

基于MaxEnt模型的冬樱花潜在引种区研究

Study on the Potential Introduction Areas of *Cerasus cerasoides* Based on MaxEnt Model

贺鹭瑶 徐晓丹 郑 伟*
HE Luyao XU Xiaodan ZHENG Wei*

(昆明理工大学建筑与城市规划学院, 昆明 650504)
(Faculty of Architecture and City Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China, 650504)

文章编号: 1000-0283(2025)01-0134-06
DOI: 10. 12193 / j. laing. 2025. 01. 0134. 015
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-05-25
修回日期: 2024-08-23

摘 要

冬樱花 (*Cerasus cerasoides*) 是全球唯一在冬季盛开的樱花, 主要分布于中国云南省, 园林应用潜力巨大, 但近年来冬樱花向省外的引种并不成功。因此, 研究冬樱花在中国的潜在适生区对冬樱花园林引种和推广应用具有重要意义。收集冬樱花 275 个地理分布信息、32 个环境变量因子以及当代 (1970–2000 年)、未来 (2021–2070 年) 的气候数据, 利用最大熵模型 (MaxEnt) 和地理信息系统 (ArcGIS), 预测当代和未来气候环境下冬樱花在中国的潜在引种区, 并通过基于刀切法的 ROC 曲线对预测精度进行检验。影响冬樱花潜在引种区分布的主要环境因子包括: 季节性温度变化、最干月降水量、等温性和海拔。预测模型的评估指标 (AUC 值) 为 0.983, 表明预测精度极高, 结果可靠。当前气候条件下, 冬樱花引种区总面积为 $4.99 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占中国陆地面积 5.42%。其中, 高、中、低引种区面积分别为 $2.04 \times 10^5 \text{ km}^2$ (2.21%)、 $1.23 \times 10^5 \text{ km}^2$ (1.24%)、 $1.81 \times 10^5 \text{ km}^2$ (1.96%)。冬樱花潜在引种区主要分布在西南地区及华南地区。未来气候条件下, 冬樱花的潜在引种区总面积呈增加趋势, 适生区以高适生区为中心向四周扩散, 尤其是东南方向。旨在为冬樱花的引种栽培、推广应用和区划研究提供参考。

关键词

高盆樱桃; 生态位模型; 引种; 适宜区; 预测

Abstract

Cerasus cerasoides is the only cherry that flowers in winter worldwide. It is mainly distributed in Yunnan Province, China, and has vast market potential. However, introducing these *C. cerasoides* to the other provinces has not succeeded in recent years. Therefore, the study of the potential introduction areas for *C. cerasoides* in China is of great importance for introducing and promoting *C. cerasoides* in landscaping. 275 geographical distribution information of *C. cerasoides*, 32 environmental variable factors, and contemporary (1970–2000) and future (2021–2070) climate data were collected. Then, the potential introduction areas of *C. cerasoides* in China under the contemporary and future climatic environments were predicted using the maximum entropy model (MaxEnt) and geographical information system (ArcGIS). Finally, the ROC curve based on the knife-cut method tested the model's prediction accuracy. The main environmental factors affecting the distribution of potential introduction areas for *C. cerasoides* were seasonal temperature variation, driest month precipitation, isothermality, and altitude. The predicted model assessment metric (AUC value) was 0.983, indicating high prediction accuracy and reliable results. Under the current climate conditions, the potential suitable area for *C. cerasoides* is $4.99 \times 10^5 \text{ km}^2$, accounting for 5.42% of the total land area of China. The potential introduction areas are divided into high, medium, and low regions, with respective areas of $2.04 \times 10^5 \text{ km}^2$ (2.21%), $1.23 \times 10^5 \text{ km}^2$ (1.24%), and $1.81 \times 10^5 \text{ km}^2$ (1.96%). The potential introduction areas of *C. cerasoides* are mainly distributed in China's southwestern and southern regions. This study would provide a reference for introducing, cultivating, and promoting the regional zoning of *C. cerasoides*.

Keywords

Cerasus cerasoides; ecological niche model; introduction; suitable growing area; prediction

贺鹭瑶

1997年生 / 女 / 四川资阳人 / 在读硕士研究生 / 研究方向为园林植物资源及应用

徐晓丹

1984年生 / 女 / 湖北咸宁人 / 博士 / 副教授 / 研究方向为园林植物资源及应用

郑 伟

1980年生 / 男 / 湖北宜昌人 / 博士 / 教授 / 研究方向为园林植物资源及应用

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: 125128370@qq.com.

基金项目:
云南省科技计划项目“冬樱花的遗传多样性及品种整理研究”(编号: 202401AT070330)

冬樱花 (*Cerasus cerasoides*), 是高盆樱桃在10-12月开花的类型, 又称云南早樱, 为蔷薇科 (Rosaceae) 樱属 (*Cerasus*) 落叶乔木。冬樱花主要分布于中国云南、贵州、西藏, 以及尼泊尔、不丹、缅甸等地^[1], 常生长于海拔1 500~2 000 m的温暖湿润地带。其花色丰富, 粉色、粉红色或白色, 是世界上唯一在冬季盛开的樱花 (图1)。

冬樱花因其独特的花期, 在园林中可作为重要的冬季观花乔木, 成为园林引种的新宠。已有研究围绕冬樱花的遗传多样性^[2]、种质资源调查^[3]以及生态学特征^[4]等方面展开。目前, 全国各地纷纷开展对冬樱花的引种和栽培工作, 但是引种到当地后, 冬樱花或不开花, 或开花延迟至春季。因此冬樱花引种需要实现冬季成花诱导, 并在冬季开花才能被认为引种成功。

开展基于气候变化的植物分布及其适宜生境的预测, 对于了解植物的地理分布以及进行合理的园林引种具有深远价值^[5]。生态位 (MaxEnt) 模型是利用数学和统计模型来推算物种的生态需求并预测其潜在分布区^[6]。目前, MaxEnt模型已在物种的潜在适生区预测、外来物种入侵风险分析以及探讨气候变化对生物多样性影响等诸多领域中得到广泛应用^[7-9]。由于MaxEnt模型具有预测精度高、运算结果稳定的优点, 还可进一步推测物种的潜在引种区, 助力于精准地规划物种的引种策略^[9]。

为此, 本研究以冬樱花为研究对象, 结合61条冬樱花的地理分布数据、气候因子、土壤因子、地形因子和植被类型, 采用最大熵 (MaxEnt 3.4.1) 生态位模型与地理信息系统 ArcGIS 10.8软件相结合, 预测当今气候环境下冬樱花的潜在分布区, 未来气候环境下冬樱花潜在适生区的变化情况, 以期对冬樱花今

后的科学引种栽培提供参考依据, 促进对冬樱花种质资源的保护及应用。

1 数据来源与研究方法

1.1 地理分布收集与处理

通过中国数字标本馆 (CVH, <http://www.cvh.ac.cn>) 检索冬樱花或高盆樱桃, 共获得275条标本数据。对标本进行筛选, 去除采集时间及标号重复的标本、无地理采集信息和采集时间的标本。对于只有分布点描述记录而没有经纬度记录的标本借助ArcGIS 10.8软件根据海拔和采集地信息进行定位确定经纬度。为减少标本分布点空间自相关, 运用ArcGIS 10.8进行筛选并剔除重复数据, 最后得到用于模拟的冬樱花地理分布点数据为61条, 分别为云南省58条、西藏自治区1条、贵州省1条、四川省1条。把筛选后的冬樱花地理分布点按照本内容分别以物种名称、经度、纬度存入Excel表格中并存储为“CSV”格式。从国家基础地理信息系统网站 (<http://nfgis.nsdi.gov.cn>) 下载1:400万比例尺的中国行政区划图作为底图分析数据。

1.2 环境因子数据获取与处理

研究选取4类环境变量包括气候因子、地



图1 冬樱花
Fig. 1 *Cerasus cerasoides*

形因子、土壤因子和植被类型 (表1), 上述所有环境变量空间分辨率均为1 km×1 km (30 弧秒)。其中, 气候因子选择当前 (1970-2000 年) 的19个生物气候变量, 模拟19世纪70 年代胁迫程度对当前气候影响的情况; 未来 (2021-2040年、2041-2060年) 采用两种典型浓度途径 (SSP) 情景气候数据, 这些情

表1 环境因子
Tab. 1 Environmental factors

类型 Type	描述 (字段) Description (field)
气候因子	年平均气温 (Bio1)、昼夜温差月均值 (Bio2)、等温性 (Bio3)、温度季节性 (Bio4)、最暖月最高温度 (Bio5)、最冷月最低温 (Bio6)、温度年度范围 (Bio7)、最湿季度均温 (Bio8)、最干季度均温 (Bio9)、最暖季度均温 (Bio10)、最冷季度均温 (Bio11)、年平均降水量 (Bio12)、最湿月降水量 (Bio13)、最干月降水量 (Bio14)、降水量季节变异系数 (Bio15)、最湿季度降水量 (Bio16)、最干季度降水量 (Bio17)、最暖季度降水量 (Bio18)、最冷季度降水量 (Bio19)
土壤因子	土壤有效水含量 (AWC)、沙含量 (SAND)、土壤容重 (REF)、有机碳含量 (OC)、酸碱度 (pH)
地形因子	坡向 (Aspect)、海拔 (Elev)、坡度 (Slope)
其他因子	植被类型 (Veg)

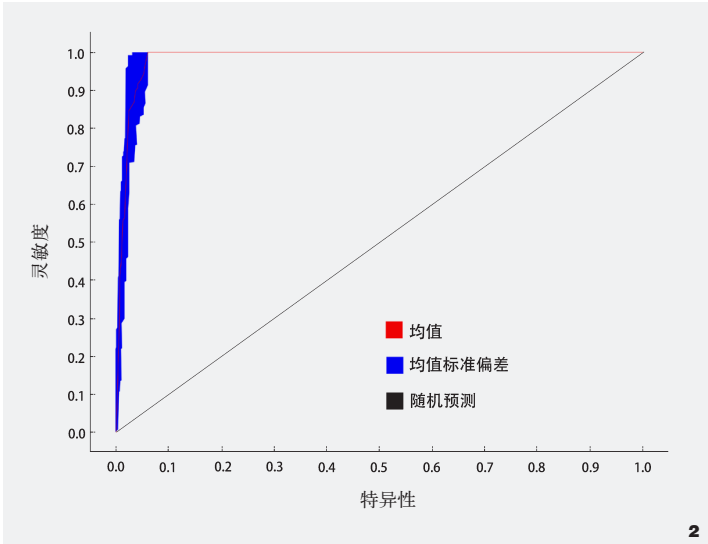


图2 冬樱花MaxEnt模型的受试者工作特征曲线
Fig. 2 The receiver operating characteristic curve of MaxEnt model of *Cerasus cerasoides*

景数据基于共享社会经济路径 (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs) 及典型浓度排放路径 (Representative Concentration Pathways, RCPs) 框架。SSP126 代表一个低排放、可持续发展的未来, 而 SSP585 则代表一个高排放、高风险的未来。分别模拟 21 世纪 50 年代及 70 年代不同胁迫程度对未来气候影响的最低和最高情况。

气候数据均来自全球气候模型分析机构 (<https://worldclim.org>)。基于 ArcGIS 10.8 软件在海拔 (elev) 的基础上, 衍生坡度 (slo) 及坡向 (asp) 等地形因子^[10]。土壤数据来自国际粮农组织提供的世界土壤数据库的 HWSD 栅格数据集 (<http://www.fao.org/soils-portal>), 植被类型数据来自资源环境科学与数据中心 (<http://www.resdc.cn>)^[11]。

借助 ArcGIS 10.8 软件中的 SDM Toolbox 工具, 提取中国行政区域内的 19 个气候数据、3 个地形数据、5 个土壤数据以及 1 个植被类型数据, 并标准化 32 个环境变量的地理背景。完成提取后, 将栅格图层转换为 ASC 格式保存备用。

1.3 MaxEnt 模型的设置与运行

在 MaxEnt 模型中导入冬樱花地理分布数据和环境因子数据, settings 选项中将 Random test percentage 设为 25, 即随机选取 25% 的分布数据作为检验数据, Replicates 设为 10, 即重复次数为 10 次。在模型计算中, 输出结果以 ASC 格式设定, 呈现为分布概率。本研究参照 Yang 等^[12]的方法, 采用 SPSS 27.0 对环境因子进行相关性分析, 以 0.8 为相关系

数值阈值, 剔除那些具有高相关性但贡献度较低的环境因子。参照初始 MaxEnt 模型运算结果, 保留贡献率高的 6 个气候因子 (Bio4 季节性温度变化、Bio14 最干月降水量、Bio3 等温性、Bio9 最干季均温、Bio11 最冷季均温、Bio1 年平均气温), 2 个地形因子 (Elev 海拔、Slo 坡度), 2 个土壤因子 (SAND 沙含量、pH 酸碱度) 以及 1 个其他因子 (Veg 植被类型)。

1.4 潜在引种区的分布划分标准

将 MaxEnt 模型预测的 ASC 文件导入 ArcGIS 10.8 软件转换为栅格文件后进行重分类, 根据 ArcGIS 10.8 软件中的“自然断点分级法”^[13]对冬樱花适生区进行分类。依据分布概率 (P) 将潜在适生区划分为 4 个等级: $P > 0.5349$ 为高适引种区; $0.2851 \leq P < 0.5349$ 为中适引种区; $0.0875 \leq P < 0.2851$ 为低适引种区; $P < 0.0875$ 为非适引种区。

2 结果与分析

2.1 预测精度分析

基于 MaxEnt 模型输出的变量分析, 响应曲线以及刀切法验证模型中的变量构建冬樱花受试者工作特征 (Receiver Operating Characteristic, ROC) 曲线, ROC 曲线下与坐标轴围成的面积是 AUC 值。由本研究的 ROC 曲线可知, 该模型的 AUC 均值为 0.983 (图 2), 表明模型预测精度很高, 模型预测结果可用于研究冬樱花当前以及未来气候环境下的潜在引种区。

2.2 当前气候条件下冬樱花适生区分析

根据 MaxEnt 模型模拟结果和 ArcGIS 10.8 软件的“自然断点分级法”分级标准将冬樱花适生区划分为高度适生区、中度适生区、低度适生区和非适生区 4 个等级。预测结果显示 (表 2): 冬樱花高度适生区分布在中国西南地区 and 少部分华南地区, 主要集中在云南、海南、台湾等地区, 面积为 $1.81 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全国总面积的 1.96%; 中度适生区主要集中在云南、西藏、贵州及广西地区, 面积为 $1.23 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占全国总面积的 1.24%; 低度适生区分布区相对较广, 面积为 $2.04 \times 10^5 \text{ km}^2$, 集中在云南、广西、四川、贵州, 西藏东南部地区, 海南、台湾、广东以及福建局部地区, 占全国总面积的 2.22%。

2.3 未来气候条件下冬樱花适生区分析

根据 MaxEnt 模型对未来气候条件下冬樱花潜在适生区预测分析, 在 21 世纪 40 年代背景下 SSP126 和 SSP585 情景下适生区面积分别

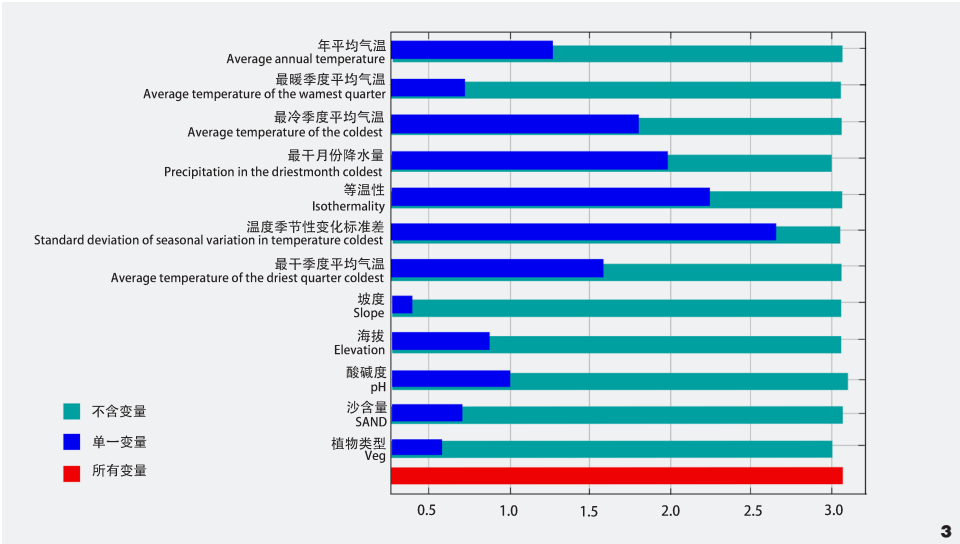


图3 基于MaxEnt模型预测结果的生态因子训练增益得分
Fig. 3 Ecological factor training gain score based on MaxEnt model prediction result

表2 冬樱花潜在适生区的预测分布及面积
Tab. 2 Predicted distribution and area of potential introduction area of *Cerasus cerasoides*

省区 Province	预测面积 /km ² Predicted area			
	高度适生区	中度适生区	低度适生区	非适生区
云南省	17.85×10 ⁴	9.43×10 ⁴	4.28×10 ⁴	2.78×10 ⁴
台湾省	0.18×10 ⁴	0.13×10 ⁴	0.84×10 ⁴	2.00×10 ⁴
海南省	0.03×10 ⁴	0.19×10 ⁴	0.38×10 ⁴	2.03×10 ⁴
福建省	—	—	0.18×10 ⁴	11.98×10 ⁴
广东省	—	—	0.08×10 ⁴	15.06×10 ⁴
广西壮族自治区	—	0.84×10 ⁴	0.92×10 ⁴	18.78×10 ⁴
重庆市	—	—	0.03×10 ⁴	7.64×10 ⁴
四川省	—	0.15×10 ⁴	4.53×10 ⁴	41.17×10 ⁴
贵州省	—	0.23×10 ⁴	6.07×10 ⁴	8.94×10 ⁴
西藏自治区	—	0.47×10 ⁴	2.65×10 ⁴	110.42×10 ⁴

为5.85×10⁵ km²、6.38×10⁵ km²，较当前气候环境适生区面积均有明显增长，分别增加了17.23%、27.86%。冬樱花以高度适生区为中心发散，有向西南及华南地区迁移的趋势，其中西藏、四川、海南等地扩张明显。

在SSP126情景下，未来气候条件下冬樱花的适生区持续扩张，这可能意味着冬樱花在未来气候条件下有更好的生存和发展前

景。而在SSP585情景下，未来气候条件下冬樱花的适生区总体面积变化不大，但可能会出现一定程度的波动，先扩张后缩减，这可能会对冬樱花的生长和生存产生一定的影响。综上所述，未来气候对冬樱花的影响取决于不同情景下的气候变化，而根据当前的研究，SSP126情景下冬樱花的生存状况可能会更有利。

2.4 刀切法检验预测结果分析

刀切法能够反映各环境因子对冬樱花潜在适生区分布的影响程度，利用刀切法分别计算反映不含变量、单一变量、所有变量权重值。若单一变量条带值越长说明得分值越高，该环境因子影响越大。如图3所示，温度季节性变化标准差得分值最高，是影响冬樱花适生区分布主导环境因子，其次最干月降水量、等温性以及海拔因子对冬樱花适生区分布影响较大，此外土壤酸碱度对冬樱花分布产生影响。综上所述，冬樱花适生区分布受温度、降水、海拔、土壤酸碱度共同影响。

2.5 环境变量响应曲线分析

用MaxEnt模型绘制对冬樱花分布概率影响较大的4个环境因子之间的响应曲线(图4)，潜在分布概率>0.5时，其对应区间的环境因子数值适合冬樱花生存。季节性温度变化阈值在160 ~ 480℃，最适宜值约为310℃；最干月降水量阈值在14 ~ 22 mm，最适宜值约18 mm；等温性阈值在47 ~ 57℃，最适宜值约为53℃；海拔阈值在1 200 ~ 2 600 km，最适宜值约为2 100 mm。

3 讨论

3.1 当前及未来气候条件下冬樱花适生区预测

结合MaxEnt模型、ArcGIS 10.8以及SPSS 27.0，预测冬樱花在当前及未来气候条件下在中国的潜在引种区。根据预测结果可知，当前气候条件下冬樱花主要分布在中国西南地区及部分华南地区，尤其云南、广西、贵州、四川、西藏等地区是冬樱花高适引种区，且这些区域与冬樱花的现有分布信息较吻合。未来气候条件下冬樱花适生区主要集中在西南及华南地区，表现出由高度适生区为中心

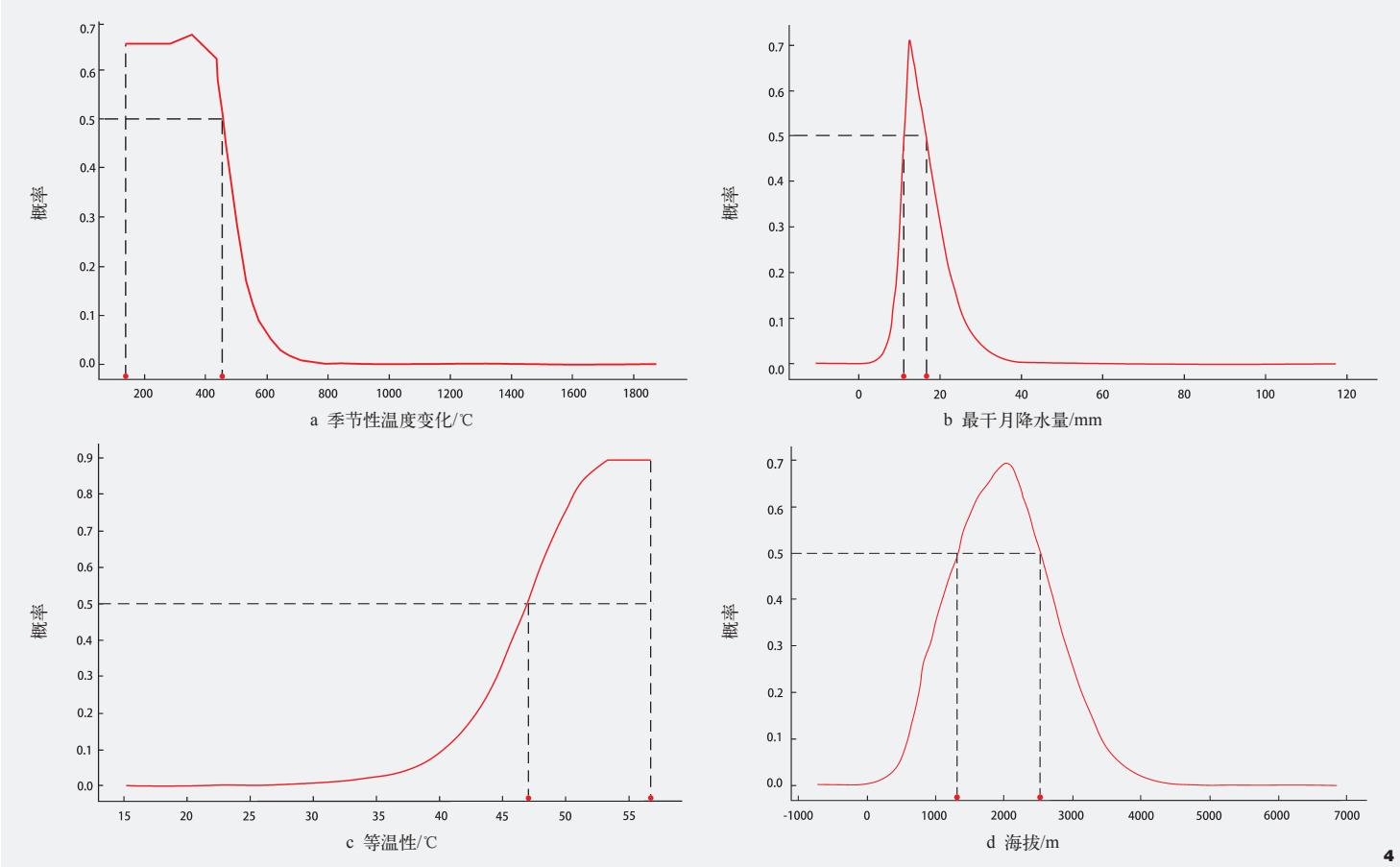


图4 对冬樱花适生区分布影响最大的4个环境因子
Fig. 4 Four environmental factors that have the greatest impact on the distribution of *Cerasus cerasoides* in its habitats

向周边区域扩散的趋势并在沿海地区呈带状分布，随着时间推移，这种布局趋势可能发生变化。

3.2 主导因子与冬樱花的关系

根据MaxEnt模型分析结果可知：在气候、地形、土壤、植被类型4类环境因子中，季节性温度变化、最干月降水量、等温性和海拔是影响冬樱花潜在适生区分布的主导环境因子。气候因子中温度因子对冬樱花潜在适生区分布贡献率为65.30%；降水类因子对冬樱花潜在适生区分布贡献率为14.50%。土壤因子中只有酸碱度（pH）和土壤含沙量

（SAND）对冬樱花潜在适生区分布产生影响，累计贡献率6.20%。同时植被类型也对冬樱花潜在适生区分布造成了一定影响，贡献率有且仅1.00%。本研究结果符合杨宏等^[13]通过对迎春樱桃潜在适生区与环境因子关系研究得出温度和降水是主导气候因子；吴生海等^[14]通过对影响兴安杜鹃地理分布的气候因子研究得出温度季节性变化、最干月降水和海拔因子对其分布产生主要影响等结论。同时符合赵大克等^[15]所记录的冬樱花生态习性，以及所得出的海拔因子对冬樱花适生区分布有一定影响。

本研究表明温度、降水及海拔共同限

制了冬樱花适生区地理分布，推测得出冬樱花主要分布在高海拔环境且年降水量较少气候较干旱地区。根据前人对樱属植物的研究表明，樱属植物的地理分布均受到水分因子和温度因子的共同作用。王挺等^[16]分析发现，冬樱花的抗寒性较差，半致死温室仅为-1.81℃，在稍北地区是不适合引种的。例如，2010年湖南省植物园在从昆明某樱花基地引种冬樱花，虽经精心养护，但由于冬季低温影响，不能完成花芽分化，因此一直未能正常开花。开花失败的原因可能是湖南省冬季气温偏低，气温的平均值为4.93℃^[17]，相较于冬樱花高适生区的云南省冬季多年平

均气温9.6℃^[10]，冬樱花感知到日照时间的变短因此产生一种不开花状态。2005年华南植物园的科研人员前往云南对冬樱花进行植物调查和引种工作，冬樱花终于在6年后开花，但冬樱花在广州的花期推迟至2月。推测开花时间晚的原因可能与海拔因子有关，广东相对云南、西藏等地光周期基本一致但是较其海拔较低，由于太阳光通过的大气层较厚，产生的太阳辐射较弱，短波光（如蓝光）的散射不显著等原因使得冬樱花在广州开花时间受到延迟。进而推测，冬樱花成花诱导途径可能受光周期、光强度影响，这也为冬樱花适宜生存环境的调控提供参考依据。

3.3 冬樱花未来引种的展望

近年来，MaxEnt模型自提出后在全球得到广泛运用，尤其是在物种分布领域快速增长。本研究利用该模型成功筛选影响冬樱花适生区的环境因子，预测冬樱花在当前气候条件下在中国适生区分布。通过深入分析气候因子与冬樱花分布之间的关系，以及城市化进程对冬樱花引种区可能带来的其他环境压力，为冬樱花的引种栽培、种质资源保护以及应用等方面提供一定的参考依据。冬樱花作为云南省重点保护野生植物具有花期早、抗病虫能力强的特点，是冬日不可多得的开花植物。

基于本研究结果，对冬樱花引种栽培和合理开发提出以下几点建议：（1）低中度适生区。随着气候变化的影响，冬季气温在一些地区可能会上升，这可能会延长冬樱花的花期或扩大其适生区。选择已经表现出较强适应性和抗污染能力的冬樱花苗木进行引种；定期监测冬樱花生长环境中的各项指标，如温度、湿度等，确保它们处于冬樱花生长的最优范围内。（2）高度适生区。在引种后研

究人员可以利用遥感技术和地理信息系统，结合气候数据和城市化指标，实时监测和评估冬樱花的生长状况及适生区的变化。密切观察冬樱花的生长状况和适应性表现，以便及时调整栽培措施；对冬樱花生长习性和生态环境的深入研究，以期发现更多有利于其生长的条件，从而制定更为科学的引种策略。（3）非适生区。城市化进程导致大量土地被开发和建设、空气污染加剧、工业和生活污水排放等原因可能会减少冬樱花适生区的土地面积，从而对其生长环境造成压力。为减轻城市化进程对冬樱花适生区的环境压力，在冬樱花非适生区的冬季在气温过低时，可以采取覆盖、保暖等措施，如使用遮阳网或在温室内控制温度，模拟春化作用所需的适宜环境；加强土地规划和管理，保护冬樱花的生存空间和栖息地；推行环保产业和绿色交通，减少工业和交通对环境的污染，保障冬花的生态环境等方式创造更适合冬樱花生长的条件，以确保冬樱花在非适生区的地区能够引种成功。

注：文中图表均由作者自绘/摄。

参考文献

[1] 萨仁,洪德元.《泛喜马拉雅植物志》编研项目简介[J].生物学通报,2014,49(1):1-3.
[2] 王国峥,耿其芳,肖孟阳,等.基于4种生态位模型的金钱松潜在适生区预测[J].生态学报,2020,40(17):6096-6104.
[3] 张文昕.樱属植物茎、叶结构及SSR遗传多样性分析[D].长沙:中南林业科技大学,2020.
[4] 张伟皓,叶利奇,陈启华,等.基于优化MaxEnt模型的黑木相思引种栽培区划[J].西北林学院报,2023,38(01):88-94.
[5] 李晓霞,胡宽义,曾安逸,等.基于MaxEnt生态位模型的小花十万错在中国的潜在分布[J].西南农业学报,2024,37(04):860-868.
[6] 李国庆.物种生态位模型的适用性评价和物种潜在分布区预测[D].北京:中国科学院大学,2011.

[7] 邵周玲,周文佐,杨帆,等.基于MaxEnt模型的绞股蓝潜在适生区预测[J].南方农业学报,2021,52(4):1124-1131.
[8] 王茹琳,李庆,封传红,等.基于MaxEnt的西藏飞蝗在中国的适生区预测[J].生态学报,2017,37(24):8556-8566.
[9] 崔相艳,王文娟,杨小强,等.基于生态位模型预测野生油茶潜在分布[J].生物多样性,2016,24(10):1117-1128.
[10] 柳晓燕,李俊生,赵彩云,等.基于MaxEnt模型和ArcGIS预测豚草在中国的潜在适生区[J].植物保护学报,2016,43(6):1041-1048.
[11] 谢孟,张学星,罗燕,等.基于MaxEnt模型的云南干热河谷适生树种选择[J].生态学报,2024,44(09):3689-3707.
[12] YANG X Q, KUSHWAHA S P S, SARAN S, et al. MaxEnt Modeling for Predicting the Potential Distribution of Medicinal Plant, *Justicia adhatoda* L. in Lesser Himalayan Foothills[J]. Ecological Engineering, 2013, 51: 83-87.
[13] 杨宏,董京京,吴桐,等.基于MaxEnt模型的迎春樱桃潜在适生区预测[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(4):131-138.
[14] 吴生海,兰雪涵,王玉莹,等.基于MaxEnt模型的兴安杜鹃在我国东北地区潜在适生区预测[J].北华大学学报(自然科学版),2023,24(5):585-590.
[15] 赵大克,郑丽.云南冬樱花及其在园林中的应用[J].云南农业大学学报,2009,24(5):778-782.
[16] 王挺,张鹏翀,刘锦.电导法配合Logistic方程测定5种樱花的抗寒性研究[J].中国园艺文摘,2017,33(12):20-22.
[17] 杨宏青,陈正洪,张霞.湖北省气温日较差与气象因子的相关分析[J].气象科技,2000,28(1):45-47.
[18] 倪匡迪,张刘东,陈晨,等.云南高原气候环境下冬季娃娃菜的耗水规律研究[J].中国瓜菜,2023,36(3):98-103.