

# 利用 GARP 生态位模型预测桔小实蝇 (*Bactrocera dorsalis*) 在中国的适生区域

周国梁<sup>1</sup>, 陈 晨<sup>2</sup>, 叶 军<sup>1</sup>, 胡白石<sup>2</sup>, 刘凤权<sup>2,\*</sup>

(1. 上海出入境检验检疫局, 上海 200135 2. 南京农业大学农业部病虫害检测与治理重点开放实验室, 南京 210095)

**摘要** 桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是一种多食性害虫, 明确其可能适生的区域对该虫的科学监测及防治意义重大。利用桔小实蝇在我国的已知分布点数据和亚洲地区的 14 个环境地理变量图层, 运用 GARP 生态位模型结合 GIS 空间分析模块预测了该虫在亚洲的地理分布。结果表明桔小实蝇可分布在中国、日本、菲律宾、马来西亚、泰国北部、越南、柬埔寨、老挝、缅甸、尼泊尔、巴基斯坦、孟加拉国和斯里兰卡, 这与 EPPO 报道的分布区域一致。将拟合过程中获得的生态位运算法则投影到我国, 并考虑模型间的一致性, 预测桔小实蝇在我国各省及市县范围的分布: 云南大部、四川南部和东部、贵州大部、重庆大部、广西、广东、台湾、香港、澳门、海南、福建、江西、浙江大部、湖南大部、湖北大部、上海、江苏南部、河南局部及安徽部分地区为桔小实蝇的适生区。次适生区沿适生区周围分布, 为四川、贵州、重庆、湖北北部、河南南部和江苏南部的一些零星地区。适生区和次适生区大多有较高密度的寄主果树, 为桔小实蝇的生存提供了条件。预测结果经独立验证数据的适合性测验表明, 选择的最优模型具有显著的统计学意义, 显示了很好的预测能力。GARP 生态位模型可以解决生态学、生物地理学 and 环境保护方面的一系列问题, 具有广泛的应用前景, 为物种已知基础分布点资料的综合分析以及有害生物的适生性分析、监测和防治提供了技术平台。

**关键词** 桔小实蝇; GARP 生态位模型; GIS; 潜在分布预测; 适合性验证

文章编号: 1000-0933 (2007) 08-3362-08 中图分类号: Q143 文献标识码: A

## Predicting potential ecological distribution of *Bactrocera dorsalis* in China using GARP ecological niche modeling

ZHOU Guo-Liang<sup>1</sup>, CHEN Chen<sup>2</sup>, YE Jun<sup>1</sup>, HU Bai-Shi<sup>2</sup>, LIU Feng-Quan<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Shanghai Exit and Entry Inspection and Quarantine Bureau, Shanghai 200135, China

<sup>2</sup> Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (8) 3362 ~ 3369.

**Abstract** : Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), is a polyphagous pest. In order to monitor and control *B. dorsalis* effectively, it is necessary to investigate the potential distributional areas of this pest. In this study, an ecological niche modeling method, machine-learning algorithm for nonparametric prediction of species distribution (the Genetic Algorithm for Rule-set Prediction, or GARP), combined with Spatial Analysis function in GIS (Geographic Information System) program, was applied to predict potential geographic distribution of *B. dorsalis* in Asia, especially in China. On the basis of the data about current distribution of *B. dorsalis* in China and 14 environmental and geological covariates in

基金项目: 上海市重大科研资助项目 (03DZ19315); 国家重点基础研究发展规划 "973" 资助项目 (2002CB111405)

收稿日期: 2006-06-22; 修订日期: 2007-03-30

作者简介: 周国梁 (1966 ~), 男, 江苏太仓人, 高级农艺师, 主要从事植物检疫和有害生物风险分析研究. E-mail: zhougl@shciq.gov.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fqliu20011@sina.com

**Foundation item** : The project was financially supported by Shanghai Key Scientific Research Item (No. 03DZ19315); The National Grand Fundamental Research "973" Program of China (No. 2002CB111405)

**Received date** 2006-06-22; **Accepted date** 2007-03-30

**Biography** ZHOU Guo-Liang, Senior agronomist, mainly engaged in plant quarantine and pest risk analysis. E-mail: zhougl@shciq.gov.cn

Asia, the resulting GARP geographic predictions were exported as ASCII raster grid files into ArcGIS8.3 for further analysis. Projection of the distribution of *B. dorsalis* in Asia indicated that the pest could be distributed to some Asian countries and regions including China, Japan, Philippines, Malaysia, northern Thailand, Vietnam, Cambodia, Laos, Burma, Nepal, Pakistan, Bangladesh and Sri Lanka, broadly across eastern and southern Asia. The results were in agreement with the known worldwide distribution regions of *B. dorsalis* reported by the EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). Using the same sets of ecological dimensions and taking the model agreement into account, the ecological niche model was projected onto the landscape of provinces, municipalities and counties in China. The results showed that the most part of Yunnan Province, eastern and southern part of Sichuan Province, most part of Guizhou Province and Chongqing Municipality, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Hong Kong, Macao, Guangdong, Taiwan, Hainan, Fujian and Jiangxi provinces, most part of Zhejiang, Hunan and Hubei provinces, Shanghai Municipality, southern part of Jiangsu, and some parts of Henan and Anhui provinces were suitable establishment areas of *B. dorsalis*' invasion, surrounded by sub-suitable establishment areas, which included some scattered areas in Sichuan Province, Guizhou Province, Chongqing Municipality, northern part of Hubei province and southern part of Jiangsu and Henan provinces. Host fruit plants have been cultivated at high densities in both suitable and sub-suitable establishment areas. The remaining test points were overlaid with the distributional maps to determine the numbers falling within the areas of predicted present and test the validity of this approach, and the one-tailed goodness-of-fit  $\chi^2$ -statistics were employed to assess the significance of the model. All of our predictions were highly statistically significant, indicating an excellent predictive ability. The success of this test demonstrated that the ecological niche modeling approaches provide a promising tool for addressing a wide range of issues in ecology, biogeography and conservation biology, and open door to many synthetic analyses based on primary sets of present-day point occurrence information. Moreover, this methodology provides a technical platform for the suitability analysis, monitoring, prevention and control of the pest.

**Key Words :** *Bactrocera dorsalis* ; GARP ecological niche modeling ; GIS ; prediction of potential distribution ; one-tail goodness-of-fit test

预测物种分布区是当代生态学的重要研究领域,也是有害生物风险分析的重要组成部分<sup>[1]</sup>。物种的基础生态位处于多维的生态环境空间中,是影响其分布的决定性因素。Peterson<sup>[2]</sup>总结了近年来有关生态位的解释:Grinnell 首先提出生态位的概念——某物种在非迁移的状态下可维持种群自然生长的状态,这一概念沿用至今;Hutchinson 指出了基础生态位(理论上的分布范围)和现实生态位(由于物种间互作、种间互作和扩散机制的影响而实际占据的生态位,在自然界中是可见的)的不同。GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Prediction) 是一种以生态位为基础预测物种分布的软件,具有验证预测结果的功能<sup>[1,2]</sup>。

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 为多食性害虫,可为害柑橘、番石榴、杨桃、芒果、香蕉等 40 多种 250 多种水果和蔬菜<sup>[3,4]</sup>,已分布于我国局部地区<sup>[5~10]</sup>,但资料极不详细,不利于桔小实蝇的针对性监测和科学防控。本研究基于 GARP 及 GIS 预测了桔小实蝇在中国的适生区域及适生程度。

1 材料与方法

1.1 已知分布点资料和环境图层

GARP 为一种包含重复运算和推论性算法的人工智能平台<sup>[11,12]</sup>。生态位模型要求分布数据在连续的、栅格化的环境变量中运算,环境和生态地理信息数据以数字栅格图层的形式输入到 GARP<sup>[13]</sup>。本研究使用的 DESKTOP GARP 版本及亚洲地区的 14 个环境因子图层,来源于 GARP 网站 (www.lifemapper.org/desktopgarp)。图层的栅格分辨率为 0.1°。其中自然物理图层包括:地貌、数字高程、坡度、植被、灌溉水累积量、灌溉水走向。气候环境图层包括:年平均温度、年最高温度、年最低温度、年降水量、年蒸发量、年湿度、年辐射、年有霜期。各参数均为 1961~1990 年的平均值。

收集并整理国内公开发表的桔小实蝇分布资料<sup>[5~10]</sup>,以地理经纬度坐标的形式将各分布点输入到 GARP。

1.2 模型建立和精确度评价

将已知分布点数据任意均匀地分为训练数据和验证数据。GARP 根据一个反复的运算过程进行规则的选择、评价、验证、接受或拒绝规则。首先,从某些算法中(如生物气候规则或逻辑斯蒂回归)归纳出一种方法,应用于已知数据,总结出一个法则。提高了结果适合性的法则被保留下来,而降低适合性的法则被排除<sup>[11,12]</sup>。先从包含已知分布数据的区域(中国的已知发生区域)中任意提取 1250 个点,再从整个研究区域(亚洲地区)中选取 1250 个点,来评价预测的精确度。根据预测精确度的变化,来判断一个规则是否包含在最终的模型中,这个过程通常运算 1000 次或根据收敛性终止。用这些子规则发展到更广泛的规则来决定某个区域是否包含在生态位之内。GARP 模型提供了不同的法则来验证预测模型的精确度。

利用适合性独立测验来验证 GARP 生态位模型预测结果的准确性。根据验证数据点的位置和预测到的潜在分布区,判断验证数据是否落在预测的适生区之内,将正确和不正确的预测结果作为观察值,验证数据数量乘以预测分布区域占整个研究区域的比例得到理论值,即通过独立的分布资料验证模型是否具有显著的统计学意义。

1.3 地图资料及适生区域的显示

从国家基础地理信息系统(<http://nfgis.nsdi.gov.cn>)下载获得的 1:400 万的中国地图作为分析底图,主要图层包括中国国界、省界、地市级以上境界、县级以上境界和一级河流。在本研究中,通过 GARP 和 GIS 的衔接,将 GARP 生态位模型模拟的结果进行叠加并以图形方式表达出来,确定适生区域。

1.4 桔小实蝇适生程度的划分

预测结果以 ASCII 码栅格数据格式输入到在 GIS 软件 ArcInfo8.3 中,利用空间分析模块来考察模型间的一致性。根据 Anderson 等<sup>[14]</sup>提供的方法选出 10 个最优模型,将这 10 个模型进行叠加,计算模型中的每个栅格的适生值(对于单个模型,1 代表预测适生,0 代表预测非适生)。在叠加后的图层中,每个栅格的适生值等于预测该栅格为适生区的模型数量<sup>[15]</sup>。Lim 等<sup>[16]</sup>认为适生值大于 6 的栅格可定义为最终的适生区。在本研究中,将模型间一致性低于 60% 的栅格区域划分为非适生区,60%~80% 的为次适生区,高于 80% 的为适生区。

1.5 果园的栽培情况

鉴于果树栽培面积资料的局限性,本研究只关注柑橘、桃、梨、苹果和荔枝等易被桔小实蝇为害的果树。从中国农业信息网([www.agri.gov.cn](http://www.agri.gov.cn))获得桔小实蝇寄主果树的栽培面积资料,包括对桔小实蝇有潜在入侵危险的各省(直辖市)的柑橘、桃、梨、苹果、和荔枝果园的栽培面积。根据这些果树的栽培密度之和,在 ArcInfo8.3 中用点的形式标注出来。

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇在我国的现有分布

从文献记录<sup>[5~10]</sup>中整理出桔小实蝇在我国大陆地区记录分布点共 42 个(表 1),这些记录点集中在云南(18 个)、四川(6 个)、贵州(2 个)、广东(9 个)、广西(1 个)、福建(4 个)、海南(2 个)等省区。

2.2 建立的预测模型

将已知分布数据点叠加到底图,通过验证数据验证预测分布区的准确性。在选出的 10 个最优模型中,所有 GARP 模型对独立验证数据的分布区的预测都有显著的统计学意义。经独立验证分布点的验证,绝大多数点都落在预测适生区域之内,准确率达 88.9%~100%。经适合性卡平方( $\chi^2$ )一尾测验,  $302.3 < \chi^2 < 358.0$ , 所得概率值  $7.81 \times 10^{-80} < P < 1.04 \times 10^{-67}$ , 预测的适生分布区占整个研究区域比例为 4.00%~5.00% (表 2)。由此可见,获得的生态位模型的预测结果具有极为显著的准确预测能力,可以成功评估桔小实蝇的生态位需求因素。

表 1 桔小实蝇的已知地理分布点

Table 1 Known geographic distributions of 40 localities for <i>Bactrocera dorsalis</i>					
地点 Locality	经度 (° ) Longitude	纬度 (° ) Latitude	地点 Locality	经度 (° ) Longitude	纬度 (° ) Latitude
昆明 Kunming	102. 68	25. 02	宜宾 Yibin	104. 60	28. 80
安宁 Anning	102. 44	24. 95	屏山 Pingshan	104. 10	28. 60
曲靖 Qujing	103. 79	25. 51	会理 Huili	102. 25	26. 65
元江 Yuanjiang	101. 98	23. 60	雷波 Leibo	102. 10	26. 80
峨山 Eshan	102. 38	24. 16	西昌 Xichang	102. 27	27. 90
思茅 Simao	100. 97	22. 78	韶关 Shaoguan	113. 60	24. 68
个旧 Gejiu	102. 43	23. 35	广州 Guangzhou	113. 33	23. 17
红河 Honghe	102. 42	23. 35	河源 Heyuan	114. 68	23. 73
楚雄 Chuxiong	101. 54	25. 01	南宁 Nanning	108. 30	22. 80
姚安 Yaoan	101. 25	25. 40	海口 Haikou	110. 35	20. 02
畹町 Wanding	98. 08	24. 08	三亚 Sanya	109. 52	18. 23
文山 Wenshan	104. 24	23. 37	泉州 Quanzhou	118. 58	24. 93
广南 Guangnan	105. 09	24. 05	厦门 Xiamen	118. 07	24. 48
勐腊 Mengla	101. 56	21. 48	福州 Fuzhou	119. 28	26. 08
玉溪 Yuxi	102. 55	24. 35	漳州 Zhangzhou	117. 35	24. 52
瑞丽 Ruili	97. 85	24. 02	惠州 Huizhou	114. 40	23. 10
景洪 Jinghong	100. 78	22. 00	四会 Sihui	112. 68	23. 37
六库 Liuku	99. 03	25. 05	澄海 Chenghai	116. 80	23. 48
罗甸 Luodian	106. 77	25. 43	封开 Fengkai	111. 48	23. 45
遵义 Zunyi	106. 90	27. 70	茂名 Maoming	110. 88	21. 68
攀枝花 Panzhihua	101. 72	26. 58	清远 Qingyuan	113. 02	23. 70

表 2 10 个最优模型的各项参数

Table 2 Parameters of 10 best rule-sets models				
模型 Model	被准确预测的验证数据 (%) Percentage of test points correctly predicted	卡平方值 $\chi^2$ value	P 值 P value	预测适生区比例 (%) Propotional area of predicted present
1	94. 4	326. 4	$5. 91 \times 10^{-73}$	4. 66
2	88. 9	314. 3	$2. 54 \times 10^{-70}$	4. 28
3	100	324. 2	$1. 74 \times 10^{-72}$	4. 98
4	100	322. 4	$4. 44 \times 10^{-72}$	5. 00
5	94. 1	302. 3	$1. 04 \times 10^{-67}$	4. 72
6	94. 4	353. 1	$8. 76 \times 10^{-79}$	4. 33
7	88. 9	310. 1	$2. 06 \times 10^{-69}$	4. 34
8	88. 9	337. 9	$1. 85 \times 10^{-75}$	4. 00
9	100	358. 0	$7. 81 \times 10^{-80}$	4. 53
10	94. 4	333. 4	$1. 75 \times 10^{-74}$	4. 57

3.3 预测的桔小实蝇适生区

将最优模型的运算法则投影到亚洲地图上得到桔小实蝇在亚洲的分布区域。生态位模型预测桔小实蝇在亚洲的分布区有 :中国、孟加拉国、柬埔寨、日本、老挝、缅甸、尼泊尔、巴基斯坦、斯里兰卡、泰国北部、越南、菲律宾、马来西亚。这与欧洲和地中海植物保护组织 (European and Mediterranean Plant Protection Organization , EPPO )对该虫在全球分布的描述相一致<sup>[7]</sup>。桔小实蝇在亚洲主要分布在热带和亚热带 ,以亚热带季风气候、热带季风气候和热带雨林气候特征为主 ,植被茂盛 ,温暖潮湿 ,年平均气温 16 ~ 27 ℃ ,年降水量

在 1100 mm 以上。

再将最优模型的运算法则投影到中国,通过栅格计算和统计分析,按照上述适生区的划分标准,桔小实蝇在我国各省和市县范围分布的预测结果见图 2。

**桔小实蝇适生区** 主要分布在长江以南 97.4~121.9°E、18.2~33.0°N 的地理范围,包括:云南大部(北部地区以外)、四川南部和东部(攀枝花和凉山州南部、乐山及成都以东地区)、贵州大部(除六盘水和毕节的部分地区)、重庆大部(除北部地区)、广西、广东、台湾、香港、澳门、海南、福建、江西、浙江大部、湖南大部、湖北大部(除郧西地区)、上海、江苏南部(长江沿岸)、河南局部(信阳地区)、安徽部分地区(六安和合肥以南地区)。

**次适生区** 沿适生区周围分布,为四川、贵州、重庆、湖北北部、河南南部和江苏南部的一些零星地区。在适生区和次适生区,气候温暖,降水充沛,条件适宜桔小实蝇的繁殖和越冬。

**非适生区** 其它长江以北的广大地区。该区域年平均气温低于 16℃,年降水量少于 1100mm,土壤含水量低。非适生区不具备温暖湿润的气候条件,不能达到完成其生活史所需的有效积温,而且冬季低温的持续时间较长,不利于桔小实蝇的越冬,这些气候因素都限制了它的生存。

### 2.4 适生区的果树栽培密度

在 ArcInfo8.3 中得到我国南方各省市柑橘、桃、梨、苹果和荔枝等易被桔小实蝇危害的果树的栽培密度图(图 2)。图 2 表明,广东、福建、海南、广西和上海市的果树栽培密度较高,重庆、湖南、江苏、湖北、江西、浙江以及河南次之,云南、四川、贵州和安徽的栽培密度较低。结合图 1 可知,在广东、广西、海南、福建、江西、浙江等水果主产区都处于桔小实蝇的适生区,这些寄主植物的大面积栽培为桔小实蝇的滋生为害提供了适宜的条件。

## 3 讨论

本研究将 GARP 生态位模型与 GIS 相结合,成功预测了桔小实蝇在亚洲各国的分布,显示了检疫性害虫桔小实蝇在我国的适生范围,实现从已知资料向未知区域的外推<sup>[18]</sup>。GARP 生态位模型可应用于个体生态学,用来模拟物种的分布,这对于定位未知物种和稀有物种,集中利用有限资源防治有害物种、保护濒危物种以及对环境影响的评估有着重要的意义,国外学者应用这一模型在不同的空间生态环境中预测了各种物种的地理分布<sup>[1, 2, 11, 13~16, 19~22]</sup>。

20 世纪 90 年代以来,国内学者曾应用模糊综合评判的数学方法和 CLIMEX 模型对桔小实蝇在我国的适生区域进行了探讨<sup>[23, 24]</sup>,但其研究结果没有包括江南北部的一些潜在适生区(贵州、湖南、湖北东部、浙江、上海、江苏南部、安徽南部等地区)。和这些传统的生物气候方法相比,GARP 模型包含影响物种分布的多个环境变量图层,不需要大量的物种生态生理资料<sup>[25]</sup>,具有更大的灵活性。GARP 从预先生成的子法则中引申出更为广泛的法则来确定物种的适生区,是各种算法的一个集合,比任何独立的算法都有更强的预测能力。

GARP 是从多维空间尺度上来预测物种的分布,有学者认为已知分布资料往往存在偏倚性,难以保证所有的区域都有足够的考察样点,因此并不能反映出全部的适生分布区,导致其实际的适生范围可能会有所不同<sup>[26, 27]</sup>。因此在利用生态位模型进行地理预测时常出现两类错误:(1)模型没有预测到实际能够维持物种种群生长的生态区域,即没有包括某些适生区。如在本研究中,少数已知分布点(四川西昌、海南海口)并未包含在预测的适生区域内(图 1)。前者与我国西南地区复杂的地理地形有关,一些地区由于特殊的地理特点,形成了适合桔小实蝇发生的生态条件,后者位处岛屿,气候特点有别于大陆,而且附近已知分布点太少,限制了生态位模型的应用。(2)模型预测的适生区超出了该物种已知分布点的范围。这类错误可能包括其两个因素:超出已知范围的预测结果确实为该物种的非适生区,即真实预测错误;由于种间的相互影响,或历史原因(如繁殖力不强、物种形成规律、局部灭绝等因素),使得理论上的适生区不再适合物种的生存,即预测区域偏广<sup>[28]</sup>。后一种因素也揭示了物种生态分布的一个特征,即并不是所有适生的区域都有该物种的分布。本研究通过统计分析来排除第一类错误,增强了模型的预测能力<sup>[29]</sup>,提高了桔小实蝇适生区域预测结果的可

接彩图 1 2

信度。

近年来,随着贸易及国内运输的不断增加,水果在国内调运规模不断扩大,再加上各地调整种植结构,增加果树等经济植物,为桔小实蝇的传播扩散创造了客观条件。鉴于目前报道的桔小实蝇的分布主要局限在华南、华东、西南等局部地区,因此必须加强对桔小实蝇的监测,加强疫区水果的检疫及管理,防止桔小实蝇传入上海、浙江等适合桔小实蝇生存的地区。

References :

[1] Drake J M , Lodge D M. Forecasting Potential Distributions of Nonindigenous Species with a Genetic Algorithm. *Fisheries* ,2006 ,31 ( 1 ) :9 — 16.

[2] Peterson A T. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* ,2001 ,103 ( 3 ) :599 — 605.

[3] Liang G H , Chen J H , Yang J Q , *et al.* National research survey of *Bactrocera dorsalis*. *Entomological Journal of East China* ,2003 ,12 ( 2 ) :90 — 98.

[4] Huang K H. The quarantine pest-oriental fruit fly ,*Bactrocera dorsalis* , from entry quarantine. *Entomological Journal of East China* ,1994 ,3 ( 2 ) :104 — 107

[5] Xia Z M. Description of plant quarantine objects and their harms in Guizhou Province. *Guizhou Agricultural Sciences* ,1998 ,26 ( 4 ) :21 — 23.

[6] Li H X , Ye H , Lu J. Harms and distribution of *Bactrocera dorsalis* in Yunnan Province. *Journal of Yunnan University* ,2000 ,22 ( 6 ) :473 — 475.

[7] Peng K G , Ma X , Ding X , *et al.* Species and distributions of fruit flies in western Panzhihua district. *Plant Quarantine* ,2004 ,118 ( 11 ) :53.

[8] Lin Z J , Sun G K , Gao Q Z , *et al.* Inspection of epidemic situation of *Bactrocera dorsalis* in Xiamen region. *Entomological Journal of East China* ,1998 ,7 ( 2 ) :69 — 72.

[9] Chen J H , Fang F , Lin W C. Primary inspection of fruit fly pests in Zhangzhou district. *WuYi Science Journal* ,2002 ,18 ( 12 ) :286 — 287.

[10] Zhang Y A , Zhao X Q. Investigation and research of *Bactrocera dorsalis* in Sichuan Province. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences* ,1994 ,7 ( 2 ) :71 — 75

[11] Stockwell D R B , Noble I R. Induction of Sets of Rules From Animal Distribution Data : A Robust and Informative Method of Data-Analysis. *Mathematics and Computers in Simulation* ,1992 ,33 ( 5-6 ) :385 — 390.

[12] Stockwell D R B. The GARP modelling system : problems and solutions to automated spatial prediction. *International Journal of Geographical Information System* ,1999 ,13 ( 2 ) :143 — 158.

[13] Oberhauser K , Peterson A T. Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *Pnas* ,2003 ,100 ( 24 ) :14063 — 14068.

[14] Anderson R P , Lew D , Peterson A T. Evaluating predictive models of species' distributions : criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling* ,2003 ,162 ( 3 ) :211 — 232.

[15] Anderson R P , G mez-Laverde M , Peterson A T. Geographical distributions of spiny pocket mice in South America : insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography* ,2002 ,11 ( 2 ) :131 — 141.

[16] Lim B K , Peterson A T , Engstrom M D. Robustness of ecological niche modeling algorithms for mammals in Guyana. *Biodiversity and Conservation* ,2002 ,11 ( 7 ) :1237 — 1246.

[17] EPPO. Insects and Mites , Map of *Bactrocera dorsalis*. <http://www.eppo.org/Quarantine/insects/Bactrocera-dorsalis/DACUDO-map.pdf> ,2003.

[18] Peterson A T , Lisag B , Cohoon K P. Predicting distributions of Mexican birds using ecological niche modelling methods. *Ibis* ,2002 ,144 ( 1 ) (online) :E27 — E32.

[19] Peterson A T , Vieglais D A. Predicting species invasions using ecological niche modeling : new approaches from bioinformatics attack a pressing problem. *Bioscience* ,2001 ,51 ( 5 ) :363 — 371.

[20] Peterson A T , Navarro-Sig enza A G , Beni tez-Di az H. The need for continued scientific collecting ; a geographic analysis of Mexican bird specimens. *Ibis* ,1998 ,140 ( 2 ) :288 — 294.

[21] Peterson A T , Sober n J , S nchez-Cordero V. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science* ,1999 ,285 ( 5431 ) :1265 — 1267.

[22] Peterson A T , Egbert S L , S nchez-Cordero V , *et al.* Geographic analysis of conservation priority : endemic birds and mammals in Veracruz , Mexico. *Biological Conservation* ,2000 ,93 ( 1 ) :85 — 94.

[23] Fan J A. Discussing *Bactrocera dorsalis*' potential distribution in China applying Fuzzy Comprehensive Evaluation. *Plant Quarantine* ,1998 ,12 ( 2 ) :76 — 80.

[24] Hou B H , Zhang R J. Potential distributions of the fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera :Tephritidae) in China as predicted by CLIMEX. *Acta*

Ecologica Sinica ,2005 ,25 ( 7 ) :1569 — 1574.

[25 ] Stockwell D R B ,Peterson A T. Effects of sample size on accuracy of species distribution models. Ecological Modelling ,2002 ,148 ( 1 ) :1 — 13.

[26 ] Arriaga L ,Castellanos V A E ,Moreno E ,*et al.* Potential Ecological Distribution of Alien Invasive Species and Risk Assessment :a Case Study of Buffel Grass in Arid Regions of Mexico. Conservation Biology ,2004 ,18 ( 6 ) :1504 — 1514.

[27 ] Peterson A T ,Cohoon K P. Sensitivity of distributional prediction algorithms to geographic data completeness. Ecological Modeling ,1999 ,117 ( 1 ) :159 — 164.

[28 ] Fielding A H ,Bell J F. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation ,1997 ,24 ( 1 ) :38 — 49.

[29 ] Simberloff D ,Von Holle B. Positive interactions of nonindigenous species :invasional meltdown ?Biological Invasions ,1999 ,1 ( 1 ) :21 — 32.

参考文献：

[3 ] 梁光红 ,陈家骅 ,杨建全. 桔小实蝇国内研究概况. 华东昆虫学报 ,2003 ,12 ( 2 ) 90 ~ 98.

[4 ] 黄可辉. 检获检疫性害虫——桔小实蝇. 华东昆虫学报 ,1994 ,3 ( 2 ) :104 ~ 107

[5 ] 夏忠敏. 贵州省植物检疫对象的种类及危害. 贵州农业科学 ,1998 ,26 ( 4 ) 21 ~ 23.

[6 ] 李红旭 ,叶辉 ,吕军. 桔小实蝇在云南的危害与分布. 云南大学学报 ,2000 ,22 ( 6 ) :473 ~ 475.

[7 ] 彭科国 ,马蓓 ,丁晓. 攀西地区检疫性实蝇种类及分布. 植物检疫 ,2004 ,118 ( 11 ) 53.

[8 ] 林振基 ,孙国坤 ,高泉准. 厦门地区桔小实蝇疫情监测. 华东昆虫学报 ,1998 ,7 ( 2 ) 69 ~ 72.

[9 ] 陈景辉 ,方份 ,林文才. 漳州地区实蝇类害虫的初步调查. 武夷科学 ,2002 ,18 ( 12 ) 286 ~ 287.

[10 ] 张禹安 ,赵学谦. 四川柑桔小实蝇的调查研究. 西南农业学报 ,1994 ,7 ( 2 ) 71 ~ 75.

[23 ] 范京安. 用模糊综合评判法探讨桔小实蝇在中国的适生分布. 植物检疫 ,1998 ,12 ( 2 ) 76 ~ 80.

[24 ] 侯柏华 ,张润杰. 基于 CLIMEX 的桔小实蝇在中国适生区的预测. 生态学报 ,2005 ,25 ( 7 ) :1569 ~ 1574.

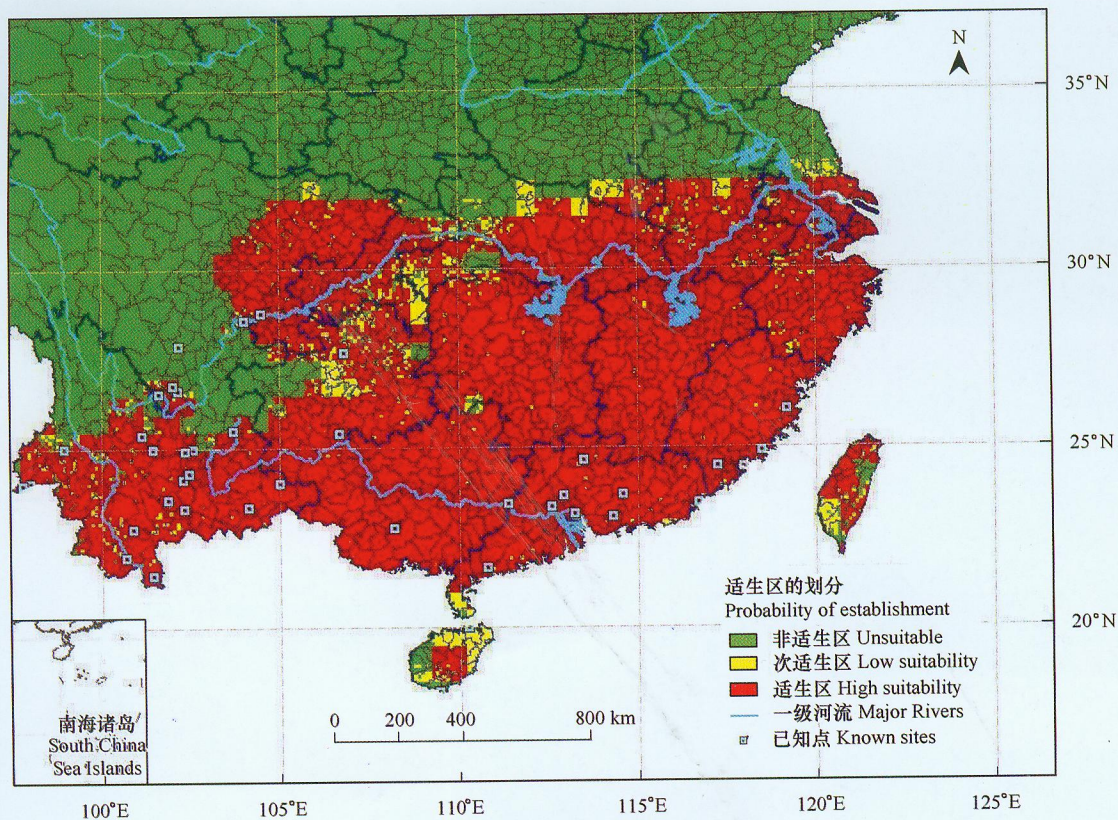


图1 预测的桔小实蝇在中国的生态位分布区 \*

Fig. 1 Predicted ecological niche distribution for *Bactrocera dorsalis* in China based on 10 best rule-sets models

\* 图形由国家基础地理信息中心提供

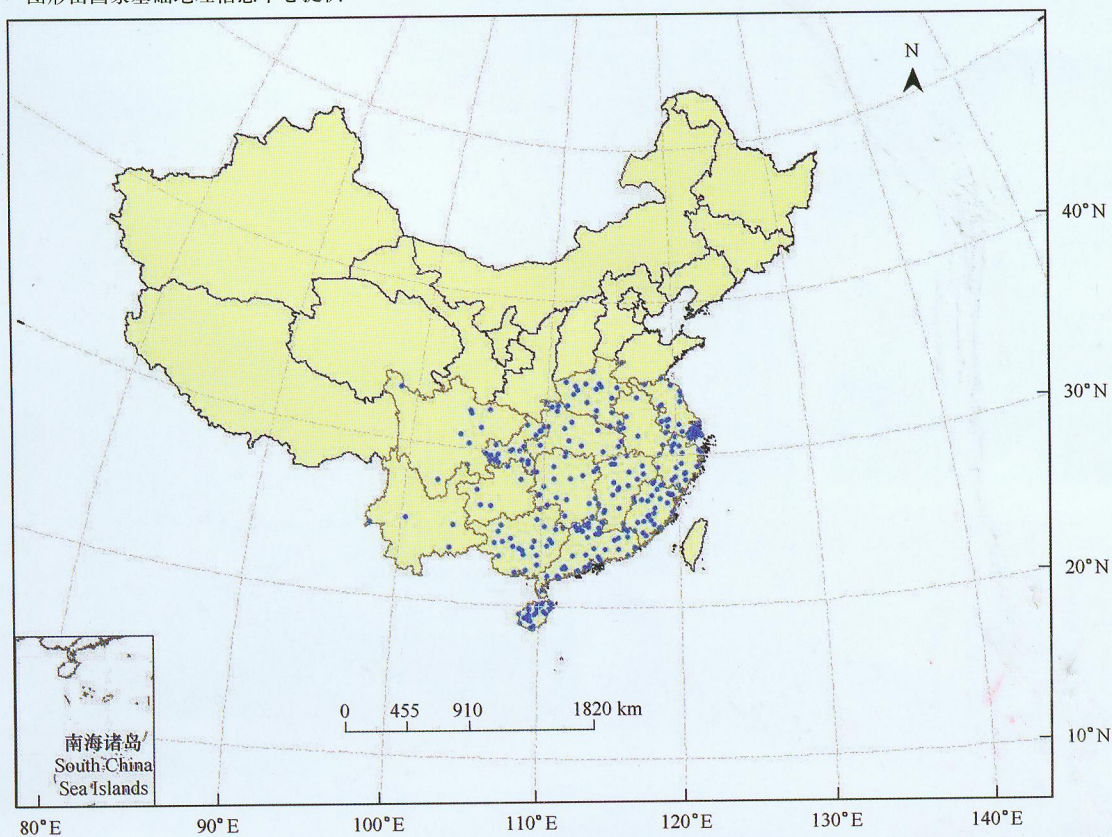


图2 中国南方各省市的果树栽培密度 \*

Fig. 2 Pomiculture density in southern provinces of China

\* 图形由国家基础地理信息中心提供