

# 基于 MaxEnt 模型的野生樱浙江适生区研究

陈丽娜<sup>a</sup>,王声晓<sup>b</sup>,郑若兰<sup>b</sup>,胡绍庆<sup>b</sup>

(浙江理工大学,a.生命科学学院;b.建筑工程学院,杭州 310018)

**摘要:**以浙江分布的15个樱属野生种以及根据气候相似性理论筛选得到的3个在浙江有潜在适生性的樱属野生种为研究对象,依据各野生种的地理分布数据和中国境内的气候数据,利用MaxEnt模型预测它们在中国境内的潜在分布区域。通过ArcGIS软件提取各野生种在浙江的潜在分布概率,将其与分布阈值及各种在浙江分布点的潜在分布概率进行比较,获得了这18个物种在浙江的潜在适生区和适生区,并探讨适于引种栽培的樱属野生种及相应引种栽培区域。

**关键词:** 樱属;MaxEnt模型;分布区;适生区;中国浙江

**中图分类号:** S685.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3851(2016)01-0122-07 **引用页码:** 010706

## 0 引言

樱属(*Cerasus*)隶属蔷薇科(*Rosaceae*)李亚科(*Prunoideae*),其下分典型樱亚属(*Subg. Cerasus*)和矮生樱亚属(*Subg. Microcerasus*)<sup>[1]</sup>,是典型的北温带分布类型<sup>[2]</sup>。樱属植物包括所有野生种和郁李、欧李、麦李等原生种,全世界共120种<sup>[3]</sup>。我国有樱属植物45种,其中自然分布41种,引入4种<sup>[1]</sup>。

樱属植物观赏价值高,园林应用前景好,其野生种亟待开发利用。国内园林中栽培的多是从日本引种的樱花品种,但因喜温畏热、病虫害多、寿命短等缺点,在很大程度上限制了其在园林中的推广应用。现园林中栽植的樱花品种主要源自日本,我国樱属野生种的适应性与抗逆性明显强于这些品种<sup>[4]</sup>。目前,对于樱属植物引种的研究主要集中在生态习性、抗性及栽培技术等方面。

近年来,MaxEnt模型在预测物种地理分布区上的作用被越来越多的学者所认可。杨俊仙等<sup>[5]</sup>运用MaxEnt模型预测三叶海棠的潜在分布区,并阐明起主导作用的生物气候因子。刘欣<sup>[6]</sup>利用MaxEnt和GARP模型预测空心莲子草入侵风险。

王娟娟等<sup>[7]</sup>利用MaxEnt模型预测川贝母的潜在适生区和适生等级。席庆<sup>[8]</sup>利用GIS技术对白头叶猴的生境数据进行计算处理,在此基础上运用MaxEnt模型预测其潜在分布区,并对其潜在分布区进行评价。于晶等<sup>[9]</sup>基于GIS和MaxEnt预测紫萼藓属与砂藓属植物在中国各省区的适生性,并分析在各地的综合生境适宜性指数。

本文基于MaxEnt模型对中国樱属野生种在浙江的潜在地理分布区进行预测,不仅为中国樱属野生种的生态调查、引种栽培、种质保护及园林运用提供理论依据,也为其它地区的樱属植物引种研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据采集

#### 1.1.1 物种分布数据

本文所用的樱属各种的分布数据主要来源于两个方面:一是国家标本资源共享平台(<http://www.nsii.org.cn/>),包括国家教学标本资源共享平台(<http://mnh.scu.edu.cn/>),中国数字植物标本馆(<http://www.cvh.org.cn/>)及中国自然保护

收稿日期:2015-02-08

基金项目:国家自然科学基金项目(31170656);浙江省花卉新品种选育重大科技专项重点项目(2012C12909-9)

作者简介:陈丽娜(1989-),女,浙江宁波人,硕士研究生,主要从事城市景观植物方面的研究。

通信作者:胡绍庆,E-mail:13600512490@163.com

区标本资源共享平台(<http://www.papc.cn/>)三个子平台;二是浙江省野生樱的野外调查定位数据。具体分布点的经纬度通过百度地图及 Google Earth 进行查找定位。本文中选取最小样本量为 5 个野生分布点<sup>[10]</sup>。据此,筛选出在浙江有直接分布数据的樱属种为,大叶早樱 *Cerasus subhirtella*、尾叶樱桃 *C. dielsiana*、微毛樱桃 *C. clarifolia*、华中樱桃 *C. conradinae*、麦李 *C. glandulosa*、欧李 *C. humilis*、郁李 *C. japonica*、山樱花 *C. serrulata*、钟花樱桃 *C. campanulata*、毛叶欧李 *C. dictyoneura*、迎春樱桃 *C. discoidea*、浙闽樱桃 *C. schneideriana*、云南樱桃 *C. yunnanensis*、黑腺樱 *C. maximowiczii*、毛叶山樱花 *C. serrulata* var. *pubescens*。根据气候相似性理论,预测襄阳山樱桃 *C. cyclamina*、光叶樱桃 *C. glabra*、崖樱桃 *C. scopuloru* 在浙江的适生区。而樱桃 *C. pseudocerasus*、毛樱桃 *C. tomentosa* 的地理分布数据过多,可以认定这两个种属浙江广布,免于分析。

### 1.1.2 环境数据

温度和降水是影响樱属植物地理分布的主要因素,本文选择与温度和降水相关的气候变量作为 MaxEnt 模型分析的基础环境数据。从世界气候数据网站(<http://www.worldclim.org/>)下载 1950—2000 年间能直接用于 ESRI 分析的精度为 2.5 arc-minutes 的数据,空间分辨率约为 5 km<sup>2</sup>。其中包括 19 个生物气候变量(bio1-bio19)<sup>[11]</sup>; *altitude* (海拔);  $t_{\max 1} \sim t_{\max 12}$  (1—12 月最高温度);  $t_{\text{mean} 1} \sim t_{\text{mean} 12}$  (1—12 月平均气温);  $t_{\min 1} \sim t_{\min 12}$  (1—12 月最低气温);  $\text{prec}_1 \sim \text{prec}_{12}$  (1—12 月雨量)。

### 1.2 研究方法

本研究采用 MaxEnt3.3.3k 生态位模型软件, ArcGIS9.3 软件。GIS 空间分布分析的底图为 1:400 万的中国行政区划图。将下载的气候数据根据需要提取出中国境内的数据和樱属植物标本记录数据,导入 MaxEnt 模型中,随机选取标本分布数据的 25% 作为测试集(test data),其余为训练集(training data),选择输出逻辑斯值(logistic),并从训练集中随机选取 10% 的分布数据来计算分布阈值<sup>[5]</sup>,其余参数设为软件默认值,获得各物种在中国的地理分布预测图。将预测结果导入 ArcGIS 软件中,获取各物种在浙江的地理分布概率,将这一概率与分布阈值及浙江各种分布点的潜在分布概率进行比较,得出各物种在浙江的非适生区、潜在适生区和适生区。

通过计算 ROC 曲线(receiver operator

characteristic curve)下的面积,即 AUC (areas under curve)值,对模型预测的精度进行直观判断。AUC 值越大,表明模型中应用的环境变量与该物种的地理分布相关性越大,模型判断物种分布的能力就越强,预测效果也越好。参考 Swets 的标准: $0.5 \leq \text{AUC} < 0.7$  示预测能力一般; $0.7 \leq \text{AUC} < 0.9$  表示预测能力较好; $0.9 \leq \text{AUC} < 1$  表示预测能力极好<sup>[12]</sup>;  $\text{AUC} < 0.5$  值表示预测模型比随机模型要差<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 樱属植物在中国的适生性分析——以浙闽樱桃 *C. schneideriana* 为例

通过数字标本馆查找浙闽樱桃在国内的标本记录,结合本研究在浙江各地调查采集的各分布点数据,确定各个分布点的经纬度坐标。利用 MaxEnt 模型对该野生种分布数据与气候数据进行处理,得到浙闽樱桃在中国的潜在适生分布区(如图 1)所示。在对浙闽樱桃的潜在分布区的预测中,训练数据的 AUC 值为 0.990 和验证数据的 AUC 值均为 0.951,表明该模型预测能力非常好。

浙闽樱桃在中国各地区的适生概率的取值范围在 0~1 之间,图 1 中颜色越亮表明分布概率越高,白色的点为训练数据分布点,分布点越集中,在该区域分布概率越高。从图 1 可以看出,浙闽樱桃在中国华东地区南部,华南地区北部及台湾地区的潜在分布概率较高,特别是在浙江、江西、福建等地部分地区分布概率大于 0.8。而其他地区分布概率较低或基本不分布。应用相同方法获得樱属各种在中国境内的适生分布预测图,且各模型的训练数据的 AUC 值均大于 0.9,表明这些模型的预测能力非常好,获得的数据可进行下一步分析。

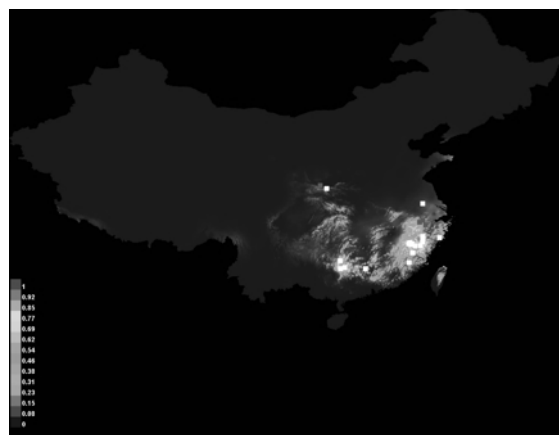


图 1 浙闽樱桃 *C. schneideriana* 在中国境内的适生分布预测

## 2.2 樱属植物在浙江的适生性分析

通过与该种的分布阈值(0.195)进行比较,发现其实际分布点的最小分布概率小于分布阈值。以实际分布点的最小分布概率为依据,利用 ArcGIS 软件对浙闽樱桃的预测结果进行提取分析,结果表明,它在浙江的潜在分布概率为 0.042~0.937,其实际分布点的潜在分布概率为 0.164~0.910,其在浙江的适生区如图 2(a)所示。而如山樱花 *C. serrulata* 在浙江实际分布点的分布概率的最小值大于相应的分布阈值,则小于该分布阈值的区域可定为非适生区。由此获得樱属各野生种在浙江的适生区如表 1 所示。根据结果对樱属物种在浙江的分布预测图进行重新分类,以直观展示各物种在浙江的适生区分布图,结果如图 2—图 4 所示。

樱属物种在浙江的分布预测图(图 2—图 4)表明:尾叶樱桃、微毛樱桃,欧李在浙江省内均有很大的栽培区域,可在省内绝大多数地区引种栽培。其中尾叶樱桃在丽水市、温州市的分布区域较小,而微毛樱桃在嘉兴市适生区比较小,在上述地区成功栽培的可能性不高。欧李在温州市和台州市的沿海、衢州市西部及舟山地区分布概率较低,这些地区不建议进行引种栽培。大叶早樱主要集中分布于台州市、温州市、宁波市等沿海地区,在浙江省北部地区也存在适宜栽培的可能。而华中樱桃主要分布于浙江省的中部地区,建议可在金华市、衢州市及它们与周围城市的交界地带进行栽培引种。而麦李主要可栽培于金华市、杭州市、绍兴市、湖州市、嘉兴市。山樱花、迎春樱桃在省内也有大量分布,山樱花在衢州市及丽水市的大部分地区不存在分布可能,而迎春樱桃则在浙江东部沿海及北部地区分布可能性较低。郁李分布较为分散,主要集中于嘉兴市、杭州市、绍兴市等中北部地区,且在舟山市也存在分布可能。钟花樱桃则主要集中分布于杭州市、衢州市、丽水市等西部地区,在东部各城市的边界区域也有一定分布。毛叶欧李则在杭州市、丽水市具有成功引种的可能。襄阳山樱桃可能在宁波市、台州市、温州市等沿海城市引种栽培成功。浙闽樱桃和毛叶山樱花在浙江具有较大的适生区。浙闽樱桃在杭州市、衢州市、丽水市存在大量分布,宁波市、台州市、舟山市也存在一定的分布可能。毛叶山樱花作为山樱花的一个变种,在丽水市、宁波市、温州市、台州市可能存在大量的分布。而云南樱桃、光叶樱桃、黑腺樱和崖樱桃在浙江的适应区域较小,只在少数地区的部分环境存在栽培的可能。

表 1 中国樱属野生种在浙江的适生区划分

种名	分布 阈值	潜在分 布概率	实际分 布点分 布概率	潜在适生区 适生区划分/ (非适生区)
大叶早樱 <i>C. subhirtella</i>	0.071	0.142~ 0.958	0.766~ 0.938	0.142~0.766/ 0.766~0.958
尾叶樱桃 <i>C. dielsiana</i>	0.418	0.072~ 0.808	0.281~ 0.557	0.072~0.281/ 0.281~0.808
微毛樱桃 <i>C. clarifolia</i>	0.268	0.067~ 0.644	0.105~ 0.472	0.067~0.105/ 0.105~0.644/
华中樱桃 <i>C. conradinae</i>	0.273	0.028~ 0.756	0.398~ 0.677	(0.028~0.273) 0.273~0.398/ 0.398~0.756
麦李 <i>C. glandulosa</i>	0.302	0.098~ 0.787	0.644~ 0.725	(0.098~0.302) 0.302~0.644/ 0.644~0.787
欧李 <i>C. humilis</i>	0.268	0.030~ 0.645	0.196~ 0.644	(0.030~0.268) 0.268~0.645
郁李 <i>C. japonica</i>	0.348	0.045~ 0.867	0.567~ 0.769	(0.045~0.348) 0.348~0.567/ 0.567~0.867
山樱花 <i>C. serrulata</i>	0.311	0.085~ 0.936	0.362~ 0.900	(0.085~0.311) 0.311~0.362/ 0.362~0.936
钟花樱桃 <i>C. campanulata</i>	0.133	0.022~ 0.879	0.108~ 0.819	0.022~0.108/ 0.108~0.879
襄阳山樱桃 <i>C. cyclamina</i>	0.175	0.020~ 0.795	—	(0.020~0.175) 0.175~0.795
毛叶欧李 <i>C. dictyoneura</i>	0.337	<0.726	0.022~ 0.453	<0.022/ 0.022~0.726
迎春樱桃 <i>C. discoidea</i>	0.334	0.003~ 0.954	0.367~ 0.907	(0.003~0.334) 0.334~0.367/ 0.367~0.954
浙闽樱桃 <i>C. schneideriana</i>	0.195	0.042~ 0.937	0.164~ 0.910	0.042~0.164/ 0.164~0.937
云南樱桃 <i>C. yunnanensis</i>	0.365	0.005~ 0.547	0.336	0.005~0.336/ 0.336~0.547
光叶樱桃 <i>C. glabra</i>	0.457	0.205~ 0.535	—	(0.205~0.457) 0.457~0.535
黑腺樱 <i>C. maximowiczii</i>	0.336	0.139~ 0.949	0.743	(0.139~0.336) 0.336~0.743/ 0.743~0.949
崖樱桃 <i>C. scopulorum</i>	0.318	0.014~ 0.571	—	(0.014~0.318) 0.318~0.571
毛叶山樱花 <i>C. serrulata</i> <i>var. pubescens</i>	0.262	0.172~ 0.965	0.723~ 0.935	(0.172~0.262) 0.262~0.723/ 0.723~0.965

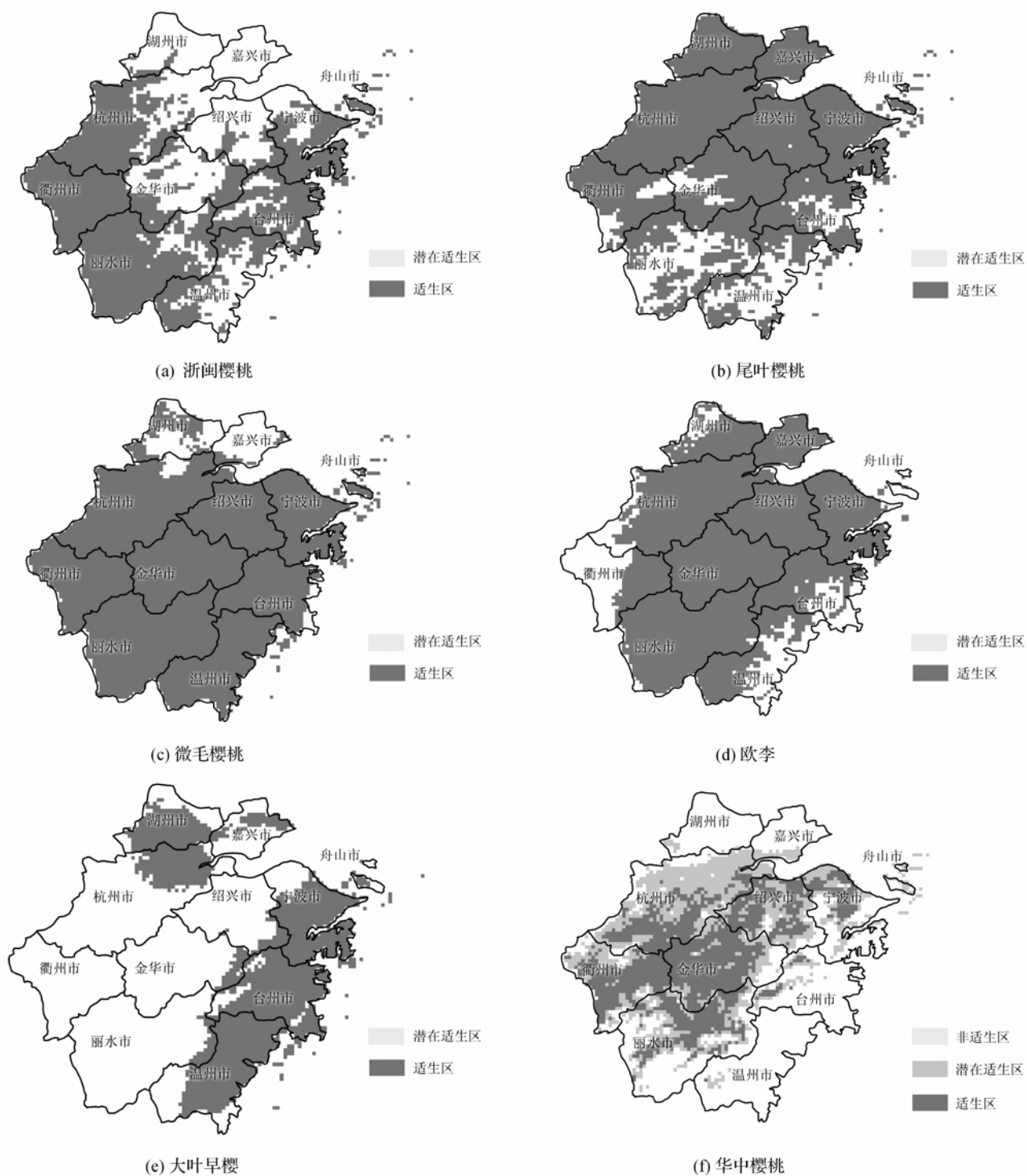


图 2 浙闽樱桃、尾叶樱桃、微毛樱桃、欧李、大叶早樱、华中樱桃在浙江的适生分布预测图

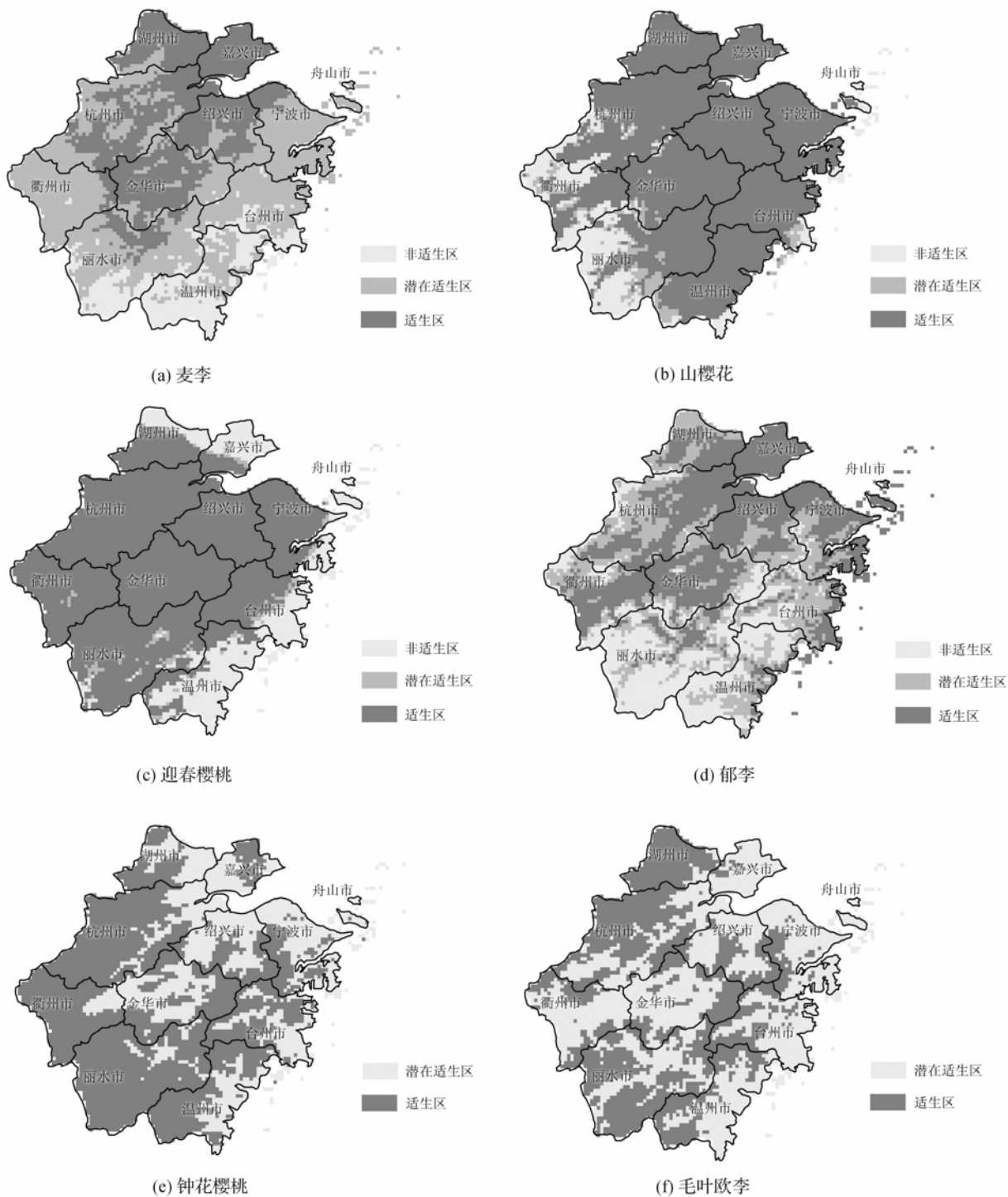


图3 麦李、山樱花、迎春樱桃、郁李、钟花樱桃、毛叶欧李在浙江的适生分布预测图

### 3 结论与讨论

目前未见襄阳山樱桃、光叶樱桃、崖樱桃在浙江的分布记录,然而预测结果显示,襄阳山樱桃在浙江存在分布的可能性,而光叶樱桃则只适宜于温州市和台州市东南部的平原地区栽培的可能,崖樱桃则是在中部丘陵地区有少量适宜栽培区域。因此,建

议可在浙江的沿海城市对襄阳山樱桃进行引种尝试。同时,云南樱桃和黑腺樱的分布区域较小,不建议进行大量引种尝试。其他樱属种则可根据适生预测图所示进行种质资源收集、引种栽培等工作,以丰富园林植物资源,并为各种在浙江省内的园林应用提供参考。

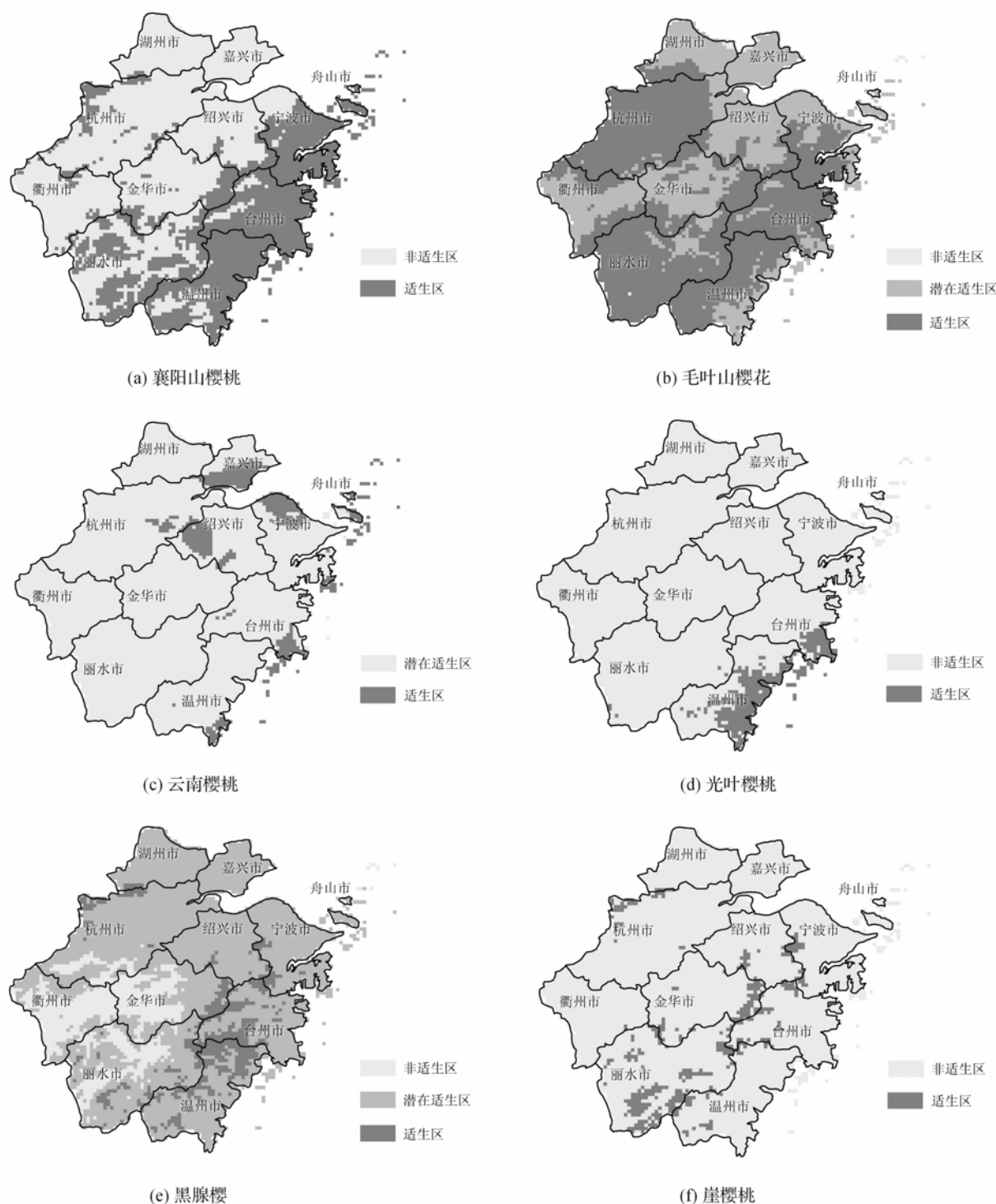


图 4 襄阳山樱桃、毛叶山樱花、云南樱桃、光叶樱桃、黑腺樱、崖樱桃在浙江适生分布预测图

本研究中的分布数据点均来源于标本记录和实地调查结果。通过实际分布数据与预测结果进行比较,能使预测模型更加精确,也使结果更为准确。同时,选择以温度和降水相关的多种气候数据对各樱属种的适生区进行预测,也符合它们对区域环境的适生性需求。因此,各樱属种在浙江的潜在适生区预测更贴合于引种实际,为今后浙江樱属植物的引

种栽培奠定了理论基础。但是,目前浙江省内关于樱属引种栽培数据较少,若实际引种数据量较多,在一定程度上更为接近最大熵理论中的均匀分布这一概念<sup>[14]</sup>。因为,植物的分布是受多种因素共同影响的,而人为的栽培引种能使这一模型更加趋近于完美,预测的适生区大小也更为接近实际分布面积,更具指导意义。

## 参考文献:

- [1] 俞德浚,李朝銮,陆玲娣,等. 中国植物志:38卷[M]. 北京:科学出版社,1986: i-iv,41-89.
- [2] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究,1991(S4):1-139.
- [3] 王钺. 漫谈我国樱花现状与应用[J]. 园林,2010(3):14-16.
- [4] 吕月良,陈樟,施季森. 福建山樱花研究现状,开发前景与育种策略[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2006,30(1):115-118.
- [5] 杨俊仙,王雷宏,徐小牛. 基于 MaxEnt 模拟三叶海棠的地理分布[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(7):172-176.
- [6] 刘欣. 基于 GARP 和 MAXENT 的空心莲子草在中国的入侵风险预测[D]. 济南:山东师范大学,2012.
- [7] 王娟娟,曹博,白成科,等. 基于 MaxEnt 和 ArcGIS 预测川贝母潜在分布及适宜性评价[J]. 植物研究,2014,34(5):642-649.
- [8] 席庆. 基于 GIS 技术的白头叶猴潜在分布研究[D]. 南京:南京林业大学,2009.
- [9] 于晶,唐艳雪,郭水良. 基于 GIS 和 MaxEnt 比较中国砂藓属与紫萼藓属植物地理分布[J]. 植物科学学报,2012,30(5):443-458.
- [10] 陈新美,雷渊才,张雄清. 样本量对 MaxEnt 模型预测物种分布精度和稳定性的影响[J]. 林业科学,2012(1):53-59.
- [11] HIJMAN S R J, CAMERON S E, PARRA J L. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(15): 1965-1978.
- [12] SWETS J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems[J]. Science, 1988, 240: 1285-1293.
- [13] ENGLER R, GUISAN A, RECHSTEINER L. An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data[J]. Journal of Applied Ecology, 2004, 41(2): 263-274.
- [14] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, Schapire R E, et al. Maximum entropy modeling of species geographic distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3): 231-259.

## Study on Suitable Growing Area of Wild Cherries in Zhejiang Province Based on MaxEnt Model

CHEN Lina<sup>a</sup>, WANG Shengxiao<sup>b</sup>, ZHENG Ruolan<sup>b</sup>, HU Shaoqing<sup>b</sup>

(a. College of Life Science; b. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In this present study, we selected 15 wild species of *Cerasus* actually distributed in Zhejiang, and 3 species with potential distribution in Zhejiang according to climatic similarity theory. Based on the geographic distribution of wild species and climate data, we predicted their potential distribution in China by MaxEnt model. Potential distribution probability of each wild species was extracted by ArcGIS software. Meanwhile, we compared it with distribution threshold value and potential distribution probability of each species in Zhejiang, gained potential suitable growth area and suitable growth area of the 18 species in Zhejiang and discussed cherry species suitable for the area and corresponding introduction and cultivation area.

**Key words:** *Cerasus*; MaxEnt model; distribution area; suitable growth area; Zhejiang

(责任编辑: 张祖尧)