

气候变化条件下樱桃绕实蝇在中国的潜在地理分布预测

秦誉嘉^{1,2} 蓝 帅² 卢国彩² 刘玮琦³ 刘云慧^{1*} 李志红^{2*}

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 中国农业大学植物保护学院昆虫学系, 北京 100193;
3. 中华人民共和国满洲里海关, 内蒙古 满洲里 021400)

摘要: 樱桃绕实蝇 *Rhagoletis cerasi* (L.) 被我国列为进境检疫性有害生物, 目前我国尚无分布报道。为明确该虫在我国的适生区及适生程度, 利用 CLIMEX 地点比较模型预测在当前以及未来 2030、2080 年 A1B 与 A2 两种不同排放情景下樱桃绕实蝇在我国的潜在地理分布。结果显示, 樱桃绕实蝇在我国的潜在地理分布包括长江以北的大部分地区, 随着气候变化, 到 2030 年与 2080 年, 樱桃绕实蝇的低度适生区、中度适生区面积均增加, 高度适生区面积减少, 其中在 2030 年 A1B 排放情景下樱桃绕实蝇的总适生区面积增加了 48.4 万 km², 在 2030 年的 A2 情景下与 2080 年的 A1B 与 A2 情景下总适生区面积分别减少了 3.4、5.7、5.7 万 km²。因此, 为保护我国樱桃种植业的安全生产, 应加强对该虫的检疫力度, 防止其传入我国。

关键词: 樱桃绕实蝇; CLIMEX 软件; ArcGIS 软件; 潜在地理分布; 气候变化

Prediction on potential geographical distribution of European cherry fruit fly *Rhagoletis cerasi* in China under climate change

Qin Yujia^{1,2} Lan Shuai² Lu Guocai² Liu Weiqi³ Liu Yunhui^{1*} Li Zhihong^{2*}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Department of Entomology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. Manzhouli Customs District P. R. China, Manzhouli 021400, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The European cherry fruit fly, *Rhagoletis cerasi* (L.) (Diptera: Tephritidae) has been listed as the quarantine pest and currently absent in China. In order to understand the suitable area and suitable levels of this fly in China, CLIMEX was used to predict the potential geographical distribution of *R. cerasi* under current and future climate conditions. The results showed that the potential geographical distribution of this pest was north of Yangtze River. With the climate change, the marginal and suitable range of this pest in China would increase and the optimal range would decrease in 2030 and 2080. The overall suitable range would increase by 48.4×10^4 km² under 2030 A1B scenario and decrease by 3.4×10^4 , 5.7×10^4 , 5.7×10^4 km² under 2030 A2 and 2080 A1B, A2 scenarios, respectively. Quarantine measures of *R. cerasi* should be strengthened in order to prevent its introduction and protect the cherry industry in China.

Key words: *Rhagoletis cerasi*; CLIMEX software; ArcGIS software; potential geographical distribution; climate change

樱桃绕实蝇 *Rhagoletis cerasi* (L.) 隶属于双翅目实蝇科绕实蝇属, 是欧洲和亚洲中西部地区严重为

害樱桃的重要害虫, 目前在欧洲的 30 个国家和亚洲的 8 个国家 (USDA-APHIS-PPQ, 2017) 均有分布。

基金项目: 国家重点研发计划 (2018YFF0214905), 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目 (2017IK265)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: liuyh@cau.edu.cn, lizh@cau.edu.cn

收稿日期: 2018-11-19

樱桃绕实蝇是一化性昆虫,成虫在野外只出现较短的时间,4~8周(Kovanci & Kovanci 2006a, b; Stamenković et al., 2012),但是蛹要经历一个从夏季至冬季中期的滞育时期(Moraiti et al., 2012),在温度低于5°C长达180 d的条件下,成虫的羽化率最高(Daniel & Grunder, 2012)。2016年6月,该虫首次在加拿大东南部安大略省米西索亚的城市公园被监测到(CFIA, 2017),随后于2017年在美国纽约市的尼亚加拉县也被监测到(Fruit Growers News, 2017),在同年5月美国农业部动植物检疫局开始限制加拿大出口与樱桃绕实蝇有关的寄主到美国。樱桃绕实蝇在北美地区的首次发生引起了美国甜樱桃主产区华盛顿、俄勒冈、加利福尼亚以及酸樱桃主产区密歇根的高度关注,因为该地区的樱桃品种均引自欧洲和西亚这2个樱桃绕实蝇的广泛分布的地区(Wakie et al., 2018)。

美国农业部利用CLIMEX 4.0软件根据樱桃绕实蝇的滞育等生物学参数预测当前气候条件下其在美国以及全球的潜在地理分布,结果表明在灌溉情景下美国东部地区包括樱桃主产区华盛顿和加利福尼亚均为该害虫的适生区,加拿大、墨西哥、阿根廷和智利、非洲北部国家和南非部分地区、澳大利亚西南部、新西兰、日本、韩国以及中国北部和中部地区也可能是其潜在入侵的定殖地区(Wakie et al., 2018)。我国是樱桃的主要进口国之一,其中美国和加拿大是我国樱桃主要进口国(张丽艳, 2016)。目前,樱桃绕实蝇尚未在我国发现,且已被列为我国进境检疫性有害生物(王聪等, 2014),一旦传入我国,势必对我国樱桃的安全生产构成直接为害,因此明确气候变化条件下该虫在我国的潜在地理分布对其防控尤为重要。

CLIMEX地点比较模型依据生物学意义的参数来预测物种的潜在地理分布(Kriticos et al., 2015),该软件假设气候是影响物种分布的主要因素,是当前研究气候变化对昆虫分布影响的重要方法(董兆克和戈峰, 2011),目前已应用于茶翅蜡 *Halyomorpha halys* (Kriticos et al., 2017)、葡萄花翅小卷蛾 *Lobesia botrana* (秦誉嘉等, 2018)、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Yonow et al., 2018)等;在实蝇科害虫中也有比较广泛的应用(李志红等, 2013),李志红(2015)研究了42种重要经济实蝇的潜在地理分布,包括按实蝇属、果实蝇属、小条实蝇属、寡鬃实蝇属、味实蝇属中的枣实蝇 *Carpomya vesuviana*、绕实蝇属中的苹绕实蝇 *R. pomonella* 以及其它属中的橘实锤腹实蝇 *Monacrostichus citricola*、番木瓜长尾实

蝇 *Toxotrypana curvicauda*。本研究运用CLIMEX 4.0.2地点比较模型和ArcGIS10.2软件对当前以及未来气候变化情景下樱桃绕实蝇在我国的潜在地理分布进行预测,以期为我国进一步加强樱桃绕实蝇的检疫措施以防御其入侵提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

气候数据:气候数据来源于Climond (<https://www.climond.org>) 10'精度的数据集,包括1975年(1961—1990年)的当前气候数据,以及来自澳大利亚联邦科学与工业研究组织的CSIRO-MK 3.0模型下根据政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel On Climate Change, IPCC)第4次报告A1B、A2排放情景下的2030、2080年的未来气候数据集(Kriticos et al., 2012)。在《IPCC排放情景特别报告》描述的排放情景中,A1排放情景假设世界经济增长非常快,全球人口数量峰值出现在21世纪中叶,新的和更高效的技术被迅速引进,其中A1B排放情景表示在技术变化中各能源之间达到平衡;A2排放情景则描述了一个很不均衡的世界:人口快速增长、经济发展缓慢、技术进步缓慢(IPCC, 2007)。

地图数据:本研究所用地图资料来源于DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/>)的世界地图和国家基础地理信息中心网站(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)的1:4 000 000中国国界及省界图。农业用地类型图由中国农业科学院植物保护研究所提供,已除去水体、林地和城市用地。

1.2 方法

根据Wakie et al. (2018)关于樱桃绕实蝇潜在地理分布的最新报道,在CLIMEX 4.0.2的地点比较模型中设定樱桃绕实蝇的温度、湿度、滞育相关的生物学参数以及全年3.6 mm的灌溉指数(表1),在气候变化情景A1B和A2排放情景下预测樱桃绕实蝇的适生区范围。预测结果以生态气候指数(ecoclimatic index, EI)值来表示,其中当EI=0时为非适生区,表示樱桃绕实蝇在该地区不适生;当0<EI≤10时为低度适生区,表示樱桃绕实蝇在该地区可定殖,但属于限制性分布;当10<EI≤20时为中度适生区,表示樱桃绕实蝇在该地区较易定殖;当EI>20时为高度适生区,表示樱桃绕实蝇在该地区极易定殖。利用ArcGIS10.2软件的空间分析中克里金Kriging插值工具,将CLIMEX地点比较模型预测结果由点图转化为面图;利用ArcGIS10.2软件的Reclass和Zonal工具计

算、比较不同气候情景下樱桃绕实蝇在我国当前气候条件下及未来气候条件下适生区面积的变化。

表 1 樱桃绕实蝇的地点比较模型参数

Table 1 Comparative location model parameter values for *Rhagoletis cerasi*

参数 Parameter	参数值 Value
土壤湿度临界下限 Lower threshold of soil moisture	0.2
最适土壤湿度下限 Lower limit of optimum soil moisture	0.8
最适土壤湿度上限 Upper limit of optimum soil moisture	1.2
土壤湿度临界上限 Upper threshold of soil moisture	2.0
发育起点温度 Lower threshold temperature	5.0
最适发育温度下限 Lower optimum temperature (°C)	12.0
最适发育温度上限 Upper optimum temperature (°C)	29.5
发育上限温度 Upper threshold temperature (°C)	34.0
冷胁迫日度临界 Cold stress temperature threshold (°C)	5.0
冷胁迫积累速率 Cold stress accumulation rate (1/week)	0.0
热胁迫临界温度 Heat stress temperature threshold (°C)	34.0
热胁迫积累速率 Heat stress accumulation rate (1/week)	0.001
干胁迫临界 Dry stress soil moisture threshold	0.2
干胁迫积累速率 Dry stress accumulation rate (1/week)	-0.0001
湿胁迫临界 Wet stress soil moisture threshold	2.0
湿胁迫积累速率 Wet stress accumulation rate	0.002
诱发滞育的日照时数 Diapause induction day length (h)	11.0
诱发滞育的温度 Diapause induction temperature (°C)	13.0
滞育终止的温度 Diapause termination temperature (°C)	8.0
滞育所需天数 Minimum number of days below DPT0 needed to complete diapause (d)	180.0
有效积温 Degree-days to complete one generation (°C·d)	430.0
灌溉情景 Irrigation (mm/d)	3.6

2 结果与分析

2.1 当前气候条件下的预测结果

在当前气候条件下,樱桃绕实蝇在我国的潜在地理分布主要集中在东北、华中、西北和西南的部分地区。高度适生区主要包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、宁夏、河北、北京、天津、山西、陕西省(自治区、市)的大部分地区,山东、河南、甘肃、四川、云南省的部分地区以及西藏自治区、重庆市、湖北省(市)的零星地区;中度适生区主要包括黑龙江、内蒙古、甘肃、新疆、青海、西藏、四川、云南省(自治区)的部分地区;低度适生区主要包括新疆、甘肃、青海、西藏、内蒙古、黑龙江、河北、河南、陕西、山东、四川、重庆、湖北、云南、台湾省(自治区、市)的部分地区(图1)。

2.2 未来气候条件下的预测结果

2030年在A1B排放情景下,樱桃绕实蝇在我国的适生区范围总体增加,主要体现在新疆、青海、西藏、四川省(自治区)等地区,而山东省的适生区范围减少,台湾省变为非适生区;且适生程度发生变化,其中黑龙江省西北部的适生程度增加,新疆维吾尔

自治区、内蒙古自治区北部、云南省北部的适生程度降低(图2-a)。在A2排放情景下,樱桃绕实蝇在中国的适生区范围总体变化不明显,河北、河南、山东省的适生区范围局部减少,台湾省变为非适生区;适生程度也发生变化,其中黑龙江省北部、甘肃省中部适生程度局部增加,新疆维吾尔自治区北部、内蒙古自治区北部、河南省西南部、四川省南部的适生程度局部降低(图2-b)。

2080年在A1B排放情景下,樱桃绕实蝇在青海、西藏、四川省(自治区)的适生区范围有所增加,在新疆、河北、北京、天津、山西、陕西、甘肃、湖北、云南省(自治区、市)的适生区范围减少,山东、重庆、台湾省(市)变为非适生区,其中黑龙江省西北部、西藏自治区东南部、甘肃省南部的适生程度增加,新疆维吾尔自治区北部、内蒙古自治区古西北部、宁夏回族自治区北部、辽宁省南部沿海、四川省南部的适生程度降低(图3-a)。与A1B情景下的适生区相比,A2排放情景下的适生区变化不大,四川省中部适生区范围有所增加,陕西省中部有所减少,湖北省也变为非适生区;黑龙江省西北部、四川省中部的零星地区适

生程度有所增加,新疆、辽宁、内蒙古、山西省(自治区)的局部地区适生程度有所减少(图3-b)。

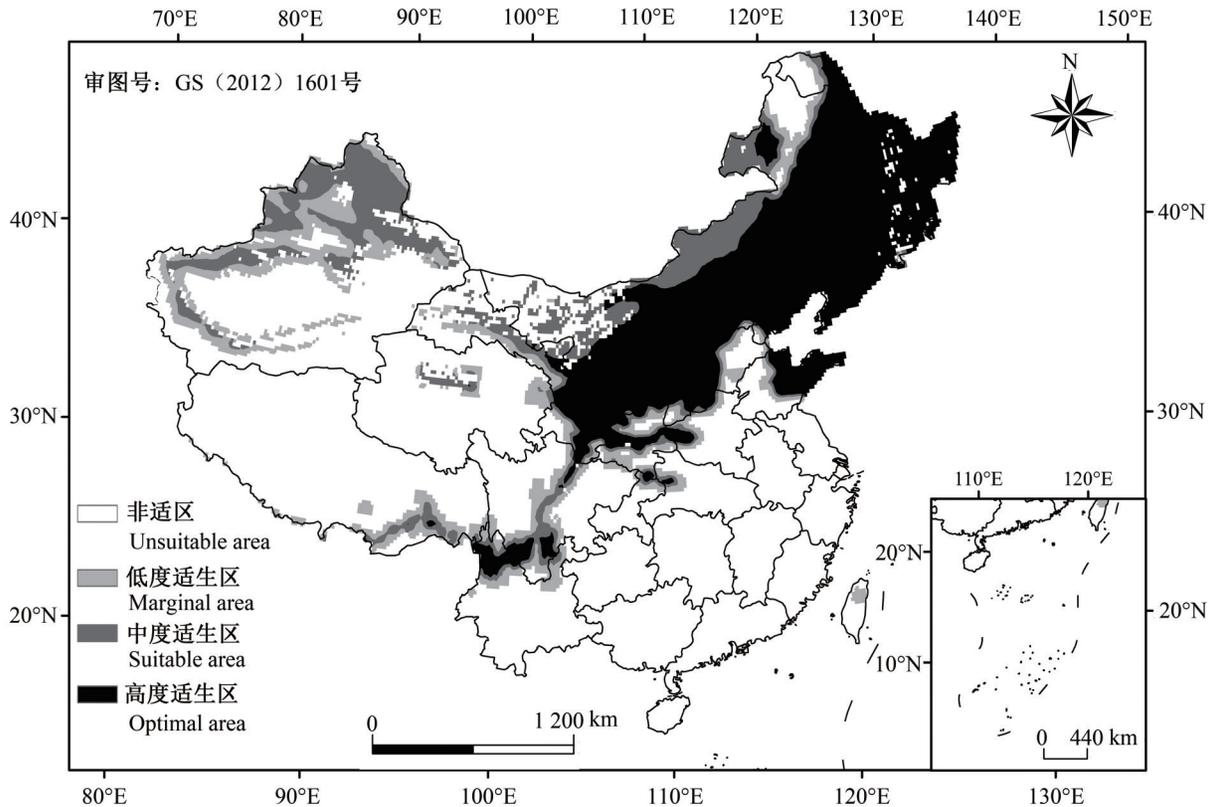


图1 当前气候条件下樱桃绕实蝇在中国的潜在地理分布

Fig. 1 Potential geographical distribution of *Rhagoletis cerasi* in China under current climate conditions

2.3 不同气候条件下的结果比较

在2030年A1B排放情景下樱桃绕实蝇在我国的适生区的面积总体增加了48.4万 km^2 ,低度适生区、中度适生区面积增加,其中低度适生区面积增加了77.5万 km^2 ,高度适生区面积减少了30.1万 km^2 ;在2030年A2排放情景下、2080年的A1B与A2排放情景下樱桃绕实蝇的总体适生区面积分别减少了3.4、5.7、5.7万 km^2 ,其中低度适生区、中度适生区面积均有所增加,高度适生区面积均有所减少(图4)。

3 讨论

鉴于樱桃绕实蝇近期在北美地区引起高度关注,美国农业部利用CLIMEX地点比较模型预测了其在灌溉与非灌溉2种情景下在全球的潜在地理分布(Wakie et al., 2018),考虑到樱桃在我国的进口以及种植情况,本研究预测了灌溉情景下樱桃绕实蝇在我国当前的潜在地理分布以及2030、2080年A1B、A2两种排放情景下的潜在地理分布,从而为该有害生物的入侵防控提供科学依据。

我国有环渤海湾和陇海铁路沿线的2个甜樱桃

优势产区,环渤海湾产区包括山东、辽宁、河北和北京4个省(市),种植面积和产量均占全国的3/4左右,其中山东省种植面积和产量均居全国首位,是我国樱桃的第一大产区;陇海铁路沿线产区包括陕西、河南、甘肃、山西、江苏和安徽省,种植面积和产量占全国的1/5;目前新疆、西藏自治区等西北地区以及云南、贵州省等西南地区均已有零星种植(张福兴等,2012)。本研究结果显示,在当前气候条件下,除江苏省和安徽省外,我国所有的樱桃种植区均是樱桃绕实蝇的适生区,因此应加强对该虫的检疫监测,做到及时发现、及早根除。

我国是樱桃进口大国,2014年的樱桃进口额已达世界第一,2015年其进口额达6.8亿美元,跃居为我国第二大进口水果,其中80%来自智利(张丽艳, 2016),其次是美国和加拿大。智利目前虽无樱桃绕实蝇发生,但其也为适生区(Wakie et al., 2018),因此应密切关注樱桃绕实蝇在当地的发生情况,及时调整相关检疫措施。而美国和加拿大,作为我国樱桃的进口来源大国,目前已监测到该虫的发生(CFIA, 2017; Fruit Growers News, 2017),故急需调

整相应的检疫性有害生物名单和议定书,并对其进行进 境樱桃进行严格检疫以防止樱桃绕实蝇传入我国。

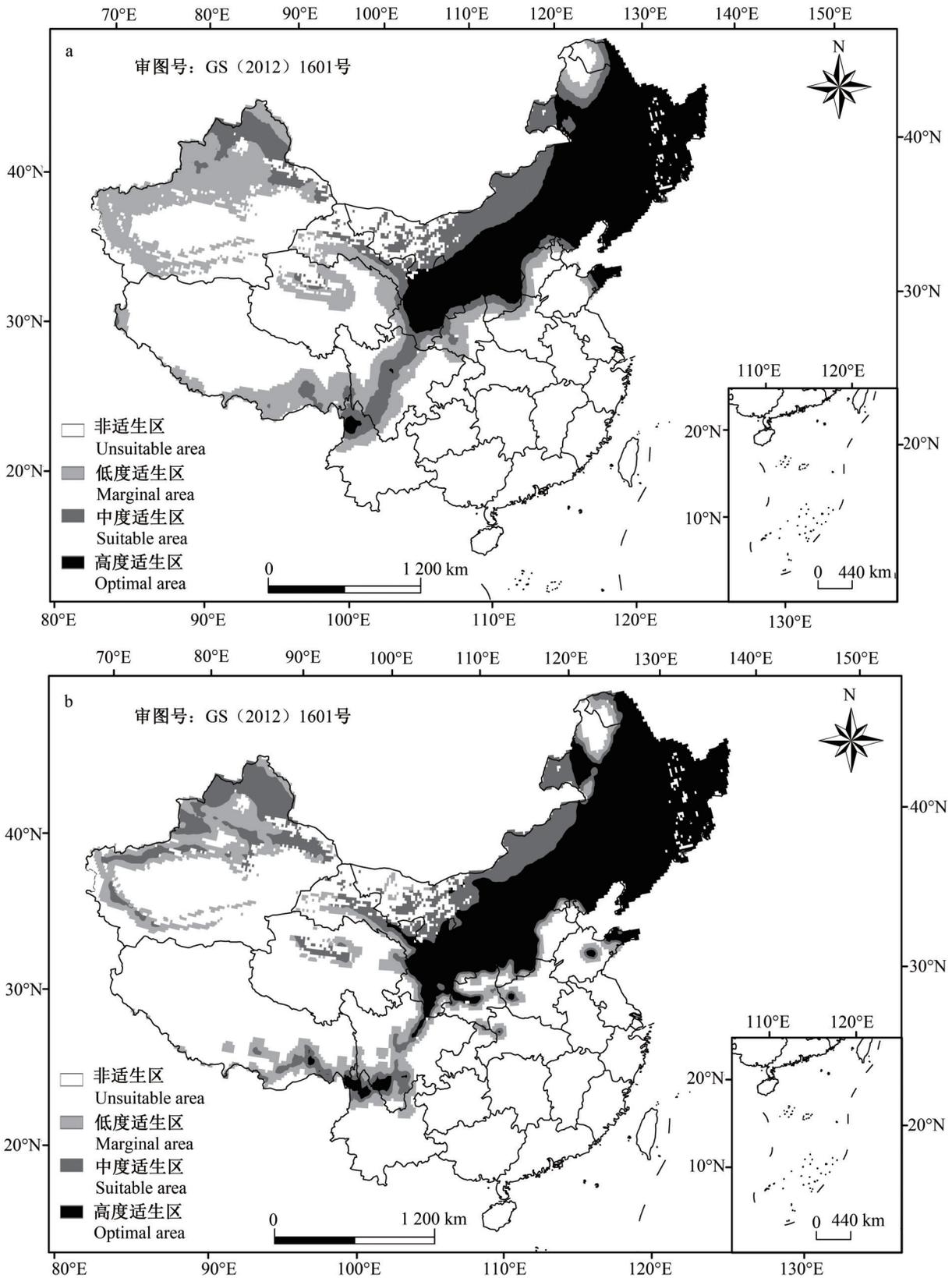


图2 2030年樱桃绕实蝇在中国的潜在地理分布

Fig. 2 Potential geographical distribution of *Rhagoletis cerasi* in China under future climate conditions in 2030 a: A1B排放情景; b: A2排放情景。 a: Prediction under A1B scenario; b: prediction under A2 scenario.

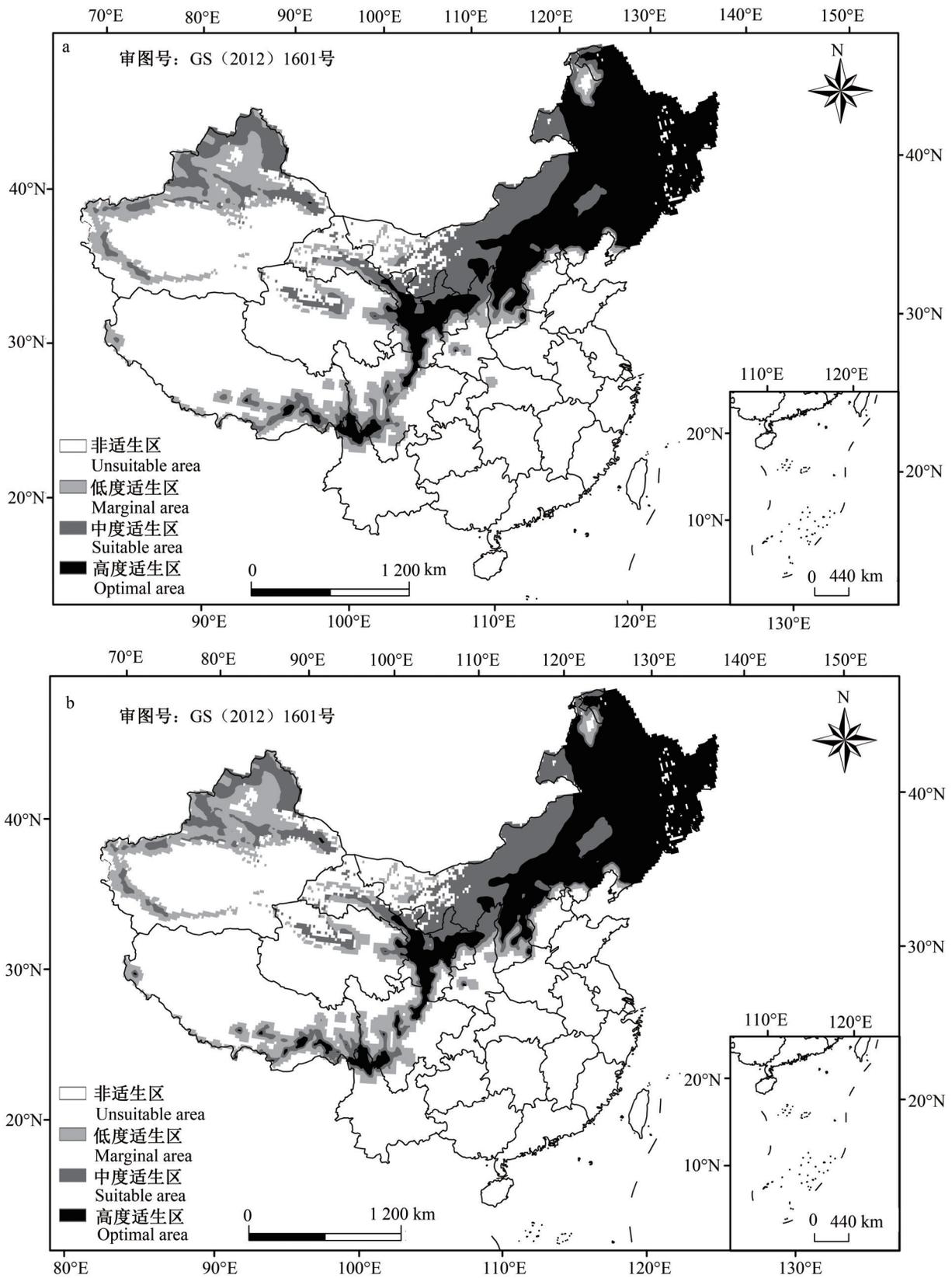


图3 2080年樱桃绕实蝇在中国的潜在地理分布

Fig. 3 Potential geographical distribution of *Rhagoletis cerasi* in China under future climate conditions in 2080
a: A1B排放情景; b: A2排放情景。 a: Prediction under A1B scenario; b: prediction under A2 scenario.

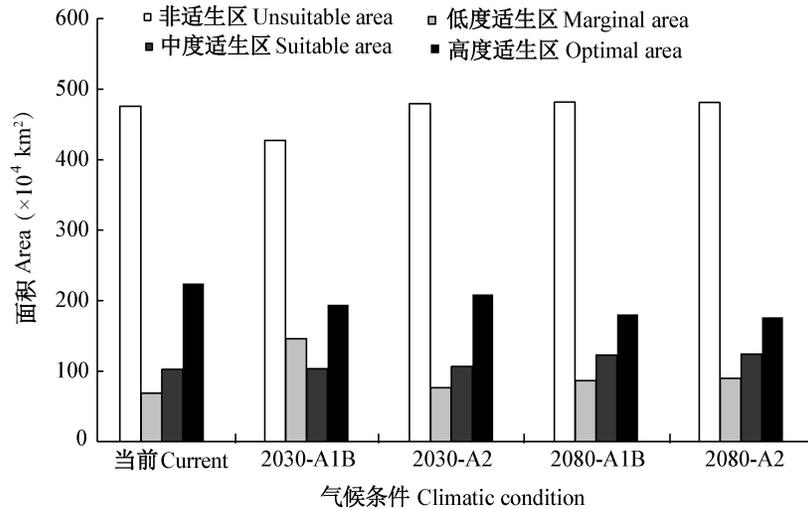


图 4 不同气候条件下樱桃绕实蝇在中国的潜在地理分布比较

Fig. 4 Comparison of the potential geographical distributions of *Rhagoletis cerasi* in China under different climate scenarios

2030-A1B: 2030年A1B排放情景; 2030-A2: 2030年A2排放情景; 2080-A1B: 2080年A1B排放情景; 2080-A2: 2080年A2排放情景。2030-A1B: A1B scenario in 2030; 2030-A2: A2 scenario in 2030; 2080-A1B: A1B scenario in 2080; 2080-A2: A2 scenario in 2080。

IPCC第5次报告指出1983—2012年可能是过去1400年里最热的30年,1880—2012年地球表面温度升高了0.85°C(IPCC,2014)。昆虫作为变温动物以及生物多样性最重要的组成部分对温度的变化较敏感,近年来受气候变化的影响,昆虫有向高纬度、高海拔和较冷边界扩张的趋势。研究气候变化下昆虫的潜在地理分布变化是应对全球气候变化下昆虫发生、控制与保护的重要途径(董兆克和戈峰,2011;戈峰,2011)。本研究结果表明,樱桃绕实蝇在2030年A1B排放情景下适生区面积将会增加,而在同年A2排放情景下适生区面积有小部分减少;到2080年樱桃绕实蝇的适生区面积仍将有小部分减少,同时我国樱桃目前的主要种植区之一山东省将变为非适生区,因此考虑不同年份以及同一年份不同排放情景能更好地理解有害生物在未来的潜在地理分布,从而制定更加科学的检疫防控措施。

参 考 文 献 (References)

- CFIA. 2017. *Rhagoletis cerasi* (European Cherry Fruit Fly) - fact sheet <http://www.inspection.gc.ca/plants/plant-pests-invasive-species/insects/european-cherry-fruit-fly/fact-sheet/eng/1467913088353/1467914654510> (2017-7-27)
- Daniel C, Grunder J. 2012. Integrated management of European cherry fruit fly *Rhagoletis cerasi* (L.): situation in Switzerland and Europe. *Insects*, 3(4): 956–988
- Dong ZK, Ge F. 2011. The fitness of insects in response to climate warming. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1141–1148 (in Chinese) [董兆克, 戈峰. 2011. 温度升高对昆虫发生发展的影响. *应用昆虫学报*, 48(5): 1141–1148]
- Fruit Growers News. 2017. European cherry fruit fly confirmed in Niagara County, New York. <https://fruitgrowersnews.com/news/european-cherry-fruit-flyconfirmed-niagara-county-new-york/> (2017-10-31)
- Ge F. 2011. Challenges facing entomologists in a changing global climate. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1117–1122 (in Chinese) [戈峰. 2011. 应对全球气候变化的昆虫学研究. *应用昆虫学报*, 48(5): 1117–1122]
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*
- Kovanci OB, Kovanci B. 2006a. Effect of altitude on seasonal flight activity of *Rhagoletis cerasi* flies (Diptera: Tephritidae). *Bulletin of Entomological Research*, 96: 345–351
- Kovanci OB, Kovanci B. 2006b. Reduced-risk management of *Rhagoletis cerasi* flies (host race *Prunus*) in combination with a preliminary phenological model. *Journal of Insect Science*, 6(1): 1–10
- Kriticos DJ, Kean JM, Phillips CB, Senay SD, Acosta H, Haye T. 2017. The potential global distribution of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, a critical threat to plant biosecurity. *Journal of Pest Science*, 90(4): 1033–1043
- Kriticos DJ, Maywald GF, Yonow T, Zurcher EJ, Herrmann NI, Sutherst RW. 2015. CLIMEX version 4: exploring the effects of climate on plants, animals and diseases. Canberra: CSIRO
- Kriticos DJ, Webber BL, Leriche A, Ota N, Macadam I, Bathols J, Scott JK. 2012. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(1): 53–64

- Li ZH. 2015. Prevention and control of biological invasions: potential geographical distribution of economic important fruit flies. Beijing: China Agricultural University Press (in Chinese) [李志红. 2015. 生物入侵防控: 重要经济实蝇潜在地理分布研究. 北京: 中国农业大学出版社]
- Li ZH, Jiang F, Ma XL, Fang Y, Sun ZZ, Qin YJ, Wang QL. 2013. Review on prevention and control techniques of Tephritidae invasion. *Plant Quarantine*, 27(2): 1-10 (in Chinese) [李志红, 姜帆, 马兴莉, 方焱, 孙壮志, 秦誉嘉, 王巧铃. 2013. 实蝇科害虫入侵防控技术研究进展. *植物检疫*, 27(2): 1-10]
- Moraiti CA, Nakas CT, Papadopoulos NT. 2012. Prolonged pupal dormancy is associated with significant fitness cost for adults of *Rhagoletis cerasi* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Insect Physiology*, 58(8): 1128-1135
- Qin YJ, Lü WC, Zhao SQ, Liu H, Li ZH. 2018. Including irrigation and climate change in predicting the potential geographical distribution of *Lobesia botrana* in China. *Journal of Plant Protection*, 45(3): 599-605 (in Chinese) [秦誉嘉, 吕文诚, 赵守歧, 刘慧, 李志红. 2018. 考虑灌溉及气候变化条件下葡萄花翅小卷蛾在中国的潜在地理分布. *植物保护学报*, 45(3): 599-605]
- Stamenković S, Perić P, Milošević D. 2012. *Rhagoletis cerasi* Loew (Diptera: Tephritidae): biological characteristics, harmfulness, and control. *Pesticidi I Fitomedicina*, 27(4): 269-281
- USDA-APHIS-PPQ. 2017. *Rhagoletis cerasi* (Linnaeus) European cherry fruit fly. https://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/fruit_flies/downloads/rhagoletis-cerasi-report. (2018-2-24)
- Wang C, Zheng MH, Wang ZH, Qin YJ, Zhou X, Gong GX, Li ZH, Pan XB. 2014. Review of the plant quarantine pest list and exploration of methods for its formulation. *Plant Quarantine*, 28(3): 1-7 (in Chinese) [王聪, 郑明慧, 王振华, 秦誉嘉, 周贤, 龚国祥, 李志红, 潘绪斌. 2014. 植物检疫性有害生物名单发展综述与制订方法探讨. *植物检疫*, 28(3): 1-7]
- Wakie TT, Yee WL, Neven LG. 2018. Assessing the risk of establishment of *Rhagoletis cerasi* (Diptera: Tephritidae) in the United States and globally. *Journal of Economic Entomology*, 111(3): 1275-1284
- Yonow T, Kriticos DJ, Kirichenko N, Ota N. 2018. Considering biology when inferring range-limiting stress mechanisms for agricultural pests: a case study of the beet armyworm. *Journal of Pest Science*, 91(2): 523-538
- Zhang FX, Sun QT, Zhang X, Li SP, Tian CP, Jiang XL. 2012. Status and development strategies of Chinese cherry industry. *Yantai Fruit*, (3): 3-5 (in Chinese) [张福兴, 孙庆田, 张序, 李淑平, 田长平, 姜学玲. 2012. 我国大樱桃产业现状与发展对策. *烟台果树*, (3): 3-5]
- Zhang LY. 2016. Analysis on the characteristics and development trend of Chinese cherry import. *World Agriculture*, (10): 164-166 (in Chinese) [张丽艳. 2016. 中国樱桃进口特点及发展趋势分析. *世界农业*, (10): 164-166]

(责任编辑:王璇)