19			中非 Central African Republic	13			乌克兰 Ukraine	7	蒙古 Mongolia	10
伯利兹 Belize	26			马达加斯加 Madagascar	13			波兰 Poland	7	尼泊尔 Nepal	11
海地 Haiti	27			乌干达 Uganda	14			匈牙利 Hungary	8	孟加拉国 Bangladesh	11
萨尔瓦多 El Salvador	28			乍得 Chad	14			克罗地亚 Croatia	8	马尔代夫 Maldives	12
				尼日利亚 Nigeria	17			爱尔兰 Ireland	9	阿曼 Oman	12
				加纳 Ghana	19			拉脱维亚 Latvia	9	菲律宾 Philippines	13
				马拉维 Malawi	19			摩纳哥 Monaco	9	也门 Yemen	13
				科摩罗 Comoros	20			挪威 Norway	9	阿联酋 United Arab Emirates	14

续表 6

北美洲 North America	排名 Rank	大洋洲 Oceania	排名 Rank	非洲 Africa	排名 Rank	南美洲 SouthAmerica	排名 Rank	欧洲 Europe	排名 Rank	亚洲 Asia	排名 Rank
				科特迪瓦 Ivory Coast	21			斯洛文尼亚 Slovenia	9	印度尼西亚 Indonesia	15
				塞内加尔 Senegal	21			芬兰 Finland	9	柬埔寨 Cambodia	16
				安哥拉 Angola	21			立陶宛 Lithuania	9	泰国 Thailand	17
				赞比亚 Zambia	21			塞尔维亚 Serbia	10	马来西亚 Malaysia	18
				多哥 Togo	22					日本 Japan	18
				刚果 Congo	22					斯里兰卡 Sri Lanka	19
				喀麦隆 Cameroon	22					新加坡 Singapore	21
				苏丹 Sudan	22					越南 Viet Nam	21
				贝宁 Benin	23						
				刚果民主共和国 The Democratic Republic of the Congo	23						
				塞拉利昂 Sierra Leone	24						
				塞舌尔 Seychelles	26						
				索马里 Somalia	29						
				莫桑比克 Mozambique	33						
				圣多美和普林西比 Sao Tome and Principe	33						
				加蓬 Gabon	33						
				几内亚 Guinea	34						
				利比里亚 Liberia	34						
				几内亚比绍 Guinea-Bissau	35						
				卢旺达 Rwanda	35						
				马里 Mali	35						
				尼日尔 Niger	35						
				布隆迪 Burundi	36						

3 讨论

本研究通过 SOM 算法评估粉蚧科在全球范围内的定殖风险,筛选出目前尚未在中国定殖的粉蚧科物种,重点分析了可造成严重经济损失的截获秀粉蚧、李比利氏灰粉蚧和葡萄绵粉蚧的定殖可能

性。其中,以 SOM 指数为表征的 SOM 模型统计预测结果,可作为判断一个国家是否需要针对该物种监测以及早期预警的量化参考指标。本论文采用 SOM 指数定量表征了粉蚧的定殖可能性,并得到定殖风险排名名单,为制定入侵性有害粉蚧的防控措

施提供了科学依据和定量评估技术支持。

本研究基于 SOM 算法的粉蚧科物种定殖可能性的聚类结果表明,具有较相似的粉蚧科物种集合体的国家聚为一类,被聚为一类的国家在地理位置上也十分接近。这可能提示在同一个神经元的国家,如果一个国家已经存在一种有害生物,那么该物种对其相近的国家有很大的威胁,基于气候环境以及作物的相似性,地理上越临近,物种越容易找到传入途径(秦誉嘉,2017)。可能由于澳大利亚与美国经贸和人员往来密切,因此澳大利亚与美国虽然地理位置上并不临近但是被聚为一类(叶舟颖,2023)。此外,日本被单独聚为一类,这可能是由于日本四面临海、没有与任何一个国家陆地连接的特殊地理位置造成的。

本研究获得了全球 176 个国家 109 种粉蚧科物种的定殖概率,由于排在前 10 名中的其他物种对国内危害较小,本研究重点讨论了目前尚未在中国定殖的排名在前列且作为经济害虫需要重点防控的 3 个粉蚧科物种。其中,排在第 1 名的截获秀粉蚧是一种重要的寄主范围广泛的水果及林木害虫,寄主包括龙眼、山竹、杧果、荔枝等重要水果(Williams,2004),具有虫体小、繁殖速度快、活动隐蔽性强等特点(奚国华等,2017),攻击整株寄主植物并且危害多种经济作物和景观植物等,易跨境传播(陈展册等,2015)。东盟国家盛产杧果、龙眼、山竹等重要热带水果(田兴山等,2016),随着中国-东盟农产品的贸易迅速增长,且我国华南及云南地区的作物种类、气候环境与东盟国家相似,截获秀粉蚧具有很高的传入风险(李伟丰等,2008)。此外,截获秀粉蚧在美国排名第 4,传入可能性较高,需加强检疫和防控。排在第 2 名的李比利氏灰粉蚧是灰粉蚧属中危害较为严重的种类之一(Betrem,1937),影响成熟果实的外观和品质,造成经济损失(张江涛,2020)。由于我国的气候环境和寄主植物适宜其生长、发育和繁殖,一旦传入将会严重影响我国农林业生产,应加强对该虫的检疫(焦懿等,2011)。排在第 6 名的葡萄绵粉蚧是一种危害园林、水果等经济作物的重要害虫,对葡萄的外观和产量造成严重影响,随苗木、水果等的调运进行远距离传播。与前 2 种粉蚧的 SOM 分析结果比较表明,葡萄绵粉蚧在尚未定殖国家名单排名均较高。因此,我国作为世界鲜食葡萄第一生产大国,需加

强注意和预防该害虫的传入(付海滨等,2010)。

截获秀粉蚧、李比利氏灰粉蚧和葡萄绵粉蚧在我国的定殖风险分别为第 1、第 2 和第 6 名,具有很高的定殖风险。但是该排名所涉及的生态、社会影响较少,由于我国自然环境较复杂,同一外来物种在我国不同地区的生态习性可能具有较大差异(冯佳楠等,2024;李惠茹等,2022)。因此,未来需采用特定地区或特定生态类型的风险评估方法,提高粉蚧入侵风险评估的准确性,为我国粉蚧早期预警和检疫措施提供更可靠的理论依据。

粉蚧是口岸水果检疫过程中常发现的害虫类群,且该类害虫在温湿度等条件适宜的情况下,繁殖能力很强,种群增长迅速,防治困难,传入后难以根除(顾渝娟等,2015;吴福中等,2016)。2013—2016 年间,广西为中国从进境水果上截获粉蚧科昆虫批次最多的口岸,其次是深圳和云南。广西和云南这 2 个口岸进口的水果输出国主要是毗邻的东盟国家,既是中国水果进口的主要边贸口岸,也是粉蚧截获的主要输出国(钟勇等,2019)。因此,应加强口岸检疫,对进境的东盟水果、苗木等高风险植物及其产品的现场检疫和后续监管进一步加强,提升检疫除害处理能力,有效阻止截获秀粉蚧的入侵(奚国华等,2017)。在防治措施方面,目前已经有粉蚧分布的国家和地区,常利用天敌进行防治,多数粉蚧天敌的自然寄生率或捕食率较高,可人为引进或释放天敌并加以保护,维持较高的控制效能(湛安然,2021)。另一方面,可采用化学防治手段,使用大剂量并且反复用药加以控制,但容易造成环境污染、伤害天敌以及造成害虫的再猖獗。

许多危害严重并且在中国尚未发生但是口岸截获频繁的粉蚧尚未被列入检疫名录中,本研究通过分析粉蚧科物种在全球的分布,模拟并计算出其在尚未分布国家的定殖概率和定殖排名。研究结果可为有关部门对加强粉蚧的早期预警和检疫措施提供更具有针对性的决策依据。对筛选出的定殖排名靠前的粉蚧做进一步的潜在地理分布、种群遗传多样性和适应性进化等更全面的风险评估,以促进我国水果贸易的健康发展,为我国乃至全世界的水果产业可持续发展提供技术保障。

参考文献

陈展册, 钟勇, 陈开生, 蔡波, 庞茹文, 刘军义, 奚国华,

2015. 从进口泰国榴莲上截获重要害虫截获秀粉蚧. 植物检疫, 29(6): 77-80.
- 迟志浩, 于艳雪, 周萍, 王聪, 潘绪斌, 2017. 基于有害生物集群的聚类分析在入侵生物定殖研究中的应用. 中国植保导刊, 37(1): 17-22.
- 冯佳楠, 依米提·热苏力, 史博, 张兴, 方艳, 马德英, 2024. 外来入侵杂草假苍耳在新疆地区的适生性分析及风险评估. 生物安全学报, 33(1): 54-59.
- 冯喆, 2018. 沈阳空港植物检疫性有害生物种类鉴定及检疫处理. 硕士学位论文. 沈阳: 沈阳农业大学.
- 付海滨, 曲辉, 李惠萍, 徐卫, 2010. 警惕危险性害虫——葡萄粉蚧入侵我国. 环境昆虫学报, 32(2): 283-286.
- 顾渝娟, 梁帆, 马骏, 2015. 中国进境植物及植物产品携带蚧虫疫情分析. 生物安全学报, 24(3): 208-214.
- 焦懿, 余道坚, 陈志舜, 娄定风, 徐浪, 康林, 2011. 从进口泰国、印度尼西亚和马来西亚山竹上截获重要害虫李比利氏灰粉蚧. 植物检疫, 25(2): 59-61.
- 雷鸣, 2016. 基于 SOM 的玉米有害生物在我国的定殖可能性研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业大学.
- 李德伟, 罗亚伟, 黄杏, 易婷婷, 覃振强, 2023. 高温胁迫对不同地理种群新菠萝灰粉蚧三种酶活性的影响. 环境昆虫学报, 45(3): 659-665.
- 李惠茹, 严靖, 杜诚, 闫小玲, 2022. 中国外来植物入侵风险评估研究. 生态学报, 42(16): 6451-6463.
- 李伟丰, 张君潮, 金薇, 陈开生, 龚秀泽, 2008. 东盟国家植物有害生物传入广西的风险. 植物检疫, 22(3): 174-176.
- 李志红, 秦誉嘉, 2018. 有害生物风险分析定量评估模型及其比较. 植物保护, 44(5): 134-145.
- 闫鹏飞, 孙跃先, 李正跃, 陈霞, 邓裕亮, 张宏瑞, 吕要斌, 2013. 云南省扶桑绵粉蚧的分布和危害. 生物安全学报, 22(4): 237-241.
- 乔艳艳, 肖兴, 魏洪义, 2022. 粉蚧化学生态学研究进展. 环境昆虫学报, 44(2): 305-315.
- 秦誉嘉, 2017. 橘小实蝇在全球的种群结构、定殖风险及潜在分布研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学.
- 任竞妹, 2016. 粉蚧科昆虫 DNA 条形码鉴定技术及数据库的建立. 硕士学位论文. 广州: 华南农业大学.
- 田兴山, 齐国君, 胡学难, 符悦冠, 湛爱东, 曾涛, 何自福, 吕利华, 2016. 中国-东盟重大农业入侵有害生物预警与防控研究进展. 生物安全学报, 25(3): 153-160.
- 王子清, 2001. 中国动物志 昆虫纲 第二十二卷 同翅目 蚧总科. 北京: 科学出版社.
- 吴福中, 刘海军, 刘志红, 李慧萍, 王小勇, 胡学难, 付海滨, 奚国华, 2016. 发生在云南与东盟边境的一种新害虫——热带拂粉蚧(同翅目: 粉蚧科). 生物安全学报, 25(3): 181-184.
- 奚国华, 齐国君, 王书平, 刘军义, 梁琨, 李慧苹, 吴福中, 2017. 基于 MaxEnt 的截获秀粉蚧潜在地理分布预测. 植物检疫, 31(2): 30-34.
- 叶舟颖, 2023. 二战后澳大利亚中等强国外交: 变迁与挑战. 硕士学位论文. 上海: 华东师范大学.
- 湛安然, 2021. 重要粉蚧入侵种及其近似种的快速鉴定技术研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学.
- 张江涛, 2020. 中国臀纹粉蚧族和桤粉蚧族昆虫分类研究(半翅目: 蚧总科: 粉蚧科: 粉蚧亚科). 博士学位论文. 北京: 北京林业大学.
- 赵明, 2020. 粉蚧比较形态学研究(半翅目: 蚧总科: 粉蚧科). 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.
- 钟勇, 刘若思, 周国辉, 马福欢, 黄素萍, 边勇, 李秉然, 2019. 中国进境水果携带粉蚧疫情分析(2013—2016). 生物安全学报, 28(3): 208-212.
- 中华人民共和国生态环境部, 2021. 2020 中国生态环境状况公报. (2021-05-26)[2024-02-18]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/>.
- BETREM J G, 1937. De morporphologie en systematiek van enkele vande vooraamste witte-luizensoorten van Java. *Archief voor de Koffiecultuur in Nederlandsch-Indie*, 11: 1-118.
- PAINI D R, WERNER S P, COOK D C, DE BARRO P J, THOMAS M B, 2010. Using a self-organizing map to predict invasive species: sensitivity to data errors and a comparison with expert opinion. *Journal of Applied Ecology*, 47(2): 290-298.
- QIN Y J, PAINI D R, WANG C, FANG Y, LI Z H, 2015. Global establishment risk of economically important fruit fly species (Tephritidae). *PLoS ONE*, 10(1): e0116424.
- SETH D M, HU J S, 2002. *Closterovirus* infection and mealybug exposure are necessary for the development of mealybug wilt of pineapple disease. *Phytopathology*, 92(9): 928-935.
- SETH D M, ULLMAN D E, HU J S, 1998. Transmission of pineapple mealybug wilt-associated virus by two species of mealybug (*Dysmicoccus* spp.). *Phytopathology*, 88(11): 1224-1230.
- WILLIAMS D J, 2004. *Mealybugs of Southern Asia*. Kuala Lumpur: Southdene.
- WERNER S P, GEVREY M, 2006. Modelling global insect pest species assemblages to determine risk of invasion. *Journal of Applied Ecology*, 43(5): 858-867.