

桔小实蝇在中国的适生性研究

詹开瑞^{1,2}, 赵士熙¹, 朱水芳³, 周卫川², 王念武²

(1 福建农林大学 植物保护学院, 福建 福州 350002; 2 福建出入境检验检疫局, 福建 福州 350001; 3 中国检验检疫科学研究院 动植物检疫研究所, 北京 100029)

摘要:对桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 在中国的适生性进行了研究, 结果表明, 该虫的世代发育起点温度和有效积温分别为 10.675 7 °C、501.724 0 日度。根据桔小实蝇的致死温度、有效积温和生物气候相似距, 构建了桔小实蝇适生性分析计算机模型。用中国 670 个气象站 30 年的气候资料运行该模型, 将桔小实蝇在中国的定殖风险区划分为高度危险区、危险区、轻度危险区和安全区, 分布北界为(30±2)°N, 适生区面积占全国的 31.64%, 1 年发生 3~11 代, 以 4~8 代为主。

关键词:桔小实蝇; 模型; 适生性; 植物检疫

中图分类号: S412; S436.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2006)04-0021-05

Study on Viability of *Bactrocera dorsalis* in China

ZHAN Kai-ru^{1,2}, ZHAO Shi-xi¹, ZHU Shui-fang³, ZHOU Wei-chuan², WANG Nian-wu²

(1 College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

2 Fujian Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Fuzhou 350001, China;

3 Institute of Animal and Plant Quarantine, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100029, China)

Abstract: The computer model of viability of *Bactrocera dorsalis* Hendel was established based on its fatal temperature, accumulated effective temperature and bioclimate analogous distance. By using 30-year climate data of 670 meteorological stations in China to construct the model. The results showed that *B. dorsalis* could occur 3 to 11 generations yearly in China, mainly 4-8 generations, and the viability areas were 31.64% in China, and the potential distribution areas in China could be divided into safe regions, low risk regions, risk regions and high risk regions, and the northern distribution threshold was nearly (30±2)°N.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; model; viability; plant quarantine

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 是世界性检疫害虫, 起源于我国台湾省和日本琉球群岛一带, 现已传播到世界上 20 多个国家和地区。该虫寄主范围很广, 可危害芒果、石榴、酸橙、甜橙、柚子、柑桔、葡萄、桃、梨、李、香蕉、咖啡、番木瓜、番石榴、辣椒、番茄、黄瓜等 46 个科 250 多种水果和蔬菜, 是东南亚和太平洋地区毁灭性果树害虫^[1]。我国于 1992 年将该虫列入进境植物检疫二类危险性有害生物名

单。该虫在我国大陆南方局部地区有发生, 国际上一些国家以此为由, 拒绝我国荔枝、芒果、柑桔等重要水果出口, 甚至禁止桔小实蝇根本不可能分布地区的山东鸭梨和新疆哈密瓜出口, 给我国的水果生产和对外贸易造成重大的经济损失。根据 WTO 之 SPS 协议, 实施植物检疫措施必须以有害生物风险分析 (PRA) 为基础, 而适生性则是 PRA 的核心。桔小实蝇在中国的适生性研究, 是正确制定该虫检疫政策

收稿日期: 2005-12-10

作者简介: 詹开瑞 (1963—), 男, 高级农艺师; 通讯作者: 周卫川 (1960—), 男, 研究员, 硕士, E-mail: wczhou@163.com

基金项目: 福建省自然科学基金 (B0410028)

和应对国外技术壁垒的科学依据。为此,笔者于2003—2004年对桔小实蝇在中国的适生性进行了系统的定量研究。

1 材料与方 法

1.1 发育起点温度和有效积温

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 来自福州机场现场检疫中截获的台湾虫果,经室内培养、繁殖,取第4代的种群为供试虫源。100目纱网制成的铝合金养虫笼(48 cm × 42 cm × 35 cm)20个,选择与养虫笼相应规格的瓷盘盛装厚度为4~5 cm、经过严格高压湿热灭菌的细沙(湿度60%~70%),用于养虫笼内调控湿度并供老熟幼虫化蛹。

用切开的新鲜芒果供成虫产卵,将每天采集的卵置于LRH-250-GS型人工气候箱(广东医疗器械厂生产)内培养观察,设15、18、21、24、27、30℃6个温度梯度(振幅为±0.5℃),湿度85%,每日光照12 h,重复3次。每天9:00观察记录卵、幼虫、蛹、成虫(产卵前期)的发育情况和发育进程,计算平均发育历期。

1.2 临界致死温度

从文献[2-7]数据中可以看出,桔小实蝇接入不同的水果中,用低温处理的致死温度是不同的,最低致死温度和时间为1℃、13 d。在自然条件下,连续13 d的恒定低温是不可能发生的。为了预测桔小实蝇的越冬区,本研究重复了陈华忠等^[4]的实验,当温度降至-1.5℃,处理12 h,芦柑中的桔小实蝇各龄幼虫全部死亡。12 h的处理时间接近夜间低温时段,以此来预测越冬区更接近实际。

1.3 适生性分析计算机模型

1.3.1 致死温度模块 计算机根据以下原则判别: $t_{\max}(i) > t_{\max}$ 且 $t_{\min}(i) < t_{\min}$,不能越冬和越夏; $t_{\min}(i) < t_{\min}$ 不能越冬; $t_{\max}(i) > t_{\max}$ 不能越夏; $t_{\min}(i) > t_{\min}$ 且 $t_{\max}(i) < t_{\max}$ 可以生存的地区。其中, t_{\max} 、 t_{\min} 分别表示桔小实蝇的越夏、越冬临界温度指标, $t_{\max}(i)$ 、 $t_{\min}(i)$ 分别表示第*i*气象站点所代表地区1951—1980年30年间年最高、最低气温的平均值。

桔小实蝇各虫态低温忍耐力研究结果^[3]表明,幼虫的低温忍耐力比卵和蛹期强,其中又以第3龄耐低温能力最强。该虫耐高温能力试验^[7]证明,1龄幼虫比卵和其他龄幼虫更耐热。因此,本研究采用3龄幼虫致死临界低温和1龄幼虫致死临界高温作为

模型的参数。同时,冬季气温低于土壤温度,需要修正。沈发荣等^[8]报道,桔小实蝇以老熟幼虫和蛹在2~3 cm深的土壤中越冬。根据福州市郊冬季田间测定,3 cm深处的土壤温度要比气温高1.2℃,故模型中的临界致死低温修正为-2.7℃。

1.3.2 有效积温模块 用1951—1980年30年间的逐旬平均气温(t_{ij})计算各地年有效积温(t_y)

$$t_y = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^3 (t_{ij} - t_0) \times D_{ij}, t_{ij} \geq t_0.$$

其中, t_0 为桔小实蝇的发育起点温度(℃), D_{ij} 为各旬的天数。根据计算的年有效积温值预测各地的年发生代数。

1.3.3 生物气候相似距模块 以我国台湾省6个基准气象站点(台北、台南、台东、彰化、花莲、恒春)的平均气候资料为标准点,选择平均气温、平均相对湿度、降水量和日照时数等4个气象因子,用改进后的欧氏距离计算生物气候相似距(d_{ij}),设选择*m*个气候因子计算相似距,则

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (X'_{ik} - X'_{jk})^2}.$$

其中, X'_{ik} 、 X'_{jk} 为*i*、*j*2个站点第*k*种气候因子的标准化值。

1.3.4 地理信息模块 地理信息模块是在Visual Basic集成开发环境中,应用地理信息系统控件MapInfo MapX完成模块的研制。其主要功能是根据气象站点的地理纬度和经度资料,对研究结果进行有效的作图分析。

1.3.5 适生性分析计算机模型的组装 在Windows操作系统平台上,选用MapInfo MapX控件和Visual Basic程序设计语言,建立桔小实蝇适生性分析计算机模型(CMVOFF, Computer Model on Viability of Oriental Fruit Fly)。用该模型研究桔小实蝇在中国的适生性。

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇发育起点温度和有效积温

桔小实蝇在不同温度下的发育历期见表1。从表1可见,在一定范围内,桔小实蝇的发育速率随温度上升而加快,发育历期随之缩短,温度为15℃时,完成1个世代需86 d,温度为24℃时,完成1个世代缩短为32 d。但当温度到达35℃时,幼虫发育率急剧下降,而蛹则停止发育直至死亡,不能完成世代,表明高温对幼虫和蛹发育不利。

表 1 桔小实蝇在不同恒温条件下的平均世代历期
Tab. 1 Effects of temperature on developmental duration of *Bactrocera dorsalis*

$t/^\circ\text{C}$	卵期 egg stage	幼虫期 larva stage	蛹期 pupa stage	产卵前期 preoviposition stage	世代(卵→卵) generation (egg→egg)
15	5.43	17.79	33.21	29.82	86.25
18	3.64	14.13	23.36	19.96	61.09
21	2.17	10.86	15.12	12.82	40.97
24	1.74	9.20	10.60	10.08	31.62
27	1.35	7.77	9.21	8.17	26.50
30	1.09	6.30	8.61	7.01	23.01

根据有效积温法则, $t_d = N(t_1 - t_0)$, 其中 t_d 为各

发育期有效积温, t_0 为发育起点温度, t_1 为试验温度, N 为发育历期, t_d 、 t_0 为常数, 根据表 1 数据, 用非线性化的牛顿-马夸法拟合有效积温方程, 推算出桔小实蝇各虫期的 t_d 、 t_0 和世代的 t_d 、 t_0 (表 2)。

表 2 的结果显示, 桔小实蝇各虫期的有效积温方程经测验均达极显著水平, 表明计算的发育起点温度和有效积温是可靠的。根据生物学逻辑, 世代发育起点温度取各虫期最高值, 桔小实蝇的世代发育起点温度和有效积温分别为 10.675 7 °C、501.724 0 日度, 世代有效积温的研究结果与前人^[9-10]不一致, 这主要是本研究要预测桔小实蝇在各地的年发生代数, 所采用的世代概念是从卵到卵, 中间多了一个产卵前期, 而前人研究的世代概念是从卵到蛹羽化为成虫。

表 2 桔小实蝇各虫期发育起点温度(t_0)和有效积温(t_d)

Tab. 2 The developmental threshold temperature and effective accumulated temperature of *Bactrocera dorsalis*

虫期 insect stages	$t_0/^\circ\text{C}$	t_d /日度	R^2	F
卵 egg	10.675 7 ± 0.480 5	23.861 5 ± 2.168 7	0.984 9**	260.171 3**
幼虫 larva	5.885 6 ± 0.581 0	165.385 0 ± 8.294 6	0.992 8**	553.589 8**
蛹 pupa stage	9.995 2 ± 0.564 8	169.112 1 ± 15.417 6	0.983 0**	231.333 9**
产卵前期 preoviposition stage	10.236 2 ± 0.357 4	143.724 0 ± 8.744 1	0.992 5**	530.566 1**
世代(卵→卵) generation(egg→egg)	10.675 7	501.724 0		

2.2 模型的预测结果

用气候数据库^[11]中全国 670 个气象站点 1951—1980 年 30 年间的气候数据和地理信息数据库运行 CMVOFF, 预测结果分述如下。

2.2.1 适生区 桔小实蝇在中国的适生区预测结

果如图 1 所示。桔小实蝇在中国各地都可安全越夏, 夏季高温不构成限制其在中国的地理分布。不能越冬的地区有 458 个, 占全国的 68.36%, 这些地区的水果出口携带桔小实蝇的风险为零。可以安全越冬的地区有 212 个, 占全国的 31.64%, 桔小实蝇在这

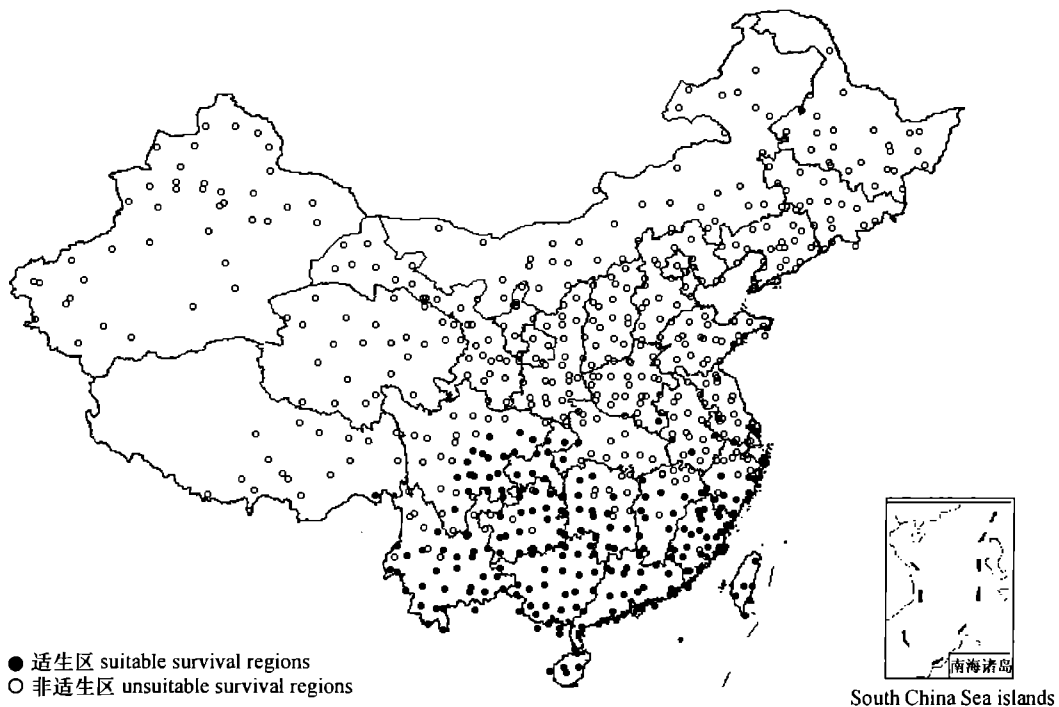


图 1 桔小实蝇在中国的适生区预测结果

Fig. 1 The forecasting result of suitable survival regions of *Bactrocera dorsalis* in China

些地区有人侵的可能性. 冬季低温是限制桔小实蝇在中国分布的主要气候因子,分布北界为(30±2)°N.

2.2.2 年发生代数预测 在全国桔小实蝇可以安全越冬的212个气象站点所代表的地区中,各地年发生代数预测如下:

1年发生2代的地区(0.47%):云南的东川.

1年发生3代的地区(4.25%):福建的寿宁;云南的泸水、大理、沾益、陆良、昆明;贵州的毕节、安顺、郎岱.

1年发生4代的地区(12.26%):江苏的扬州、溧水;安徽的霍山;浙江的定海、象山;河南的固始;湖南的花垣;广西的南丹;四川的灌县、成都、雅安;云南的保山、玉溪、丘北、广南、临沧;贵州的正安、桐梓、湄潭、遵义、镇远、贵阳、独山、盘县、兴仁;西藏的察隅.

1年发生5代的地区(34.43%):安徽的铜陵;浙江的金华、宁海、衢州、海门、丽水、龙泉、温州、景宁;福建的浦城、崇安、建阳、福鼎、泰宁;湖北的巴东、恩施;湖南的慈利、张家界、沅陵、长沙、溆浦、新化、双峰、芷江、邵阳、茶陵、武冈、通道、零陵、郴州;江西的修水、南昌、玉山、上高、宜春、南城、广昌;广西的全州、龙胜;四川的巴中、绵阳、达县、奉节、南充、遂宁、简阳、内江、峨眉、乐山、汉源、自贡、泸州、宜宾、马边、西昌;重庆的万县、涪陵、綦江、重庆、梁平、彭水;云南的景东、文山、蒙自、澜沧、江城、思茅;贵州的沿河、赤水、思南、铜仁、锦屏、榕江.

1年发生6代的地区(19.34%):福建的福安、建瓯、南平、宁德、沙县、闽清、福州、永安、长乐、永泰、长汀、连城、平潭、龙岩、上杭;湖南的衡阳、新田、江华;江西的贵溪、吉安、遂川、赣州、大余、寻乌;广西的桂林、融安、隆林、柳州、贺县、蒙山、靖西;广东的南雄、连县、新丰;重庆的开县;云南的华坪、莲山、潞西、开远、富宁;贵州的罗甸.

1年发生7代的地区(9.91%):福建的永春、惠安、南靖、厦门、漳州、东山;广西的河池、都安、梧州、桂平、贵县、大新;广东的韶关、阳山、英德、梅州、河源、揭阳、汕头;云南的耿马、勐腊.

1年发生8代的地区(12.26%):广西的百色、田东、南宁、玉林、龙津、上思、东兴、灵山、北海;广东的惠阳、广州、惠来、高要、海丰、宝安、信宜、台山、钦州、阳江;海南的琼中;云南的元谋、河口、允景洪;台湾的台北、彰化、花莲.

1年发生9代的地区(4.72%):广东的茂名、涠洲岛、湛江、徐闻;海南的海口、儋州、琼海;云南的元江;台湾的台南、台东.

1年发生10代的地区(1.89%):海南的东方、陵水、榆林港;台湾的恒春.

1年发生11代的地区(0.47%):海南的西沙.

2.2.3 定殖风险分析(PRA)区划 综合分析桔小实蝇的越冬越夏、有效积温(t_g 为世代有效积温, t_r 为观察点的年有效积温)和生物气候相似距(d_{ij}),将桔小实蝇在中国的潜在定殖风险区划分如下(图2).

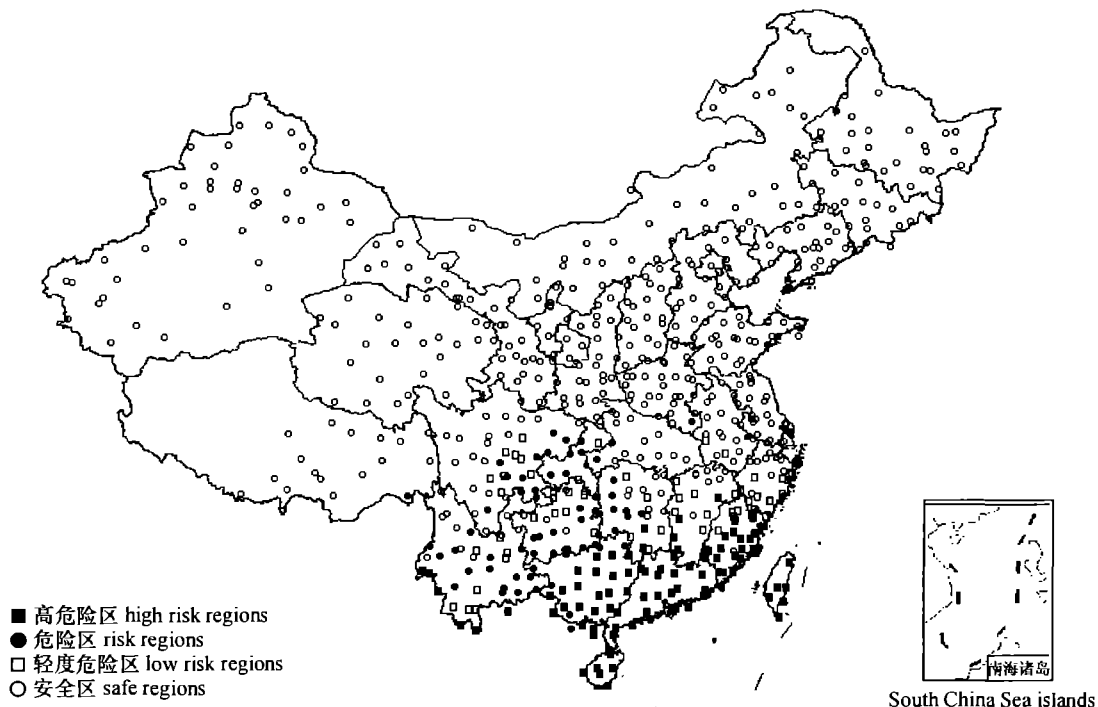


图2 桔小实蝇在中国的定殖风险分析区划

Fig. 2 Geographical division of colonization PRA of *Bactrocera dorsalis* in China

安全区(68.36%):桔小实蝇不能越冬或越夏的广大地区. 越冬北界为 $(30 \pm 2)^\circ\text{N}$.

轻度危险区(8.36%):这些地区该虫可以越冬,一般1年发生4代或4代以下, $d_{ij} > 1.6$ 或 $t_y < 3.0t_g$ 或 $(1.2 < d_{ij} \leq 1.6$ 与 $t_y < 3.0t_g$)或 $(3.0t_g \leq t_y < 6.0t_g$ 与 $d_{ij} > 1.6)$. 主要包括浙江、江西、湖南、贵州、四川、云南的部分地区和安徽、江苏、福建的局部地区等9省区的56个地区.

危险区(9.70%):这些地区该虫多是1年发生5~7代,多数生物气候因子和标准点比较相似,主要是生育期比标准点短一些, $(0.8 < d_{ij} \leq 1.2$ 与 $t_y > 3.0t_g$)或 $(3.0t_g \leq t_y < 6.0t_g$ 与 $d_{ij} < 1.6)$. 主要包括湖南、贵州、重庆、四川、云南的部分地区和安徽、江苏、河南、西藏、广西的局部地区等10省区的65个地区.

高度危险区(13.58%):这类地区该虫多是1年发生8代或8代以上,气候终年温暖湿润,生物气候条件和标准点甚为相似, $(d_{ij} \leq 0.8$ 与 $t_y > 6.0t_g)$ 或 $(t_y \geq 9.0t_g$ 与 $d_{ij} < 1.2)$. 主要包括海南、台湾、广东全境,福建、广西的绝大部分地区和云南、江西、湖南的部分地区等8省区的91个地区.

3 讨论与结论

温度是决定桔小实蝇地理分布的关键因子和必要条件. 因此,本模型预测的非适生区,该虫是不可能越冬的,在预测的适生区中,该虫有可能因湿度等其他条件的限制而无法生存. 以多元聚类分析为基础的生物气候相似距方法,克服了单因子温度模型的缺陷,为有害生物的适生性研究提供了新的思路和方法. 但必须对所研究的有害生物有全面的生物学和生态学知识,才能正确选定影响有害生物的主要气候因子,进行生物气候相似性研究.

本模型把桔小实蝇在中国的潜在定殖风险区划分为高度危险区、危险区、轻度危险区和安全区,可作为制定检疫政策的依据. 桔小实蝇仅分布于中国南方的局部地区,与占全国面积31.64%适生区相比是很小的,中国政府为控制疫情扩散投入了巨大的财力,并有效地控制了疫情. 中国政府对桔小实蝇采取检疫措施完全符合SPS协议原则和国际惯例. 加强植物检疫,是防止桔小实蝇传入潜在适生区危害最为经济有效的技术措施.

本研究明确了桔小实蝇在中国的地理分布北界为 $(30 \pm 2)^\circ\text{N}$. 在此以北占全国面积68.36%

左右的广大地区,该虫不可能生存. 因此,这些地区出口水果携带桔小实蝇的风险为0,国外一些国家以桔小实蝇为由禁止我国山东鸭梨和新疆哈密瓜等水果出口是完全没有科学依据的. 只要加强管理,严格控制销售地区,我国南方疫区水果出口到 32°N 以北的国家和地区对当地的水果生产也是安全的.

有害生物的适生性研究是有害生物风险分析研究中的核心. 明确有害生物的潜在分布区,可提高检疫决策的科学性. 近年来有害生物的定量风险分析研究有了一定的进展,以数学模型为基础的地理信息系统模型的研究和应用无疑将是风险分析研究中的一个新的发展方向. 本研究只是在这方面的初步尝试,有待于在今后的研究工作中进一步完善.

参考文献:

- [1] 梁红光,陈家骅,杨健全,等. 桔小实蝇国内研究概况[J]. 华东昆虫学报,2004,13(1):90-98.
- [2] 梁广勤,林楚琼,梁帆. 低温处理橙果实中桔小实蝇作为检疫措施[J]. 华南农业大学学报,1992,13(1):36-40.
- [3] 梁广勤,梁帆,杨国海,等. 低温处理接入龙眼桔小实蝇杀虫试验研究[J]. 江西农业大学学报,1999,21(1):33-36.
- [4] 陈华忠,张清源,方元炜,等. 芦柑接入桔小实蝇的低温杀虫处理试验[J]. 植物检疫,2002,16(1):1-4.
- [5] 梁广勤,梁帆,吴佳教. 沙田柚低温杀虫处理试验研究[J]. 江西农业大学学报,2002,24(2):223-226.
- [6] 梁广勤,梁帆,林楚琼,等. 热水处理芒果杀灭果实中的桔小实蝇[J]. 江西农业大学学报,1993,15(4):449-453.
- [7] 梁广勤,梁帆,吴佳教,等. 拟输日本芒果蒸热杀虫处理试验研究[J]. 江西农业大学学报,1999,21(4):533-535.
- [8] 沈发荣,周又生,赵焕萍. 柑桔小实蝇生物学特性及其防治研究[J]. 西北林学院学报,1997,12(1):85-89.
- [9] 吴佳教,梁帆,梁广勤. 桔小实蝇发育速率与温度关系的研究[J]. 植物检疫,2000,14(6):321-324.
- [10] VERGAS R I. Survival and development of immature stages of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures[J]. Ann Entomol Soc Am, 1996, 89(1):64-69.
- [11] 周卫川. 外来有害生物地理信息系统初步研制[J]. 植物检疫,2005,19(6):347-348.

【责任编辑 周志红】