

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2015.03.9

基于 CLIMEX 和 ArcGIS 的桔小实蝇 在贵州适生性研究

王涛^{1,3}, 任艳玲², 何善勇⁵, 张润志^{4*}, 杨茂发^{1*}

(1. 贵州大学昆虫研究所, 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025; 2. 贵州轻工职业技术学院, 贵阳 550000;
3. 贵州检验检疫局, 贵阳 550000; 4. 中国科学院动物研究所, 动物进化与系统学重点实验室, 北京 100101;
5. 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)

摘要: 桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是重要的植物检疫性有害生物, 可危害 46 个科 250 多种果蔬等作物, 在世界上大多数热带、亚热带果蔬产区均有分布。为了解桔小实蝇在贵州潜在危害范围和程度, 基于桔小实蝇的生物学特性、已知分布资料和气象数据, 采用 CLIMEX 与 ArcGIS 软件对桔小实蝇在贵州的适生性、年发生代数 and 动态进行分析、预测。结果表明, 桔小实蝇在贵州适生程度较高, 高度适生区面积占全省总面积的 88%, 桔小实蝇在贵州的发生代数主要为 2–6 代, 发生 4 到 5 代的区域最多, 常年发生区和季节发生区面积较小, 大部分区域为二者间的过渡区, 结果为贵州桔小实蝇监测、预警、防控和优化果蔬产业布局提供科学指导。

关键词: 桔小实蝇; 适生性; CLIMEX; ArcGIS; 贵州

中图分类号: Q968.2; S436.66

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2015) 03-0534-09

The potential geographical distribution of *Bactrocera dorsalis* based on CLIMEX and ArcGIS in Guizhou

WANG Tao¹, REN Yan-Ling², HE Shan-Yong⁵, ZHANG Run-Zhi^{4*}, YANG Mao-Fa^{1*} (1. The Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region; Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Light Industrial Vocational College, Guiyang 550000, China; 3. Guizhou Exit and Entry Inspection and Quarantine Bureau, Guiyang 550000, China; 4. Institute of Zoology, Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 5. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: *Bactrocera dorsalis* (Hendel) was one of the most important quarantine pests, which could damage 46 genera and more than 250 species, distributed majority tropical and subtropical in the world. In order to understand potential hazard range and damaged extent, based on *B. dorsalis* biological characteristics, distribution data and meteorological data, we used CLIMEX software and ArcGIS software to analyze and predict the potential geographical distribution, generation number and occurrence of *B. dorsalis* in Guizhou province, People's Republic of China. The results showed that *B. dorsalis* suitable degree was higher in Guizhou, accounting for 88% of total area of the province. *B. dorsalis* in Guizhou algebra were mainly occurred in 2–6 generations, had four or five generations of region mostly. Perennial happen area and seasonal happen area were less. Most area was the transition zone of these two kinds of area. The result provided scientific guidelines for monitor, early warning, prevention and control

基金项目: 贵州省科学技术基金 (黔科合 J 字 [2013] 2149 号); 国家质检总局重点科研项目 (20141k022)

作者简介: 王涛, 男, 1981 年生, 博士, 从事生态学、入侵有害生物及其防控等研究, E-mail: 745498931@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn; yangmaofa@sohu.com

收稿日期 Received: 2015-04-03; 接受日期 Accepted: 2014-04-22

of *B. dorsalis* in Guizhou Province, and for optimization of fruit and vegetable industry layout in local area.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; potencial geographical distribution; CLIMEX; ArcGIS; Guizhou

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是双翅目 Diptera, 实蝇科 Tephritidae, 寡鬃实蝇亚科 Dacinae, 寡鬃实蝇族 Dacini, 果实蝇属 *Bactrocera* 重要的有害生物 (Clarke *et al.*, 2005), 我国大陆习惯上称为 (柑) 橘/桔小实蝇、(柑) 橘/桔小寡鬃实蝇等。桔小实蝇是寄主范围特别广泛的典型多食性昆虫, 可为害 46 个科 250 多种果蔬等作物。桔小实蝇具有较强的生境适应能力和扩散潜力, 能自然或通过果蔬长途运输进行远距离扩散, 桔小实蝇 1911 年首次在我国台湾的柑桔作物上被发现后, 已广泛分布在多个国家和地区的果蔬产区 (Clarke *et al.*, 2005; 张彬等, 2008), 我国大陆局部地区也有分布 (范京安等, 2003; 李伟丰等, 2008; 林明光等, 2013), 桔小实蝇一旦在当地定殖并发展为优势种群, 每年可发生多代, 各世代相互重叠, 危害严重, 将对地区果蔬产业、生物多样性和生态系统构成严重威胁 (Ye, 2001)。贵州省目前未见桔小实蝇分布及其危害普查的相关报道, 相关记录多散见于各地区实蝇种类及果蔬有害生物的调查, 目前贵州已经报道桔小实蝇的分布区多集中在中南部部分地区 (张忠民和方宝庆, 1988; 梁广勤等, 1989; 韦党扬和赵琦, 1998; 雷邦海等, 2009), 多个团队对桔小实蝇在全国的适生性进行预测, 分析, 但结果存在一定出入, 不同团队对桔小实蝇在贵州适生程度的研究结论也不尽一致 (范京安, 1998; 侯柏华和张润杰, 2005; 周国梁等, 2007)。近来国内很多学者基于本地数据, 对当地桔小实蝇的适生性进行分析 (熊焰等, 2006; 王俊伟等, 2010), 这些研究揭示了桔小实蝇在各地的适生性、发生状况, 对监测、预警、防控和优化果蔬产业布局具有重要指导意义。本研究基于 CLIMEX 和 ArcGIS 对桔小实蝇在贵州的适生区域及适生程度进行预测。

1 材料与方法

1.1 研究软件

1.1.1 适生性分析软件 CLIMEX

采用澳大利亚 Hearne Scientific Software 公司出版的 CLIMEX 3.0 软件, 采用功能模块为单物种地

区比较 (Compare Location 1 species)。

1.1.2 图像处理软件 ArcMAP

采用美国环境系统研究所公司 (Environmental Systems Research Institute, Inc. 简称 ESRI) 开发的 ArcGIS 9.3 软件对 CLIMEX 结果进行图层分析。

1.2 气象数据

本研究所用的 CLIMEX 3.0 自带 85 个中国气象站点的月均值数据 (1961 - 1990), 从中国气象科学数据共享网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>) 下载中国地面气候标准值月值数据集 (1971 - 2000), 按照 CLIMEX 的格式要求, 整理得到全国 740 个站点气象数据。

1.3 生物学资料整理

温度: 桔小实蝇各虫态发育起点温度处于 5℃ - 13℃ 范围之内 (吴佳教等, 2003; 袁盛勇等, 2005)。袁盛勇等 (2005) 计算出桔小实蝇卵、幼虫、蛹、成虫和整个世代的发育起点温度分别为 11.95, 11.70, 12.44, 12.44 和 10.21℃, 吴佳教等 (2003) 计算出桔小实蝇卵、幼虫及蛹的发育起点温度分别为 12.19、5.25、10.08℃。桔小实蝇世代有效积温在 334.4 - 356.72 日度之间 (吴佳教等, 2003; 袁盛勇等, 2005)。

桔小实蝇的低温研究方面, 袁盛勇等 (2005) 研究发现在温度为 7℃ 和 10℃ 时, 各虫态均不能存活。吴宇芬 (2005) 研究认为桔小实蝇的临界致死低温为 -1.7℃。侯柏华和张润杰 (2007) 测定出桔小实蝇蛹的过冷却点范围为 -12.12℃ ~ -15.10℃, 老熟幼虫的过冷却点为 -8.11℃, 成虫的过冷却点根据虫龄和性别不同处于 -10.15℃ ~ -5.19℃, 测定结果提示温带地区该虫可能以蛹越冬。限制高温方面, 梁光红等 (2003) 发现遇干旱、高温时 (35℃ 以上) 桔小实蝇幼虫有休眠情况。吴宇芬 (2005) 研究环境温度一旦超过 36℃ 将对桔小实蝇的发育造成严重影响。当低于 15℃ 或高于 33℃ 时, 卵、幼虫和蛹的死亡率均显著增加 (蒋小龙等, 2001; 和万忠等, 2002)。

湿度: 桔小实蝇在自然界受湿度影响较大, 喜欢湿润的条件, 有报道了不同湿度环境对桔小实蝇的影响, 在饱和湿度、微湿、干燥时,

卵的孵化率分别为 83 %、50 % 和 3 %。土壤含水量低于 40 % 或高于 80 % 时,老熟幼虫入土慢,死亡率高(和万忠等,2002;孔令斌等,2008)。一般在雨量充沛时,雌虫的产卵量较多,种群增长快,在旱季,雌虫的产卵量降低,种群受到压制,羽化的成虫无法在土壤中挣扎出来,且无法充分展翅,以至新羽化的成虫死亡率极度增加。干旱会造成蛹体的暂时性发育迟缓甚至休眠,但一旦雨水充足即可大量羽化。土壤相对含水量在 30 % - 80 % 之间,蛹的羽化率较高,含水量较低或较高时,羽化率都明显受到抑制(林进添等,2004)。

1.4 总体分析流程

按照桔小实蝇生物学资料,参考 CLIMEX 中的模板数据,设置好桔小实蝇的初始参数值,预测其在中国已知分布地区的分布情况,根据预测结果不断调试参数值,直到预测结果与实际情况相符合,由此确定最终的参数值。从 CLIMEX 软件的 MetManager 中导入中国历史气象数据,根据桔小实蝇最终参数值,计算出历史气候条件下我国各站点 EI 值。利用 ArcGIS 9.3 软件的空间分析

工具,采用反距离加权插值分析将我国分散站点的 EI 值制成连续的气候适生区分布图。

1.5 桔小实蝇分布及 CLIMEX 参数设置

桔小实蝇参数的设置结合文献发表的数据和 CLIMEX 软件自带模板数据。通过对比桔小实蝇具体分布点与 Koeppen - Geiger - GIS 气候分类图,选择出拟使用的 CLIMEX 相应模板数据。桔小实蝇原产亚洲的热带和亚热带(黄素青和韩日畴,2005),现广泛分布于世界多个国家和地区的水果产区(Cl Clarke *et al.*, 2005; 张彬等,2008)。我国目前分布于广东、广西、湖南、贵州、福建、海南、云南、四川、台湾等南方大部分省区(范京安等,2003;李伟丰等,2008;林明光等,2013)。由桔小实蝇的具体分布范围可知,该虫主要生存在热带和温带气候环境中,部分能在干旱的沙漠环境中生存,可以推断该虫具有较广的生态适生能力。因此最终选择了 CLIMEX 软件自带的热带雨林物种模板、热带草原模板、温带模板和沙漠物种模板,进行桔小实蝇参数设置。通过不断地预测调试,确定最终参数。具体如表 1 所示。

表 1 桔小实蝇 CLIMEX 参数值
Table 1 CLIMEX parameter value for *Bactrocera dorsalis*

CLIMEX 参数名称	热带雨林模板 Wet Tropical	热带草原模板 Tropical Savannah	温带模板 Temperate	沙漠物种模板 Desert	文献数据 Reference	最终参数值 Final parameter
发育起点温度 (DV0) The lower temperature threshold	15	18	8	15	5 - 13	10.21
适宜温度下限 (DV1) The lower optimum temperature	28	28	18	25	24	24
适宜温度上限 (DV2) The upper optimum temperature	33	32	24	40	33	33
发育最高温度 (DV3) The upper temperature threshold	36	38	28	44	35, 36	36
有效积温 (PDD) Effective accumulated temperature	0	650	600	0	334.4, 356.72	350
冷胁迫开始积累的温度阈值 (TTCS) The cold stress temperature threshold	2	2	0	2	-1.7, 7, 10	2
冷胁迫积累速率 (THCS) The cold stress temperature rate (THCS)	0	0	0	-0.001		-0.001
热胁迫开始积累的阈值 (TTHS) The heat stress temperature threshold (TTHS)	37	39	30	44	36	37

(续上表)

CLIMEX 参数名称	热带雨林模板 Wet Tropical	热带草原模板 Tropical Savannah	温带模板 Temperate	沙漠物种模板 Desert	文献数据 Reference	最终参数值 Final parameter
热胁迫积累速率 (THHS) The heat stress temperature threshold	0.0002	0.0002	0.005	0.001		0.0002
发育需要的最低土壤湿度 (SM0) Lower soil moisture threshold	0.35	0.15	0.25	0		0.001
适宜发育需要的土壤湿度下限 (SM1) Lower optimal soil moisture	0.7	0.4	0.8	0.001	0.3	0.3
适宜发育需要的土壤湿度上限 (SM2) Upper optimal soil moisture	1.5	0.6	1.5	0.2	0.8	0.8
发育需要的土壤最高湿度 (SM3) Upper soil moisture threshold	2.5	0.8	2.5	0.3		2
干胁迫开始积累的阈值 (SMDS) The dry stress threshold	0.25	0.1	0.2			0.001
干胁迫积累速率 (HDS) The dry stress rate	-0.01	-0.001	-0.005			-0.001
湿胁迫开始积累的阈值 (SMWS) The wet stress threshold	2.5	1	2.5	0.3		2
湿胁迫积累速率 (HWS) The wet stress rate	0.002	0.005	0.002	0.1		0.001

1.6 生态气候指数 EI 值划分

CLIMEX 使用生态气候指数 (EI) 的大小评估物种在指定地区的潜在适生程度。其取值范围为 0-100, 接近于 0 表示该地不适合长期生存, 超过 30 即表示某地气候非常适宜生存, 等于 100 仅可能发生在如恒温箱般稳定理想的环境条件下 (Sutherst *et al.*, 2007)。实践中, EI 值超过 20 就可认为指定地区非常适合某物种生存 (Sutherst, 2003)。参照 Chejara 等 (2010) 的界定, 本文划分的标准为: 非适生区, $0 \leq EI < 0.5$; 低度适生区, $0.5 \leq EI < 10$; 中度适生区, $10 \leq EI < 20$; 高度适生区, $EI \geq 20$ 。

2 结果与分析

2.1 桔小实蝇世界分布预测与实际情况

利用 CLIMEX 预测出桔小实蝇在全世界的适生情况, 具体如图 1 所示。目前桔小实蝇在全世界主要处于 $34^{\circ}\text{N} - 34^{\circ}\text{S}$ 之间 (孔令斌等, 2008), 预测结果显示桔小实蝇实际分布的国家和地区均在 CLIMEX 预测的适生区范围之内。特别是 CPC (www.cabi.org/cpc) 官网记录的桔小实蝇广泛发

生的国家印度和孟加拉国, CLIMEX 预测结果显示均广泛适生。其中 CLIMEX 收录印度站点 43 个, 结果显示 43 个站点均适生, EI 平均值达到 29, 适生程度较高; 孟加拉国 3 个站点均适生, EI 平均值达 39, 适生程度高。通过对比可知预测结果与实际分布情况相吻合。

2.2 桔小实蝇在贵州适生性

CLIMEX 预测结果显示, 贵州各个气象站点的 EI 总体平均值超过 28, 由此表明桔小实蝇在贵州省内全境适生且适生程度很高, 中低度适生区范围较小 (图 2)。ArcGIS 的统计结果显示, 高度适生区面积为 14 万 km^2 , 占到总面积的 88%, 中度适生区面积约为 1.5 万 km^2 , 低度适生区面积约为 0.4 万 km^2 , 分别占全省总面积的 9% 和 3%。其中低度适生区主要位于北部局部地区, 具体为桐梓县北部、正安县北部、绥阳县北部。中度适生区位于北部和西部地区, 北部的中度适生区环绕在低度适生区附近, 具体包括桐梓县中部和东南部、绥阳县中南部、湄潭县北部、凤冈县北部、正安县南部、务川县西南部、道真县西部地区。西部的中度适生区包括威宁县除西北角外的地区、赫章县西部地区、钟山区、水城县西部和盘县特

区的北部。目前贵州省境内实际发现桔小实蝇的县市均位于预测结果的高度适生区范围之内 (张

忠民和方宝庆, 1988; 梁广勤等, 1989; 韦党扬和赵琦, 1998; 陈霄等, 2007; 雷邦海等, 2009)。

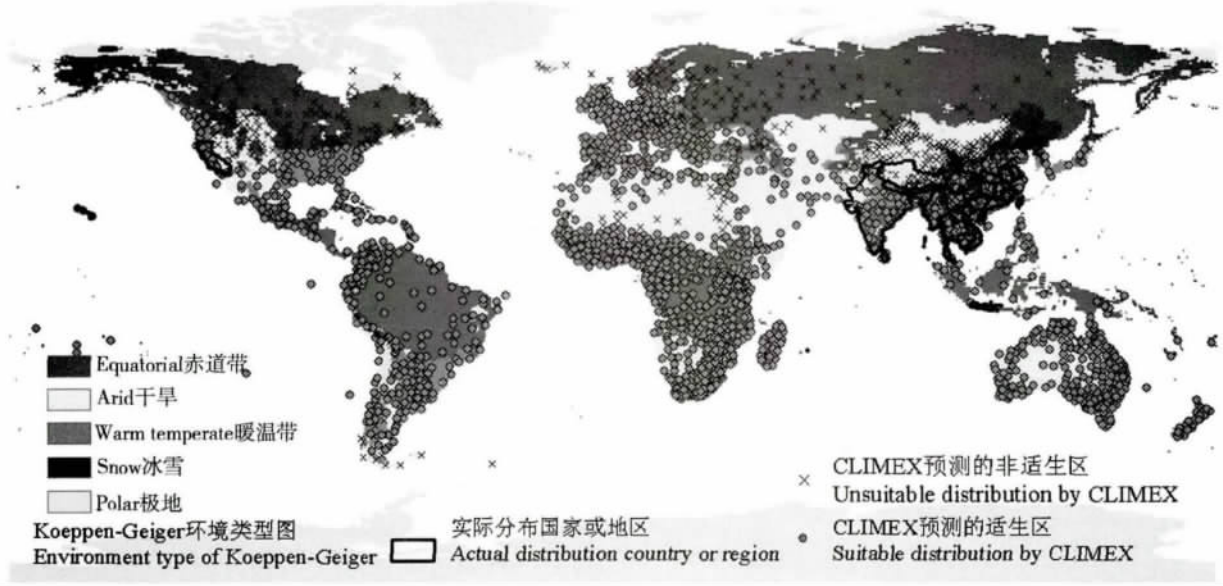


图1 CLIMEX 预测桔小实蝇在全世界的气候适生区

Fig. 1 The potential distribution of *Bactrocera dorsalis* All over the world by CLIMEX

代

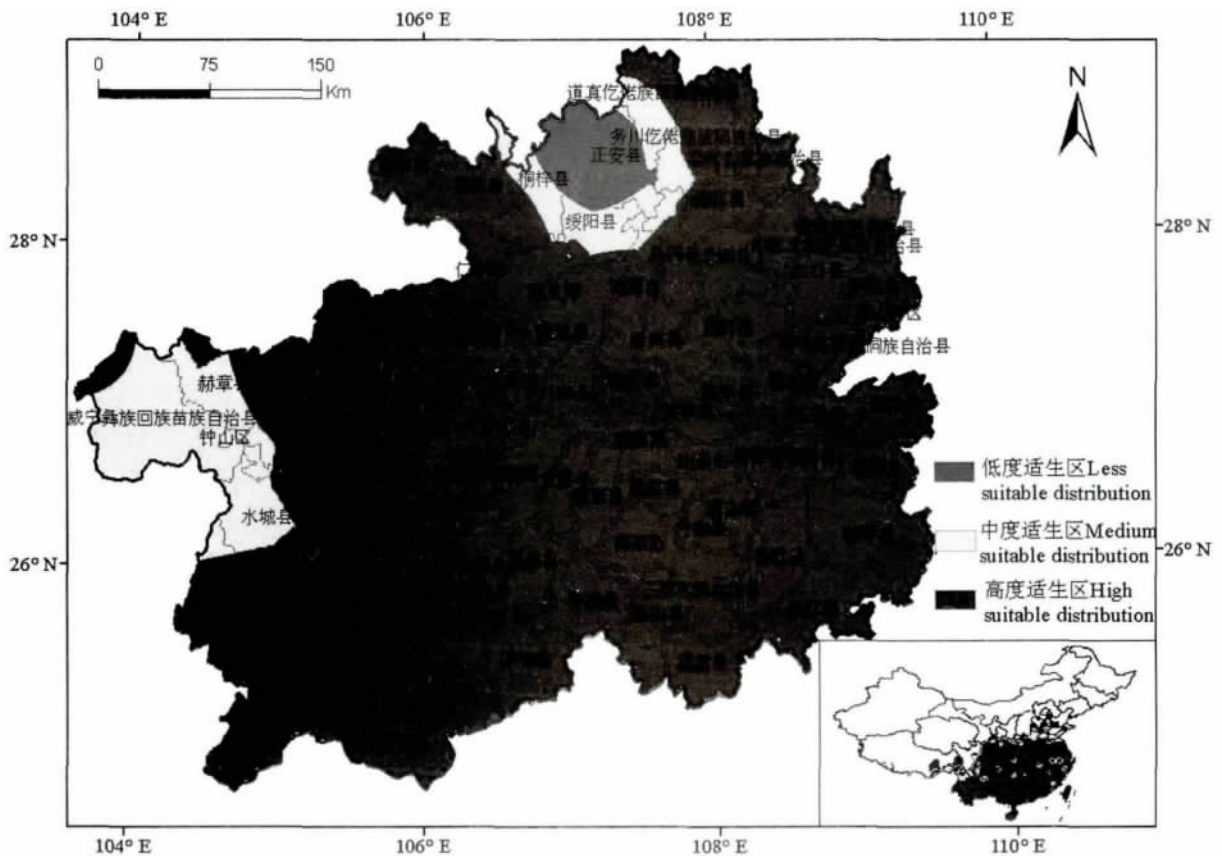


图2 CLIMEX 预测桔小实蝇在贵州的气候适生区

Fig. 2 The potential distribution of *Bactrocera dorsalis* in Guizhou by CLIMEX

2.3 桔小实蝇在贵州发生代数

CLIMEX 主要根据有效积温来计算发生代数, 预测结果往往较实际多, 因为自然条件下桔小实蝇发生还要受到突变气温、寄主和天敌等多种因素影响。根据 Mika 等 (2008) 研究, 根据 EI 值的发生代数可以按照公式 $Generations = V_m \left(\frac{EI - 0.5}{EI - 0.5 + Kh} \right)$ (V_m 取 10, Kh 取 31) 进行估计。该公式表明, $EI < 0.5$ 该地并不适生, 当 EI 值等于 47 时, 发生代数正好为 6 代, 这与实际发生情况一致 (梁光红等, 2003)。根据该估算公式计算结果发现, 桔小实蝇在贵州的发生代数主要为 2-6 代, 具体分布区域如图 3 所示。发生 2-3 代的区域主要位于威宁县西南部。发生 3-4 代的区域位于威宁县北部和东南部、赫章县除东部局部外的其余地区、水城县西部、盘县特区北部。发生 4-5 代的区域最广, 主要位于六盘山地区南部、黔西南地区西部、安顺地区、毕节地区东部、贵阳地区、黔南地区东部、黔东南地区北部、遵义地区。发生 5-6 代的区域主要位于铜仁地区、黔东南地区南部、黔南地区西部、安顺地区东南部、

黔西南地区东部。

2.4 桔小实蝇在贵州年发生动态

根据 CLIMEX 预测结果, 贵州的气象条件非常适合桔小实蝇的生存与发生, 无论是气温、有效积温还是湿度均对桔小实蝇的发生有利。其中有利于桔小实蝇发生的指标温度指数 TI 平均值约为 49, 湿度指数 MI 平均值约为 71, 适合程度均较高 (温度和湿度指标最高值为 100)。而不利于桔小实蝇发生的胁迫因素, 高温胁迫指数 (HS)、干旱胁迫指数 (DS)、湿胁迫 (WS) 指数均为 0, 仅部分地区冬季低温胁迫会对桔小实蝇的发生造成影响。已有的研究表明桔小实蝇有效积温为 334-356 日度范围之内, 单纯考虑有效积温桔小实蝇能在贵州年均发生高达 7 代左右。

限制桔小实蝇活动的因素主要包括气候和寄主等因素, 桔小实蝇寄主范围极广, 贵州常年可见, 因此贵州很多地区具备桔小实蝇常年发生的客观条件。根据 CLIMEX 分析发现仅冬季低温影响该虫的发生, 因此在适生区分析结果的基础上, 进一步探讨桔小实蝇在贵州各适生区的发生动态。袁盛勇等 (2005) 研究发现桔小实蝇各虫态均不

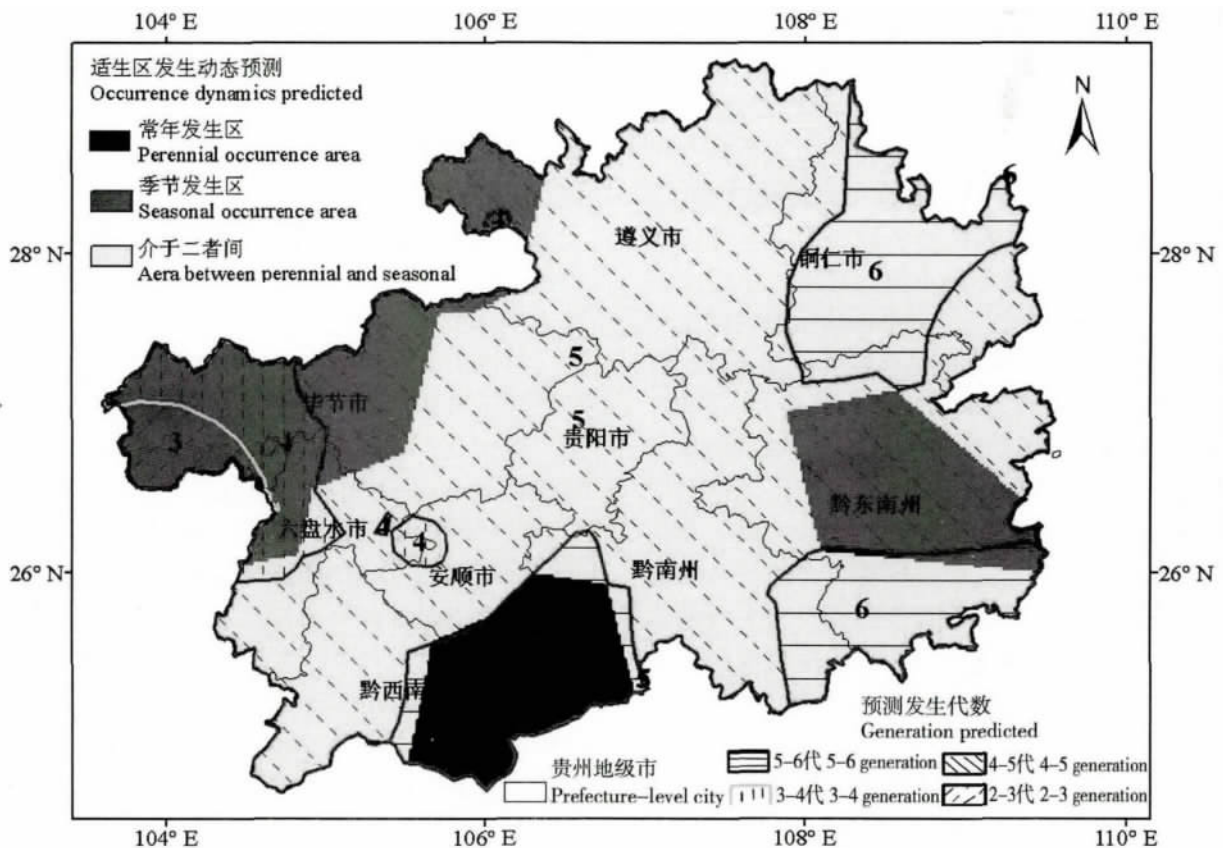


图 3 桔小实蝇发生代数及发生动态预测示意图

Fig. 3 The predicted annual number of generation and dynamic of *Bactrocera dorsalis* in Guizhou

能在温度为 7℃ 和 10℃ 时存活, 据此将桔小实蝇发育起点温度定为 10.21℃, 根据中国地面气候标准值月值数据集 (1971 - 2000) 提供的贵州省气象站点月均温度数据, 结合 CLIMEX 软件分析的低温胁迫指数, 我们将桔小实蝇在贵州的适生区划分为 3 个不同的发生动态区域: (1) 常年发生区, 即冬季 (12 - 翌年 2 月) 平均温度在 10℃ 以上; (2) 季节性发生区, 即冬季 (12 - 翌年 2 月) 平均温度低于 10℃ 且 CLIMEX 预测低温胁迫指数不为 0 的地区; (3) 介于常年发生区与季节发生区的过渡区。具体结果如图 5.3 所示。常年发生区主要位于贵州南部的黔西南地区东部、安顺地区东南部和黔南地区西部, 季节性发生区主要位于贵州西北部的毕节地区西部、六盘水地区北部、黔东南地区中部和东南部。其余地区介于常年发生区和季节发生区之间。

3 结论与讨论

3.1 CLIMEX 模型及影响因子

CLIMEX 生态位模型可以用于揭示生物分布、发生规律, 模拟物种的分布, 在预测物种潜在地理分布范围过程中是一个动态的模拟模型, 当相关研究数据有限时, 它能够根据有限的信息, 做出很有价值的预测, 这对于集中利用有限资源防治有害物种有着重要的意义, 因此其在预测物种分布方面得到了广泛应用, 陈燕婷和尤民生 (2014) 利用 CLIMEX 对对湿地松粉蚧在我国适生性进行分析, 表明湿地松粉蚧在我国的适生区主要分布在 3.85° - 39.90°N 之间, 适生面积占全国国土总面积的 38.79%。目前高风险区主要包括台湾、海南、贵州、重庆、江苏和上海 6 省 (市); 马菲等 (2014) 应用 CLIMEX 对葡萄根瘤蚜在我国的适生性进行预测, 明确葡萄根瘤蚜在我国适生范围广泛, 且高度适生区的范围大。鉴于该虫属于在我国再次复发, 建议加强检疫措施, 严防该虫的进一步传播扩散。以上研究对于明确有害生物的适生范围, 集中力量在高风险、易传播扩散区域加强监测体系建设, 完善防控制度, 进行针对性治理起到重要作用。

由于 CLIMEX 在预测物种潜在分布时只是考虑了气候因子, 而没有考虑其它因素, 因此也受到不少学者的质疑, 但由于桔小实蝇寄主极广, 在贵州全年都可大量存在, 寄主制约因素可以忽略

不计, 因此用该模型分析桔小实蝇在贵州的适生性还是较为合适的。

3.2 桔小实蝇在贵州适生预测结果与分析

本研究利用 CLIMEX 适生性分析软件, 统筹参考物种与气候关系, 基于待预测物种桔小实蝇的生物学、生态学特性及其现有分布区, 通过反复调试相关气候参数, 根据每次调试结果分析各个参数如何影响物种的分布, 特别强调限制物种分布的胁迫因子, 最后得到描述物种在预测地能否定殖的生态气候指数 EI 值, 并以 EI 值来描述其在预测地区的适生程度, 预测结果又通过 ArcGIS 实现了由点到面的过渡, 提高了分析结果的准确性和直观性, 成功预测了桔小实蝇在世界的分布并揭示了桔小实蝇在贵州全境适生情况。结果表明, 桔小实蝇在贵州全境适生且适生程度很高, 中低度适生区范围较小, 高度适生区面积为 14 万 km², 占到全省总面积的 88%; 桔小实蝇在贵州的发生代数主要为 2 - 6 代, 发生 4 到 5 代的区域最多; 常年发生区和季节发生区均面积较小, 全省大部分地区为二者间的过渡区。

多个团队对桔小实蝇在我国的适生性进行过预测, 但预测结果在贵州相互间差异很大。范京安 (1998) 应用模糊综合评判的数学方法探讨桔小实蝇在中国的适生分布范围。认为贵州仅有北纬 25° 以南的地区为桔小实蝇的最适宜分布区; 侯柏华和张润杰 (2005) 利用 CLIMEX 预测桔小实蝇在中国的分布, 贵州未在适生区范围内; 周国梁等 (2007) 利用 GARP 生态位模型预测桔小实蝇在中国的适生区域, 认为贵州大部区域适合桔小实蝇分布。

不同团队对桔小实蝇在贵州的适生性预测存在差异, 可能与选择的站点, 气象数据年份等资料不同相关。如早期研究团队大多针对全国进行预测, 且仅选用 CLIMEX 自带站点气象数据, CLIMEX 在贵州自带仅有一个站点 (全国 85 个站点), 而贵州省北起四川盆地南缘山地和鄂西南山原, 南至南盘江红水河河谷和桂西北山地, 纵跨近 5 个纬度 (北纬 24°38' - 29°14'), 西起滇东黔西高原, 东至湘西丘陵山地, 横越 6 个经度 (103°36' - 109°30'), 幅员辽阔, 各地的气候等生态差异较大, 单独的一个站点不可能代表全省整体情况; 近年来, 气候变暖趋势日益加剧, 有害生物的适生区域也不断扩大, CLIMEX 自带气候数据也较为陈旧, 预测结果仅能反映气象数据年代

而非现在真实桔小实蝇分布、发生情况, 所以充分利用尽可能多的本地站点, 采用最新气象数据, 对区域桔小实蝇适生情况进行及时预测、分析极为必要; 本研究与周国梁团队采用的生态位模型不同, 预测的结果基本相近, 也证明只要采取正确的方法, 选择不同的模型、软件, 都能得出切合实际的结果。

3.3 桔小实蝇在贵州扩散风险及应对

本研究预测桔小实蝇在贵州的适生区大于实际发生区域, 既可能和贵州高山大河等自然地理条件阻止桔小实蝇入侵, 竞争者、天敌等因素制约其在某些地区的定殖有关。也可能与各地积极开展病虫害的检疫管理、控制桔小实蝇的发生扩散有关。但随着近年来贵州区位优势增强, 跨省区甚至跨国农产品贸易及运输的不断增加, 可能携带桔小实蝇的果蔬调运频率规模不断扩大; 同时随着贵州大力发展现代农业, 加大农业结构调整, 打造特色优势产业的力度不断增大, 大量的优良果蔬种子、种苗跨区域调动, 更增加了桔小实蝇等有害生物随之传入的风险, 而产业结构调整, 种植作物的改变, 也进一步增大了果蔬实蝇发生、甚至爆发危害的风险。因此可以采取多项措施防止桔小实蝇传入适生非疫区。

1) 加强宣传。地方政府、各级检疫部门或果蔬协会及其工作人员应采取有效措施, 加强对种植者、商户和消费群体的宣传, 增强全民防疫意识, 避免桔小实蝇随果蔬长途调运或人为随身携带传播。2) 加强防疫技术积累与应用。积极探索高效、低价、便捷对果蔬品质无影响或影响较小的检疫处理方式, 对疫区果蔬进行处理, 从源头杜绝桔小实蝇随果蔬长距离传播入侵。3) 加大对监测、预报技术的研究与投入。根据桔小实蝇疫区、潜在适生区分布情况, 加强对重点区域的监测, 对入侵、迁徙和本地出现早期桔小实蝇疫情早发现, 早防控, 避免爆发成灾, 造成更大的危害。4) 加强检疫措施。加强对从桔小实蝇疫区运出和运往适生区寄主果蔬、包装材料以及装载容器、运载工具等的关注, 进行严格的现场检疫和处理。5) 优化果蔬产业布局。可根据桔小实蝇的潜在适生区, 是否能够在地区周年发生以及传播扩散趋势, 对果蔬种植结构进行调整, 在常年发生区和季节发生区边缘地带种植非桔小实蝇的寄主作物, 建立保护性非寄主作物种植防控带, 阻断桔小实蝇传入和大量发生。

参考文献 (References)

- Chejara VK, Kriticos DJ, Kristiansen P, et al. The current and future potential geographical distribution of *Hyparrhenia hirta* [J]. *Weed Research*, 2010, 50: 174 - 184.
- Chen X, Chen L, Wang Y, et al. Fruit fly species in guizhou monitoring case discussion [J]. *Plant Doctor*, 2007, 20 (1): 46 - 49. [陈霄, 陈力, 王艳, 等. 贵州省实蝇种类监测情况研讨[J]. 植物医生, 2007, 20 (1): 46 - 49]
- Chen YT, You MS. Potential climate - and host plants - suitable distribution of *Oracella acuta* in China based on the CLIMEX and ArcGIS prediction [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (5): 697 - 704. [陈燕婷, 尤民生. 基于 CLIMEX 和 ArcGIS 的湿地松粉蚧在中国的适生性分析[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (5): 697 - 704]
- Clarke AR, Armstrong KF, Carmichael AE, et al. Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation: the *Bactrocera dorsalis* complex of tropical fruit flies [J]. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50: 293 - 319.
- Fan JA. 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. [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 JA, He TJ, He WX, et al. Studies on the occurrence and geographical distribution of fruit flies infecting fruits and vegetables inspected with lure in Sichuan [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2003, 16 (2): 70 - 73. [范京安, 何天江, 何万兴, 等. 诱剂监测四川果蔬实蝇种类发生与生态地理分布[J]. 西南农业学报, 16 (2): 70 - 73]
- He WZ, Sun BZ, Li CJ, et al. Bionomics of *Bactrocera dorsalis* and its control in Hekou County of Yunnan Province [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2002, 39 (1): 50 - 52. [和万忠, 孙兵召, 李翠菊, 等. 云南河口县桔小实蝇生物学特性及防治[J]. 昆虫知识, 2002, 39 (1): 50 - 52]
- Hou BH, Zhang RJ. Potential distributions of the fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in China as predicted by CLIMEX [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (7): 1569 - 1574. [侯柏华, 张润杰. 基于 CLIMEX 的桔小实蝇在中国适生区的预测[J]. 生态学报, 2005, 25 (7): 1569 - 1574]
- Hou BH, Zhang RJ. Supercooling capacity of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (6): 638 - 643. [侯柏华, 张润杰. 桔小实蝇不同发育阶段过冷却点的测定[J]. 昆虫学报, 2007, 50 (6): 638 - 643]
- Huang SQ, Han RC. Advance in the research on the quarantine pest *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2005, 42 (5): 479 - 484. [黄素青, 韩日畴. 桔小实蝇的研究进展[J]. 昆虫知识, 2005, 42 (5): 479 - 484]
- Jiang XL, He WZ, Xiao S, et al. Study on the biology and of *Bactrocera dorsalis* in the border region of Yunnan [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2001, 23 (6): 510 - 513, 517. [蒋小

- 龙,和万忠,肖枢,等. 桔小实蝇在云南边境生物学研究及适生性分析[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23 (6): 510-513, 517]
- Kong LB, Lin W, Li ZH, *et al.* Effects of climatic factors on the growth and geographical distribution of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (4): 528-531. [孔令斌, 林伟, 李志红, 等. 气候因子对桔小实蝇生长发育及地理分布的影响[J]. 昆虫知识, 2008, 45 (4): 528-531]
- Lei BH, Zhong JM, Pan WT. Preliminary report on monitoring of fruit flies infecting fruits and vegetables in Kaili area [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 22 (4): 963-965. [雷邦海, 钟建明, 潘文桃. 凯里地区果蔬实蝇种类监测初报[J]. 西南农业学报, 2009, 22 (4): 963-965]
- Li WF, Gong XZ, Huang YC, *et al.* Species of fruit flies in China's Guangxi Province and their population dynamics [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2008, 30 (2): 124-128. [李伟丰, 龚秀泽, 黄永成, 等. 广西实蝇的种类及发生动态[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30 (2): 124-128]
- Liang GH, Chen JH, Yang JQ, *et al.* Advances in research of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in China [J]. *Entomological Journal of East China*, 2003, 12 (2): 90-98. [梁光红, 陈家骅, 杨建全, 等. 桔小实蝇国内研究概况[J]. 华东昆虫学报, 2003, 12 (2): 90-98]
- Liang GQ, Zhang SM, Xu W. The notes of the fruit flies in south parts of China and two newly recorded species [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1989, 111 (3): 14-20. [梁广勤, 章士美, 徐伟. 我国南方部分地区实蝇记述及2种中国新记录[J]. 江西农业大学学报, 1989, 11 (3): 14-20]
- Lin JT, Zeng L, Lu YY. Influence of soil moisture on the survival of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* pupa [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2004, 41 (4): 68-70. [林进添, 曾玲, 陆永跃. 土壤含水量对桔小实蝇蛹期存活的影响[J]. 昆虫知识, 2004, 41 (4): 68-70]
- Lin MG, Wang XJ, Zeng L, *et al.* Survey of species, geographical distribution and damage of fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in Hainan, China [J]. *Plant Quarantine*, 2013, 27 (5): 85-89. [林明光, 汪兴鉴, 曾玲, 等. 海南果蔬实蝇种类、地理分布及危害调查[J]. 植物检疫, 2013, 27 (5): 85-89]
- Ma F, Yao HM, He YY, *et al.* The potential geographical distribution of *Daktulosphaira vitifoliae* based on CLIMEX in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (3): 293-297. [马菲, 姚红梅, 何友元, 等. 基于CLIMEX的葡萄根瘤蚜在中国的适生性分析[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (3): 293-297]
- Mika AM, Weiss RM, Olfert O, *et al.* Will climate change be beneficial or detrimental to the invasive swede midge in North America contrasting predictions using climate projections from different general circulation models [J]. *Global Change Biology*, 2008, 4: 1721-1733.
- Sutherst RW. Prediction of species geographical ranges [J]. *Journal of Biogeography*, 2003, 30: 805-816.
- Sutherst RW, Maywald GF, Kriticos D. Climex version 3.0 User's Guide [J]. *Hearne Scientific Software Pty Ltd*, 2007, 47.
- Wang JW, CiRen SZ, Yu DJ, *et al.* Potential geographic distribution of *Bactrocera dorsalis* Hendel in Tibet [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23 (4): 116-1120. [王健伟, 次仁桑珠, 余道坚, 等. 桔小实蝇在西藏自治区适生性研究[J]. 西南农业学报, 2010, 23 (4): 1116-1120]
- Wei DY, Zhao Q. Survey citrus fruit fly species in Luodian [J]. *Guangxi Gardening*, 1998, 26 (4): 11-12. [韦克扬, 赵琦. 罗甸地区柑桔实蝇种类调查[J]. 广西园艺, 1998, 26 (4): 11-12]
- Wu JJ, Liang F, Liang GQ. Study on the relation between developmental rate of oriental fruit fly and its ambient temperature [J]. *Plant Quarantine*, 2000, 6: 321-324. [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, 6: 321-324]
- Wu YF. Geographical distribution model of oriental fruit fly [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2005, 34 (2): 168-171. [吴宇芬. 桔小实蝇的地理分布模型[J]. 福建农林大学学报, 2005, 34 (2): 168-171]
- Xiong Y, Xiang Y, Bao YX, *et al.* Study on the suitable establishment of *Bactrocera dorsalis* Hendel in Jiangsu Province, China [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2006, 29 (4): 48-52. [熊焰, 项勇, 包云轩, 等. 桔小实蝇在江苏省的适生性分布研究[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29 (4): 48-52]
- Ye H. Distribution of the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Yunnan Province [J]. *Entomol. Sinica*, 2001, 8: 175-182.
- Yuan SY, Kong Q, Xiao C, *et al.* Developmental threshold temperature and effective cumulative temperature of *Bactrocera dorsalis* Hendel [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2005, 27 (3): 316-318. [袁盛勇, 孔琼, 肖春, 等. 桔小实蝇各虫态发育历期及有效积温研究[J]. 西南农业大学学报, 2005, 27 (3): 316-318]
- Zhang B, Liu YH, Zhao LL, *et al.* Research progress of oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 11: 391-397. [张彬, 刘映红, 赵岚岚, 等. 桔小实蝇研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 11: 391-397]
- Zhang ZM, Fang BQ. Preliminary report on monitoring of fruit flies in Guiyang [J]. *Journal of Guizhou Agricultural Sciences*, 1988, 4: 14. [张忠民, 方宝庆. 贵阳地区果蔬实蝇调查初报[J]. 贵州农业科学, 1988, 4: 14]
- Zhou GL, Chen C, Ye J, *et al.* Predicting potential ecological distribution of *Bactrocera dorsalis* in China using GARP ecological niche modeling [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (8): 3362-3369. [周国梁, 陈晨, 叶军, 等. 利用GARP生态位模型预测桔小实蝇在中国的适生区域[J]. 生态学报, 2007, 27 (8): 3362-3369]