应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2015, 52(2): 454–460. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2015.051

椰子木蛾在中国的适生区预测*

阎 伟[1,2**] 刘 丽[1] 李朝绪[1***] 黄山春[1] 吕宝乾[3]
覃伟权[1***] 彭正强[3] 骆有庆[2]

（1. 中国热带农业科学院椰子研究所，文昌 571339；2. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室，北京 100083；3. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，海口 571101）

摘 要 **【目的】** 椰子木蛾 *Opisina arenosella* Walker 是 2013 年在海南、广东和广西等地新发现的棕榈植物的危险性入侵害虫，其入侵范围有不断扩大的趋势。**【方法】** 应用 CLIMEX 软件对椰子木蛾在中国的潜在适生区进行了分析。**【结果】** 结果表明椰子木蛾在中国适生范围广，长江以南广大地区均是其高度适生区。**【结论】** 这些区域是我国棕榈植物的主要分布区，建议加强检疫和监测措施，防止其进一步扩散。

关键词 椰子木蛾，CLIMEX，适生区，预测

Prediction of suitable habitat for the coconut black-headed caterpillar, *Opisina arenosella* (Walker) in China

YAN Wei[1,2**] LIU Li[1] LI Chao-Xu[1***] HUANG Shan-Chun[1] LÜ Bao-Qian[3]
QIN Wei-Quan[1***] PENG Zheng-Qiang[3] LUO You-Qing[2]

(1. Coconut Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Wenchang 571339, China; 2. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China)

Abstract **[Objectives]** The coconut black-headed caterpillar (BHC), *Opisina arenosella* Walker, a dangerous invasive pest of palm trees, has been newly found in Hainan, Guangdong and Guangxi in 2013, and is spreading further. **[Methods]** The potential geographic distribution of BHC was studied using CLIMEX. **[Results]** The results show that this species has a broad potential range in China and that the region south of the Yangtze River contains highly suitable habitat with suitable host plants for this pest. **[Conclusion]** Quarantine and monitoring measures should be enhanced in order to prevent the spread of this pest.

Key words *Opisina arenosella*, CLIMEX, favorable area, prediction

椰子木蛾 *Opisina arenosella* Walker 异名 *Nephantis serinopa* Meyrick 属鳞翅目 Lepidoptera 木蛾科 Xyloryctidae 椰木蛾属 *Opisina*，又名椰子织蛾、黑头履带虫、椰蛀蛾（李后魂等，2014），是棕榈科植物的重要食叶类害虫，国家林业局于 2014 年将其增补为林业危险性有害生物（国家林业局，2014），椰子木蛾起源于印度和斯里兰卡（Rao，1924；Lever，1969），后扩散至缅甸、巴基斯坦、泰国、孟加拉国、马来西亚、印度尼西亚（Alam，1962；Venkatesan *et al.*，2009；阎伟等，2013）。我国于 2013 年在海南万宁发现该虫为害，目前已在海南 9 个市县、广东（中山和顺德）和广西（防城港）相继发现该虫（陆永跃和王敏，2013；李后魂等，2014），在海南

* 资助项目 Supported projects：海南省重点科技计划（ZDXM20130049）；海南省重大科技项目（ZDZX2013008-2）；海南省自然科学基金（20153064）；基本科研业务费（1630042014009）

**第一作者 First author，E-mail：andy206@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：chaoxulii@126.com；qwq268@126.com

收稿日期 Received：2014-11-25，接受日期 Accepted：2015-01-26

局部地区已形成椰子木蛾种群。该虫主要以幼虫从棕榈科植物的下部叶片向上危害，将叶肉吃光，使叶片形成干枯状，幼虫在叶片背面形成蛀道，蛀道内粪便与其吐丝交织。椰子木蛾危害一般致使叶片损失 13% 以上，虽然较少造成棕榈植物直接死亡，但严重影响棕榈植物生长（Mohan *et al.*，2010），严重影响到棕榈植物的美观和安全生产。

椰子木蛾已发生区与我国南方热带、亚热带棕榈科植物分布区具有相似的生物气候，且椰子木蛾的主要寄主在我国南方分布广泛，理论上我国南方热带、亚热带广大区域均是椰子木蛾的潜在地理分布区。此外，我国与东盟国家贸易频繁，给椰子木蛾的远距离传播打开了方便之门。据统计，2008 年中国检验检疫部门截获外来生物最多的 10 个国家中，东盟国家有 4 个，分别是泰国（13 868 批次）、马来西亚（13 492 批次）、越南（4 623 批次）和缅甸（4 041 批次）（万方浩等，2009）。上述 4 个国家中除越南外，目前均有椰子木蛾为害，因此该虫很有可能通过棕榈植物苗木和产品贸易向我国扩散。椰子木蛾作为一种新发现入侵害虫，有效的监测手段是控制其扩散蔓延的关键环节，对其潜在适生区进行预测则是实施监测的前提和基础。CLIMEX 生态气候模型被广泛应用于外来有害生物的潜在适生区预测，如松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* (Stener et Buhrer) Nicker、湿地松粉蚧 *Oracella acuta* (Lobdell) Ferris、葡萄根瘤蚜 *Daktulosphaira vitifoliae* Fitch 的适生区分析等（姚剑等，2011；何善勇等，2012）。

本研究根据椰子木蛾原产地及入侵地的分布资料，对该虫在我国可能的适生区域做出预测，以期为检疫部门及时采取措施控制椰子木蛾在我国的进一步扩散蔓延提供基础依据。

1　材料与方法

1.1　适生区预测软件

本研究采用澳大利亚 Hearne Scientific Software 公司出版的 CLIMEX 3.0 软件，采用的功能模块为单物种地区比较（Compare Location (1 species)）。该软件假设气候是影响生物物种地理分布和种群数量的主要因素，并假设物种在 1 年内经历适合种群增长时期和不适合以至于危及生存的两个时期。最终适生结果以模拟计算出的生态气候 EI 值作为评判依据（宋红敏等，2004）。

1.2　中国气象数据

从中国气象科学数据共享网（http://cdc.cma.gov.cn/）下载到中国 722 个气象站点的地面气候标准值月值数据集（1971—2000），按照 CLIMEX 的格式要求整理后，从 MetManager 中导入 CLIMEX 软件，最终得到全国 734 个站点气象数据。

1.3　椰子木蛾生物生态学基础数据

温度：作者研究发现卵、幼虫、蛹和整个世代的发育起点温度分别是（19.7 ± 1.2），（17.9 ± 3.1），（12.9 ± 4.2）和（12.7 ± 2.4）℃，有效积温分别为（45.0 ± 6.7），（454.4 ± 125.4），（151.2 ± 51.9），（1 015.4 ± 152.4）日 · 度。在 16~40℃ 条件下，成虫均能产卵，但在 24~36℃ 温度区间内产卵量最大。卵只能在 24~36℃ 温度区间内孵化，24℃ 时孵化率最高（67 %），36℃ 时最低（45%）。幼虫只能在 24~32℃ 的温度区间内才能完成发育（另文发表）。Nirula（1956）观察发现椰子木蛾在室温下（26℃），卵期大约 5~8 d，幼虫期 42~48 d，蛹期 12 d，成虫寿命 5~8 d，完成一个世代需 2~2.5 个月，1 年发生 4~5 代。

湿度：有关该虫与湿度的关系研究文献较少。Jalalai 等（2005）认为该虫的暴发主要与高湿的环境条件有关，结合该虫主要分布在热带季风和雨林气候环境的特点，可以推断该虫喜欢湿润的生长条件。

1.4　预测方法

利用 CLIMEX 预测适生区通常包括 3 个主要流程，即物种参数设置、运行计算和结果处理，其中运行计算有软件自动完成。

参数设置：综合考虑软件自带的相关气候物

种模板数据和查阅文献所得的椰子织蛾生态学数据进行参数设置。分析椰子木蛾的已知分布地可知其主要分布在热带季风、热带雨林和沙漠 3 种气候环境之中，属于热带昆虫。因此选择了软件自带的热带湿润气候模板和沙漠气候模板两种模板数据，结合文献中的生物生态学数据，设置椰子织蛾的初始参数，并预测其在全世界的分布情况，对比预测结果与实际分布情况，不断调试参数值，当预测结果与实际情况相符合时确定了最终使用的 17 个参数值，具体如表 1 所示。

结果处理：参照 Chejara 等(2010)的 EI 划分标准，将椰子木蛾在我国的适生水平划分为 4 种程度：EI = 0，为非适生区；0＜EI≤ 10，为边缘适生区；10＜EI≤ 20，为中度适生区；EI＞20，为高度适生区。运用 ArcMap 9.3 软件进行反距离加权插值分析，生成历史气象条件下椰子木蛾在中国的气候适生区分布图。

表 1 椰子木蛾 CLIMEX 参数值
Table 1 CLIMEX parameter value of *Opisina arenosella*

CLIMEX 参数 CLIMEX parameter	热带湿润物种模板 Moist tropical species template	沙漠物种模板 Desert species template	温带模板 Temperate template	修正后参数值 Modified value
发育起点温度(DV0) The lower temperature threshold (DV0)	15	15	8	15.8
适宜温度下限(DV1) The lower optimum temperature (DV1)	28	25	18	24
适宜温度上限(DV2) The upper optimum temperature (DV2)	33	40	24	36
发育最高温度(DV3) The upper temperature threshold (DV3)	36	44	28	40
有效积温(PDD) Effective degree days (PDD)	0	0	600	1 015.4
冷胁迫开始积累的温度阈值(TTCS) The cold stress temperature threshold (TTCS)	2	2	0	2
冷胁迫积累速率(THCS) The cold stress temperature rate (THCS)	0	－0.001	0	－0.05
热胁迫开始积累的阈值(TTHS) The heat stress temperature threshold (TTHS)	37	44	30	42
热胁迫积累速率(THHS) The heat stress temperature rate (THHS)	0.0002	0.001	0.005	0.001
发育需要的最低土壤湿度(SM0) Lower soil moisture threshold (SM0)	0.35	0	0.25	0
适宜发育需要的土壤湿度下限(SM1) Lower optimum soil moisture (SM1)	0.7	0.001	0.8	0.3
适宜发育需要的土壤湿度上限(SM2) Upper optimum soil moisture (SM2)	1.5	0.2	1.5	1.5
发育需要的土壤最高湿度(SM3) Upper soil moisture threshold (SM3)	2.5	0.3	2.5	2.5
干胁迫开始积累的阈值(SMDS) The dry stress threshold (SMDS)	0.25	—	0.2	0.05
干胁迫积累速率(HDS) The dry stress rate (HDS)	－0.01	—	－0.005	－0.005
湿胁迫开始积累的阈值(SMWS) The wet stress threshold (SMWS)	2.5	0.3	2.5	2.5
湿胁迫积累速率(HWS) The wet stress rate (HWS)	0.002	0.1	0.002	0.002

2　结果与分析

经 ArcGIS 插值处理后得到椰子木蛾在我国的气候适生区范围如图 1 所示。由图可知，该虫在我国的气候适生区范围呈局部分布，主要集中在南方的 16 个省市区，总的适生面积约为 175 万 km^2，占国土面积的 18 %，其中高度适生区面积最大，约 152 万 km^2，中度适生区约为 12 万 km^2，低度适生区约为 11 万 km^2。具体适生范围包括四川东部、重庆、湖北南部、安徽南端、江苏南端、上海、云南南部、贵州东部、湖南、江西、浙江、福建、台湾、广西、广东和海南（表 2）。分布边界向南达到海南岛最南端，向北达四川和甘肃交界处的舟曲、武都、康县和九寨沟，向西达到我国云南瑞丽，东部分布至浙江舟山群岛。

3　讨论

CLIMEX 软件以物种自身生存发育的所需要的生态要求来计算和评价其在目标地的适生情况，除了考虑温度、湿度、光周期、土壤等重要生态因子外，还增加了竞争物种、寄主等生物因子对物种适生的影响，软件的设计理念能较好地反映自然界中物种与环境之间的相互作用关系。因此其预测结果具有较高的参考价值，全球已利用该软件进行过多种有害生物的适生区预测。另外软件的气象数据功能开放，用户可以根据自己的需求进行气象数据的增添或删减，使用起来灵活度相对较高。

预测结果显示，椰子织蛾在我国南方普遍适生且适生程度颇高，但在大面积的连续高度适生区域中分布着两处非适生的斑块和零星的低度适生区分布点。非适生性斑块一处位于云贵川临近之地，一处位于湖北恩施州的吴峰。零星的低度适生区分布点主要位于贵州和重庆交界的金佛山，湖南的雪峰山和衡山，江西的庐山，福建的七仙山和九仙山，浙江的括苍山。其在我国南方的适生范围和程度明显受到海拔高度的限制，

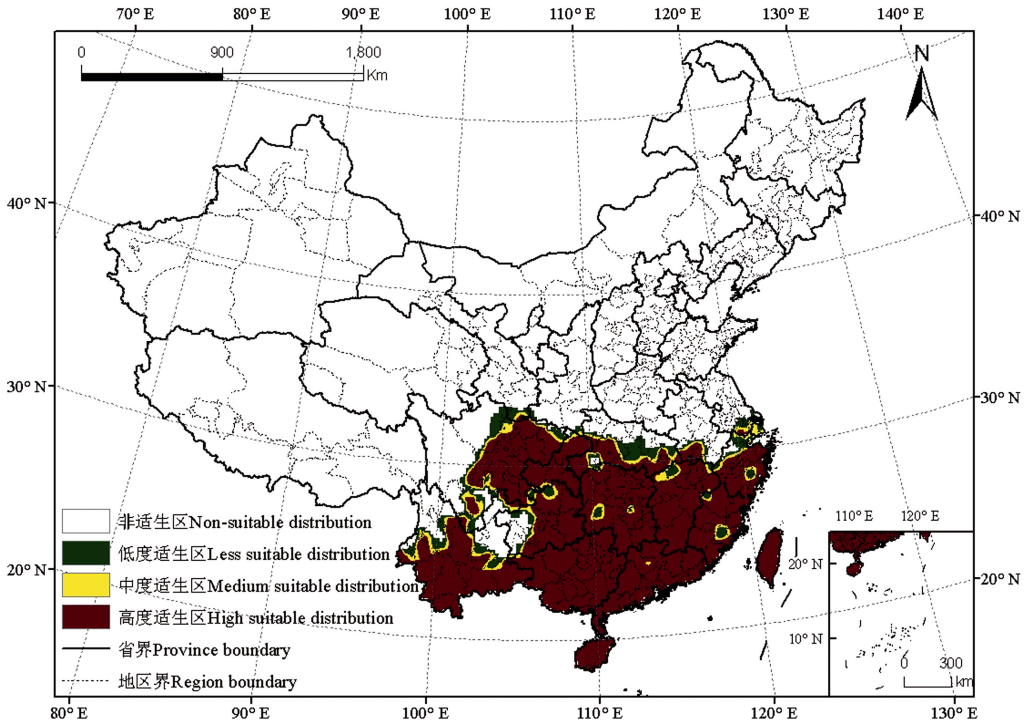

图 1　椰子木蛾在我国的气候适生区分布图

Fig. 1　The potential geographical distribution of *Opisina arenosella* in China

表 2 椰子织蛾在我国的具体适生范围
Table 2 The predicted distribution range of *Opisina arenosella* in China

适生省/市/区 Suitable areas	具体适生范围 The predicted distribution range
云南	德宏州中南部、保山地区中南部、怒江州南部、大理州西部和南部和东北部、丽江地区中南部、楚雄州、临沧地区、普洱地区、玉溪地区、昆明地区中南部、西双版纳州、红河州、文山州
四川	攀枝花地区、凉山州中部、甘孜州东南部局部地区、雅安地区、峨眉山地区、眉山地区、宜宾地区、泸州地区、自贡地区、资阳地区、成都地区、阿坝州东部局部地区、德阳地区、遂宁地区、绵阳地区、南充地区、广元地区、达州地区
重庆	除黔江县外其余地区均适生
湖北	恩施州除五峰市的其它地区、宜昌地区、神农架林区、十堰地区西南局部地区、襄樊地区南部局部地区、荆门地区、随州地区东南部局部地区、孝感地区西部、武汉地区中南部、咸宁地区、黄石地区、鄂州地区、黄冈地区中南部
安徽	安庆地区除西北部局部地区外的其余地区、池州地区除东北部外的其余地区、黄山地区西部局部地区
江苏	无锡地区除西部地区外的其余地区、常州地区东部局部、苏州地区除北部局部地区外的其余地区、南通地区东部局部地区
上海	除奉贤县南部局部、南汇东部局部、崇明岛中部外均适生
浙江	除湖州地区西部的安吉县、杭州地区北部和西部局部外均适生
贵州	除毕节地区东北部局部、六盘山地区、黔西南州西北部、安顺地区西部外均适生
湖南、江西、福建、广西、广东、台湾、海南	全境适生

究其原因主要在于气温的限制作用。椰子织蛾是热带昆虫，其发育起点温度（15.8℃）和发育积温（1 015.4 日 · 度）要求很高，同时能承受的低温限制也较高（2℃），因此云贵川的高原地区（海拔 1 000 ~2 000 m）、湖北吴峰（海拔 1 705 m）由于热量垂直分布差异明显而无法满足其发育所需的有效积温，同时冬季的低温也导致其无法适生。其它零星分布的低度适生区由于气温条件优于高原气候，则相对能满足该虫的基本适生条件使其在该地区可能适生。

根据本文研究结果可知，椰子木蛾在中国的适生范围集中，适生程度高，适生区几乎覆盖了长江以南的大部分区域。目前椰子木蛾仅在我国海南、广东和广西的局部地区发生（陆永跃和王敏，2013；李后魂等，2014），这与椰子木蛾 2013 年椰子木蛾在海南首次发现后，农林业和检疫部门及时有效采取的应急除治和检疫处理措施很大程度上限制了椰子木蛾的扩散蔓延有关。在我国，棕榈科植物主要分布在秦岭以南地区（卫兆芬，1995），所以受寄主植物的分布限制，为害棕榈科植物的有害生物的分布北界在秦岭以南地区。冯益民和刘洪霞（2010）利用 Maxent 生态位模型与 GIS 相结合，预测了锈色棕榈象 *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier 在我国的适生区，结果表明，锈色棕榈象的高度适生区主要集中在我国长江以南广大地区。锈色棕榈象是为害棕榈科植物的又一毁灭性害虫，其寄主范围、世代发育起点温度和有效积温等生物学参数与椰子木蛾相近，本文预测出的椰子木蛾在我国的适生区与冯益民和刘洪霞（2010）得出的锈色棕榈象在我国的适生区基本一致。但是锈色棕榈象属钻蛀性害虫，其生活史在寄主植物内部完成，Abe 等（2009）研究发现冬季锈色棕榈象在棕榈科植物内取食部位的温度达 30℃ 以上，因此，只要有棕榈科植物分布的地方，锈色棕榈象就可以维持种群。而椰子木蛾属食叶类害虫，虽

然冬季会给棕榈科植物穿上“棉大衣”保暖，但其能否安全越冬，还有待进一步试验证明。鉴于美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* 和南美斑潜蝇 *L. huidobrensis* 在我国逐渐向北扩散的教训（陈兵和康乐，2002；郝树广和康乐，2003），不排除椰子木蛾向北扩散的可能，因此应尽快展开椰子木蛾耐寒性研究。

椰子木蛾主要为害棕榈植物，此外还可取食香蕉和甘蔗（Manjunath，1985；Muralimonan and Srinivasa，2005），一旦其扩散至棕榈植物分布较少的区域，会迫使该虫寻找新的食料，香蕉和甘蔗很可能成为椰子木蛾的首选替代食物资源，其结果将对我国热带经济作物尤其是棕榈植物的安全生产造成严重威胁。因此建议加强对椰子木蛾的检疫和监测力度，防治其进一步扩散蔓延。

参考文献 (References)

Abe F, Hata K, Sone K, 2009. Life history of the red palm weevil, *Rhychophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophtoridae), in Southern Japan. *Florida Entomologist*, 92(3): 421–425.

Alam MZ, 1962. A list of insects and mites of Eastern Pakistan. Dhaka: The Agriculture Department 107.

Chejara VK, Kriticos DJ, Kristiansen P, Sindel BM, Whalley RDB, Nadolny C, 2010. The current and future potential geographical distribution of *Hyparrhenia hirta*. *Weed Research*, 50(2): 174–184.

Chen B, Kang L, 2002. Analysis of trends of occurrence and geographic variation of pealeafminer *Liriomyza huidobrensis*. *Plant Quarantine,* 16(3): 138–140. [陈兵, 康乐, 2002. 南美斑潜蝇在我国发生趋势和地理差异分析. 植物检疫, 16(3): 138–140.]

Feng YM, Liu HX, 2010. Potential suitability analysis of *Rhychophorus ferrugineus* (Olvier) in China based on Maxtent and GIS. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 29(5): 552–556. [冯益民, 刘洪霞, 2010. 基于 Maxtent 与 GIS 的锈色棕榈象在中国潜在的适生性分析. 华中农业大学学报, 29(5): 552–556.]

Hao SG, Kang L, 2003. Stochastic model of vegetable leafminer *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) phenology. *Acta Ecological Sinica*, 23(3): 512–516. [郝树广, 康乐, 2003. 美洲斑潜蝇发生的物候学模型. 生态学报, 23(3): 512–516.]

He SY, Wen JB, Luo YQ, Zong SX, Zhao YX, Han J, 2012. The predicted geographical distribution of *Bursaphelenchus xylophilus* in China under climate warming. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(1): 236–243. [何善勇, 温俊宝, 骆有庆, 宗世祥, 赵宇翔, 韩靖, 2012. 气候变暖情境下松材线虫在我国的适生区范围. 应用昆虫学报, 49(1): 236–243.]

Jalalai SK, Venkatesan T, Murthy KS, Bhaskaran, TV, Lalitha Y, 2005. Preliminary attempt at biological control of coconut leaf eating caterpillar, *Opisina arenosella* Walker using two *Trichogramma* species. *Cord*, 21 (2): 1–6.

Lever RJ, 1969. Pests of the coconut palm. *FAO Agricultural Series*, 77: 66–67.

Li HH, Yin AH, Cai B, Li WD, Lu ZS, 2014. Taxonomic status and morphology of the invasive alien species *Opisina arenosella* Walker (Lepidoptera: Xyloryctidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 283–291. [李后魂, 尹艾荟, 蔡波, 李伟东, 卢兆山, 2014. 重要入侵害虫——椰子木蛾的分类地位和形态特征研究. 应用昆虫学报, 51(1): 283–291.]

Lu YY, Wang M, 2013. Morphology of the coconut caterpillar *Opisina arenosella* Walker. *Journal of Environmental Entomology*, 35(6): 833–837. [陆永跃, 王敏, 2013. 椰子织蛾的行特特征识别. 环境昆虫学报, 35(6): 833–837.]

Manjunath TM, 1985. Coconut black headed caterpillar on banana and coconut. *FAO Plant Protection Bulletin*, 33: 58–72.

Mohan C, Nair CPR, Nampoothiri CKN, Rajan P, 2010. Leaf-eating caterpillar (*Opisina arenosella*)-induced yield loss in coconut palm. *International Journal of Tropical Insect Science*, 30(3): 132–137.

Muralimonan K, Srinivasa YB, 2005. Black headed caterpillar on sugarcane leaves. *Insect Environment*, 11 (1): 42–43.

Nirula KK, 1956. Investigations on the pests of coconut palm. Part Ⅱ. *Nephantis serinopa* Meyrick. *Indian Coconut Journal*, 9(2): 103–131.

Rao YR, 1924. An outbreak of *Nephantis serinopa* at Mangalore. The Proceedings of the Fifth Entomology Meeting. Pusa, New Delhi. 92–98.

Song HM, Zhang QF, Han XM, Xu Y, Xu RM, 2004. CLIMEX：professional biological software for premcang potential distribution of species. *Entomological Knowledge*, 41(4): 379–386. [宋红敏, 张清芬, 韩雪梅, 徐岩, 徐汝梅, 2004. CLIMEX: 预测物种分布区的软. 昆虫知识, 41(4): 379–386.]

State Forestry Administration of P. R. China. State Forestry Administration Announcement No. 6, 2014. [EB/OL]. [2014–03–10]. http://www.forestry.gov.cn/main/72/content–663834.html. [国家林业局. 国家林业局公告 2014 年第 6 号 [EB/OL]. [2014–03–10]. http://www.forestry.gov.cn/main/72/content–663834.html.]

Venkatesan T, Jalali SK, Srinivasa MK, 2009. Competitive interactions between *Goniozus nephantidis* and *Bracon brevicornis*, parasitoids of the coconut pest *Opisina arenosella*. *International Journal of Pest Management*, 55(3): 257–263.

Wan FH, Guo JY, Zhang F, 2009. Research on Biological Invasions in China. Beijing: Science Press.16. [万方浩, 郭建英, 张峰, 2009. 中国生物入侵研究. 北京：科学出版社. 16.]

Wei ZF, 1995. The geographic distribution of the palmae. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 3(2): 1–18. [卫兆芬, 1995. 棕榈科植物的地理分布. 热带亚热带植物学报, 3(2): 1–18.]

Yan W, Lv BQ, Li H, Li CX, Liu L, Qin WQ, Peng ZQ, Luo YQ, 2013. Risk analysis of the coconut blackheaded caterpillar, *Opisina arenosella*, in China and Hainan island. *Journal of Biosafety*, 22(3): 163–168. [阎伟, 吕宝乾, 李洪, 李朝绪, 刘丽, 覃伟权, 彭正强, 骆有庆, 2013. 椰子织蛾传入中国及海南省的风险性分析. 生物安全学报, 22(3): 163–168.]

Yao J, Du Y, Ma P, Li SG, Jiang XL, Chen XJ, Zhang P, Li YF, 2011. Prediction on potential distributions of *Dendroctonus frontalis* Zimmermann in China using CLIMEX and GIS. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 1017–1023. [姚剑, 杜宇, 马平, 李生贵, 蒋小龙, 陈雪娇, 张萍, 李云飞, 2011. 基于 CLIMEX 和 GIS 的南松大小蠹在中国的适生性分析. 应用昆虫学报, 48(4): 1017–1023.]