

## 红火蚁入侵浙江的风险分析及防控对策

马学欣<sup>1,3</sup>, 朱玲琴<sup>2</sup>, 叶碧欢<sup>2</sup>, 沈建军<sup>2</sup>, 胡 杨<sup>2</sup>, 陈友吾<sup>2</sup>

(1. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室, 浙江 杭州, 311300;

2. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州, 310023; 3. 景宁畲族自治县林业局, 浙江 景宁, 323500)

**摘要:** 红火蚁 *Solenopsis invicta* 为我国检疫性外来入侵有害生物, 目前已经在我国 12 个省份和地区发生和危害, 与浙江省相邻的福建和江西也是重要发生疫区, 2016 年浙江省首次在金华市被发现并得到了有效控制。为了充分认识其在浙江省发生和危害的风险, 根据有害生物风险分析 (PRA) 程序, 从传入、定殖和扩散的可能性、危害影响和危害管理难度 5 个方面进行定性和定量分析, 结果表明, 浙江省红火蚁的有害生物风险综合评价值  $R=2.41$ , 为高度风险, 应引起高度重视并采取科学的防控措施。

**关键词:** 入侵生物; 红火蚁; 风险分析; 评价; 防控

**中图分类号:** S433      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-3776 (2018) 04-0083-06

## Risk Analysis and Control of *Solenopsis invicta* in Zhejiang Province

MA Xue-xin<sup>1,3</sup>, ZHU Ling-qin, YE Bi-huan<sup>2</sup>, SHEN Jian-jun<sup>2</sup>, HU Yang<sup>2</sup>, CHEN You-wu<sup>2</sup>

(1. Institute of Information Engineering, Zhejiang A&F University, Zhejiang Key Laboratory of Intelligent Monitoring and Information

Technology of Forestry, Hangzhou 311300, China; 2. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China; 3. Jingning She Nationality

Autonomous County Forestry Bureau of Zhejiang, Jingning 323500, China)

**Abstract:** *Solenopsis invicta* had the first occurrence in Jinhua, Zhejiang province in 2016, and was controlled effectively. Pest risk analysis was made by qualitative and quantitative analysis in terms of occurrence, outbreak, spread, potential danger and pest management. The result demonstrated that *S. invicta* had high risk to Zhejiang province, with the comprehensive evaluation of pest risk of 2.41.

**Key words:** invasive pest; *Solenopsis invicta*; risk analysis; control

红火蚁 *Solenopsis invicta* 属膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae 家蚁亚科 Myrmicinae 火蚁属 *Solenopsis* 土栖害虫, 原产于南美洲巴拉那河流域, 现在已经成为一个国际性的外来入侵有害生物, 全球七大洲除南极洲外的许多国家和地区都已受到红火蚁侵入和威胁, 它的入侵危害使当地的农林业生产、公共卫生和安全、人体健康及生态环境等遭受极大破坏, 造成巨大经济损失<sup>[1-2]</sup>。红火蚁的竞争力强, 运输过程中的成活率高, 危险性大, 被世界自然保护联盟 (IUCN) 列为最危险的 100 种入侵有害生物之一, 是世界各国严加防范的检疫性对象, 2006 年被农业部列为 43 种农业检疫性有害生物之一, 2007 年被我国列为进境植物检疫性有害生物<sup>[3]</sup>, 2013 年被国家林业局列为 14 种林业检疫性有害生物之一<sup>[4]</sup>。目前已经在我国 12 个省份和地区发生和危害, 与浙江省相邻

收稿日期: 2018-04-19; 修回日期: 2018-06-15

基金项目: 浙江省省院合作林业科技项目 (2015SY14)

作者简介: 马学欣, 研究生, 从事农林信息化与有害生物防治; Email: 457283836@qq.com。通信作者: 陈友吾, 副研究员, 从事森林保护与有害生物研究; Email: 21853245@qq.com。

的福建和江西也是重要发生疫区<sup>[5]</sup>, 2016年12月, 浙江省首次在金华市发现红火蚁疫情, 经普查, 全市共有4个乡镇(街道)11个村有红火蚁发生, 发生面积为142.4 hm<sup>2</sup><sup>[6]</sup>。从外来生物入侵阶段来看, 红火蚁总体处于早期入侵阶段, 尚未在当地完全定殖, 因此没有造成大面积的繁衍和扩散, 在当地农、林业部门和检疫部门的共同努力下, 疫情已经基本得到有效控制, 但入侵和定殖形势仍然十分严峻<sup>[7]</sup>。为此, 采用定性和定量分析相结合的方法首次对红火蚁在浙江全省范围内发生危害的风险性进行综合评价和分析, 并根据浙江省的实际情况, 制定相应的防控策略, 为浙江省今后红火蚁的预防和控制提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据及资料来源

分析所用红火蚁生物学特性、发生、分布、适生区预测、检疫截获、危害损失等的相关数据和资料均来源于CABI, VIP中文期刊, 万方, CNKI, SCI(科学引文索引), NSTL外文文献等数据库相关文献, 见参考文献[1-30]。

### 1.2 分析方法

依据联合国粮农组织(FAO)国际植物检疫措施标准(ISPM)规定的有害生物风险分析(PRA)程序<sup>[8]</sup>及《林业检疫性有害生物调查总则(GB/T23617-2009)》中关于有害生物风险评估要求<sup>[9]</sup>, 从有害生物进入可能性(P1)、定殖可能性(P2)、扩散可能性(P3)、危害影响(P4)和危害管理难度(P5)5个方面对红火蚁在浙江发生的风险性进行定性和定量分析<sup>[10-12]</sup>, 评估其风险等级和危害性。

## 2 结果分析

### 2.1 定性分析

2.1.1 进入可能性(P1) 红火蚁最早分布在南美洲巴拉那河流域。目前红火蚁已经入侵七大洲除南极洲外的多个国家和地区。国内主要在香港、台湾、广西、广东、海南、福建、江西、湖南、四川、重庆、云南等省份的局部地区发生为害<sup>[13]</sup>。我国与红火蚁主要发生国家和地区贸易交流频繁, 交易货物数量巨大, 红火蚁传入风险高。2005-2014年中国大陆入境口岸从16类进口物品中截获红火蚁近300批次<sup>[5]</sup>, 浙江省金华、宁波和台州口岸近年来也多次截获携带红火蚁的商品<sup>[14]</sup>。同时, 浙江省相邻的福建、江西均已为红火蚁疫区, 疫情发生严重, 浙江省在地理上与这两个疫区省份紧密相连, 经济贸易上相互往来活动频繁, 通过自然或人为传播进入可能性较大。据专家推测金华红火蚁主要由红火蚁疫区广东调入的花卉苗木携带传入。

2.1.2 定殖可能性(P2) 红火蚁适应性极强, 适合在农田、苗圃、果园等多种生境中生存。调查表明, 红火蚁在温度-12.2℃以上或年降雨量大于25 mm的环境中均能生存<sup>[15]</sup>。入侵红火蚁具有社会活动性、多型性、群居地栖性、好攻击性、受惊转移、堆尸习性和杂食性等特点。扩散能力强、繁殖率高、寿命长, 喜欢被人类活动干扰破坏的生境, 能适应广泛的气候条件, 能利用多样性的食物资源, 有较强的防御能力, 种间竞争能力强等特性使红火蚁入侵后往往能迅速成为当地的优势种群<sup>[16]</sup>。浙江省地处北亚热带和中亚热带, 水热条件优越, 植物资源丰富, 自然地理条件多样, 客观上存在红火蚁入侵和定殖的风险。薛大勇等应用CLIMEX和GARP生态位模型预测了红火蚁在中国的潜在分布区为北纬33.4度以南的地区, 包括了广东、福建、浙江等在内的绝大多数南方省市<sup>[17]</sup>。胡树泉等通过综合分析红火蚁的气候限制因素、有效积温和生物气候相似距等, 将长江中下游地区的重庆、湖南、湖北、安徽、江西、浙江、上海等12个省区划分为红火蚁发生危险区<sup>[18]</sup>。陈晨等应用地理信息系统(GIS)对红火蚁在中国的适生区进行了预测, 结果显示浙江大部分地区为红火蚁适生区, 浙江西北部为红火蚁的轻度适生区<sup>[19]</sup>。

2.1.3 扩散可能性(P3) 红火蚁的传播按传播媒介可分为自然传播和人为传播, 按传播距离可分为近距离传播和远距离传播。近距离传播主要通过婚飞、随洪水流动或迁巢等自然传播方式进行扩散, 而远距离传播则

主要是通过人为调运携带红火蚁卵及活体的植物材料、物质及设备等进行长距离的扩散和传播。红火蚁在不同地区的扩展蔓延速度主要受其自身生物学特性、适宜生境资源的多少和社会经济发展程度等多种因素影响<sup>[20]</sup>。在自然扩散方面, 研究显示红火蚁在美国每年以 8 km 速度进行短距离扩散<sup>[21-22]</sup>, 人为的长距离传播速度高达 198 km·年<sup>-1</sup><sup>[23]</sup>。陆永跃用直线距离法计算出我国大陆红火蚁长距离传播速度为 48.1 km·年<sup>-1</sup><sup>[24]</sup>。浙江省地处长三角经济发达地区, 与国内疫区省份的经济物质交流频繁, 对外经济贸易往来也十分活跃, 红火蚁随各种植物材料、物质和设备等的频繁调入和运输而进行传播和扩散的风险十分巨大。

2.1.4 危害影响 (P4) 红火蚁的食性十分复杂, 能够取食植物、昆虫和小型无脊椎动物。其寄主植物范围广泛, 包括向日葵 *Helianthus annuus*, 玉米 *Zea mays*, 大豆 *Glycine max*, 茄 *Solanum melongena*, 落花生 *Arachis hypogaea*, 黄瓜 *Cucumis sativus*, 西瓜 *Citrullus lanatus*, 草莓 *Fragaria × ananassa*, 咖啡黄葵 *Abelmoschus esculentus*, 甘薯 *Dioscorea esculenta*, 柑橘属 *Citrus*, 松属 *Pinus* 植物等超过 400 种<sup>[25]</sup>, 这些植物大都为浙江省重要的经济作物和观赏植物。红火蚁的入侵势必对浙江省的农林业生产造成重大经济损失。此外, 红火蚁的发生还会妨碍农事操作, 破坏灌溉系统, 危害户外电子设备等, 进而危害社会公共安全。红火蚁还具有很强的攻击性, 儿童、老人和过敏体质者受到攻击后容易引起严重不适和各种并发症, 严重危害人体健康。红火蚁还可以和其他物种竞争有限的食物资源, 捕食哺乳类、鸟类及爬虫类的幼雏, 导致其他物种种群数量减少甚至灭绝, 严重危害环境生态安全。总之, 红火蚁的入侵和危害将使浙江省在农林业生产、生态环境、对外贸易、社会公共安全等方面遭受极大损失和破坏。

2.1.5 危险性管理难度 (P5) 由于红火蚁特殊的生物学特性使其具有极强的生态适应性, 适生生境复杂多变, 食性复杂多样, 寄主植物分布广泛, 繁殖力强, 与其它物种的竞争能力强, 传播和扩散容易, 一旦入侵往往成为当地的优势种类。缺少天敌制约, 根除难度大。同时其个体较小, 传播途径多, 且易隐藏在土壤中, 隐蔽性强, 不容易发现, 检疫难度大。鉴定方法上, 主要按照国家标准《红火蚁检疫鉴定方法 (GB/T 23634—2009)》根据红火蚁形态特征、蚁巢形状、攻击性等进行综合判断<sup>[26]</sup>。目前在世界很多国家和地区均有发生和危害, 发生面积广, 监控管理难度大。防治方法上, 主要采用二阶段处理的化学防治法, 即先在红火蚁觅食区散布含生长调节剂的饵剂, 约隔 10 ~ 14 d 再使用低毒化学药剂如氯氰菊酯、阿维菌素等 1 000 ~ 1 500 倍液, 直接灌施于蚁巢。每年防治 2 次, 4 ~ 5 月处理第 1 次, 9 ~ 10 月处理第 2 次, 具有一定效果<sup>[27]</sup>。

2.2 定量分析

2.2.1 风险指标层赋值 根据红火蚁入侵风险的定性分析结果, 参照有害生物风险分析 (PRA) 准则, 构建多指标综合评价指标体系<sup>[28-29]</sup>, 结合浙江省的森林资源、社会经济状况等因素对风险评价的各因子进行分析、判断和赋值 (表 1)。

表 1 浙江省红火蚁多指标风险综合评价  
Table 1 Comprehensive risk assessment of *S. invicta* in Zhejiang province

准则层	评判指标	评判标准	评判依据	赋分
传入可能性P1	浙江分布情况 (P11)	占其适生面积比例大于50% (0), 占适生面积比例20% ~ 50% (1), 占适生面积比例0 ~ 20% (2), 省内无分布 (3)	浙江省发生面积142.4 hm <sup>2</sup> , 全省适生面积10.18×10 <sup>6</sup> hm <sup>2</sup> , 占适生面积0 ~ 20%。	2
	各国的重视程度 (P12)	10个以上的国家将其列为检疫对象 (3), 6 ~ 10个国家将其列为检疫对象 (2), 1 ~ 5个国家将其列为检疫对象 (1), 无 (0)	我国列为检疫对象	1
	运输过程中红火蚁的存活率 (P13)	存活率为0 (0), 存活率在10% ~ 0之间 (1), 存活率在40% ~ 10%之间 (2), 存活率在40%以上 (3)	红火蚁适生性和抗性强, 在运输过程中存活率达40%以上	3
	检疫截获频率 (P14)	经常被截获 (3), 从未被截获或历史上截获过少数几次 (2), 偶尔被截获 (1), (有可能因技术未达到而未能截获, 因而本项不设0级)	国内经常截获, 浙江省多次在金华、杭州和台州等口岸截获	3
定殖可能性P2	红火蚁生物学特性 (P21)	对红火蚁适生无影响 (0); 繁殖能力和抗逆性均较弱 (1); 繁殖能力强, 抗逆性较弱或抗逆性强, 繁殖能力较弱 (2); 繁殖能力和抗逆性都较强 (3)	繁殖能力和抗逆性都较强	3
	浙江可适生地理环境 (P22)	本地区没有适生地理环境条件 (0), 在0 ~ 20%之间 (1), 在20% ~ 50%之间 (2), 在50%以上的地区能够适生 (3)	在浙江省50%以上的地区适合生存	3

表 1（续）

准则层	评判指标	评判标准	评判依据	赋分
扩散可能性P3	传播方式（P31）	没有传播能力（0）；仅能自然传播，传播距离近，传播能力弱（1）；可自然传播和人为传播，传播途径少，传播能力一般（2）；能自然传播也能人为传播，传播途径多，传播能力强（3）	传播途径多，传播能力强	3
	国外分布情况（P32）	在世界0~20%国家有分布（1），在世界20%~50%国家有分布（2），在世界50%以上的国家有分布（3）	在世界0~20%国家有分布	1
	天敌存在可能性（P33）	存在有效的天敌，作用明显（1）；存在天敌，但作用不明显（2）；不存在有效的天敌（3）	目前不存在有效的天敌	3
危害影响P4	危害寄主的种类（P41）	无（0），危害寄主种类1~4种（1），危害寄主种类5~9种（2），危害寄主种类达10种以上（3）	危害的寄主种类达10种以上（报道400多种）	3
	危害寄主的分布面积（P42）	无（0），小于150万hm <sup>2</sup> （1），150万~350万hm <sup>2</sup> （2），危害寄主分布面积达350万hm <sup>2</sup> 以上（3）	危害的寄主分布面积达150万~350万hm <sup>2</sup> ；	2
	受害寄主的潜在损失水平（P43）	对寄主无影响（0），损失面积占寄主分布面积0~1%（1），损失面积占寄主分布面积1%~10%（2），损失面积占寄主分布面积10%~100%（3）	损失面积占寄主分布面积10%以上	3
	是否其他检疫性有害生物的传播媒介（P44）	不传带任何检疫性有害生物（0），传带1种（1），传带2种（2），可以传带3种以上的检疫性有害生物（3）	目前没有传带检其他检疫性有害生物报道	0
危害管理难度P5	非经济方面的潜在损失水平（P45）	无环境、社会 and 生态方面损失（0），对环境、社会 and 生态影响小（1），对环境、社会 and 生态影响中等（2），对环境、社会 and 生态影响大（3）	红火蚁危害对浙江省的生态、社会和环境等能造成严重损失	3
	检疫识别的难度（P51）	鉴定难度大，需要专家进行鉴定，花费时间很长（3）；鉴定难度较大，专门培训的技术人员能识别鉴定，花费时间较长（2）；鉴定难度一般，一般技术人员能识别鉴定，花费时间较短（1）；鉴定难度低，非专业人员即可现场识别鉴定（0）	鉴定难度一般，相关部门技术人员能较快识别鉴定，花费时间较短	1
	除害处理的难度（P52）	常规除害方法几乎完全无效（3）；常规除害方法有一定效果，但除害率在50%以下（2）；常规除害方法效果较好，除害率为50%~100%（1）；常规除害方法非常有效，除害率在100%（0）	采用土壤消毒、化学药剂处理等常规方法进行除害处理，除害率在50%~100%之间	1
	根除难度（P53）	野外防控效果不理想，成本高，难度大（3）；野外防控效果一般，成本偏高，难度较大（2）；野外防控效果较好，成本一般，难度不大（1）；野外防控效果显著，成本低，简便（0）	野外综合防控效果差，成本高，难度大，一旦入侵难以根本清除	3

2.2.2 综合评价值（R）计算 根据各指标之间的数学关系和权重，P1 采用连乘关系，P2，P3，P5 采用累加关系，P4 采用替代关系，进行各指标量化计算<sup>[4]</sup>，具体公式如下：

$$\begin{aligned} P1 &= \sqrt[4]{P11 \times P11 \times P13 \times P14} = 2.06 \\ P2 &= 0.3 \times P21 + 0.7 \times P22 = 3 \\ P3 &= 0.6 \times P31 + 0.2 \times P32 + 0.2 \times P33 = 2.6 \\ P4 &= \text{Max} (P41, P42, P43, P44, P45) = 3 \\ P5 &= (P51 + P52 + P53) / 3 = 1.67 \end{aligned}$$

风险综合评价 R 值的计算：

$$R = \sqrt[5]{P1 \times P2 \times P3 \times P4 \times P5} = 2.41$$

把不同指标层各因子的赋值结果代入上述公式中求得相应结果，最后计算出红火蚁在浙江省的风险综合评价值 R 为 2.41，依据我国外来有害生物风险等级划分标准（见表 2）<sup>[30]</sup>：红火蚁入侵浙江的风险等级为高度危险，其在浙江的入侵风险和定殖风险均较大，有必要采取科学的防控措施。

表 2 我国外来有害生物风险等级划分标准  
Table 2 Criteria for classification of risk of invasive pest in China

评价内容	一	二	三	四
R值区间	2.50≤R<3.00	2.00≤R<2.50	1.50≤R<2.00	1.00≤R<1.50
危险等级	特别危险	高度危险	中度危险	低度危害

### 3 结论与防控对策

分析结果表明, 红火蚁在浙江省为高度危险的外来有害生物。由于浙江省经济发达, 和国内外经济贸易、人员和物质交流十分频繁, 且相邻省份福建和江西均为红火蚁疫区, 浙江省气候温暖湿润适合红火蚁的生长和繁殖, 境内红火蚁的寄主植物资源丰富, 加上金华局部地区已有发现入侵的报道, 因此, 红火蚁在浙江省入侵和扩散的可能性均极高。红火蚁的适应性、抗逆性和繁殖力极强, 一旦在我省定殖、繁衍和扩散, 将对我省的经济社会发展、生态环境和社会公共安全等造成无可挽回的巨大损失, 应该引起政府部门及社会各界的高度重视。根据国内外红火蚁研究成果和防控经验, 结合浙江省的实际情况, 今后应该从以下几个方面采取科学的防控对策, 防止红火蚁在浙江省的入侵和危害。具体如下:

(1) 加强检验检疫。针对浙江省与国内外红火蚁发生区经济贸易、人员和物质交流频繁的特点, 应该加强检验检疫工作, 构建强大的防护网络, 严防红火蚁的入侵和危害。浙江省出入境检验检疫部门应该加强各口岸检疫, 特别是对红火蚁发生国家和地区的进境苗木、花卉、基质、种子、木质包装、集装箱等进行重点检疫, 不断加大查检和检疫力度, 防止国外红火蚁携带传播进入我省。同时, 农林业有害生物防治和检疫部门应该加强对内检疫, 对从疫区调入的植物材料、栽培基质等容易携带红火蚁的产品进行严格的调运检疫并采取有效的检疫处理措施, 有效阻止国内红火蚁发生区的疫情传播蔓延进入我省。

(2) 建立动态监测网络。针对浙江省金华市局部地点已发现红火蚁入侵的情况, 有必要在疫点及其周围的农田、苗圃、果园和林地建立固定监测点, 每个月定期调查监测点疫情发生情况, 通过建立科学的动态监测网络, 及时了解和掌握疫情的发生动态, 严防新疫情发生。确保红火蚁疫情不会进一步扩展蔓延, 同时达到压缩、减缓和扑灭疫情的目标。同时, 考虑到红火蚁常随苗木、花卉、草皮、种子和栽培基质等进行传播的特点, 农林检疫部门尽可能在全省各大型花木市场、苗木基地建立监测点加强监测, 以便能第一时间掌握疫情并采取果断的防控措施。

(3) 加强技术培训。针对浙江省红火蚁监测、防治专业人员、技术缺乏的情况, 应加强红火蚁疫情监测和防治技术培训, 结合全省的有害生物监测点建设和有害生物防控技术培训, 邀请国内外红火蚁研究专家对相关技术人员进行红火蚁生物学特性、检验检疫、综合防控等技术培训, 建立稳定的疫情监测和防治队伍, 一旦红火蚁入侵, 能够在第一时间发现疫情并采取相应的综合防控措施, 把红火蚁消灭在早期入侵阶段, 防止其在当地繁殖和建立稳定的种群, 减轻危害的发生。

(4) 加强宣传。针对社会各界对外来入侵生物红火蚁防范意识薄弱的现状, 应该通过广播、电视、报纸、互联网等媒体和网络加大对红火蚁入侵性和危害性的科普宣传力度, 提高全社会对红火蚁危害性的认识, 形成共同抵制红火蚁入侵的良好氛围, 减少红火蚁入侵浙江的风险。

(5) 加强科学研究。针对红火蚁防治技术和手段相对落后的现状, 政府应加大科研投入, 掌握红火蚁在浙江省的发生、发展规律, 筛选出防治红火蚁的高效低毒药剂, 同时加强国际交流合作, 引进国际上红火蚁防控的新技术、新方法, 切实提高红火蚁的综合防控效果, 有效降低防治成本, 减轻对生态环境的影响。

#### 参考文献:

- [1] MORRILL W L. Dispersal of red imported fire ants by water[J]. *FlEntom*.1974, 57: 39-42.
- [2] MORRISON L W, PORTER S D, DANIELS E, *et al*. Potential global range expansion of the invasive fire ant *Solenopsis invicta*[J]. *BiolInvas*. 2004, 6: 183-191.
- [3] 黄可辉, 黄振. 红火蚁的入侵扩散特点与防范[J]. *植物检疫*, 2011, 25(6): 75-77.
- [4] 国家林业局. 全国林业检疫性有害生物名单 (EB/OL). 中国林业网 <http://www.forestry.gov.cn> 2013-01-18
- [5] 陆永跃, 曾玲. 发现红火蚁入侵中国 10 年: 发生历史、现状与趋势[J]. *植物检疫*, 2015, 29(2): 63-65.
- [6] 李月红. 金华红火蚁发生为害及防控策略[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(12): 2224-2225.
- [7] 徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵——理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 32.

- [8] 陈晓燕, 马平, 余猛, 等. 红火蚁在云南的入侵风险分析[J]. 生物安全学报, 2014, 23(2): 81–87.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 林业检疫性有害生物调查准则: GB/T23617-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [10] 林晓佳, 吴蓉, 武扬, 等. 家木小蠹在中国潜在适生区的 CLIMEX 预测及风险分析[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(6): 68–72.
- [11] 郭晓华, 齐淑艳, 周兴文, 等. 外来有害生物风险评估方法研究进展[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1486–149.
- [12] 张平清, 陈桂林. 有害生物风险评估量化方法探讨[J]. 检验检疫科学, 2006, 16(4): 68–70.
- [13] 黄可辉, 黄振. 红火蚁入侵中国的定性与定量风险分析[J]. 武夷科学, 2010, 26(1): 85–90.
- [14] 黄俊, 吕要斌. 重大外来有害生物红火蚁入侵杭州的风险分析及防控对策[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(4): 676–682.
- [15] 郑剑宁, 范东晖, 施惠祥. 红火蚁的研究与控制[J]. 中华卫生杀虫药械, 2005, 11(3): 186–189.
- [16] 蒋冬荣. 中国红火蚁研究进展[J]. 广西植保, 2008, 21(3): 20–22.
- [17] 薛大勇, 李红梅. 红火蚁在中国的分布区预测[J]. 昆虫知识, 2005, 42(1): 57–60.
- [18] 胡树泉, 徐学荣, 周卫川, 等. 红火蚁在中国的潜在地理分布预测模型[J]. 福建农林大学学报, 2008, 37(3): 205–209.
- [19] 陈晨, 龚伟龙, 胡白石, 等. 基于地理信息系统的红火蚁在中国适生区的预测[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2093–2097.
- [20] 黄俊, 曾玲, 陆永跃. 带土园艺植物传播红火蚁的风险调查[J]. 应用昆虫学报, 2007, 44(3): 375–378.
- [21] VOGT J T, APPELA G, SW M. Flight energetics and dispersal capability of the fire ant, *Solenopsis invicta* Buren[J]. J Insect Physiol, 2000, 46(5): 697–707.
- [22] VINSON SB. Invasion of the red imported fire ant(Hymenoptera: Formicidae): spread, biology, and impact[J]. J AmEntomol, 1997, 43(1): 23–39.
- [23] CALLCOTT A M A, COLLINS H L. Invasion and Range Expansion of Imported Fire Ants(Hymenoptera: Formicidae) in North America from 1918-1995[J]. FEntomol, 1996, 79(2): 240–251.
- [24] 陆永跃. 中国大陆红火蚁远距离传播速度探讨和趋势预测[J]. 广东农业科学, 2014(10): 70–72.
- [25] 赵朔, 丁建云. 北京市红火蚁传入风险评估与防控对策探讨[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(4): 55–57.
- [26] 全国植物检疫标准化技术委员会. 红火蚁检疫鉴定方法: GB/T 23634—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [27] 马英玲. 入侵红火蚁在广西的危害情况及防控对策[J]. 广东农业科学, 2011, 21(3): 82–83.
- [28] 马平, 杜宇, 李正跃, 等. 云南外来入侵有害生物多指标综合评价体系的建立[J]. 植物保护, 2008, 34(3): 99–104.
- [29] 周国梁, 印丽萍, 黄晓藻. 外来生物风险分析指标体系的建立[J]. 植物检疫, 2006, 20(增刊): 16–19.
- [30] 姜莉, 项颖颖, 付均惠, 等. 悬铃木方翅网蝽在泰安的风险评估[J]. 生物灾害科学, 2017, 40(3): 161–164.