

基于网络的人侵害虫风险评估与预警系统 ——以桔小实蝇为例*

李白尼, 张润杰

(中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室/昆虫学研究所, 广东 广州 510275)

摘要: 应用 Internet 信息技术、PHP & MySQL 网络数据库技术、网络服务器技术, 研制了基于网络的人侵害虫风险评估、发生预测与信息综合系统。系统基于 web 服务器, 将分析模型、评判模型、预测模型和数据采集、数据挖掘应用于动态分析、预测和信息管理, 实现了网络实时风险评估, 适生性分析, 定殖可能性分析, 年发生代数预测, 种群增长, 发生密度预测, 以及数据采集, 海量数据存贮、检索、分析, 防治辅助决策等功能。

关键词: 风险评估; 计算机系统; 病虫害控制; 桔小实蝇

中图分类号: S431 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 02-0108-06

本研究利用 Internet 技术、网络数据库技术、结合生物统计学和数学生态学原理, 将害虫的多种风险评估模型以计算机程序模块的形式实现在网络服务器上, 使检疫部门和用户可以通过网络对入侵害虫进行实时风险评估。同时还能利用大型网络数据库进行入侵害虫的数据采集、存贮、检索和分析, 实现入侵害虫防治的辅助决策^[1-2]。

1 系统的结构与功能

系统基于 MySQL 数据库, Apache 服务器和 PHP 编程语言, 采用主流平台模式: web 浏览器/服务器模式 (B/S 模式), 实现客户端零安装。系统结构分为人机接口层、应用程序层、数据库层和

网络服务器层 4 个层次 (图 1)。应用程序层根据人机接口层和 client 客户端传递的运算参数和指令, 运行相应的程序模块并检索数据库层中的数据, 完成预测和计算, 最后将结果通过人机接口层展现给用户。

1.1 多指标风险评估 (多指标综合评价) 模块

本模块由评估指标体系、指标评判标准及其计算、多指标风险评估模型构成。评估指标体系由目标害虫的国内分布情况、潜在的经济重要性、受害的栽培寄主的经济重要性、传入的可能性、风险管理难度等 5 个一级指标组成。而一级指标再细分为 15 个二级指标。各指标的指标体系、评判标准、计算公式和综合风险评估模型详见文献[3]。

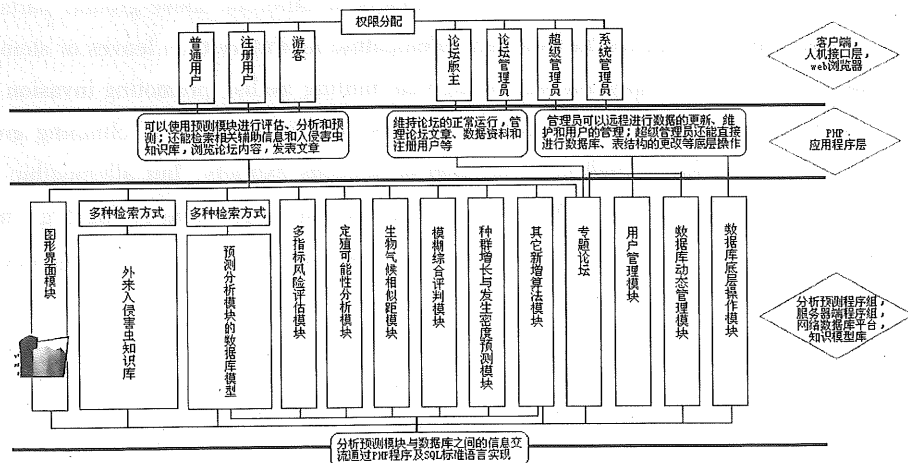


图1 系统构架

Fig. 1 A diagram of the system structure

* 收稿日期: 2007-07-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30471162, 30671394); 国家 973 计划资助项目 (2002CB111405)

作者简介: 李白尼 (1984 年生), 男, 硕士研究生; 通讯联系人: 张润杰; E-mail: lsszrj@mail.sysu.edu.cn

1.2 适生性与定殖可能性风险分析模块

根据害虫的致死温度、有效积温以及生物气候相似距, 分析外来入侵害虫能否在某一地区全年生存, 从而判定能否在此地区定殖。评估流程如图2。

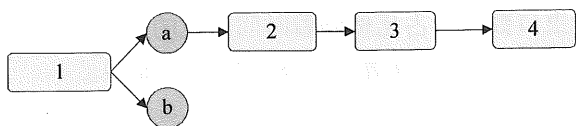


图2 适生性评估流程图

Fig. 2 A diagram of assessment of suitability

第1步 根据评估地区最高、最低气温, 以及评估害虫的最高、最低致死温度, 判断害虫能否在评估地区越冬和越夏: (其中 $t_{\max} 1$, $t_{\min} 1$, $t_{\max}$, $t_{\min}$ 分别代表评估地区最高、最低气温和评估害虫的最高、最低致死温度)。

a. 既能越冬又能越夏的地区: $t_{\min} 1 > t_{\min}$ 且 $t_{\max} 1 < t_{\max}$ 需进一步分析, 转到第2步;

b. 其它情况: $t_{\max} 1 > t_{\max}$ 且 $t_{\min} 1 < t_{\min}$ (既不能越冬也不能越夏); $t_{\min} 1 < t_{\min}$ (不能越冬); $t_{\max} 1 > t_{\max}$ (不能越夏); 评估结束: 评估害虫不能在该地区定殖 (安全区)。

第2步 计算评估害虫在该地区一年内的发生代数: 由评估地区全年有效积温除以评估害虫世代有效积温所得。转到第3步。

第3步 计算生物气候相似距: 选择平均气温、

平均相对湿度、降水量、日照时数4个气象因子, 用改进后的欧氏距离计算生物气候相似距。

生物气候相似距模型:

$$S = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (x_k - y_k)^2}$$

因为选取了4个气象因子, 所以 $m=4$, 其中 x_k , y_k 为两个站点 (x 为该地区的气象站点, y 为害虫原产地或常年为害地区的气象站点) 第 k 种气象因子的标准化值, y_k ($k=1, 2, 3, 4$) 为标准点的气候因子的标准化值。转到第4步。

第4步 系统综合前面的分析, 将会得出如下结果: 轻度危险区: 多数气候因子和标准点差异较大, 目标害虫在该地区可越冬和越夏, 一年可发生4代或4代以下; 危险区: 多数气候因子和标准点比较相似, 目标害虫在该地区可越冬和越夏, 一年可发生5~7代; 高度危险区: 该地区气候与标准点极为相似, 目标害虫在该地区可越冬和越夏, 一年可发生在8代或8代以上。

1.3 害虫种群增长与发生密度预测模块

1.3.1 采用变维不等期距 Leslie 矩阵模型来进行计算^[4-5] 构建该矩阵所需的参数有: 待测害虫的 m 个虫期; 各虫期的历期 ($i_1, i_2, i_3, i_4 \dots, i_m$); 各年龄组的存活率 ($S_1, S_2, S_3, S_4 \dots, S_m$); 成虫期的雌虫比率 P_f ; 雌虫平均产卵量 f_4 ; 根据各虫期的历期所确定的时间间距 Δt (图3)。

$$\begin{pmatrix} s'_1 \times (1 - P_1) & 0 & 0 & \dots & 0 & Pf \times f_4 \times P_m \\ s'_1 \times P_1 & s'_2 \times (1 - P_2) & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & s'_1 \times P_2 & s'_3 \times (1 - P_3) & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & s'_{m-1} \times (1 - P_{m-1}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & s'_{m-1} \times P_{m-1} & 1 - P_m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_{10} \\ n_{20} \\ n_{30} \\ \vdots \\ n_{m-10} \\ n_{m0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_{11} \\ n_{21} \\ n_{31} \\ \vdots \\ n_{m-11} \\ n_{m1} \end{pmatrix}$$

图3 变维不等期距 Leslie 矩阵模型

Fig. 3 A changed dimension and unequal stage period matrix model

矩阵计算的循环次数 $loop = T/\Delta t$, T 为用户输入的预测时间, 如果不能整除, 则采取进一法, 余数计为一个循环。

其中: $s'_1, s'_2, s'_3 \dots s'_m$ 为以 Δt 为间距的存活率:

$$s'_1 = s_1^{\frac{\Delta t}{i_1}}, P_1 = \frac{\Delta t}{i_1};$$

$n_{10}, n_{20}, n_{30}, n_{40} \dots n_{m0}$ 为初始阶段各虫期的虫口数量;

$n_{11}, n_{21}, n_{31}, n_{41} \dots n_{m1}$ 为一个循环后各虫期的虫口数量。

根据 Morris-Watt 模型, 计算一个世代的增长

倍数 I 的特征值:

$$I = (S_1^{\frac{\Delta t}{i_1}} \times S_1^{\frac{\Delta t}{i_1}} \dots S_1^{\frac{\Delta t}{i_1}}) \times (S_2^{\frac{\Delta t}{i_2}} \times S_2^{\frac{\Delta t}{i_2}} \dots S_2^{\frac{\Delta t}{i_2}}) \dots (S_m^{\frac{\Delta t}{i_m}} \times S_m^{\frac{\Delta t}{i_m}} \dots S_m^{\frac{\Delta t}{i_m}}) \times Pf \times f_4$$

$$\text{因为 } \frac{\Delta t}{I} + \frac{\Delta t}{I} + \dots + \frac{\Delta t}{I} = 1, \text{ 所以: } I = S_1 \times S_2$$

$$\times S_m \times Pf \times f_4.$$

1.3.2 害虫种群增长与发生密度预测的图形显示模块 变维 Leslie 矩阵的预测结果, 可以通过图形显示模块以不同的图表形式表现出来, 便于用户进行比对分析, 了解害虫种群增长的趋势 (图4)。

您输入的虫期数为: 4 各虫期的历期分别为: 2 8 8 4 预测的时间为(T): 7
所以, 相应的组间距 Δt 为: 2 预测的循环次数(T/ Δt)为: 4
您输入的初始各虫期的虫口数量分别为: 50 15 10 0
循环 1 的各历期害虫的虫口数量分别为: 0 58 12 3
循环 2 的各历期害虫的虫口数量分别为: 125 43 23 5
循环 3 的各历期害虫的虫口数量分别为: 202 147 28 8
循环 4 的各历期害虫的虫口数量分别为: 382 295 57 11
一个世代的增长倍数I的特征值为: 43.998264

图4 桔小实蝇发生密度预测结果

Fig. 4 Forecast results of occurrence density of *Bactrocera dorsalis*

1) 根据用户输入的预测时间以及 Leslie 矩阵预测的循环次数, 显示每轮循环的虫口增长趋势图(图5), 图中 X 轴代表虫期, Y 轴代表虫口数量。虫期数以及虫口数量的具体数值和比例尺都会根据用户输入的数据以及矩阵的计算结果自动进行调整, 不同颜色的折线代表不同 Leslie 循环次数的各虫期虫口数。

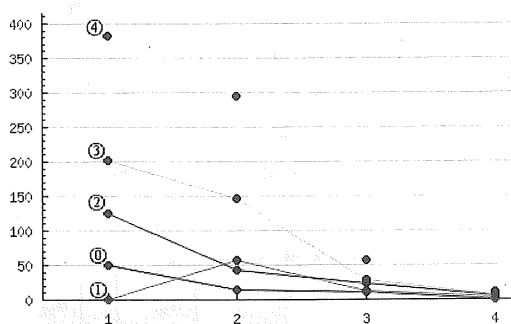


图5 桔小实蝇虫口增长趋势图

Fig. 5 Trends of population growth of *Bactrocera dorsalis*

2) 每轮预测循环中各虫期的虫口组成饼图(图6)。

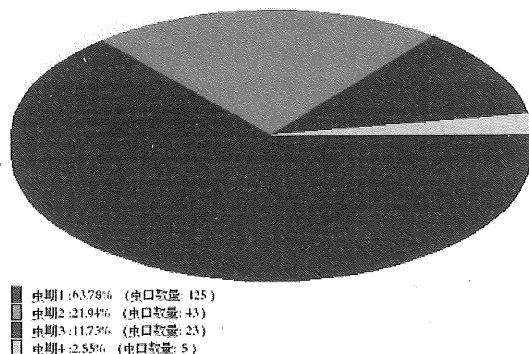


图6 循环2 害虫各虫期的虫口组成饼图

Fig. 6 Bake diagram of population density of different stage in cycle 2

图中不同的颜色代表不同的虫期, 各虫期的具体虫口数在图例中都有说明。初始阶段及以后的每一次 Leslie 矩阵循环都会产生一个相应的饼图。饼图的数量取决于用户输入的预测时间即预测循环次数。通过饼图所反应的信息, 用户可以分析各虫期的虫口数量所占比例随着时间变化的趋势。

3) 虫口总数增长趋势柱形图(图7)。

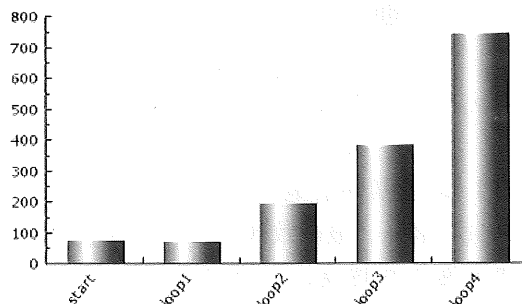


图7 虫口总数增长柱形图

Fig. 7 Column diagram of population growth in cycle

1.4 模糊综合评判模块

该模块能预测害虫在某一地区的适生情况: 系统根据用户输入的待测地区的气象指标, 计算出每一个指标的相应隶属度, 再结合其权重, 分析害虫在该地区的适生情况。根据气象数据及相应隶属度 a 进行计算的数学模型详见文献[6]。

1.5 分析预测辅助信息子系统

本系统的各个预测分析模块, 都涉及到大量的参数、术语和标准, 这些都增加了用户的使用难度, 为此我们特意建立了分析预测辅助信息子系统, 用户在使用每个程序模块时, 均可同时检索查询数据库中相关程序模块的参考数据和辅助性资料等, 使系统更易于使用。

2 数据库模块

知识库与信息检索子系统在整个综合系统中起着基础性的作用, 决定整个系统是否稳定和优越^[8]。本系统中知识与信息的存储采用关系型数据库模式: 主、外键, 索引和全文检索等多种数据关联方式, 为其他程序模块提供数据支持, 同时提供强大检索功能, 使用户可以通过多种检索方式查询害虫的详细资料(既可通过分类地位, 中文名, 学名, 俗名, 传播途径, 原产地, 国内分布地区, 寄主植物进行精确查询, 也可只输入个别汉字或词语片段进行模糊查询)^[7-8]。用户在使用前面的分析预测模块时, 还能查询相应的辅助性参数、算法资料和使用说明。系统的构架将管理员与用户的服务器程序, 应用程序及数据库连接方式分开, 利于

系统安全，也方便数据更新。系统控制台有密码保护，系统管理员可在客户端或服务器端进行操作，既可在应用程序层进行数据库数据和表单的增加、删除和更改，也可以在底层的数据库服务器层直接进行数据库数据及数据表结构的更改。

3 系统运行实例：桔小实蝇风险评估

表 1 桔小实蝇各项评判指标得分

Tab. 1 Risk score of each attribute for *B. dorsalis*

评判指标	得分	注释
国内分布状况 (P_1)	2	主要集中在我国南部地区
潜在的经济危害性 (P_{21})	3	危害极大，是东南亚农业中 5 种最具经济重要性的实蝇类害虫之一
是否为其他检疫性有害生物的传播媒介 (P_{22})	0	目前还未见报道
国外重视程度 (P_{23})	3	美国，澳大利亚，欧盟，日本等许多国家将其列为检疫对象
受害栽培寄主的种类 (P_{31})	3	多达上百种
受害栽培寄主的面积 (P_{32})	0	没有统计，暂取为 0
受害栽培寄主的特殊经济价值 (P_{33})	0	没有统计，暂取为 0
截获难易 (P_{41})	3	广州、深圳、厦门等口岸经常截获该虫
运输中有害生物的存活率 (P_{42})	3	桔小实蝇以卵或幼虫藏匿在寄主果实内，运输过程中存活率很高
国外分布广否 (P_{43})	1	亚洲很多国家和南太平洋诸岛均有分布，此外，美国的加州，夏威夷也有分布
国内的适生范围 (P_{44})	1	我国南部和中部的部分地区是桔小实蝇的适生区
传播力 (P_{45})	1	主要通过成虫扩散
检疫鉴定的难度 (P_{51})	1	检疫过程需要打开寄主果实，利用卵和幼虫期鉴定有一定困难，采用分子生物学手段或室内饲养观察的方法需要一定的时间
除害处理的难度 (P_{52})	1	目前的检疫灭虫措施有一定效果
根除难度 (P_{53})	3	成本高，难度大

将各指标的分数输入系统进行分析，最后在屏幕上显示分析结果（见图 8）。

您输入的数据:				
P1=2				
P21=3	P22=0	P23=3		
P31=3	P32=0	P33=0		
P41=3	P42=3	P43=1	P44=1	P45=1
P51=1	P52=1	P53=3		
PRA评估结果:				
一级指标值: P2=2.4 P3=3 P4=1.55184557392 P5=1.66666666667				
综合评价值: R=2.06163580784				

图 8 系统分析得出的桔小实蝇风险分析结果

Fig. 8 Analysis results of *Bactrocera dorsalis* risk through running system

3.1 桔小实蝇多指标综合风险评估

收集风险分析的文献资料，包括桔小实蝇的生物学特性，寄主，经济影响等方面的信息为各项指标评分，最后根据评判标准对每项评判指标进行赋分并得出以下结果（见表 1）^[3]。

3.2 桔小实蝇适生性与定殖可能性风险分析

桔小实蝇在广州的适生性情况：根据相关文献确定桔小实蝇的致死最低温度为 -2.17°C ，致死最高温度为 46°C ^[9-11]。根据广东省气象台的历史记录以及新闻报道，确定广州历史最低气温为 5°C ，历史最高气温为 39°C 。将数据输入系统进行分析，显示：“虫在这里可以全年生存”，同时系统提示进入下一步分析。

桔小实蝇在广州地区的发生代数以及生物气候相似距情况：我们以台湾省 6 个基准气象站点（台北、台南、台东、高雄、花莲、恒春）的平均气象资料为标准点，选择平均气温、平均相对湿度、降水量和日照时数 4 个气象因子，计算广州市的生物气候相似距情况。需要输入的数据为：桔小实蝇发育的起点温度 13.3°C ，桔小实蝇发育有效积温为 251.6 日度，广州市 13.3°C 以上有效积温

为 3084 日度^[12-13], 同时将表 2 的数据也输入系统。

表 2 台湾标准点及广州市的生物气象因子数据

Tab. 2 Climate data in Taiwan and Guangzhou

地点	温度 (°C)	降水量 (mm)	相对湿度 (%)	日照时数 (h)
台湾标准点	24.45	113.3028	75.882	157.95
广州市	21.87	153.85	74.45	128.05

经过分析, 得出以下结果: 生物气候相似距 $d = 25.2328776195$, 在台湾地区的发生代数为 $t_{-times} = 12$, 属轻度危险区, 桔小实蝇在那里可以越冬越夏, 一年发生 4 代或 4 代以下, 评判标准: $d > 1.6$ 或 $t_{-times} < 3.0$ 或 $(1.2 < d < 1.6$ 与 $t_{-times} < 3.0)$ 或 $(3.0 \leq t_{-times} < 6.0$ 与 $d > 1.6)$ 。

3.2.3 桔小实蝇的种群增长预测 桔小实蝇有 4 个虫期: 卵、幼虫、蛹和成虫, 在使用种群增长预测模块时, 选择的 Leslie 矩阵为 4 行 4 列, 输入以下数据以及表 6 中的数据到系统中, 预测天数为 7 天, 产卵量 $f = 200$ 粒/雌, 雌虫比率 $P_f = 0.5$ 。

表 3 桔小实蝇的虫期历期、存活率和初始虫口数量

Tab. 3 Period of development, survival, and primary density of *Bactrocera dorsalis*

虫期	历期(d)	存活率(%)	初始虫口数量
卵	1.61	0.92	50
幼虫	7.2	0.978	15
蛹	7.77	0.978	10
成虫	3.875	0.5	0

经过系统分析得出预测结果如图 4, 以及虫口增长趋势如图 5, 各时间段各虫期的虫口组成如图 6 (仅显示循环 2 虫口组成饼图), 虫口总数增长如图 7。

4 关于系统进一步开发的讨论

入侵虫害风险的分析与预测, 是一项快速发展的技术, 涉及到数学生态学, 生物统计学和计算机信息技术等, 因此采用更加先进的预测算法如 PERT 路径分析法, 人工神经网络等, 开发新的程序模块, 显得十分重要和紧迫。另外, 需要考虑架构分布式服务器阵列: 将预测分析的程序模块, 预测分析数据, 知识库和其它数据分别部署在单独的

服务器上, 并在服务器之间由网络程序和接口建立网状链接。这样更便于系统的维护和管理员分工协作。

参考文献:

- [1] 王正军, 程家安, 李典谟. 水稻二化螟地理信息系统数据库的设计与组建[J]. 昆虫学报, 2001, 44(4): 525-533.
WANG Zhengjun, CHENG Jiaan, LI Dianmo. Design and building of GIS database for *Chilo suppressalis* [J]. Acta Entomologica Sinica, 2001, 44(4): 525-533.
- [2] 李勇, 周强, 张润杰. 基于 Oracle 数据库的水稻病虫综合防治专家系统[J]. 昆虫学报, 2005, 48(1): 151-154.
LI Yong, ZHOU Qiang, ZHANG Runjie. An expert system for rice integrated pest management based on Oracle [J]. Acta Entomologica Sinica, 2005, 48(1): 151-154.
- [3] 张润杰, 侯柏华. 桔小实蝇传入风险的模糊综合评估. 昆虫学报, April 2005, 48(2): 221-226.
ZHANG Runje, HOU Bohua. Assessment on the introduction risk of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) through imported fruits with fuzzy mathematics [J]. Acta Entomologica Sinica, 2005, 48(2): 221-226.
- [4] 庞雄飞, 卢一彝, 王野岸. 种群矩阵模型在昆虫生态学上的应用问题[J]. 华南农学院学报, 1980, 1(3): 27-37.
PANG Xiongfei, Lu Yilin, Wang Yean. On the use of population maxtrix models for the studies of insect ecology [J]. Journal of South China Agricultural College, 1980, 1(3): 27-37.
- [5] 卢泽愚. 种群增长的矩阵计算模型[J]. 生态学报, 1981, 1(3): 253-262.
LU Zeyu. The matrix calculation model for population growth [J]. Acta Ecologica Sinica, 1981, 1(3): 253-262.
- [6] 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[J]. 植物检疫, 1998, 12(2): 76-80.
FAN Jingan. Studies on the assessment of potential establishment of oriental fruit (*Bactrocera dorsalis*) in China with synthetic judgement on fuzzy mathematics [J]. Plant Quarantine, 1998, 12(2): 76-80.
- [7] 王骞. 网络苹果无公害病虫防治专家系统研制[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2004.
WANG Qian. Expert system of apple non-environment damage pest control [D]. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2004.
- [8] 张可. 番茄病害远程辅助识别与诊断专家系统的分析和设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2004.
ZHANG Ke. Design & analysis on tomato disease remote diagnostics expert system [D]. Chongqing: Chongqing

- University, 2004.
- [9] 詹开瑞, 赵士熙, 朱水芳, 等. 桔小实蝇在中国的适生性研究[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(4): 21 - 25.
- ZHAN Kairui, ZHAO Shixi, ZHU Shuifang, et al. Study on viability of *Bactrocera dorsalis* in China[J]. Journal of South China Agricultural University, 2006, 27(4): 21 - 25.
- [10] 林进添, 曾玲, 宾淑英, 等. 桔小实蝇自然种群生命表的组建与分析[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(2): 138 - 142.
- LIN Jintian, ZENG Ling, BIN Shuying, et al. The construction and analysis of natural population life table of *Bactrocera (Bactrocera) dorsalis* (Hendel) [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2005, 24(2): 138 - 142.
- [11] 詹开瑞. 桔小实蝇的检疫技术与风险分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2006.
- ZHAN Kairui. Quarantine technology and risk analysis of oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) [D]. Fuzhou: Fujian Agricultural And Forestry University, 2006.

A Forecast System for Invasive Pest Risk Analysis and Forecast Based on Web and MySQL: Case Study for *Bactrocera dorsalis* (Hendel)

LI Bai-ni, ZHANG Run-jie

(State Key Laboratory of Biocontrol/ Institute of Entomology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Internet technology, PHP & MySQL web database technology, and web server technology were used to develop a system for invasive pest risk analysis and forecast. The system was based on web server, and applied the mathematical model, data mining technology to population simulation, forecast and information management. Running this system, pest real time & dynamic risk analysis, viability analysis, potential distribution areas forecast, relative information collection and management were realized. The system provided a valid means for pest management and could also be a reference to those who study and develop similar system.

Key words: risk analysis; computer system; pest control; *Bactrocera dorsalis* (Hendel)