

# 气候变暖对我国棉铃虫适生分布区的模拟预测<sup>\*</sup>

朱 剑<sup>1,2</sup> 李保平<sup>1,2</sup> 孟 玲<sup>1,2\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 南京农业大学植物保护学院, 南京 210095; <sup>2</sup> 农作物生物灾害综合治理教育部重点实验室, 南京农业大学, 南京 210095)

**摘 要** 利用 DYMEX 软件构建生物气候模型并通过 ArcGIS 进行图形处理, 对棉铃虫在我国当前和气温升高后的潜在适生分布区进行了模拟预测。模拟结果表明, 棉铃虫的高度适生区分布在河南中南部、安徽和湖北北部、江西和福建南部、湖南、广西、广东等华北、华南部分地区, 以及陕甘交界处天水地区、川藏交界处巴塘地区等; 中度适生区在黄河和长江流域的大部分省份; 低度适生区主要分布在东北三省、新疆、西藏、青海地区。模拟 21 世纪末气温升高 3 ℃ 预测, 棉铃虫中度适生区北界由营口、北京、石家庄、太原、延安、兰州、巴塘一线北移至沈阳、呼和浩特、酒泉、格尔木、拉萨一线, 纬度北移约 3°, 海拔升高 300 ~ 500 m; 新疆大面积地区由低度适生区成为中度适生区。气候变暖使棉铃虫当前的少部分高度适生区(天水、巴塘等)面积扩大, 但也使部分分布区(华北地区、华南地区、中国台湾、香港和海南地区等)收缩。最后, 结合棉铃虫生物学特性对预测结果进行了讨论。

**关键词** 棉铃虫; 气候变暖; 适生区; DYMEX; 预测

中图分类号 Q968 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2011)7-1382-06

**Simulation and prediction of potential distribution of *Helicoverpa armigera* in China under global warming.** ZHU Jian<sup>1,2</sup>, LI Bao-ping<sup>1,2</sup>, MENG Ling<sup>1,2\*\*</sup> (<sup>1</sup> College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup> Key Laboratory of Integrated Management of Crop Diseases and Pests, Ministry of Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, **30**(7): 1382–1387.

**Abstract:** By using DYMEX 3.0 program to construct a bioclimatic model and using ArcGIS to treat graphs, this paper simulated and predicted the potential areas fitting for *Helicoverpa armigera* survival in China under present climatic and future global warming scenarios. Under present climatic scenario, the habitats highly fitting for *H. armigera* survival in China would be located in central and south Henan, north Anhui and Hubei, south Jiangxi and Fujian, Hunan, Guangxi, Guangdong, juncture of Shanxi and Gansu (Tianshui), and juncture of Sichuan and Tibet (Batang), moderately fitting habitats would be the most areas along the Yellow and Yangtze rivers, and low fitting habitats would be mainly in the three provinces of Northeast China, and Xinjiang, Tibet, and Qinghai. Under future global warming scenario (a 3 ℃ increase of air temperature by the end of this century), the northern border of moderately fitting habitats would be shifted from a line of Yingkou, Beijing, Shijiazhuang, Taiyuan, Yan'an, Lanzhou, and Batang to a line of Shenyang, Hohhot, Jiuquan, Gomud and Lhasa, with the latitude shifted northward 3° and the elevation increased by 300–500 m, the current low fitting habitats in large areas of Xinjiang would become moderately fitting habitats, some highly fitting habitats such as Tianshui and Batang would expand, and some habitats in Northern and Southern China, Taiwan, Hong Kong, and Hainan would shrink. A discussion on the prediction results was made, based on the biological characteristics of *H. armigera*.

**Key words:** *Helicoverpa armigera*; climate warming; area fitting for survival; DYMEX; prediction.

\* 国家公益性行业科研专项(200903003、201103002)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: ml@njau.edu.cn

收稿日期: 2011-03-17 接受日期: 2011-05-10

棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)属于鳞翅目(Lepidoptera)、夜蛾科(Noctuidae),其食性广泛,通常以严重危害棉花(蕾铃)而成为世界性大害虫(郭予元,1998)。棉铃虫目前在我国各省均有发生,以黄河流域、长江流域两大棉区危害最重,如山东、河南、河北、山西、陕西、江苏、安徽、湖北、湖南、江西、四川、浙江等地区;西北内陆棉区的新疆、甘肃等省棉铃虫发生态势逐年提高。棉铃虫幼虫食性广,寄主植物已知有250多种,主要危害棉花、玉米、小麦、茄果类、豆类以及苹果等植物的芽、叶、蕾、花、铃、果、荚、穗等部位,成虫对环境适应能力也很强(洪晓月和丁锦华,2007)。

20世纪全球气温升高约0.74℃,预计未来100年全球气温仍将持续升高,推测21世纪末气温将平均升高3℃(IPCC,2007)。温度是影响棉铃虫生长发育的关键因素,气候变暖将直接或间接影响变温动物昆虫及其所在的生物群落,例如,CO<sub>2</sub>浓度升高通过影响作物生长而间接影响害虫生长发育和发生;温度升高则对昆虫的生长发育、代谢速率、生存繁殖及迁移扩散等重要生命活动产生直接影响(李保平和孟玲,2010)。宏观上,气候变暖对昆虫的影响表现为拓宽昆虫的适生区域,地理分布扩大,使受低温限制的昆虫增加了向高纬度和高海拔地区扩散的机会(Parmesan & Yohe, 2003; Walther *et al.*, 2005)。

生物气候模型常被用于预测生物(如外来生物)在新环境中的潜在适生区域(Pearson & Dawson, 2003; Finch *et al.*, 2006; 饶玉燕等, 2009; 王俊伟等, 2009; Lawson *et al.*, 2010),其中,基于生理特性的生物气候模拟软件CLIMEX是预测生物潜在分布范围的有益工具之一(Yonow *et al.*, 2004; 侯柏华和张润杰, 2005; Lawson *et al.*, 2010)。本文采用基于生理特性的生物气候模型(DYMEX软件)和图形处理软件ArcGIS,对棉铃虫在中国适生性和气温升高后棉铃虫的扩散分布范围等进行预测,为制定应对气候变化的害虫综合治理适应性对策提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

**1.1.1 棉铃虫的生物学** 棉铃虫在我国棉区年发生代数各地不同,黄河流域常年发生3~4代,长江流域4~5代,华南则6~8代。棉铃虫以滞育蛹在土中越冬,越冬北线为1月最低均温-15℃等温线

左右(吴孔明和郭予元,1995)。棉铃虫发育起点温度为10.66℃,完成一代的有效积温为515.75日度(牟吉元等,1995)。温度25℃~28℃,最适于棉铃虫发生。在20℃、短日照(10 h)条件下,可诱发所有个体进入滞育状态,而在同温度、长光照(16 h)条件下则所有个体不滞育(李超和谢宝瑜,1981;王方海等,1999)。在33℃~39℃的变温条件下,棉铃虫化蛹率显著低于其在常温下的化蛹率,高温夏滞育的临界温度为33℃(刘柱东等,2004)。雨水和土壤含水量对棉铃虫种群有较大的抑制作用,当土壤相对含水量>71.4%和<35.7%时,棉铃虫种群发生量均有所下降(张建军等,2001)。

**1.1.2 软件工具与气象数据** 本研究采用澳大利亚科学与工业研究组织(CSIRO)开发的DYMEX V3.0和美国环境系统研究所(ESRI)开发的ArcGIS V9.3软件为主要分析工具。DYMEX V3.0是DYMEX V2.0的升级版本,包含了种群动态模拟、CLIMEX潜在适生区预测以及气候变暖条件下生物的未来分布预测等3个模块,本研究主要采用后两个模块进行分布区预测,通过假定气候是影响物种分布的主要因素,并利用种群增长指数、胁迫指数和限制条件(滞育和有效积温)描述物种对气候的不同反应,这两组参数构成生态气候指数,作为全面描述物种在某地区和年份适合度的指标(宋红敏等,2004)。该软件自带88个中国气象站点的基础数据,本研究经过ArcGIS插值分析,补充添加到730个站点(由中国国家气象局免费提供<http://www.cma.gov.cn/>,包括1981—2000年20年平均气温、平均相对湿度、月平均降水量、日最高气温、日最低气温等相关气候因子资料)。

### 1.2 方法

**1.2.1 棉铃虫 DYMEX 参数值的确定** 根据棉铃虫的生物学资料,初步设定DYMEX分析所需要的各项参数;根据EPPO所公布的棉铃虫在世界的分布范围(EPPO,2010),拟选定欧洲和印度作为调试地区,结合收集的生物学和地理分布资料,反复调试DYMEX各项参数,使棉铃虫在欧洲的分布与EPPO所公布的实际情况吻合,初步确定棉铃虫参数值;再次调试,使棉铃虫在印度的分布与EPPO相吻合,从而确定DYMEX参数值;然后使用已确定的参数预测该虫在阿拉伯、以色列、伊朗、日本等国家的分布情况,以检测参数的准确性,最终确定用于棉铃虫适生性分析的DYMEX参数体系。所用生物学资料包

括棉铃虫发育起始温度、最适温度、最高温度上限、有效积温、相对湿度、诱发滞育温度等。

**1.2.2 棉铃虫在中国的适生范围与适生程度** 根据 DYMEX 增长指数计算出某物种的种群增长指数 (GI), 然后再综合胁迫指数、交互胁迫指数和限制条件 (滞育和有效积温), 即可得到生态气候指数 (ecoclimatic index, *EI*) (程俊峰等, 2006)。物种对某地区气候条件的适合程度用生态气候指数表示, *EI* 的取值范围为 0 ~ 100, 其值大小反映了适合度的大小, *EI* 值接近于 0, 表明该地区不适合物种长期生存; *EI* 值接近于 100, 表明该地区的环境条件接近于理想 (Sutherst *et al.*, 2004)。本文在利用 DYMEX 预测棉铃虫在中国的潜在分布时发现, 大部分棉铃虫严重发生地 *EI* 值均在 20 左右; 与棉铃虫原产地气候相似的地区 *EI* 值在 10 左右。因此, 本文根据已知发生地的棉铃虫危害程度, 将其潜在分布适生程度分为 4 级: *EI*=0 为棉铃虫的非适生区,  $0 < EI \leq 10$  为低度适生区,  $10 < EI \leq 20$  为中度适生区, *EI*>20 为高度适生区。根据确定的 DYMEX 参数值分析得到棉铃虫在中国的适生 *EI* 值, 用预设的 4 个 *EI* 适生等级标准, 划分棉铃虫在中国的适生程度, 再利用 ArcGIS 空间分析中的反距离加权法对已确定的生态气候指数值进行插值替换, 得到棉铃虫在中国的潜在地理分布图。

**1.2.3 气候变化对棉铃虫适生范围的影响** 采用 DYMEX 参数值, 通过 DYMEX 软件中温度和降雨处理 (在原来温度和降雨参数的基础上, 最大 / 最小温度均 +3 ℃; 降雨变化表现为在冬季 -20%, 夏季 +20%), 模拟出温度升高 3 ℃ 后棉铃虫在中国的潜在分布范围, 采用 ArcGIS 进行插值分析, 得出气候变化下 (+3 ℃) 棉铃虫在中国的未来分布格局图, 并与棉铃虫在中国的适生区分布图进行比对, 分析

气温升高对棉铃虫适生范围的影响程度, 并由 ArcGIS 气象数据资料和 DYMEX 地点经纬度体系综合计算, 得出棉铃虫分布区北移的纬度和升高的海拔高度。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉铃虫的 DYMEX 相关参数值

根据棉铃虫生物学资料, 初步设定 DYMEX 分析所需要的各项参数, 通过 DYMEX 反复模拟调试出棉铃虫的气候适应性参数值 (表 1), 模拟预测主要使用 20 个参数, 这些参数客观地反映了棉铃虫对气候条件的需求特征和对气候逆境条件的忍耐程度。

### 2.2 棉铃虫在我国的潜在分布范围与适生程度

将棉铃虫潜在分布的生态气候指数值 *EI* 插值分析表明, 我国大部分地区为棉铃虫的潜在地理分布区 (图 1, 表 2)。其中, 高度适生区主要分布在西北、西南、华北和华南的部分地区, 如: 陕西与甘肃交界处天水地区、四川与西藏交界处巴塘地区、河南中南部地区 (郑州、洛阳、信阳、周口、驻马店)、安徽北部地区 (阜阳、淮南、蚌埠、宿州) 和湖北的北部地区 (襄樊、随州)、湖南的部分地区 (长沙、湘潭、衡阳、株洲、怀化)、广西的南宁、云南的玉溪和广西与广东交界处的贺州、梧州、云浮, 广东东部沿海地区 (广州、汕尾、汕头)、江西南部的赣州和福建的南部地区 (厦门、漳州、龙岩)。棉铃虫适生指数 *EI* 值在 22 ~ 33, 这与棉铃虫在这些地区的发生情况基本相符。中度适生区分布在黄河和长江流域的大部分省、区、直辖市, 棉铃虫适生指数 *EI* 值达到 11 ~ 20, 这些地区是受到气候变化影响最为明显的区域, 随着全球气温的升高, 中度适生区的变化幅度将会最大, 很大程度上提高了棉铃虫在中国的危害潜力。

表 1 预测棉铃虫在中国潜在适生区的 DYMEX 相关参数  
Table 1 DYMEX parameters for predicting potential distribution of *Helicoverpa armigera* in China

参数名称	参数值	参数名称	参数值
发育起点温度 (DV0)	10.5	诱发滞育的温度 (DPT0)	20
适宜气温下限 (DV1)	20	滞育终止的气温 (DPT1)	33
适宜气温上限 (DV2)	30	滞育所需的天数 (DPD)	15
限制性高温 (DV3)	39	夏季或冬季滞育 (DPSW)	1
有效积温 (PDD)	515.75	冷胁迫开始积累阈值 (TTCS)	7
限制性最低湿度 (SM0)	0.02	冷胁迫积累速度 (THCS)	-0.00009
适宜湿度下限 (SM1)	0.3	热胁迫开始积累阈值 (TTHS)	40
适宜湿度上限 (SM2)	0.7	热胁迫积累速度 (THHS)	0.0008
限制性最高湿度 (SM3)	1.5	湿胁迫开始积累阈值 (SMWS)	2
诱发滞育的日照时数 (DPD0)	10	湿胁迫积累速度 (HMS)	0.08



表 2 棉铃虫在中国的潜在分布区  
Table 2 Potential distribution of *Helicoverpa armigera* in China

适生等级	$EI=0$	$0<EI\leq10$	$10<EI\leq20$	$EI>20$
适生地区 (EI 值)	黑龙江的牡丹江(0)、齐齐哈尔(0)、爱辉(0)、内蒙古的海拉尔(0)、青海的玉树(0)等	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、甘肃、新疆、西藏以及南方地区的浙江、湖南、湖北、云南、海南等。包括哈尔滨(2)、佳木斯(1)、沈阳(8)、长春(4)、延吉(5)、营口(9)、呼和浩特(6)、包头(5)、临西(2)、玉门(3)、乌鲁木齐(4)、和田(4)、喀什(6)、伊宁(5)、拉萨(8)、杭州(7)、温州(7)、常德(9)、九江(10)、恩施(6)、腾冲(9)、昭通(10)、海口(7)、上海(10)、榆林(10)等	四川、福建、广西、山东、山西、江苏、贵州、甘肃、宁夏、陕西、河南、河北、广东、江西等大部分区域,包括成都(11)、宜宾(12)、西昌(14)、福州(18)、南平(13)、桂林(19)、北海(15)、天津(18)、济南(15)、青岛(15)、烟台(19)、太原(14)、南京(11)、贵阳(11)、昆明(12)、兰州(14)、陇州(14)、银川(11)、西安(17)、开封(18)、石家庄(19)、广州(18)、湛江(13)、梅县(19)、阳江(15)、南昌(13)、武汉(20)、徐州(17)等	湖南、湖北、四川、云南、广西、广东、福建、江西、安徽、甘肃、香港等部分区域,包括长沙(24)、南宁(22)、梧州(31)、巴塘(25)、蒙自(26)、汕头(22)、厦门(33)、赣州(22)、蚌埠(26)、天水(23)、南阳(28)、信阳(30)、枝江(23)、香港(24)等

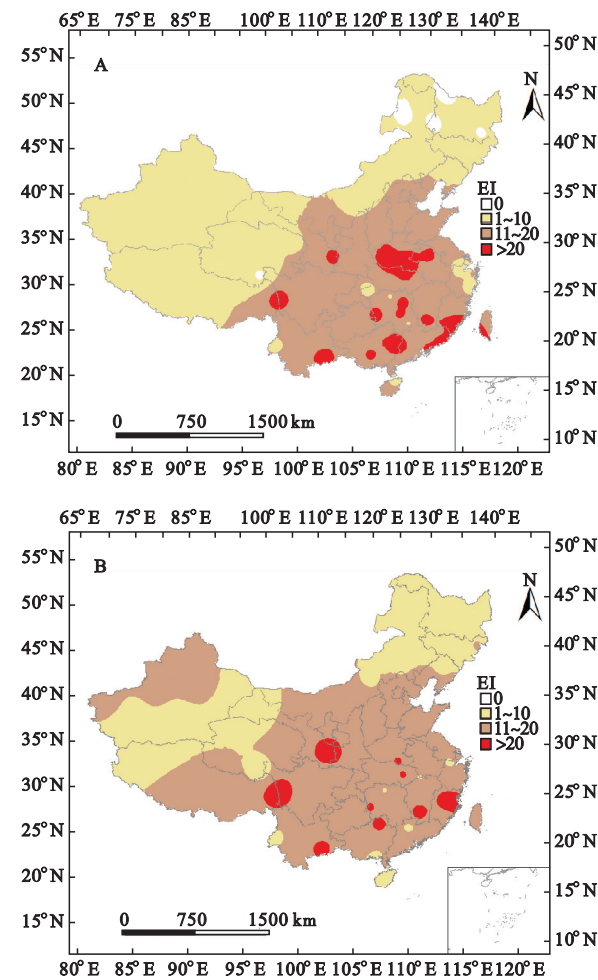


图 1 棉铃虫在我国目前的潜在适生分布区 (A) 及其在气温升高 3℃ 的分布区 (B) 预测示意图  
Fig.1 Current potential distribution (A) and projection of future distribution (B) with increasing 3℃ in temperature of *Helicoverpa armigera* in China  
红色代表高度适生区,褐色中度适生区,黄色低度适生区,白色非适生区。

低度适生区主要分布在东北三省、新疆、西藏和青海地区,棉铃虫适生指数  $EI$  值达到 1 ~ 10,随着气候变暖的加剧,这些地区会不断地衍生为棉铃虫广泛危害的关键地区。非适生区主要分布在黑龙江的牡丹江、齐齐哈尔、爱辉,内蒙古的海拉尔和青海省的玉树等地。

2.3 气温升高对棉铃虫适生范围的影响

模拟 21 世纪末全球气温升高 3℃,通过 DYMEX 软件中温度和降雨的处理(在原来温度和降雨参数的基础上,最大 / 最小温度均 +3℃;降雨变化表现为在冬季 -20%,夏季 +20%),预测棉铃虫在我国的潜在适生区(图 1)。预测表明,受气温升高的影响,齐齐哈尔、牡丹江、爱辉、玉树等地区由棉铃虫非适生区转变为低度适生区。棉铃虫中度适生区范围进一步扩大,由营口、北京、石家庄、太原、延安、兰州、成都一线扩大北移至沈阳、呼和浩特、酒泉、格尔木、拉萨一线,涵盖了辽宁、内蒙古、甘肃、青海、西藏的大部分地区和吉林、浙江、湖北的部分地区。其中,新疆大面积区域从低度适生区转变为中度适生区。棉铃虫分布区北移约 3 个纬度,海拔平均升高 300 ~ 500 m。

棉铃虫高度适生区变化幅度较大,特别在西北地区陕西与甘肃交界处天水地区,西南地区四川与西藏交界处巴塘地区发生范围明显呈环状扩散,平均扩大半径约 150 km;广西地区适生中心由中部向北部转移约 2.4 个纬度,福建地区由闽南向闽北与浙江交界处转移约 2.6 个纬度。另外,同一适生等级内的某些地区棉铃虫的适生指数 ( $EI$ ) 变大,如长春、成都、海口、杭州、哈尔滨、昆明、林西、南昌、南京、陇州、沈阳、芜湖、西安、乌鲁木齐、上海、青岛等地。

但是,我国华北、华南部分地区的棉铃虫适生区域出现收缩趋势,如河南大部分地区,湖北北部的武汉、樊襄、安徽北部的阜阳、蚌埠,湖南的长沙、衡阳、广西的南宁、桂林、广东的广州、汕头和中国台湾西南部的高雄、嘉义地区等都由高度适生区转变为中度适生区;海南的大部分地区,广东韶关、广西北海、浙江东部地区等均由中度适生区转变为低度适生区。另外,同一适生等级内的某些地区棉铃虫的适生指数值(EI)变小,如北京、石家庄、天津等。

### 3 讨论

本研究预测表明,气候变暖条件下棉铃虫的分布区域大部分呈现向北和向西扩张,少部分高度适生区(天水、巴塘等)面积扩大,但也有部分适生区(华北地区、华南地区、中国台湾、香港和海南地区等)面积收缩。该预测符合气候变暖对害虫影响的理论推测(王勤英,1997;陈瑜和马春森,2010;李保平和孟玲,2010)。我国北方和西部地区,多山地和高原,有较多沙土,普遍降雨偏少,湿度较低,小麦种植面积较南方和东部地区大,这些都会导致棉铃虫发育历期缩短,发生世代数增加,大面积爆发的风险可能性增大(吴坤君等,1980;王正军等,2003)。新疆大面积区域从低度适生区转变为中度适生区,此现象与新疆近几年逐步演变为我国最大棉花产地的事实是分不开的。新疆棉花种植推广面积持续走高,伴随气候变暖加剧所引起的秋季气温偏高和干燥少雨等环境状况,棉铃虫的分布范围随同寄主不断扩大;同时,新疆日照时间长,昼夜温差大,棉花含糖量高,也是棉铃虫大面积发生的重要因素。预测棉铃虫在陕西与甘肃交界处天水地区,四川与西藏交界处巴塘等高度适生区发生范围明显扩大。这与陕西与甘肃交界处也属于西北内陆棉区,且棉花种植面积逐年提高,成为仅次于新疆的重要产棉区有关(刘琰琰和潘学标,2007)。此地区棉花作物对气候变暖较敏感,棉铃虫大面积发生可能性增大。棉铃虫危害范围的急剧扩张,很可能会再次向西影响到新疆棉区,向东影响到陕西东部棉区(渭南等地)和河南棉区。而四川与西藏交界处巴塘县是位于横断山脉北端和金沙江东岸的河谷地带,是四川的产棉区,其春季气温回升较快,冷热气流交替,小气候频繁,同时气候变化条件下,天气气候的极端事件增加,病虫害突发的可能性会增大。

在气候变暖条件下,华北、华南部分地区棉铃虫

适生区域出现收缩趋势,可能与常年降雨量增多,棉铃虫卵受到雨水强烈冲刷,孵化幼虫数量急剧下降有关,雨水多不利于棉铃虫蛹的正常羽化是导致虫量减少的重要原因。同时受气候变暖影响,棉铃虫天敌数量的增多,也是导致这些地区的棉铃虫种群发生量下降的原因之一。

根据生物气候模拟预测出的在气候变化条件下生物分布范围的扩张,通常仅代表了在其他各项影响因子均最适宜的情况下的结果,而实际发生的变化常常小于预测,因为除了气候因素外,生物因素也是影响生物分布的重要因素。例如,近来研究表明,由于昆虫难以适应新环境的寄主植物,而减缓昆虫对气候变化的反应(Pelini *et al.*, 2010);气候与生物因素共同作用影响山地植食性昆虫的海拔分布(Merrill *et al.*, 2008)。而本研究所用软件仅考虑气候和有效积温、滞育等因素对生物个体生长发育的影响,故需谨慎对待其预测结果(宋红敏等, 2004;Lawson *et al.*, 2010)。

**致谢** 南京农业大学植物保护学院胡高、赵运、贾彪等给予帮助,特此致谢。

### 参考文献

- 陈瑜,马春森. 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, **30**(8): 2159–2172.
- 程俊峰, 万方浩, 郭建英. 2006. 西花蓟马在中国适生区的基于 CLIMEX 的 GIS 预测. 中国农业科学, **39**(3): 525–529.
- 郭予元. 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社.
- 洪晓月, 丁锦华. 2007. 农业昆虫学(第2版). 北京: 中国农业出版社.
- 侯柏华, 张润杰. 2005. 基于 CLIMEX 的桔小实蝇在中国适生区的预测. 生态学报, **25**(7): 1569–1574.
- 李超, 谢宝瑜. 1981. 光周期与气温的联合作用对棉铃虫种群滞育的影响. 昆虫知识, **2**(4): 58–61.
- 李保平, 孟玲. 2010. 气候变化对农作物病虫害草害的影响//潘根兴. 气候变化对中国农业生产的影响分析与评估. 北京: 中国农业出版社: 82–91.
- 刘琰琰, 潘学标. 2007. 中国棉花生产县域比较优势分析. 棉花学报, **19**(1): 64–68.
- 刘柱东, 龚佩瑜, 吴坤君, 等. 2004. 高温条件下棉铃虫化蛹率、夏滞育率和蛹重的变化. 昆虫学报, **47**(1): 14–19.
- 牟吉元, 崔龙, 陈天元. 1995. 棉铃虫发育起始点、有效积温的测定和发生检验. 山东农业大学学报, **26**(3): 280–284.
- 饶玉燕, 黄冠胜, 李志红, 等. 2009. 基于 DYMEX 和 DIVA-GIS 的昆士兰果实蝇潜在地理分布的预测. 植物保护学报, **36**(1): 1–6.

- 宋红敏, 张清芬, 韩雪梅, 等. 2004. CLIMEX: 预测物种分布区的软件. 昆虫知识, **41**(4): 379–386.
- 王方海, 龚 和, 钦俊德. 1999. 气温对棉铃虫滞育的影响. 昆虫知识, **36**(1): 3–4.
- 王俊伟, 李志红, 陈洪俊, 等. 2009. 蜜柑大实蝇在中国的适生性研究. 植物检疫, **23**(1): 1–4.
- 王勤英. 1997. 气候变化对河北省棉花生产及病虫害的可能影响. 生态农业研究, **5**(3): 45–48.
- 王正军, 李典谟, 谢宝瑜. 2003. 棉铃虫风险发生区的确定与评估. 生态学报, **23**(12): 2642–2652.
- 吴孔明, 郭予元. 1995. 棉铃虫滞育的诱导因素. 植物保护学报, **22**(4): 331–336.
- 吴坤君, 陈玉平, 李明辉. 1980. 气温对棉铃虫实验种群生长的影响. 昆虫学报, **23**(4): 358–367.
- 张建军, 杨益众, 邵益栋, 等. 2001. 雨水和土壤含水量对棉铃虫种群抑制作用初探. 江苏农业研究, **22**(4): 32–34.
- EPP0. 2010. Distribution map of quarantine pests for Europe: *Helicoverpa armigera*. <http://www.eppo.org/>. EPP0 Pest Lists / EPP0 PQR.
- Finch JM, Samways MJ, Hill TR, *et al.* 2006. Application of predictive distribution modeling to invertebrates: Odonata in South Africa. *Biodiversity and Conservation*, **15**: 4239–4251.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lawson BE, Day MD, Bowen M, *et al.* 2010. The effect of data sources and quality on the predictive capacity of CLIMEX models: An assessment of *Teleonemia scrupulosa* and *Octotoma scabripennis* for the biocontrol of *Lantana camara* in Australia. *Biological Control*, **52**: 68–76.
- Merrill RM, Gutiérrez D, Lewis OT, *et al.* 2008. Combined effects of climate and biotic interactions on the elevational range of a phytophagous insect. *Journal of Animal Ecology*, **77**: 145–155.
- Parnesan C, Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, **421**: 37–42.
- Pearson RG, Dawson TP. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimatic envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, **12**: 361–371.
- Pelini SL, Keppel J, Kelley A, *et al.* 2010. Adaptation to host plants may prevent rapid insect responses to climate change. *Global Change Biology*, **16**: 2923–2929.
- Sutherst RW, Maywald GF, Bottomley W, *et al.* 2004. Climex-2 User Guide. Common Wealth Scientific and Industrial Research Organization.
- Walther GR, Berger S, Sykes MT. 2005. An ecological ‘footprint’ of climate change. *Proceedings of the Royal Society, Series B*, **273**: 1427–1432.
- Yonow T, Zalucki MP, Sutherst RW, *et al.* 2004. Modelling the population dynamics of the Queensland fruit fly, *Bactrocera (Dacus) tryoni*: A cohort-based approach incorporating the effects of weather. *Ecological Modelling*, **173**: 9–30.
- 
- 作者简介 朱 剑,男,1987 年生,硕士研究生。主要从事气候变化生物学的研究。E-mail: judjan@163.com
- 责任编辑 刘丽娟
-