

基于 DIVA-GIS 的广东适生樱花预测分析*

Prediction and Analysis of Suitable *Cerasus* spp. in Guangdong Province based on DIVA - GIS

赖铭婕 吴保欢 崔大方

LAI Ming-jie, WU Bao-huan, CUI Da-fang

摘要: 目前广东省内栽培的樱花种类品种较为单一, 为筛选出适生于广东省的樱花种类, 将基于 19 个气候因子和 233 个地理分布记录, 利用 DIVA-GIS 软件结合 BIOCLIM 生态位模型, 对大叶早樱 *Cerasus subhirtella*、高盆樱桃 *C. cerasoides*、山樱花 *C. serrulata*、尾叶樱桃 *C. dielsiana*、迎春樱桃 *C. discoidea* 和钟花樱桃 *C. campanulata* 共 6 种原产于我国的野生樱花在当前和未来气候下的适生区进行预测, 结果显示: 在粤北地区引种除高盆樱桃外的 5 种樱花种类会有较好表现, 也可尝试在广东其他地区引种大叶早樱、山樱花、钟花樱桃等种类, 且主成分分析表明年均温是 6 个种共同的主导气候限制因子。

关键词: 樱花植物; BIOCLIM; 气候限制因子; 地理分布; 广东

中图分类号: S688

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641(2020)04-0037-05

收稿日期: 2020-03-13

修回日期: 2020-03-24

Abstract: Currently, the varieties of *Cerasus* spp. cultivated in Guangdong are relatively single. In order to screen the suitable species in Guangdong, this article based on 19 climate factors and 233 distribution records, using the DIVA - GIS software combining BIOCLIM niche model, predicts the suitable areas of 6 kinds of *Cerasus* spp. of *C. subhirtella*, *C. cerasoides*, *C. serrulata*, *C. dielsiana*, *C. discoidea* and *C. campanulata* originated in China under the current and future climate. The results show that 5 species except *C. cerasoides* introduced in northern Guangdong will have better performance, *C. subhirtella*, *C. serrulata* and *C. campanulata* can also be introduced in other areas of Guangdong, and principal component analysis shows that average annual temperature is the dominant climate limiting factor shared by the 6 species.

Key words: *Cerasus* spp.; BIOCLIM; Climate limiting factors; Geographical distribution; Guangdong

樱花 *Cerasus* spp. 是早春优良的观赏花木, 深受人民群众的喜爱, 尤其是近年来, 各地掀起了赏樱热潮^[1]。广东省地处华南, 属于亚热带季风气候, 目前省内栽培的樱花种类(含品种)较为单一^[2], 无法满足人们对观赏樱花的需求。尽管全国范围内樱属植物栽培普遍, 但适合广东栽培的不多, 如从日本引进‘染井吉野’ *Cerasus* × *yedoensis* ‘Someiyoshino’、‘关山’ *C. ‘Kanzan’* 等品种, 均不能适应华南地区高温高湿的气候, 无法正常越夏, 最终

因树势衰弱而引种失败^[3], 仅有钟花樱桃 *C. campanulata* 优株‘中国红’、云南樱桃 *C. yunnanensis* 优株‘广州’樱等少数樱属植物能在广东部分地区有较好表现。

物种分布模型是利用环境数据和物种实际分布数据, 来评估气候变化对物种分布影响的一种方法^[4]。近年来, 基于生态位理论的物种分布模型快速发展, BIOCLIM 模型、DOMAIN 模型、生态位因子分析模型(ENFA)、马氏距离(MD)、边界函数方法(BF)、最大熵模

型(MaxEnt)等广泛应用于多学科方向的研究中^[5-6], 在物种分布动态变化、外来入侵物种扩散趋势预测、植物引种栽培适生区预测等领域有诸多应用^[7]。就植物引种的应用而言, 运用物种分布模型对植物适生区进行预测, 可以帮助判断目标植物在目标地区的适生度, 为园林植物选择和引种提供参考, 提高引种的成功率^[8]。目前已有研究基于分布区预测模型对短序润楠 *Machilus breviflora*^[9]、檀香 *Santalum album*^[10]、红花槭 *Acer rubrum*^[8] 等

* 基金项目: 广东省地方标准制(修)订林业项目(2017-DB-08)

植物的引种区预测进行讨论,且取得了可信度较高的适生区判断。

樱花品种源自樱亚属的多个野生种或杂交种^[11],我国有樱属植物约43种,是樱亚属植物的多样性中心,其中许多种类具有较高的观赏性及开发价值^[12]。本文旨在利用地理信息技术结合 BIOCLIM 模型等相关手段,对我国几种南方原产的樱花在广东的引种区进行预测和适生性分析,以期挑选出适合在广东栽植的樱花种类,为广东省引种和培育合适的樱花品种提供参考。

1 材料与方法

1.1 樱类植物数据收集及分布图绘制

选择大叶早樱 *C. subhirtella*、高盆樱桃 *C. cerasoides*、山樱花 *C. serrulata*、尾叶樱桃 *C. dielsiana*、迎春樱桃 *C. discoidea* 和钟花樱桃共6种在广东或邻近省份有分布且观赏价值较高的种类为研究对象,主要从国家植物标本资源库 (<http://www.cvh.org.cn/>) 中获得其分布信息。经过人工剔除后最终获得233个分布点信息,其中大叶早樱有12个自然分布点,高盆樱桃有27个,山樱花有55个,尾叶樱桃有75个,迎春樱桃有26个,钟花樱桃有38个。利用 Microsoft Excel 软件保存数据,并转化为 CSV 格式以用于其他软件的后续分析处理。为确保数据的准确性,地理位置信息尽可能精确到乡和镇行政单位,结合 Google Earth 拾取各个分布点的坐标。

1.2 环境数据及主导因子分析

气候数据均来源于 WorldClim (<http://www.worldclim.org/>)。当前气候数据为1950—2000年全世界气象站观测的数据汇总,空间分辨率2.5'。未来气候数据采用 CCM3 模式下 CO₂ 浓度倍增的2100年气候情况,空间分辨率2.5'。将气候数据导入 DIVA-GIS 软件,获取19个

生物气候因子作为环境变量,为确定影响6种樱花地理分布的气候主导因子,使用 IBM SPSS statistics 22.0 对气候因子进行主成分分析。

1.3 模型精度检验

利用受试者工作特征 (Receiver Operating Characteristic, 简称“ROC”) 曲线的线下面积 (Area Under The Curve, 简称“AUC”), 对适生区的预测结果进行评价。评价的标准分为“非常精确 (0.90 ~ 1.00)”“较精确 (0.80 ~ 0.90)”“一般 (0.70 ~ 0.80)”“较不精确 (0.60 ~ 0.70)”和“不精确 (0.50 ~ 0.60)”5类^[13]。

2 结果与分析

2.1 6种樱属植物地理分布

根据地理信息统计 (图1), 可得6种樱花在我国集中分布于长江流域以南各省份, 仅山樱花在内蒙古、辽宁、北京、天津、河北等省份有分布。

2.2 适生区预测

利用 BIOCLIM 模型模拟6

种樱花的当前和未来适生区 (图2~3)。在当前气候下, 除高盆樱桃在广东无分布外, 其余5种樱花均在广东具有适生区。除佛山、中山、东莞、深圳、珠海、湛江等市外, 大叶早樱在广东大部分地区均有高适生区, 肇庆以及粤东的梅州、河源等地适生面积较大, 其中肇庆东北部具有极佳适生区。山樱花在广东省内表现出高适生性, 除了粤西南部雷州半岛和珠三角西岸部分地区外, 其余县市均有大面积的高适生区。尾叶樱桃在肇庆、清远和韶关, 以及河源和梅州的西北部偏北地区具有中适生区, 其中韶关北部具有小面积的极佳适生区。迎春樱桃仅在韶关西北部极少地区有中度以下适生区。钟花樱桃在肇庆以北、云浮、茂名、阳江和江门等地皆有分布, 其中清远、韶关、肇庆、河源和梅州预测潜在分布区基本涵盖全市, 且适生度高。

在未来气候条件下, 高盆樱桃和迎春樱桃在广东省内无适生区, 其余4种樱花的适生区出现了面积

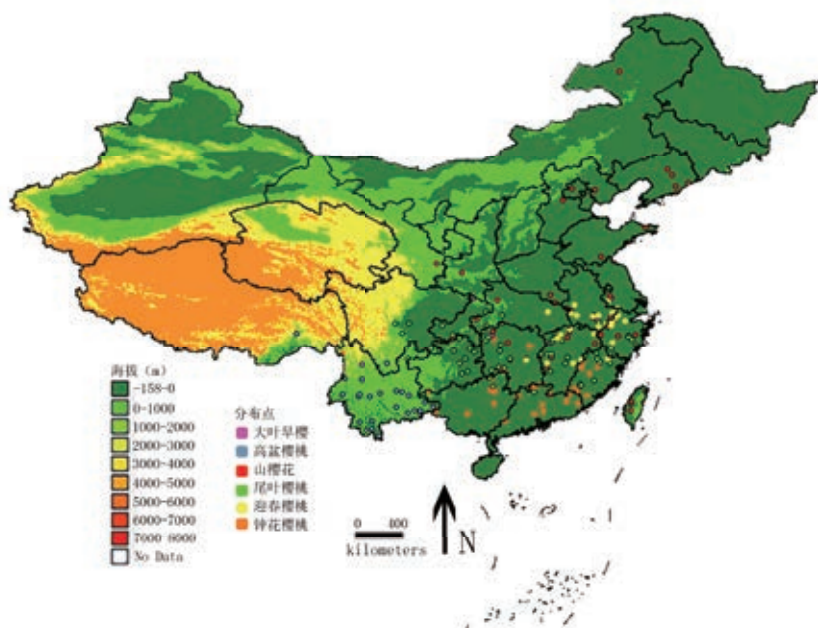


图1 6种樱花的地理分布图

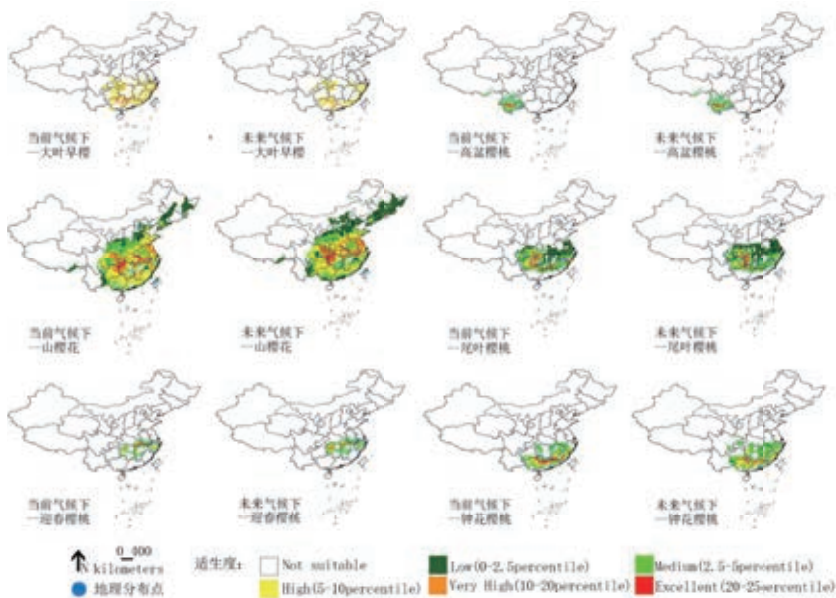


图2 6种樱花在当前和未来气候下的适生区分布图

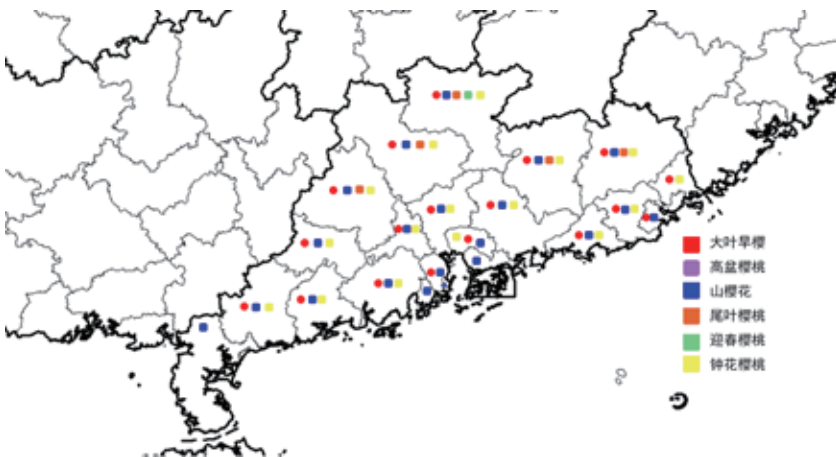


图3 6种樱花植物适生地市级分布

减小、适生度下降等变化：大叶早樱在广东省内的适生度下降和部分适生区面积减小，肇庆的中部和东部及粤东的梅州和河源地区仍然是其主要的适生区；山樱花、尾叶樱桃和钟花樱桃的适生区面积没有变化，但适生度均有所下降。

2.3 主成分分析

对6种樱花的19个气候因子进行主成分分析（表1），发现大叶早樱前2个主成分累计贡献率达83.53%，高盆樱桃、山樱花、尾叶

樱桃、迎春樱桃、钟花樱桃前3个主成分累计贡献率均超过80%，皆可集中19个气候因子的大部分信息。

为了方便分析，将19个气候因子归为温度因子、湿度因子、温湿综合因子、耐干因子和耐湿因子5类（表2）。结合主成分分析得到的各种樱花前3主成分中得分系数最高的几项气候因子，可得：在当前适生区中，高盆樱桃和钟花樱桃的气候主导限制因子是温度因子，大叶早樱的气候主导限制因子是温度

因子和耐旱因子，山樱花的气候主导限制因子是温度因子和湿度因子，尾叶樱桃的气候主导因子是温湿综合因子和耐湿因子，迎春樱桃的气候主导限制因子是温度因子和耐湿因子。

2.4 模型精度检验

ROC曲线对大叶早樱、高盆樱桃、山樱花、尾叶樱桃、迎春樱桃和钟花樱桃的预测结果均很好，ROC曲线AUC值分别为0.964、0.857、0.914、0.993、0.933和0.987，均显示高于随机预测AUC（0.500），且符合“较精确（0.80~0.90）”的标准，说明BIOCLIM的模型预测效果很好，可用于准确地预测6种樱花的适生区。

3 讨论与结论

中国是樱属植物的起源中心，拥有极丰富的野生资源，但主要分布在我国西部和西南部。樱属植物的海拔分布范围广泛，从200 m到3 200 m均有分布^[14]，本研究中的6种樱花集中分布在低中海拔地区。对比可以发现，6种樱花的当前适生区分布预测和实际分布具有较好的一致性。BIOCLIM模型预测的结果显示，当前气候条件下，大叶早樱、山樱花和钟花樱桃在广东省的适生区面积大，适生度高，均具有较好的应用条件。但是全球气候变化对物种的适宜生境会产生一定的影响^[15]，尽管有些植物在当前气候下能够生长良好，但在未来气候发生变化的大背景下，适生区可能会发生变化。BIOCLIM模型预测的结果显示，在未来气候CO₂浓度大幅上升的情况下，大叶早樱、山樱花和钟花樱桃在广东省内的适生度均下降，适生区有分散的趋势。但就总体而言，三者在广东省多数地区仍然保有较多的适生区域，是可以在广东省内进行引种试验的优良种质资源。叶超宏等^[3]认为尾叶樱

桃是一种能推广应用于华南地区的樱属植物，根据模型预测，虽然在当前气候条件下尾叶樱桃在粤北地区有较高的适生度，但是在广东省其他地区则没有适生区，并且在未来气候条件下其在粤北地区的适生度也出现了明显的下降。因而是要将尾叶樱桃应用于整个华南地区的园林绿化，仍然需要进行进一步的抗逆性育种工作。

在较大的时空尺度上，气候因素被作为影响植物分布的主要原因^[16]。本研究中的气候限制因子主成分分析表明，6种樱花共同的限制因子类别就是温度因子类，这与6种樱花分布纬度接近的情况是相吻合的，说明了在广东地区引种樱花要首先考虑物种所能适应的温度阈值。从预测分布图中可以看出，即使是在粤西地区，一些高海拔地区仍然存在樱属植物的适生区，山樱花甚至在湛江北部都具有潜在的分布区。年均温是6种樱花的共同限制因子（图4），山樱花温度适应范围非常广泛，可能是与其他种相比，其生态适应性更强，这为广东地区选育樱花提供了更大的选种空间。

查阅其他相关研究，朱淑霞等^[17]认为高盆樱桃和钟花樱桃是典型的亚热带树种，造成在广东地区高盆樱桃无适生区，而钟花樱桃表现良好的现象的最主要原因是两者受平均温度季节变化方差影响的差异。本研究在对钟花樱桃进行主成分分析时发现，温度季节变化方差是影响其分布的最主要气候因子，这与朱淑霞等的推断是一致的。山樱花属温带植物，在我国分布广泛，李蒙等^[18]认为温度是影响山樱花分布的主要因素，而降雨量与其分布没有过于重要的作用。本研究对山樱花的主成分分析结果显示，年均温、温度季节变化方差、极端最低温、温度年较差、最干季均温和最冷季均温都是影响其分布的重要气候因子，且年降雨量也占有较高的贡献率。造成结果有所出入的原因可能

表 1 主成分分析

	主成分	特征值	贡献率 /%	累计贡献率 /%
大叶早樱	PC1	11.24	59.14	59.14
	PC2	4.64	24.40	83.53
	/	/	/	/
高盆樱桃	PC1	8.64	45.48	45.48
	PC2	3.74	19.68	65.16
	PC3	3.12	16.40	81.56
山樱花	PC1	10.88	57.28	57.28
	PC2	3.20	16.82	74.09
	PC3	2.50	13.17	87.26
尾叶樱桃	PC1	5.87	30.92	30.92
	PC2	5.30	27.87	58.79
	PC3	4.21	22.13	80.93
迎春樱桃	PC1	7.29	38.36	38.36
	PC2	6.76	35.58	73.93
	PC3	2.00	10.50	84.44
钟花樱桃	PC1	8.42	44.32	44.32
	PC2	4.64	24.44	68.76
	PC3	3.50	18.40	87.15

表 2 气候因子归纳

因子类别	气候变量
温度因子	年均温、平均日温差、等温性、温度季节变化方差、极端最高温、极端最低温、温度年较差、最暖季均温、最冷季均温
湿度因子	年降雨量
温湿综合因子	最湿季均温、最干季均温、季节降雨变异系数、最暖季降雨量、最冷季降雨量
耐干因子	最干月降雨量、最干季降雨量
耐湿因子	最湿月降雨量、最湿季降雨量

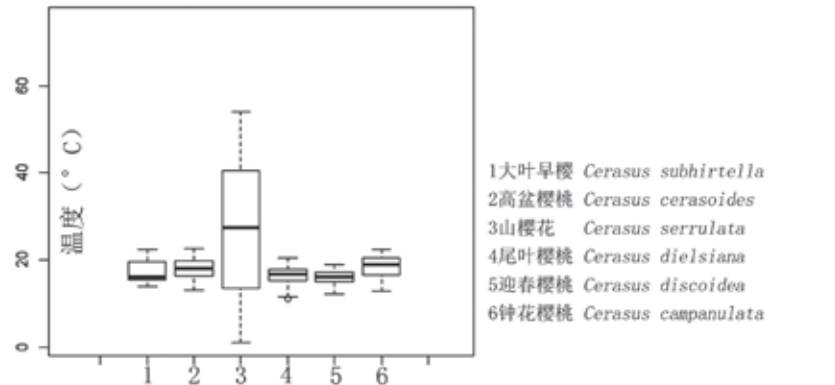


图 4 6种樱花年均温分析

是山樱花种与种下等级的分类处理的争议,导致的标本数据来源问题^[19]。符潮^[20]研究发现,山樱花、尾叶樱桃和迎春樱桃分布能延伸至温带和亚热带地区,钟花樱桃则分布于亚热带地区,这与本文适生区预测结果一致。

本研究通过 BIOCLIM 模型预测了 6 种樱花于当前和未来气候条件下在广东的潜在适生区分布,并对影响其分布的气候因子进行了分析,认为广东地区可以应用大叶早樱、山樱花、钟花樱桃等樱属植物丰富春季景观,粤北地区还可对尾叶樱桃和迎春樱桃进行应用。但在未来气候变化的背景下,要考虑各种气候变化对樱花植物生长发育造成的影响,避免盲目引种造成的生态景观破坏和经济损失。

注:图 1~3 的底图来自国家基础地理信息系统网站 (http://nfgis.nsd.gov.cn/nfgis/chinese/c_xz.htm),图 4 为作者自绘。

参考文献:

- [1] 张庆费. 应对赏樱热潮的樱花研究与应用——“首届顾村樱花论坛”观点综述[J]. 园林, 2013(6): 36-39.
- [2] 胡晓敏, 叶小玲, 苏捷. 6 个樱花 *Cerasus* spp. 品种在华南地区嫁接引种试验初探[J]. 广东园林, 2019, 41(2): 69-72.
- [3] 叶超宏, 胡晓敏, 刘湘源, 等. 值得在华南地区推广应用的 3 种野生观赏樱

属植物[J]. 广东园林, 2015, 37(3): 4-6.

- [4] 姜建福, 樊秀彩, 张颖, 等. 中国三种濒危葡萄属 (*Vitis* L.) 植物的地理分布模拟[J]. 生态学杂志, 2014(6): 1615-1622.
- [5] 刘晓彤, 袁泉, 倪健. 中国植物分布模拟研究现状[J]. 植物生态学报, 2019(4): 273-283.
- [6] 许仲林, 彭焕华, 彭守璋. 物种分布模型的发展及评价方法[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 557-567.
- [7] 许春梅, 贺水莲, 杨扬, 等. 深红龙胆的潜在分布区预测及适生性分级[J]. 西部林业科学, 2015(4): 63-68.
- [8] 高雅, 秦华. MaxEnt 生态位模型在红花槭引种区预测上的应用探讨[J]. 中国园林, 2018(4): 89-93.
- [9] 胡文强, 温暖玲, 肖玉, 等. 短序润楠的地理分布及潜在分布区估计[J]. 广东农业科学, 2017(2): 82-85.
- [10] 胡秀, 吴福川, 郭微, 等. 基于 MaxEnt 生态学模型的檀香在中国的潜在种植区预测[J]. 林业科学, 2014, 50(5): 27-33.
- [11] 王贤荣. 中国樱花品种图志[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [12] 陈涛, 胡国平, 王燕, 等. 我国野生樱属植物种质资源调查、收集与保护[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(3): 532-541.
- [13] 张兴旺, 李焱, 方炎明. 麻栎在中国的地理分布及潜在分布区预测[J]. 西北植物学报, 2014(8): 1685-1692.
- [14] 彭玉辅, 彭火辉, 李程伟, 等. 樱

属植物资源及其开发利用价值[J]. 现代园艺, 2016(23): 43-45.

- [15] 雷军成, 徐海根, 吴军, 等. 气候变化情景下物种适宜生境预测研究进展[J]. 四川动物, 2015, 34(5): 794-800.
- [16] 朱弘, 尤禄祥, 李涌福, 等. 浙闽樱桃地理分布模拟及气候限制因子分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2017, 25(4): 315-322.
- [17] 朱淑霞, 朱弘, 程琳, 等. 高盆樱桃与钟花樱桃的地理分布模拟及生态特征比较分析[J]. 广西植物, 2019(10): 1398-1406.
- [18] 李蒙, 伊贤贵, 王华辰, 等. 山樱花地理分布与水热环境因子的关系[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014(S1): 74-80.
- [19] 伊贤贵, 陈洁, 尤禄祥, 等. 山樱花群体遗传多样性的 SSR 分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018(5): 25-31.
- [20] 符潮, 万春, 戴利燕, 等. 江西樱属物种多样性分析[J]. 北方园艺, 2016(20): 71-76.

作者简介:

赖铭婕/1995 年生/女/广东河源人/在读硕士/华南农业大学(广州 510462)/专业方向为园林植物与城市绿化

吴保欢/1991 年生/男/广东汕尾人/博士研究生/华南农业大学(广州 510462)/专业方向为植物学

崔大方/1964 年生/男/河北武清人/博士研究生/华南农业大学(广州 510462)/教授/研究方向为植物系统与演化、植物区系地理