



王磊, 陈科伟, 冯晓东, 王晓亮, 陆永跃. 我国大陆红火蚁入侵扩张趋势长期预测 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (2): 339–344.

我国大陆红火蚁入侵扩张趋势长期预测

王磊¹, 陈科伟¹, 冯晓东², 王晓亮², 陆永跃^{1*}

(1. 华南农业大学植物保护学院, 广州 510642; 2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘要: 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种严重危害农林生产、生命健康、公共安全和生态环境的国际性重大外来入侵害虫。2004 年 9 月中国大陆首次发现红火蚁, 2021 年 12 月该蚁已入侵了 12 个省区近 500 个县区。本研究根据中国大陆红火蚁入侵发生县区数量变化, 结合潜在适生区域评价信息, 建立了红火蚁入侵县区数量与入侵时间长度关系模型, 并对入侵县区数量变化趋势作出长期预测。当中国大陆红火蚁潜在入侵县区数量上限分别为 1 400、1 500 和 1 600 个时, 入侵县区数量与入侵时间长度关系模型分别为 $N = 1400 / (1 + e^{5.4048 - 0.1784 T})$ 、 $N = 1500 / (1 + e^{5.4335 - 0.1757 T})$ 和 $N = 1600 / (1 + e^{5.464 - 0.1734 T})$ 。基于以上模型的分析结果显示, 我国红火蚁快速扩散传播从 2009–2010 年开始, 快速扩张期可能持续 26~28 年, 年平均新增县区 41~52 个/年, 预测 2035–2037 年入侵县区数量增长速率将开始减缓, 2041–2043 年及之后将进入缓慢增长期。

关键词: 红火蚁; 扩张; 预测

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 02-0339-06

Long-term predication of red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) expansion in mainland China

WANG Lei¹, CHEN Ke-Wei¹, FENG Xiao-Dong², WANG Xiao-Liang², LU Yong-Yue^{1*} (1. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract: Red imported fire ant (*Solenopsis invicta* Buren) was a dangerous invasive pest, which could have tremendous damage and impact on agricultural and forestry production, human life and health, public safety and ecological environment. *S. invicta* was first detected in mainland China in September, 2004, and now has infected about 500 counties of 12 provinces till December, 2021. Based on the data of infected counties and potential distribution area of *S. invicta* in mainland China, models of the relationship between infected counties of *S. invicta* and invasion duration were established. When maximum quantity of infected counties reached 1 400, 1 500, and 1 600, the models describing the relationship between quantity of infected counties and duration after invading mainland China were presented as $N = 1400 / (1 + e^{5.4048 - 0.1784 T})$, $N = 1500 / (1 + e^{5.4335 - 0.1757 T})$, and $N = 1600 / (1 + e^{5.464 - 0.1734 T})$, respectively. The analysis results based on the above models showed that the rapid expansion period of fire ant in China started from 2009–2010, and could last for 26~28 years with

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD100102); 国家自然科学基金 (32001971); 广东省农业产业技术体系创新团队项目 (2022KJ134)

作者简介: 王磊, 男, 1986 年生, 博士, 讲师, 硕士生导师, 从事昆虫生态学、害虫防治和入侵生物学等研究, E-mail: leiwang@scau.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence: 陆永跃, 博士, 教授, 主要研究方向为入侵生物学、害虫综合治理, E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-02-10; 接受日期 Accepted: 2022-02-15

annual average number of 41 ~ 52 newly infected counties. It was predicted that growth rate of the quantity of infected counties would begin to slow down from 2035 to 2037, and enter a slow growth period from 2041 to 2043 and beyond.

Key words: *Solenopsis invicta*; expansion; predication

传播扩散过程及规律是入侵生物学基础研究中的重要内容,对外来入侵生物的预警和防控具有重要的科学意义和实践价值 (Hastings *et al.*, 2010)。作为一种国际重大外来入侵生物,红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 于 2003 年 9 月首次在我国台湾被发现发生为害,2004 年 9 月在大陆被采集到并鉴定、确认已经入侵 (曾玲等, 2005; 陆永跃等, 2019)。陆永跃等 (2008) 推测该蚁可能是在 1990 年代中期传入中国大陆的。截至 2021 年 4 月,红火蚁已经入侵中国大陆 12 个省 (自治区、直辖市) 的 448 个县级行政区域 (农业农村部办公厅, 2021)。

红火蚁的中长距离传播扩散主要借助于植物和栽培介质运输等人为途径。在美国,红火蚁传播速度约为 16 km/年,最高传播速度可达 198 km/年 (Markin *et al.*, 1971)。在中国,该蚁传播速度约为 26.5 ~ 48.1 km/年 (陆永跃, 2014)。降水和温度是影响红火蚁分布区域的关键因素 (Korzukhin *et al.*, 2001; Morrison *et al.*, 2004), 目前认为在年极限气温 -17.8℃ 以下的地区该蚁无法繁衍和定殖 (Killion and Grant, 1995)。美国的扩散传播记录显示入侵火蚁 (红火蚁和黑火蚁 *Solenopsis richteri*) 入侵的县级区域数量随着入侵时间长度加长而不断增大,呈现较明显的 S 型曲线 (Callcott *et al.*, 1996; Kemp *et al.*, 2000; Williams *et al.*, 2003; USDA-APHIS, 2018)。Pimm *et al.* (1980) 在研究 1965 - 1976 年得克萨斯州红火蚁发生数据以及气候条件对该蚁扩张综合作用的基础上,构建了扩张预测模型,分析认为该州红火蚁入侵县级区域将继续增加。

综合多个关于红火蚁在中国的适生区评估结果,总体上认为长江以南区域均较适宜于红火蚁定殖,但关于该蚁可能入侵和定殖的西部及北部自然地理界限还存在较大争议 (薛大勇等, 2005; 周卫川, 2005; 陈晨等, 2006; 杜予州等, 2007; 沈文君等, 2008; Wang *et al.*, 2018; 柳晓燕等, 2019)。薛大勇等 (2005) 认为红火蚁在中国的自

然扩散北界在山东、天津、河北南部和山西南部。柳晓燕等 (2019) 基于 MaxEnt 模型预测中国红火蚁发生北界为北纬 32.29°, 即江苏南部和安徽中部一线。Wang *et al.* (2018) 研究结果显示北纬 32° 以南地区较适宜红火蚁生存,扩散北界为北纬 34°, 即江苏和安徽北部。这与杜予州等 (2007)、沈文君等 (2008) 预测结果相似。熊焰 (2007) 则认为江苏省处于红火蚁适生区和非适生区的过渡地带,且全境均可发生。由于对温度胁迫和干旱胁迫具有一定的驯化能力,随着入侵区域不断扩大、对气候不断适应,红火蚁在我国的自然传播和生存区域界限可能会有所扩展 (Xu *et al.*, 2009; 许益鏊等, 2009)。

中国红火蚁入侵县级区域数量 2008 年之前处于缓慢增长阶段,增速为 3 ~ 5 个/年; 2009 年之后进入了快速增长阶段,增速为 10 ~ 30 个/年 (陆永跃和曾玲, 2015)。近年来红火蚁在中国扩散传播速度明显增大,新发突发态势明显 (王晓亮等, 2021a)。本文基于已有关于红火蚁入侵区域数量的记录,通过构建入侵区域增长模型,预测了中国大陆红火蚁长期传播扩张趋势,对制定红火蚁监测防控策略等有参考价值。

1 材料与方法

1.1 美国入侵火蚁入侵区域信息来源

美国入侵火蚁入侵分布县区的的数据见表 1,来源于 Callcott *et al.* (1996)、Kemp *et al.* (2000)、Williams *et al.* (2003) 和 USDA-APHIS (2018)。在美国,入侵火蚁是指黑火蚁和红火蚁,黑火蚁于 1910s 年入侵美国,红火蚁被认为是在 1930s 入侵美国 (Callcott and Collins, 1996; Tschinkel, 2006)。1972 年以前,黑火蚁和红火蚁一直被认为是同一物种,所以在美国黑火蚁和红火蚁的入侵县区数量统计是混合在一起的 (Callcott and Collins, 1996)。因此,本文中采用的入侵县区数量数据为黑火蚁和红火蚁侵染的县区数量。

表 1 入侵火蚁在美国入侵的县区数量
Table 1 Number of infected counties of imported fire ant
Solenopsis richteri and *Solenopsis invicta*
in United States

时间 (yy-mm) Date	入侵时间长度 (年) Duration after introduction	入侵县级区域数量 (个) Number of infected counties
1919-12	1	1
1931-12	13	2
1939-12	21	12
1958-12	40	136
1965-12	47	232
1975-12	57	345
1985-12	67	549
1995-12	77	666
1999-12	81	739
2003-12	85	781
2009-12	91	833
2017-12	99	888
2020-12	102	880

注: 入侵火蚁包括黑火蚁和红火蚁。Note: Imported fire ant included black imported fire ant *S. richteri* and red imported fire ant *S. invicta*.

1.2 我国红火蚁入侵区域信息来源

中国大陆红火蚁实际分布信息来源于农业农村部公布的数据 (农业农村部办公厅, 2021), 以及笔者调查获得的部分分布区信息 (陆永跃等, 2008; 陆永跃, 2014)。

1.3 中国大陆红火蚁传播扩散预测

红火蚁在中国适生区域的信息来源于龚伟荣 (2005)、陈晨等 (2006)、陈林 (2007)、杜予州等 (2007)、Xiong *et al.* (2008)、陈浩涛 (2010)、陈晓燕等 (2015)、Wang *et al.* (2018)、柳晓燕等 (2019)。综合以上多个预测结果, 基本上可划出中国大陆红火蚁潜在发生地区, 包括广东、广西、海南、福建、云南、贵州、重庆、湖南、江西、湖北、上海、江苏、安徽、山东南部、陕西南部、甘肃南部、河南中南部、西藏南部、四川大部等, 预计适合发生的县级行政区域总数在 1 400 ~ 1 600 个之间。

表 2 中国大陆红火蚁入侵县区数量
Table 1 Number of infected counties of *Solenopsis invicta*
in mainland China

时间 (yy-mm) Date	入侵时间长度 (年) Duration after introduction	入侵县级区域数量 (个) Number of infected counties
1995-12	1	2
1996-12	2	5
1997-12	3	7
1998-12	4	9
1999-12	5	12
2000-12	6	16
2001-12	7	22
2002-12	8	27
2003-12	9	34
2004-12	10	35
2005-12	11	37
2006-12	12	40
2007-12	13	45
2008-12	14	50
2009-12	15	73
2010-12	16	89
2011-12	17	102
2012-12	18	152
2013-12	19	169
2014-12	20	217
2015-12	21	245
2016-12	22	271
2017-12	23	308
2018-12	24	366
2019-12	25	383
2020-12	26	435
2021-04	27	448

注: 入侵中国大陆最早的时间及 2005 年前入侵县区数量来自于陆永跃等 (2008)。Note: The first-time that fire ant invaded mainland China and the number of infested counties before year of 2005 were from Lu *et al.* (2008).

主要是受环境等因素的制约,外来入侵物种入侵定殖后扩散一般分为时滞期、扩散期、饱和期,时滞期很少或者不发生扩散,扩散期则出现规模扩散,接近饱和期时扩散变慢,而在饱和期时增长减缓(徐汝梅和叶万辉,2003)。对稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* 入侵扩散研究显示,在扩散期其扩散速度也是逐渐增加的且曲线的变化是逐渐平滑的(Andow *et al.*, 1993)。参照上述研究,笔者应用逻辑斯蒂模型描述红火蚁入侵县区数量和入侵时间长度之间关系,并应用所建模型对中国大陆该蚁入侵扩张趋势作了长期预测。

2 结果与分析

2.1 美国红火蚁入侵县级区域数量变化

美国红火蚁入侵县区数量随着时间变化动态明显符合逻辑斯蒂方程(图1)。分析入侵县区数量(N)与入侵时间长度(T)的关系,建立的逻辑斯蒂模型为: $N = 934.1 / (1 + e^{4.7810 - 0.0755 T})$ ($R^2 = 0.9934$, $P < 0.001$)。1910年代黑火蚁(1930年代红火蚁)入侵美国,1920-1940年代所入侵县区数量呈现缓慢上升趋势;1958年至2009年51年里传播扩张速度呈现近乎直线性的快速增长,入侵的县区数量每年增加14个左右。进入2010年代后,美国该蚁入侵县区数量开始进入缓慢增长长期。

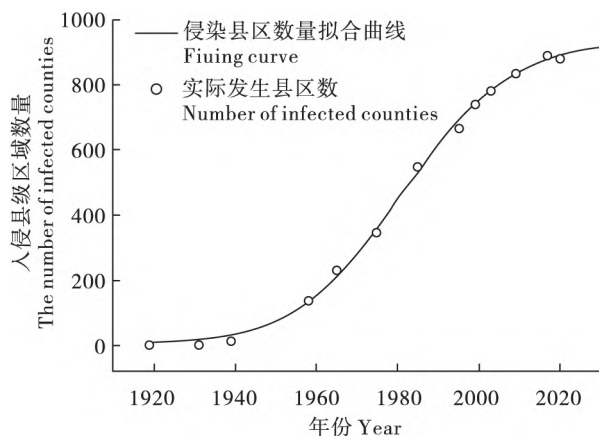


图1 入侵火蚁在美国侵染县级区域数量和时间之间的关系
Fig. 1 Relationship between the year and number of infested counties for imported fire ant *Solenopsis richteri* and *S. invicta* in United States

2.2 中国大陆红火蚁入侵县级区域数量变化

基于表2中数据,绘出红火蚁入侵县区数量与入侵时间长度趋势图(图2),分别以1400、1500、1600作为红火蚁入侵我国大陆潜在县区数量的最大值,建立了相应的入侵县区数量与入侵时间长度关系的逻辑斯蒂模型。当潜在入侵县区数量最大值为1400个时,被入侵县区数量与入侵时间长度关系模型为: $N = 1400 / (1 + e^{5.4048 - 0.1784 T})$ ($R^2 = 0.9972$, $P < 0.001$)。当潜在入侵县区数量最大值为1500个时,被入侵县区数量与入侵时间长度关系模型为: $N = 1500 / (1 + e^{5.4335 - 0.1757 T})$ ($R^2 = 0.9970$, $P < 0.001$)。当潜在入侵县区数量最大值为1600个时,被入侵县区数量与入侵时间长度关系模型为: $N = 1600 / (1 + e^{5.464 - 0.1734 T})$ ($R^2 = 0.9969$, $P < 0.001$)。

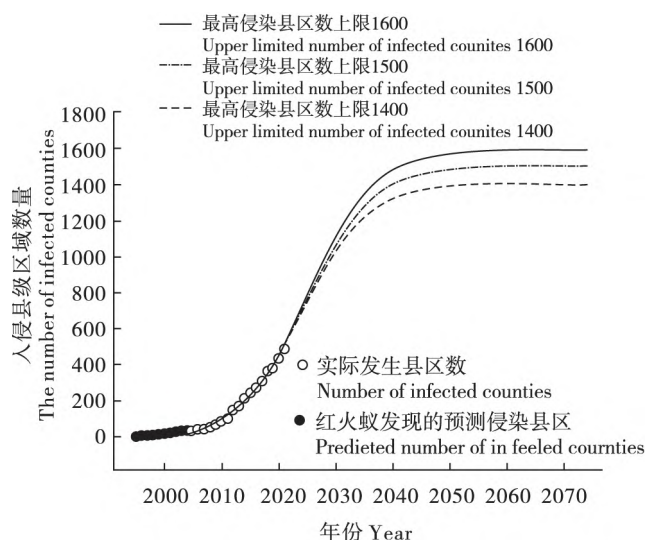


图2 中国大陆红火蚁入侵县级区域数量和时间之间的关系

Fig. 2 Relationship between number of infested counties and the year for *Solenopsis invicta* in mainland China

注: 图中○为红火蚁入侵县区实际数量, ●是陆永跃等(2008)预测2005年前入侵县区数量。Note: ○was the actual number of infested counties; ●was the number of infested counties before 2005 which were from Lu *et al.* (2008).

基于以上3个模型综合分析结果显示,中国红火蚁快速扩散传播期从2009-2010年开始,预测快速扩张期可能持续26~28年,平均入侵县区数量为41~46个/年;如从2021年开始计算,则2022-2035年平均入侵县区数量为44~52个/年。2035-2037年红火蚁入侵县区数量增长速率将开

始减缓, 2041 – 2043 年及之后将进入缓慢增长期, 推测 2040 – 2050 年代中国大陆红火蚁将继续扩张并接近其可忍耐的自然环境极限地区。

3 结论与讨论

研究和明确中国红火蚁未来的传播扩散过程、规律对制定监测防控策略和采取防治措施等具有指导意义, 根据相关增长模型进行模拟和预测对了解红火蚁入侵扩散传播有很大帮助。Pimm *et al.* (1980) 对得克萨斯州红火蚁入侵县扩展的预测结果基本与实际增加数量吻合 (Kemp *et al.*, 2000)。陆永跃 (2014) 依据中国大陆红火蚁分布区信息, 建立了入侵县数量与入侵时间长度关系的模型, 并应用模型预测显示 2015、2018、2020 年被入侵的县级区域数量将达到 188、247、291 个, 低于实际的 245、366 和 435 个, 但扩散增长的速率是基本吻合的。建立模型所依据的基础数据是很重要的, 根据红火蚁发生分布实际情况变化, 不断修正相关模型, 才能更准确地预测其未来发生动态。

根据红火蚁入侵分布县区数据变化, 中国大陆红火蚁快速增长期应该是从 2009 – 2010 年左右开始, 未来一定时期内仍将快速扩张, 预计 2040 年及之后进入缓慢增长期。我国红火蚁远距离传播主要依赖于带土苗木花卉、草皮、盆景、土壤、堆肥、废品等调运。随着我国经济社会发展, 城镇化建设进一步深入, 相关物品调运批次数量巨大 (王晓亮等, 2021b), 红火蚁可能随之传播的风险进一步加剧。美国红火蚁 1950 年代左右进入快速增长期也正好契合了其城镇化进程。

目前我国红火蚁扩张分布还远未达到其可忍耐的自然地理区域极限。上海、江苏、安徽、河南、陕西等具有潜在入侵风险但尚未发生的省市须强化针对性检疫、监测, 做好入侵阻截工作, 一旦发现入侵应大力铲除。北方广泛存在的设施农业区域由于环境条件比较适合, 也存在红火蚁局部点状入侵、季节性发生的风险。因此, 我国阻截红火蚁在广大区域扩散蔓延的压力巨大, 应制定严格检疫阻截措施并全面抓好落实才行。

参考文献 (References)

Andow DA, Kareiva PM, Levins SA, *et al.* Spread of Invasion Organisms: Patterns of Dispersal [M]. New York: John

Wiley, 1993.

Callcott AMA, Collins HL. Invasion and range expansion of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) in North America from 1918 – 1995 [J]. *Florida Entomologist*, 1996, 79 (2): 240 – 251.

Chen C, Gong WR, Hu BS, *et al.* Potential establishment areas of *Solenopsis invicta* in China: A predication based on GIS [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (11): 2093 – 2097. [陈晨, 龚伟荣, 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]

Chen HT. The Major Behavioral Aspects, Supercooling Capability and Risk Assessment of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in Mainland China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Thesis for PhD Degree, 2010. [陈浩涛. 我国红火蚁主要行为特征、抗寒能力及发生风险分析的研究 [D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2010]

Chen L. Research on the Potential Distribution of *Solenopsis invicta* in China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Thesis for PhD Degree, 2007. [陈林. 红火蚁 *Solenopsis invicta* 在我国的潜在分布研究 [D]. 北京: 中国农业科学院博士学位论文, 2007]

Chen XY, Ma P, Li YC, *et al.* The prediction on potential distribution of *Solenopsis invicta* in Yunnan Province based on CLIMEX and ArcGIS [J]. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (3): 34 – 39. [陈晓燕, 马平, 李永川, 等. 基于 CLIMEX 和 ArcGIS 预测红火蚁在云南的潜在适生区 [J]. 植物检疫, 2015, 29 (3): 34 – 39]

Du YZ, Gu J, Guo JB, *et al.* Study on the potential distribution area of invasive alien pest red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40 (1): 99 – 106. [杜予州, 顾杰, 郭建波, 等. 入侵害虫红火蚁在中国的适生性分布研究 [J]. 中国农业科学, 2007, 40 (1): 99 – 106]

General Office of the Ministry of Agriculture and Rural Areas. Notice on printing and distributing the list of national administrative regions for the distribution of agricultural plant quarantine pests [NongBanNong [2021] No. 12] [Z]. 2021 – 04 – 20. [农业农村部办公厅. 关于印发《全国农业植物检疫性有害生物分布行政区名录》的通知 [农办农 [2021] 12 号] [Z]. 2021 – 04 – 20]

Gong WR. A Preliminary Study on the Suitable Area of An Invasive Pest: *Solenopsis invicta* in China [D]. Njing: Nanjing Agricultural University Thesis for Master Degree, 2005. [龚伟荣. 入侵生物红火蚁在我国适生性的初步研究 [D]. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2005]

Hastings A, Cuddington K, Davies K, *et al.* The spatial spread of invasions: new developments in theory and evidence [J]. *Ecology Letters*, 2010, 8: 91 – 101.

Kemp SF, deShazo RD, Moffitt JE, *et al.* Expanding habitat of the imported fire ant (*Solenopsis invicta*): A public health concern [J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2000, 105 (4): 683 – 691.

Liu XY, Zhao CY, Li FF, *et al.* Prediction of potential geographical distribution of *Solenopsis invicta* Buren in China based on MaxEnt [J]. *Plant Quarantine*, 2019, 33 (6): 70 – 76. [柳晓燕, 赵彩

- 云, 李飞飞, 等. 基于 MaxEnt 模型预测红火蚁在中国的适生区 [J]. 植物检疫, 2019, 33 (6): 70–76]
- Lu YY, Liang GW, Zeng L. Study on expansion pattern of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in South China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41 (4): 1053–1063. [陆永跃, 梁广文, 曾玲. 华南地区红火蚁局域和长距离扩散规律研究 [J]. 中国农业科学, 2008, 41 (4): 1053–1063]
- Lu YY, Zeng L, Xu YJ, et al. Research progress of invasion biology and management of red imported fire ant [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2019, 40 (5): 149–160. [陆永跃, 曾玲, 许益鏖, 等. 外来物种红火蚁入侵生物学与防控研究进展 [J]. 华南农业大学学报, 2019, 40 (5): 149–160]
- Lu YY, Zeng L. 10 years after red imported fire ant found to invade China: History, current situation and trend of its infestation [J]. *Plant Quarantine*, 2015, 29 (2): 1–6. [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): 1–6]
- Lu YY. Long-distance spreading speed and trend prediction of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren, in mainland China [J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2014, 41 (10): 70–72, 3. [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, 41 (10): 70–72, 3]
- Markin GP, Diller JH, Hill SO, et al. Nuptial flight and flight ranges of the imported fire ant *Solenopsis saevissima richteri* (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *Journal of Georgia Entomology Society*, 1971, 6: 145–156.
- Pimm SL, Bartell DP. Statistical model for predicting range expansion of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, in Texas [J]. *Environmental Entomology*, 1980, 9 (5): 653–658.
- Tschinkel WR. The Fire Ants [M]. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 2006.
- USAD – APHIS. Plant Protection and Quarantine: Imported fire ant quarantine. 2018.
- Wang HJ, Wang H, Tao ZX, et al. Potential range expansion of the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) in China under climate change [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28 (12): 1965–1974.
- Wang XL, Jiang P, Yan S, et al. Analysis of the outbreak trend of agricultural plant quarantine pests in China [J]. *Plant Protection*, 2021a, 47 (2): 6–10. [王晓亮, 姜培, 闫硕, 等. 近年我国农业植物检疫疫情新发形势分析 [J]. 植物保护, 2021a, 47 (2): 6–10]
- Wang XL, Jiang P, Yan S, et al. Analysis on the origin and transportation agricultural plant quarantine in 2018 [J]. *Plant Protection*, 2021b, 47 (2): 207–213. [王晓亮, 姜培, 闫硕, 等. 2018 年我国农业植物产地检疫和调运检疫情况分析 [J]. 植物保护, 2021b, 47 (2): 207–213]
- Williams DF, Oi DH, Porter SD, et al. Biological control of imported fire ants (Hymenoptera: Formicidae) [J]. *American Entomologist*, 2003, 49 (3): 144–153.
- Xiong Y, Chen JD, Gu ZY, et al. The potential suitability of Jiangsu Province, east China for the invasive red imported fire ant, *Solenopsis invicta* [J]. *Biological Invasion*, 2008, 10: 475–481.
- Xiong Y. Invading Risk Analysis of *Bactrocera dorsalis* Hendel and *Solenopsis invicta* Buren in Jiangsu Province of China [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University Thesis for Master Degree, 2007. [熊焰. 桔小实蝇和红火蚁在江苏省的入侵风险分析 [D]. 南京: 南京农业大学硕士学位论文, 2007]
- Xu RM, Ye WH. Biological Invasion – Theory and Practice [M]. Beijing: Science Press, 2003. [徐汝梅, 叶万辉. 生物入侵 – 理论与实践. 北京: 科学出版社, 2003]
- Zeng L, Lu YY, He XF, et al. Identification of red imported fire ant *Solenopsis invicta* to invade mainland China and infestation in Wuchuan, Guangdong [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (2): 144–148, 230–231. [曾玲, 陆永跃, 何晓芳, 等. 入侵中国大陆的红火蚁的鉴定及发生为害调查 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (2): 144–148, 230–231]