

杭行, 康立冬, 方国斌, 等. 入侵湖北的红火蚁鉴定、发生特征及适生区分析[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(6): 111-117.  
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.06.012

# 入侵湖北的红火蚁鉴定、发生特征及适生区分析

杭行<sup>1</sup>, 康立冬<sup>1</sup>, 方国斌<sup>2</sup>, 刘元明<sup>2</sup>, 秦仙姣<sup>2</sup>, 雷朝亮<sup>1</sup>, 张凯雄<sup>2</sup>, 黄求应<sup>1</sup>

1. 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070; 2. 湖北省植物保护总站, 武汉 430070

**摘要** 为了探明红火蚁入侵湖北省的传播途径、有效监测红火蚁在湖北省的发生状况, 本研究采用形态和分子鉴定技术确定了湖北武汉、黄冈、荆门和宜昌等地采集的蚂蚁样品为红火蚁, 并开展了湖北省红火蚁实地调查与适生性分析。结果发现, 上述新发地属于中等偏重或严重发生区, 红火蚁蚁巢产生了有翅繁殖蚁, 具备婚飞扩散能力。主要传播途径是从我国南方红火蚁发生区引进携带红火蚁的带土苗木。采用AcrGIS系统对红火蚁在湖北省的适生区进行分析, 结果显示, 除了有效积温低和(或)降水量少的湖北西部地区(主要是恩施市)和北部地区(主要是十堰市和神农架林区)外, 湖北省大部分地区的气候条件能够满足红火蚁的生存和繁殖。因此, 加强湖北省红火蚁适生区的植物检疫和监测防控工作十分必要。

**关键词** 红火蚁; 种类鉴定; 传播途径; 适生区; 植物检疫; 生物入侵

**中图分类号** S433 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)06-0111-07

红火蚁(*Solenopsis invicta* Buren)是一种重要的检疫性有害生物, 对我国农业、生态和公共安全等各方面都构成了严重威胁<sup>[1]</sup>。2018年湖北省首次在武汉市蔡甸区发现红火蚁, 2021年又在荆门市、黄冈市和宜昌市发现疫情, 引起了各级植物检疫部门的高度重视。现在红火蚁发生和分布情况的主要调查方法是踏查法和诱集法<sup>[2]</sup>。一般情况下, 野外调查人员可以通过蚂蚁样品的颜色、体长、攻击性以及蚂蚁巢穴外观等特征来判断蚂蚁样品是否为红火蚁<sup>[3]</sup>, 但是对于其他蚂蚁样品, 需要在室内借助仪器设备和分子生物学方法等进行鉴定<sup>[4]</sup>。为探求红火蚁在中国的潜在扩散风险, 目前对红火蚁适生性分析和潜在分布区预测的研究主要采用地理信息系统AcrGIS<sup>[5-6]</sup>、相似高度法CLIMEX<sup>[7]</sup>和MaxEnt模型<sup>[8]</sup>等方法。随着全球气候变化, 湖北省的气候环境可能更加适合红火蚁的生存和繁殖。因此, 有必要科学评估红火蚁在湖北省的适生区, 这对红火蚁未发生区的植物检疫工作具有重要意义<sup>[9]</sup>。

本研究通过使用形态学和分子生物学的方法对湖北省4个调查点的蚂蚁样品进行鉴定, 对确定的红火蚁新发地发生程度和入侵途径进行了实地调查, 综合考虑有效积温、年降雨量、最冷月平均气温

和海拔等气象因子分析, 生成了湖北省红火蚁适生区分布图, 以期弄清红火蚁在湖北省的实际分布情况和潜在的适生区提供基础数据, 并为湖北省红火蚁检疫防控工作提供技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1) 蚂蚁样品采集。本研究鉴定的蚂蚁样品采自湖北省武汉市蔡甸区绿地美湖小区、黄冈市黄州区遗爱湖公园、荆门市钟祥市汇源农谷体验园和宜昌市西陵区体育中心4个发生地。使用诱集器对蚂蚁进行诱集或用铁铲挖出, 装入密封性好的容器中, 带回实验室进行形态学和分子生物学鉴定。

2) 主要实验装置与设备。监测牌(广州瑞丰生物科技有限公司, 中国)、红火蚁采集器(广州瑞丰生物科技有限公司, 中国)、体式显微镜(Stemi 508, ZEISS公司, 美国)、PCR仪(T100™ Themal Cycler, BIO-RAD, 美国)、电泳仪(DYY-5D, 北京六一仪器厂, 中国)、凝胶成像仪(GelDoc™ XR+, BIO-RAD, 美国)。

3) 主要试剂。PDA培养基(青岛日水生物技术有限公司, 中国)、氨苄青霉素(Genview, 美国)、琼脂

收稿日期: 2022-04-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1000500)

杭行, E-mail: 15505557618@163.com

通信作者: 黄求应, E-mail: qyhuang2006@mail.hzau.edu.cn

糖(武汉擎科生物技术有限公司,中国)、MJM5 HiPer Unversal DNA Mini Kit (Mei5 Biotechnology, 中国)、E.Z.N.A.®Gel Extraction Kit(Omega,美国)、金牌 Mix、2×TSINGKE Master Mix(北京擎科生物技术有限公司,中国)等。

## 1.2 形态学鉴定

挑取蚂蚁样品在体式显微镜下观察蚂蚁样品的腹柄结、触角、上颚以及唇基形态,使用Stemi 508体式显微镜观察拍照,与红火蚁的形态特征进行对比鉴定。

## 1.3 分子鉴定

从上述4个地点采集疑似红火蚁巢带回,每个采集地随机选择1巢,每巢随机选择5只蚂蚁,参考杭行等<sup>[4]</sup>的方法,使用MJM5 HiPer Unversal DNA Mini Kit提取基因组DNA。通过特异性引物LCO1490 (5'-GGTCAACAAACATAAA-GATATTGG-3')和HCO2198 (5'-TA-AACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3')扩增蚂蚁样品细胞色素氧化酶I(COI)基因片段。扩增后将PCR产物送至擎科生物公司进行测序,得到COI基因片段序列,并在NCBI数据库中与红火蚁COI基因进行序列比对。

## 1.4 发生程度调查

2021年5—9月,多次对湖北省红火蚁发生地进行实地调查访问,采用目测法调查记录红火蚁发生地蚁巢数量,调查范围为红火蚁发生区向外扩展5~10 m。发现疑似红火蚁蚁丘时,用15 cm长的树枝插入红火蚁巢穴,若30 s内有3只以上工蚁出巢,此巢穴为活动蚁巢,调查结果仅统计活动蚁巢。

参考GB/T 2326—2009《红火蚁疫情监测规程》

对红火蚁发生地进行发生程度分级。实地调查发生地从外地调运带土苗木情况,并询问当地居民及环卫工作人员“是否有被蚂蚁咬伤的经历”“最早什么时候被蚂蚁咬伤”,并对调查地进行拍照记录。

## 1.5 适生性分析

根据国家气象中心提供的2011—2021年湖北省27个基准气象台的经度、纬度、逐日气温和降水量等数据,计算2011—2021年湖北省年平均降水量和年平均有效积温,建立湖北省气温和降水量数据库。

在红火蚁的生长发育过程中,影响红火蚁种群生长发育最重要的气候因子是气温。参考国内外研究,采用17℃作为红火蚁发育起点温度和阈值<sup>[10]</sup>。不同温度对红火蚁个体的成长发育和种群繁殖的影响主要通过有效积温来反映,在国内外红火蚁适生范围预测中,将产生有翅蚁世代的积温510 DD(日度,degree-days)作为有效积温阈值<sup>[11]</sup>,红火蚁在有效积温低于510 DD的地区不能完成繁衍活动。我国红火蚁工蚁的过冷却点为-12℃左右<sup>[12]</sup>,以最冷月平均气温-2℃作为预测红火蚁北扩的限制温度。除温度以外,降水量也限制红火蚁的分布,红火蚁在干旱和半干旱的地区难以进一步扩散。采用国内大部分预测研究的红火蚁潜在划分标准,以年降水量510 mm作为预测临界值<sup>[13]</sup>。海拔高度也在一定程度限制红火蚁的分布,参考陈晓燕等<sup>[14]</sup>的研究方法,以1 000 m为划分界限,超过1 000 m划分为红火蚁非适生区。

参与插值的协变量包括:>510 DD年有效积温、-2℃低温限制因子、>500 mm年平均降水量、<1 000 m海拔高度。将第1个指标作为决定性气候因子,后3个指标作为限制性因子(表1)。对这

表1 红火蚁适生区等级划分

Table 1 Classification for the suitable areas of the red fire ants

等级 Grade	有效积温 Degree-days(DD)	年降水量/mm Annual precipitation	限制温度/℃ Limiting temperature	海拔高度/m Altitude
非适生区 Unsuitable area	< 510	< 510	< -2	> 1 000
轻度适生区 Mildly suitable area	510~1 184	> 510	> -2	< 1 000
适生区 Suitable area	1 185~1 859	> 510	> -2	< 1 000
高度适生区 Most suitable area	> 1 860	> 510	> -2	< 1 000

注:4个评估参数中,有1个或1个以上不能满足条件则划分为非适生区。Note:If one or more of the four evaluation parameters cannot be met,it will be classified as an unsuitable area.

4个图层进行空间叠加分析<sup>[15]</sup>,去除不满足限制性条件因子的区域,将得到的结果图重新插值,用密度间隔的方法分为4个等级,即高度适生区、适生区、轻度适生区和非适生区,并计算各等级所占面积比例。本研究使用的湖北省地图来自湖北省地理信息公共服务平台 (<https://hubei.tianditu.gov.cn/standard-Map>)。

## 2 结果与分析

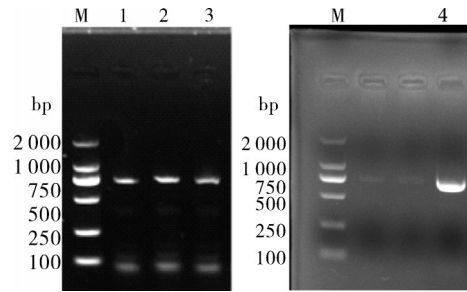
### 2.1 形态鉴定结果

形态鉴定结果显示,采自武汉市蔡甸区、黄冈市黄州区、荆门市钟祥市和宜昌市西陵区4个发生地的蚂蚁样品均具2个腹柄结,第1节腹柄结呈扁锥状,第2节腹柄结呈圆锥状;蚂蚁样品上颚内缘具3个大齿,唇基中齿发达,刚毛明显;触角10节,端部2节成锤棒状;上述特征均与红火蚁特征一致,因此,判定4个发生地的蚂蚁样品均为红火蚁。

### 2.2 分子鉴定结果

以蚂蚁样品DNA为模板,使用通用引物LCO1490、HCO2198进行PCR扩增,经凝胶电泳检测,在300 nm紫光照射下,目标片段条带清晰,长

度为500~750 bp(图1)。



M: DNA 分子质量标准; 1. 荆门市钟祥市; 2. 武汉市蔡甸区; 3. 黄冈市黄州区; 4. 宜昌市西陵区。M: DNA marker; 1. Zhongxiang County, Jingmen City; 2. Caidian District, Wuhan City; 3. Huangzhou District, Huanggang City; 4. Xiling District, Yichang City.

图1 4个蚂蚁样品的COI基因PCR扩增电泳图

Fig.1 PCR product gels of the four sampling ants

湖北省4个采样点蚂蚁样品的COI基因片段长度与红火蚁COI基因相似度以及在NCBI数据库数据比对结果见表2。武汉市蔡甸区、黄冈市黄州区、荆门市钟祥市和宜昌市西陵区蚂蚁样品的COI基因与红火蚁相似度分别为99.90%、99.60%、99.40%和98.0%,4个地点蚂蚁样品COI基因相似度达98%以上的序列ID为HQ215538.1,可见以上4个采样点的蚂蚁样品均可鉴定为红火蚁。

表2 湖北省4个采样点蚂蚁样品的PCR产物序列比对结果

Table 2 The results of sequence alignments of PCR products in sampling ants from the four locations in Hubei Province

采样位置 Sampling sites	PCR产物大小/ bp Sizes of PCR products	与红火蚁COI基因相似度/% Similarity of COI gene with <i>S. invicta</i>	COI基因相似度98%以上种 Species with more than 98% COI gene similarity	相似度最高序列ID(相似度/%) Sequence ID with the highest similarity
武汉市蔡甸区 Caidian District, Wuhan City	688	99.90	红火蚁 <i>S. invicta</i>	HQ215538.1(99.90)
黄冈市黄州区 Huangzhou District, Huanggang City	685	99.60	红火蚁 <i>S. invicta</i>	HQ215538.1(99.60)
荆门市钟祥市 Zhongxiang County, Jingmen City	684	99.40	红火蚁 <i>S. invicta</i>	HQ215538.1(99.40)
宜昌市西陵区 Xiling District, Yichang City	689	98.00	红火蚁 <i>S. invicta</i>	HQ215538.1(98.00)

### 2.3 湖北省红火蚁新发地及其传播途径调查结果

根据上述红火蚁鉴定结果可知,荆门市钟祥市汇源农谷体验园、黄冈市黄州区遗爱湖公园、武汉市蔡甸区绿地美湖别墅区和宜昌市西陵区体育中心均为湖北省红火蚁新发地,发生面积分别为2.67、2.00、6.67、0.33  $\text{hm}^2$ (表3)。上述4个地点红火蚁危害等级均在中等偏重以上,巢体中均发现了有翅繁殖蚁,说

明是成熟蚁巢,入侵定殖时间估计都在3 a以上。实地调查发现,武汉市蔡甸区绿地美湖小区建设过程中并未从外地调运苗木,但该小区与后官湖绿道相连,后官湖又与2018年发生红火蚁的世茂龙湾小区相连,并且2个小区直线距离仅1 km,在红火蚁婚飞扩散距离范围内,推测可能是有翅蚁婚飞扩散而来。黄冈市黄州区遗爱湖公园建造时从南方红火蚁发生区引进了带土的绿化树木,由此携带红火蚁传入该

表3 湖北省红火蚁发生区等级及可能的传播途径

Table 3 Classification of the occurrence areas and possible routes of transmission of the fire ants in Hubei Province

调查地点 Investigating location	调查时间 Observing time	发生地生境 Habitat of occurrence sites	发生面积/hm <sup>2</sup> Occurrence area	等级划分* Classification*	可能传播途径 Possible routes of transmission
钟祥市汇源农谷体验园 Huiyuan Agricultural Valley Experiencing Park, Zhongxiang County	2021.05.15	田地、马路边、庭院 Farmland, Roadside, Yard	2.67	严重发生区 Heavy occurrence area	从南方红火蚁发生区引入三角梅和椰子树 Bougainvillea and coconut palms were introduced from the areas with red imported fire ants in southern China
黄州区遗爱湖公园 Yiai Lake Park, Huangzhou District	2021.05.19	草坪 Lawn	2.00	中等偏重发生区 Medium to heavy occurrence area	从南方红火蚁发生区调运绿化树木 Greening trees were introduced from the areas with red imported fire ants in southern China
蔡甸区绿地美湖 Greenland Beautiful Lake Community, Caidian District	2021.05.17	荒地、草坪、马路边 Wasteland, Lawn, Roadside	6.67	严重发生区 Heavy occurrence area	世茂龙湾小区蚁巢中有翅蚁婚飞 Swarming of alates from the fire ant nests in Shimao Longwan Community
西陵区体育中心 Sports Center, Xiling District	2021.09.24	草坪、绿化带 Lawn, Greenbelt	0.33	中等偏重发生区 Medium to heavy occurrence area	从南方红火蚁发生区调运草皮 Green swards were introduced from the areas with red imported fire ants in southern China

注:\* 等级划分: 未发生区, 平均100 m<sup>2</sup>蚁巢数量0个; 轻度发生区, 平均100 m<sup>2</sup>蚁巢数量0.1~1个; 中度发生区, 平均100 m<sup>2</sup>蚁巢数量1.1~5个; 中等偏重发生区, 平均100 m<sup>2</sup>蚁巢数量5.1~10个; 严重发生区, 平均100 m<sup>2</sup>蚁巢数量超过10个。Note: \* Classification: No-occurring areas, the average nests number of 100 m<sup>2</sup> is 0; mild occurrence area, the average nests number of 100 m<sup>2</sup> is 0.1-1; moderate occurrence area, the average nests number of 100 m<sup>2</sup> is 1.1-5; medium to heavy occurrence area, the average nests number of 100 m<sup>2</sup> is 5.1-10; heavy occurrence area, the average number of ant nests of 100 m<sup>2</sup> exceeds 10.

公园的可能性大, 由于当地缺乏红火蚁防治技术专业人 员, 公园管理部门在发现红火蚁后, 请非专业人员进行防治导致红火蚁扩散蔓延。钟祥市汇源农谷体验园的红火蚁可能是在温室建造时从南方红火蚁发生区引进带土的三角梅和椰子树携带而来, 由于一直饲养在温室中温度适宜, 红火蚁在该地成功越冬, 工作人员在温室内外活动使得红火蚁扩散到温室周围的水田和草坪, 并通过有翅蚁婚飞扩散建立新巢。对宜昌市西陵区体育中心进行访问调查, 发现红火蚁蚁巢集中在体育中心篮球场旁的草坪、杂草丛中, 数量多; 在该体育中心绿化地建设初期, 从南方红火蚁发生地区引入草皮和绿化树木, 可能由此携带红火蚁传入。

#### 2.4 湖北省红火蚁适生区的划分

由图2可知, 湖北红火蚁的轻度适生区、适生区与高度适生区分布广, 其中轻度适生区占湖北省面积的13.52%, 适生区占湖北省面积的12.97%, 高度适生区占湖北省面积的39.42%, 占湖北省总面积的65.91%, 涵盖了已发现红火蚁定殖的武汉市蔡甸区、荆门市钟祥市、黄冈市黄州区和宜昌市西陵区。湖北省红火蚁非适生区主要分布在十堰市、神农架林

区、襄阳市中北部和中东部地区、宜昌市中北部和西南部地区 and 恩施土家族苗族自治州的大部分地区, 占湖北省面积的34.09%。此外, 在湖北省其他城市的少部分地较高朝北的地区也是红火蚁的非适生区。

### 3 讨论

自2018年在湖北省武汉市首次发现红火蚁以来, 又陆续在湖北省的荆门市、黄冈市和宜昌市等地发现红火蚁疫情, 其发生呈现不断蔓延趋势。为了探明红火蚁入侵湖北省的传播途径, 有效监测和控制红火蚁在湖北省的发生和危害, 本研究开展了湖北省红火蚁发生程度调查、种类鉴定和适生性分析。采用形态鉴定和分子鉴定相结合的方法, 可准确鉴定出蚂蚁样品的具体种类<sup>[4]</sup>。

红火蚁的传播一方面是通过自然扩散, 一般传播距离较短; 另一方面, 红火蚁通过人类活动传播, 如园林、苗木、机具设备和物资调运等, 可以远距离传播<sup>[16-17]</sup>。不同土地利用类型对红火蚁时空扩散影响较大, 例如Lin等<sup>[18]</sup>调查了中国台湾地区2个危害程度不同的红火蚁发生区, 发现水田、主干道和仓库

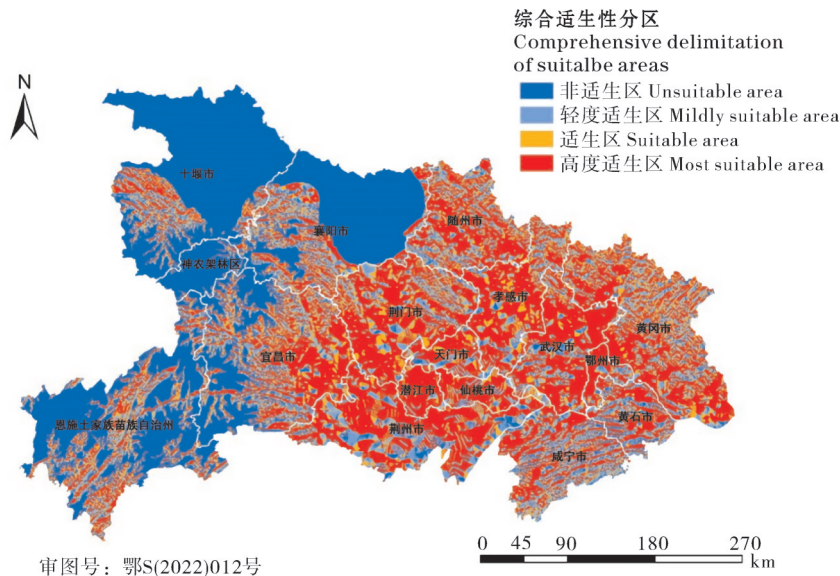


图2 湖北省红火蚁适生区分布图

Fig. 2 Distribution of the suitable areas of the fire ants in Hubei Province

是主要的3种扩散源,是防控红火蚁扩散传播的重点区域。本研究通过对湖北省红火蚁新发生地的调查发现,红火蚁主要通过苗木调运传入湖北,调运的苗木来自南方红火蚁发生区,红火蚁定殖成功后可能通过婚飞进一步扩散到周边地区。已确定的湖北省红火蚁发生区的危害等级均在中等偏上,而且在巢体中均发现有翅繁殖蚁,说明其为成熟的红火蚁蚁巢,入侵定殖时间估计在3 a以上。在一些红火蚁发生区,由于缺乏防治经验,采用喷洒液体农药的防治方法导致红火蚁防治效果甚微,甚至出现红火蚁巢体扩散的情况,因此采用正确的监测防控方法对控制红火蚁的蔓延十分关键。二阶段处理法是将毒饵诱杀法与单巢药剂处理法结合。不仅防治效果好,见效快,而且降低了化学药剂使用量,结合了2种方法的优点。此方法在美国和澳大利亚已经成熟<sup>[19]</sup>,也是目前使用最普遍的方法。

适生性分析能够对外来物种起到早期预警作用<sup>[20-21]</sup>。薛大勇等<sup>[22]</sup>利用2种生物气候模型(CLI-MEX和GARP),以美国现有资料为基础数据进行拟合,预测山东、天津、河北南部和山西南部是红火蚁的自然扩散最北界限。Song等<sup>[23]</sup>利用MaxEnt模型预测了中国未来气候条件下红火蚁的适生区面积,主要位于中国南部和东南部,未来红火蚁的适生面积将向高纬度地区扩展。本研究预测发现,除湖北省十堰市、神农架林区以及襄阳市、宜昌市和恩施土家族苗族自治州的部分地区因为有效积温低和(或)年降雨量少,无法满足红火蚁的定殖条件外,其

他地区分别属于红火蚁的轻度适生区、适生区与高度适生区,占到湖北省总面积的65.91%,这对湖北省红火蚁检疫防控工作提出了很大挑战。

鉴于红火蚁传播速度快、对生物多样性和生态环境危害大和在湖北省适生区广的特点,湖北省植物检疫部门对红火蚁新发地应加强植物检疫,防止调运带有红火蚁的苗木,对红火蚁发生省份调运进入湖北省的苗木、物资等应加强检疫审查,以免再次带入红火蚁。同时,应该通过广播、电视和网络媒体等向民众宣传科普红火蚁的识别特征和危害,让广大群众积极主动报告疑似红火蚁的情况,及早向相关技术鉴定部门报送蚂蚁样品,若确定后尽快采取行之有效的红火蚁根除措施,阻断红火蚁在湖北省进一步蔓延。

## 参考文献 References

- [1] 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 Y Y,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(in Chinese with English abstract).
- [2] 方栋栋.红火蚁(膜翅目:蚁科)监测盒研制及其在集装箱检疫中的应用[D].广州:中山大学,2011.FANG D D.Studies on monitoring box of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera:Formicidae) and its application in container quarantine [D].Guangzhou:Sun Yat-sen University,2011(in Chinese with English abstract).
- [3] 黄俊,王丽坤,智伏英,等.基于外部形态特征的红火蚁野外快速识别方法研究[J].环境昆虫学报,2018,40(3):715-720.

- HUANG J, WANG L K, ZHI F Y, et al. Study on the method for rapidly identifying red imported fire ant based on external morphological characters[J]. Journal of environmental entomology, 2018, 40(3): 715-720(in Chinese with English abstract).
- [4] 杭行, 方国斌, 张凯雄, 等. 红火蚁与其他3种蚂蚁形态比较及分子鉴定[J]. 植物检疫, 2021, 35(4): 39-44. HANG X, FANG G B, ZHANG K X, et al. Morphological comparison and molecular identification of *Solenopsis invicta* and other three ants[J]. Plant quarantine, 2021, 35(4): 39-44(in Chinese with English abstract).
- [5] 周卫川. 红火蚁在中国的地理分布预测[J]. 植物检疫, 2005, 19(3): 155-157. ZHOU W C. Prediction of geographical distribution of red fire ants in China[J]. Plant quarantine, 2005, 19(3): 155-157(in Chinese).
- [6] 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 C, GONG W R, HU B S, et al. Potential establishment areas of *Solenopsis invicta* in China: a prediction based on GIS[J]. Chinese journal of applied ecology, 2006, 17(11): 2093-2097(in Chinese with English abstract).
- [7] 沈文君, 王雅男, 万方浩. 应用相似离度法预测红火蚁在中国适生区域及其入侵概率[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1673-1683. SHEN W J, WANG Y N, WAN F H. Application of analogy deviation to predict potential distribution of *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae) and its invasion probability in China[J]. Scientia agricultura sinica, 2008, 41(6): 1673-1683(in Chinese with English abstract).
- [8] 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. LIU X Y, ZHAO C Y, LI F F, et al. Prediction of potential geographical distribution of *Solenopsis invicta* Buren in China based on Max-Ent[J]. Plant quarantine, 2019, 33(6): 70-76(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈林, KORZUKHIN M D, 程登发, 等. 基于GIS和气候、种群动态模型的红火蚁适生性分析[J]. 植物保护学报, 2006, 33(4): 384-390. CHEN L, KORZUKHIN M D, CHENG D F, et al. The analysis for the red imported fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) distribution in China based on 3S technology, climate model and colony dynamic model[J]. Journal of plant protection, 2006, 33(4): 384-390(in Chinese with English abstract).
- [10] SUTHERST R W, MAYWALD G. A climate model of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta* Buren (Hymenoptera: Formicidae): implications for invasion of new regions, particularly Oceania[J]. Environmental entomology, 2005, 34(2): 317-335.
- [11] 黄胜先, 陈晓琴, 杨茂发, 等. 红火蚁卵、幼虫和蛹发育起点温度和有效积温研究[J]. 植物检疫, 2012, 26(4): 16-18. HUANG S X, CHEN X Q, YANG M F, et al. Study on developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Solenopsis invicta* egg, larvae and pupae[J]. Plant quarantine, 2012, 26(4): 16-18(in Chinese with English abstract).
- [12] 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, 2010. CHEN H T. The major behavioral aspects, supercooling capability and risk assessment of *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in China's mainland[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010(in Chinese with English abstract).
- [13] KORZUKHIN M D, PORTER S D, THOMPSON L C, et al. Modeling temperature-dependent range limits for the fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in the United States[J]. Environmental entomology, 2001, 30(4): 645-655.
- [14] 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. CHEN X Y, MA P, LI Y C, 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(in Chinese with English abstract).
- [15] 肖风劲, 欧阳华, 孙江华, 等. 森林生态系统健康评价指标与方法[J]. 林业资源管理, 2004(1): 27-30. XIAO F J, OUYANG H, SUN J H, et al. Forest ecosystem health assessment indicators and methods[J]. Forest resources management, 2004(1): 27-30(in Chinese with English abstract).
- [16] VOGT J T, APPEL A G, S WEST M. Flight energetics and dispersal capability of the fire ant, *Solenopsis invicta* Buren[J]. Journal of insect physiology, 2000, 46(5): 697-707.
- [17] 张绍红, 庄永林, 刘勇. 红火蚁在世界的潜在分布和我国的检疫对策[J]. 植物检疫, 2006, 20(2): 126-127. ZHANG S H, ZHUANG Y L, LIU Y. Potential distribution of fire ants in the world and quarantine countermeasures in China[J]. Plant quarantine, 2006, 20(2): 126-127(in Chinese).
- [18] LIN C H, WEN T H, LIU Y H, et al. Elucidating how the red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) diffused spatiotemporally among different landscapes in north Taiwan, 2008-2015[J]. Ecology and evolution, 2021, 11(24): 18604-18614.
- [19] BENSON E P, ZUNGOLI P A, RILEY M B. Effects of contaminants on bait acceptance by *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae)[J]. J Econ Entomol, 2003, 96: 94-97.
- [20] AUSTIN M P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling[J]. Ecological modelling, 2002, 157(2/3): 101-118.
- [21] LOCKWOOD J L, HOOPEES M F, MARCHETTI M P. Non-natives: pluses of invasion ecology [J/OL]. Nature, 2011, 475(7354): 36[2022-04-30]. <https://doi.org/10.1038/475036c>.
- [22] 薛大勇, 李红梅, 韩红香, 等. 红火蚁在中国的分布区预测[J]. 昆虫知识, 2005, 42(1): 57-60. XUE D Y, LI H M, HAN H X, et al. A prediction of potential distribution area of *Solenopsis invicta* in China[J]. Entomological knowledge, 2005, 42(1): 57-60(in Chinese with English abstract).

- [23] SONG J Y, ZHANG H, LI M, et al. Prediction of spatiotemporal invasive risk of the red import fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), in China [J/OL]. *Insects*, 2021, 12 (10) : 874[2022-04-30]. <https://doi.org/10.3390/insects12100874>.

## Identification, occurrence characteristics and suitable area analysis of red imported fire ant, *Solenopsis invicta* in Hubei Province

HANG Xing<sup>1</sup>, KANG Lidong<sup>1</sup>, FANG Guobin<sup>2</sup>, LIU Yuanming<sup>2</sup>,  
QIN Xianjiao<sup>2</sup>, LEI Chaoliang<sup>1</sup>, ZHANG Kaixiong<sup>2</sup>, HUANG Qiuying<sup>1</sup>

1. College of Plant Science & Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Vegetational Protection Union Station of Hubei Province, Wuhan 430070, China

**Abstract** In order to find out the transmission route of red imported fire ants (*Solenopsis invicta* Burren) in Hubei Province and effectively monitor their occurrence, in this study, ant samples collected from Wuhan, Huanggang, Jingmen and Yichang were identified as red fire ants by morphological and molecular identification techniques, and field investigation and suitability analysis of red fire ants in Hubei Province were carried out. The results showed that the newly occurring areas were moderately heavy or severe, and the nests of red fire ants produced winged reproductive ants, which had the ability of marital flight and dispersal. The main transmission route was to introduce the soil nursery plants carrying red fire ants from the occurrence areas of red fire ants in southern China. AcrGIS system was used to analyze the suitable habitat of red imported fire ants in Hubei Province, and the results showed that the climate conditions in most regions of Hubei Province could satisfy the survival and reproduction of fire ants except for the western region of Hubei Province (mainly Enshi City) and the northern region (mainly Shiyan and Shennongjia Forest Region), where the effective accumulated temperature was low and (or) rainfall was less. Therefore, it is necessary to strengthen plant quarantine, monitoring and control in the suitable areas of red fire ants in Hubei Province.

**Keywords** *Solenopsis invicta*; species identification; transmission route; suitable area; plant quarantine; biological invasion

(责任编辑:边书京)