

未来气候情景下基于 MaxEnt 模型的 微毛樱桃潜在适生区预测

刘祥东¹, 杨庆华^{2*}, 付陈龙²

(1. 苏州筑园景观规划设计股份有限公司, 江苏 苏州 215011; 2. 南京林业大学南方现代林业协同中心, 江苏 南京 210037)

摘要:微毛樱桃是具有极高观赏价值的乡土树种。该文基于微毛樱桃分布数据和环境气候因子,使用 MaxEnt 模型和 ArcGIS 模拟微毛樱桃当代、未来(2050 年代和 2070 年代)2 种气候变化情景下的潜在适生区分布,分析当代和未来气候情景下微毛樱桃在中国的潜在适宜分布区域,确定影响其分布的主要气候因子,为合理引种栽培和资源保护提供参考。研究结果如下:(1)模型的受试者工作特征曲线下面积(AUC)值为 0.943,预测结果可信度高。(2)年降水量、最冷月最低温和温度季节性变化系数这 3 个环境因子贡献率最高,分别达到 36.3%、27.5%和 15.6%;刀切法检验中,这 3 个环境因子得分最高。(3)当代微毛樱桃的适生区主要集中于西南、西北、华中以及华东地区,而高适生区主要集中在华中地区,西南、西北地区也有分布;未来微毛樱桃潜在适生区范围将增加,高适生区在华中地区的范围进一步扩张。通过 MaxEnt 模型预测结果分析可得,水分因子和温度因子共同限制了微毛樱桃的地理分布;未来微毛樱桃的潜在适生区面积将持续增加。认为华中地区可扩大微毛樱桃种植规模,充分发挥其生态经济价值。

关键词:微毛樱桃;潜在适生区;MaxEnt 模型;气候变化;预测

中图分类号:Q948.13;Q949.751.8;S662.5;S685.99 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2022.02.003

Prediction of potential suitable areas of *Cerasus clarofolia* based on MaxEnt model under climate change

Liu Xiangdong¹, Yang Qinghua^{2*}, Fu Chenlong²

(1. Suzhou Architecture Gardens Landscape Planning Design Co., Ltd., Suzhou 215011, China;

2. Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: *Cerasus clarofolia* is a native tree with extremely high ornamental value. Based on the distribution data and environmental climatic factors of *C. clarofolia*, in this article, MaxEnt model and ArcGIS were used to simulate the distribution of its potential suitable areas (PSAs) under two climate change scenarios at current, 2050s and 2070s. After the PSAs analyzed in China under two scenarios, the main climatic factors affecting its distribution were determined. The results showed that (1) The area under the receiver operating characteristic curve (AUC) value of the model was 0.943, indicating a highly reliable prediction. (2) The annual precipitation, the min temperature of coldest month and the temperature seasonality had the highest contribution rates, reaching 36.3%, 27.5% and 15.6% respectively, all getting the highest scores by using jackknife method. (3) Under modern climatic conditions, the suitable areas are mainly concentrated in the southwest, northwest, central and eastern China, and the highly suitable areas mainly concentrated in central China, also distributed in the southwest and northwest regions. Under the prediction of future climate change, its PSA will spread especially in central China. It could be concluded that precipitation and temperature factors jointly limited its geographic distribution; and with the future climate change, its PSA would continue increasing. So central China can expand the planting

收稿日期:2022-01-31;修回日期:2022-02-27

基金项目:江苏省产学研合作项目“国产红花樱花种质资源收集及新品种选育”(BY2018067)

作者简介:刘祥东(1976-),男,辽宁丹东人,高级工程师,学士。主要从事风景园林规划设计。

*通信作者:杨庆华(1980-),男,江苏省盐城人,高级工程师,博士。主要从事观赏植物育种研究。Email:yangqinghua204@163.com

scale of *C. clarofolia* and realize improve ecological and economic value.

Key words: *Cerasus clarofolia*; Potential suitable area; MaxEnt model; Climate change; Prediction

气候是影响植物生长发育和分布的重要环境因素,研究气候变化与植物地理分布格局的关系已成为当前植物生态学和生物地理学等领域的研究热点^[1-4]。通过对物种分布格局的预测,也可以有效发掘物种的起源、散布和演化过程。自 1880 年,全球气温每 10 a 平均上升 0.065 ℃,截止至 2020 年,全球平均气温已经上升 (1.2±0.1) ℃^[5]。已有研究表明,气候变化对物种组成、分布格局以及迁徙规律产生极大影响,加剧了分布范围缩减和破碎化而导致的物种灭绝风险^[1, 6-7]。因此,了解未来气候变化情景下物种的潜在适生区变化,对保护生物多样性及保证物种完整的遗传繁育体系具有指导意义^[8-9]。

目前多种物种分布模型 (SDMs) 已经成熟运用于气候变化下物种的潜在分布,例如生物气候分析系统 (BIOCLIM)、生态位因子分析模型 (ENFA)、规则集遗传算法模型 (GARP)、区域环境模型 (Domain)、最大熵模型 (MaxEnt) 等多个模型算法^[2, 10-12]。其中,最大熵模型 (MaxEnt) 是以最大熵理论 (Theory of maximum entropy) 为基础的物种地理尺度空间分布模型^[13],其预测结果不仅稳定性较好 [AUC (Area Under Curve, 曲线下面积) 值变化平缓],而且预测效果与实际分布一致性高 (平均 AUC 值最大),并且在物种分布点数据较少的情况下有良好的预测精确度,因此广泛应用于物种的适生区预测^[7-8, 14-22]。

微毛樱桃 (*Cerasus clarofolia*) 隶属于蔷薇科 (Rosaceae) 樱属,广泛分布于西南、华中地区。微毛樱桃花期 4 至 6 月,花叶同放,花粉红色或白色,萼筒状、钟状花形下垂式展开,观赏价值高,是具有良好园艺发展前景的乡土树种^[23]。目前,对广泛分布于华东、华中、华南的部分樱属植物类群的地理分布模拟已有深入研究^[12, 24-28],然而微毛樱桃作为一种在我国分布广泛、且具有良好园艺发展前景的重要植物资源,对其开发利用和资源保护的相关研究却鲜有报道。本研究以微毛樱桃的 167 个地理分布数据以及当代 (1960—1990 年) 和未来 (2050 年代及 2070 年代) 气候数据为基础,采用 MaxEnt 模型预测了当代和未来气候情景下微毛樱桃植物在中国的潜在适宜分布区域,并确定影响其分布的主要气候因子,旨在为更好地了解微毛樱桃在气候变化下的分布范围,以及合理引种栽培和资源保护提供参考。

1 数据和方法

1.1 数据来源

微毛樱桃地理分布数据主要来源于以下方法: (1) 查阅文献数据库,《中国植物志》,地方植物志以及各地自然保护区考察报告等; (2) 搜寻网络数据: 中国数字植物标本馆 (<https://www.cvh.ac.cn/>), 中国植物主题数据库 (<http://www.plant.nsd.cn/>), 中国植物图像库 (<http://ppbc.iplant.cn/>) 以及全球生物多样性信息网络 (Global Biodiversity Information Facility, GBIF; <https://www.gbif.org/>) 等。并且仅选取该物种的野生分布点数据进行统计,对其种植的分布数据不作记录。采用缓冲区分析法对微毛樱桃分布点进行校对、筛选,排除过度拟合模拟对研究结果的影响。因本研究环境变量空间分辨率为 2.5 arc-minutes (约 4.5 km),所以设缓冲区为 3 km,当 2 个分布点处于同一个缓冲区类,仅保留 1 个点。共获得微毛樱桃植物分布点 167 个,并按照 MaxEnt 软件要求的格式录入到 Excel 表中,添加为 XY 数据,保存为 .csv 格式。

气候数据均从世界气候数据库 WorldClim (<http://www.worldclim.org/>) 中获取,包括 5 份全球的 19 个生物气候变量图层 (1960—1990 年,2050 年代 SSP126 和 SSP585,2070 年代 SSP126 和 SSP585),采用 2.5 arc-minutes 的空间分辨率 (4.5 km 分辨率)。利用 SSP126 和 SSP585 (SSP, Shared Socioeconomic Pathway, 共享社会经济路径; RCP, Representative Concentration Pathway, 典型浓度排放路径; SSP126 指 SSP1 与 RCP2.6 的组合,代表了低辐射强迫、低减缓压力和低脆弱性的综合影响; SSP585 指 SSP5 与 RCP8.5 的组合,代表了高辐射强迫和高社会脆弱性的综合影响) 2 个气候变化情景,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^[29]。本研究底图数据均来自国家基础地理信息系统网站 (<http://nfgis.nsd.gov.cn>) 所提供的中国行政区划图和标准地图。

1.2 数据处理

建立模型前,按下述步骤对环境变量进行相关性分析和筛选: (1) 构建初始模型 (重复运算 10 次),以 MaxEnt v3.4.1 软件中的刀切法 Jackknife 得到环境变量贡献率; (2) 用 ArcGIS 10.2 软件提取

167 个分布点上 19 个环境变量的数值,利用 SPSS 25 软件进行相关性分析,结合环境变量贡献率,对相关性 ≥ 0.8 的变量只选贡献率大的,其余相关性小的保留,最终获得 9 个环境变量(见表 1)。

表 1 用于 MaxEnt 模型初步筛选及最终构建的生物气候因子描述

缩写	气候因子	贡献度/%	置换重要性/%
Bio1	年平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	4.2	5.7
Bio3	等温性	1.6	5.2
Bio4	温度季节性变化系数	15.6	24.7
Bio5	最热月最高温/ $^{\circ}\text{C}$	3.6	6.9
Bio6	最冷月最低温/ $^{\circ}\text{C}$	27.5	6.1
Bio12	年降水量/mm	36.3	22.2
Bio13	最湿月降水量/mm	1.5	3.7
Bio15	降水季节性变化	3.6	6.9
Bio19	最冷季降水量/mm	6.1	11.7

利用筛选得到的 9 个环境变量和微毛樱桃的 167 个分布点数据构建最终的物种分布模型。MaxEnt 模型构建参数设置如下:勾选随机数种子(Random seed),选择交叉验证法(Crossvalidate)模式重复运算 10 次,其余参数均采用软件默认设置。勾选运算环境变量响应曲线(response curves)和刀切法(Jackknife test),预测分布图以 Logistic 格式、ASC 文件输出。模型将自动计算并生成受试者工作特征曲线(Receiver operation characteristic curve, ROC),AUC 用于评估模型预测结果的精准度^[30]。一般认为, $0.50 < \text{AUC} \leq 0.60$,表示预测失败; $0.60 < \text{AUC} \leq 0.70$,表示预测精度较低; $0.70 < \text{AUC} \leq 0.80$,表示预测精度一般; $0.80 < \text{AUC} \leq 0.90$,表示预测精度较高; $0.90 < \text{AUC} \leq 1.0$,表示预测精度非常高^[31]。

基于 MaxEnt 3.4.1 生成的阈值(Fixed Cumulative Value 5 Logistic)为 0.098 1,将阈值在 0—0.098 1 范围划分为非适生区,0.098 1—0.265 4 为低度适生区,0.265 4—0.462 7 为中度适生区,0.462 7—1 为高度适生区。

2 结果与分析

2.1 影响微毛樱桃的主要气候因子

MaxEnt 模型结果显示,ROC 曲线下面积 AUC 值为 0.943(见图 1),表明预测精度极好,可以应用 MaxEnt 模型对微毛樱桃在当代及未来气候情景下的潜在分布进行模拟。在 MaxEnt 模型中,通常利用贡献百分比和置换重要性对气候因子进行检验,如表 1 所示,年降水量(Bio12)的贡献百分比为

36.3%,温度季节性变化系数(Bio4)置换重要性为 24.7%,高于其他气候因子。应用刀切法(Jackknife)对 MaxEnt 模型结果测定的各气候因子权重(如图 2)进行分析,蓝色条形为单独使用某气候因子模拟微毛樱桃分布时的正则化训练增益得分值,得分值越高表明该气候因子越重要,红色条带表示所有环境变量对建模的累积贡献率。如图 2 所示,最冷月最低温(Bio6)得分值最高,其次为年降水量(Bio12)和温度季节性变化系数(Bio4),皆能作为影响微毛樱桃分布的重要气候因子。综上所述,水分因子和温度因子共同限制了微毛樱桃分布范围,年降水量(Bio12)是限制当代潜在地理分布的首要因子,最冷月最低温(Bio6)和温度季节性变化系数(Bio4)是重要因子。

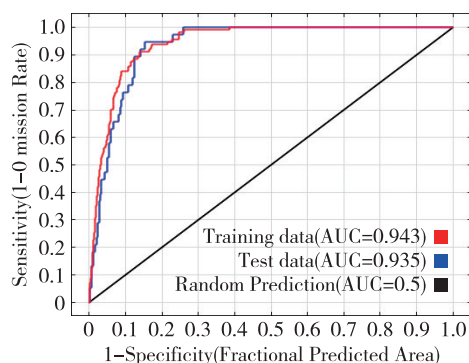


图 1 微毛樱桃 MaxEnt 模型的 ROC 曲线

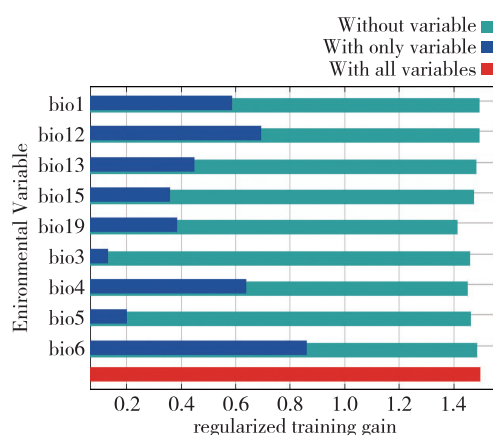


图 2 微毛樱桃环境因子刀切法检验结果

2.2 当前气候情景下微毛樱桃在中国的潜在分布

基于气候条件下的 MaxEnt 模拟结果(如图 3)显示,微毛樱桃高度适生区集中于四川东部、贵州全境、重庆全境、甘肃南部、陕西南部、河南西部;除了高度适生区外,河南中部、湖北中东部、安徽中

部、浙江中部、地处云贵高原云南北部地区、以及地处黄土高原的陕西中部、山西西南部是其潜在中度适生区；低度适生区范围较广，山东、江苏、江西、福建都为潜在低分布区，河北、北京和青海也存在极少分布。

在当前气候条件下，微毛樱桃适生区总面积为 $3.04 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占中国陆地面积的 31.54%。高度适生区面积为 $7.94 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占适生区总面积的 26.10%；中度适生区面积为 $9.99 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占适生区总面积的 32.88%；低度适生区面积为 $1.25 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占适生区总面积的 41.02%。

2.3 未来气候情景下微毛樱桃在中国的潜在分布

如图 4 所示，在 21 世纪 50 年代 SSP126 和 SSP585 这 2 种情景下，适生区面积分别为 3.30×10^6 、 $3.53 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，较当前情景分别增加了 8.58% 和 16.06%。其中高度适生区面积为 1.29×10^6 、 $1.38 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，分别增加了 62.96% 和 74.08%，在适生区中占比为 39.18% 和 39.15%，较当前高度适生区面积均有增加。微毛樱桃向华东地区迁移趋势明显，在陕西中部、河南中东部均有显著扩张。中度适生区面积为 8.4×10^5 、 $9.1 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，较当前情景分别减少了 15.92% 和 9.17%，减少的区域向高适生区转化。

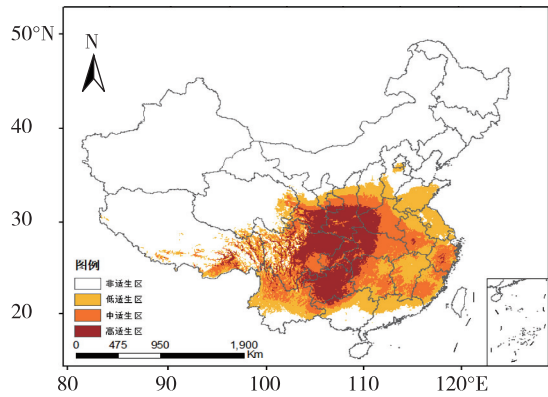


图 3 现代气候条件下微毛樱桃潜在适生区

在 21 世纪 70 年代 SSP126 和 SSP585 这 2 种情景下，适生区面积分别为 3.26×10^6 、 $3.97 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，分别增加了 7.10% 和 30.67%。其中，高度适生区面积分别为 1.09×10^6 、 $1.38 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，分别增加了 37.36% 和 74.18%，向云南西北部、西藏东南部延伸趋势明显。

此外，在 SSP126 情景下，70 年代的中度适生区面积与 50 年代相比，减少了 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，高度适生区面积减少了 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$ ；在 SSP585 情景下，70 年代的中度适生区与 50 年代相比增加了 $1.86 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，高度适生区状态稳定，面积无明显变化趋势。

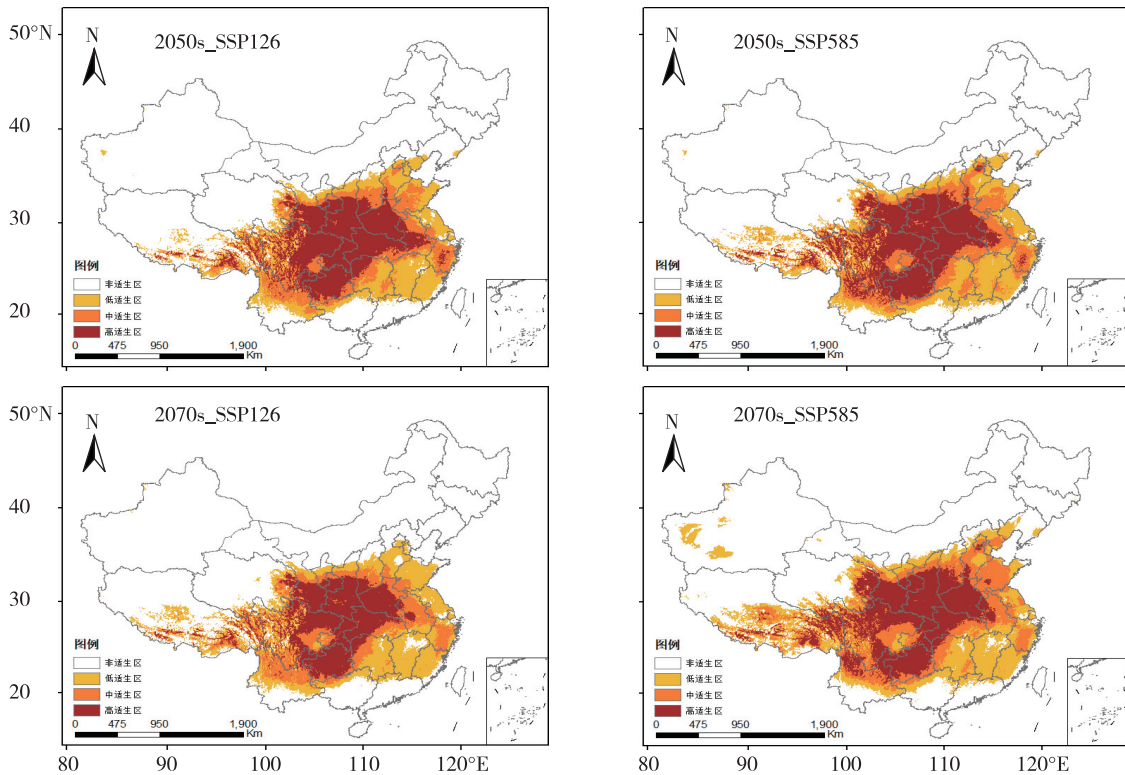


图 4 不同时期微毛樱桃潜在适生区分布

综合以上分析,与当前气候情景相比,未来气候情景下微毛樱桃中、高度适生区均有一定程度扩张,但仍有区别。SSP126 情景下,微毛樱桃中、高度适生区先扩张后缩减;而 SSP585 情景下微毛樱桃中、高度适生区持续扩张。

3 讨论

本研究中微毛樱桃 MaxEnt 模型以最大熵理论为基础,结合分布点数据和气候变量模拟微毛樱桃的分布,同时转移、投射至其他区域,预测该植物在当代和本世纪未来 2 个时期气候变化下的潜在分布,为其开发利用和保育提供支持。尽管前人研究表明 MaxEnt 模型虽然具有运算时间短、运算稳定、结果精度高等优点,但 MaxEnt 模型对采样偏差敏感,易产生过度拟合的问题,使模型转移能力降低。为提高微毛樱桃 MaxEnt 模型转移能力,本研究采用缓冲区分析法对分布点数据进行筛选、校对,对气候因子也进行了相关性分析,筛选出 9 个关键气候因子以减少建模误差,模型 AUC 值大于 0.9,表明模型准确,可信度高。

微毛樱桃分布范围广,气候适宜性强。前人分别对浙闽樱桃(*C. schneideriana*)^[12]、尾叶樱桃(*C. dielsiana*)^[32]、雪落樱桃(*C. xueluoensis*)^[26]、高盆樱桃(*C. cerasoides*)和钟花樱桃(*C. campanulata*)^[28]的气候限制因子进行了分析,指出年平均降水量(Bio12)、最湿季降雨量(Bio16)、最暖季降雨量(Bio18)等水分因子对樱属植物的分布具有重要影响,也有研究表明温度对山樱花(*C. serrulata*)^[25]的分布起重要作用。本研究结果表明水分因子和温度因子共同限制了其地理分布。推测得出该结果的原因是微毛樱桃抗干扰能力强,在干旱胁迫和水湿胁迫下均能生长良好。水分因子是限制其地理分布的首要因子,这与前人的研究相一致。但极端低温下,植物细胞膜受损的过程是不可逆的,-10℃时大部分樱属植物会出现明显冻害特征甚至死亡^[33],因此最冷月最低温(Bio6)是影响其分布的重要因子这一结论是合理的。

本研究通过微毛樱桃现实地理分布数据和环境气候因子,对其当代及未来潜在适生区进行模拟,结果表明未来微毛樱桃适生区将在原有基础上稳步扩张,未来气候变化不会对微毛樱桃居群构成威胁。贵州、重庆东部、甘肃南部、陕西中南部、湖北西部、河南等地均适宜种植微毛樱桃。上述地区

可加大对微毛樱桃的开发利用力度,充分发挥其园林观赏生态价值。

参考文献:

- [1] 方精云,朱江玲,石 岳.生态系统对全球变暖的响应[J].科学通报,2018,63(2):136-140.
- [2] 李国庆,刘长成,刘玉国,等.物种分布模型理论研究进展[J].生态学报,2013,33(16):4827-4835.
- [3] BELLARD C, BERTELSMEIER C, LEADLEY P, et al. Impacts of climate change on the future of biodiversity [J]. Ecology Letters, 2012, 15(4):365-377.
- [4] ELITH J, GRAHAM C H, ANDERSON R P, et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data[J]. Ecography, 2006, 29(2):129-151.
- [5] World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2020, Provisional Report [R]. Geneva, World Meteorological Organization, 2020.
- [6] 曹福祥,徐庆军,曹受金,等.全球变暖对物种分布的影响研究进展[J].中南林业科技大学学报,2008,28(6):86-89.
- [7] 唐梦诗,袁淑娜,余文刚,等.气候变化下红茴砂在中国潜在适生区的最大熵生态位模型预测[J].热带作物学报,2021,42(11):3369-3375.
- [8] 代玉烜,金 塘,徐海霞,等.基于 MaxEnt 模型的小黄花茶在中国的适生区域研究[J].四川大学学报(自然科学版),2021,58(2):189-198.
- [9] GUISAN A, THUILLER W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models [J]. Ecology Letters, 2005, 8(5):993-1009.
- [10] 乔慧捷,胡军华,黄继红.生态位模型的理论基础、发展方向与挑战[J].中国科学:生命科学,2013,43(11):915-927.
- [11] 朱耿平,刘国卿,卜文俊,等.生态位模型的基本原理及其在生物多样性保护中的应用[J].生物多样性,2013,21(1):90-98.
- [12] 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.
- [13] PHILLIPS S J, ANDERSON R P, SCHAPIRE R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3):231-259.
- [14] 陈新美,雷渊才,张雄清,等.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,2012,48(1):53-59.
- [15] 段义忠,鱼 慧,王海涛,等.孑遗濒危植物四合木(*Tetraena mongolica*)的地理分布与潜在适生区预测[J].植物科学学报,2019,37(3):337-347.
- [16] 樊 信,盘金文,何嵩涛.气候变化背景下基于 MaxEnt 模型的刺梨潜在适生区分布预测[J].西北植物学报,2021,41(1):159-167.
- [17] 李单琦,胡 菀,韩彩霞,等.基于 MaxEnt 模型的濒危观赏植物福建柏潜在适生区预测[J].植物科学学报,2020,38(6):743-750.
- [18] 王运生,谢丙炎,万方浩,等.ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用[J].生物多样性,2007(4):365-372.

- [19] 周海涛,那晓东,臧淑英,等.最大熵(Maxent)模型在物种栖息地研究中的应用[J].环境科学与管理,2016,41(3):149-151.
- [20] 朱耿平,原雪姣,范靖宇,等.MaxEnt模型参数设置对其所模拟物种地理分布和生态位的影响—以茶翅蜡为例[J].生物安全学报,2018,27(2):118-123.
- [21] HERNANDEZ P A, GRAHAM C H, MASTER L L, et al. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods [J]. Ecography 2010,29(5):773-785.
- [22] ZHANLEI R, CHUANYAN Z, JUNJIE L, et al. Modeling the effect of climate change on the potential distribution of Qinghai spruce (*Picea crassifolia* Kom.) in Qilian Mountains[J].Forests, 2019,10:62.
- [23] 陈志伟,伊贤贵,王贤荣,等.黄山微毛樱群落主要种群生态位特征[J].南京林业大学学报(自然科学版),2014,38(S1):39-46.
- [24] 陈丽娜.樱属品种观赏性状评价及中国野生种浙江适生区研究[D].杭州:浙江理工大学,2015.
- [25] 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),2014,38(S1):74-80.
- [26] 王华辰,朱 弘,李涌福,等.中国特有植物雪落樱桃潜在分布及其生态特征[J].热带亚热带植物学报,2020,28(2):136-144.
- [27] 谢春平,方 彦,伊贤贵,等.宝华山野生早樱群落特征的初步研究[J].广东农业科学,2011,38(3):56-59.
- [28] 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,2019,39(10):1398-1406.
- [29] 周天军,邹立维,陈晓龙.第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6)评述[J].气候变化研究进展,2019,15(5):445-456.
- [30] 李涌福,张 成,朱 弘,等.野桂花和管花木犀的适宜分布区及主要气候变量分析[J].植物资源与环境学报,2019,28(1):71-78.
- [31] HANLEY J A, MCNEIL B J. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve [J]. Radiology, 1982,143(1):29-36.
- [32] 朱 弘.尾叶樱桃(*Cerasus dielsiana*)系统分类地位与种群生物地理学研究[D].南京:南京林业大学,2020.
- [33] 刘 锦,王 挺,黎念林,等.电导法配合 Logistic 方程测定樱花抗寒性研究[J].江苏林业科技,2016,43(5):25-27,31.

(上接第 10 页)

(1)以常绿树种为主,并与落叶树种混合配置。常绿树种对森林冬季绿色景观的维持具有重要作用,有利于提升林相冬季景观效益和生态效益。坚持以常绿树种为主的树种组成特征,并配置一定比例的秋色叶树种,以提高森林秋冬季林相景观,建议常绿树种空间占比 60%—75%,落叶树种空间占比 25%—40%。

(2)以本土建群种为主,适度配置园林彩化乔木树种。提倡以本土地带性树种作为林相建设树种,以营造稳定而有地方特色的林相景观,逐步改变以往单纯应用园林树种的配置习惯,壳斗科、樟科、槭树科、蔷薇科、大戟科、无患子科和木兰科等都有大量可供开发利用的林相建设树种。同时,可适度配置一些彩化效果好的园林乔木彩化树种,以提高林相彩化效果,如枫香树、银杏、无患子、五角枫、黄山栾树等。

参考文献:

- [1] 王金池,黄清麟,马志波,等.永安市半天然马尾松阔叶混交林的树种组成与多样性[J].林业科学,2019,55(11):19-26.
- [2] 薛卫星,郭秋菊,艾训儒,等.鄂西南天然林主要乔木树种物种组成及林分空间结构动态变化研究[J].西北植物学报,2021,41(6):1051-1061.
- [3] 马志波,黄清麟,庄崇洋,等.基于林层的典型中亚热带天然阔叶林树种组成与多样性[J].林业科学,2017,53(10):13-21.
- [4] 梁 楠,马慧晶,冯 帆,等.华北亚高山 3 个典型森林群落的树种组成与结构研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2018,38(12):55-61.
- [5] 唐晶晶,姚崇怀.植景设计视角下的植物绿色空间美景观度数量化模型[J].中国园林,2020,36(8):124-128.
- [6] 王贤广,王峥嵘,何小勇,等.浙西南秋季林相美景观度及其最优颜色构成模式研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(1):118-126.
- [7] 王旭东,杨秋生,张庆费.上海区域常见园林树种树高尺度定量预估及林冠线营造探析[J].风景园林,2018,25(1):112-117.
- [8] 浙江植物志编辑委员会.浙江植物志(第 2 卷)[M].杭州:浙江科技出版社,1992:51.
- [9] 王军峰,何小勇,练发良.浙西南美丽林相树种推荐 100 种[M].北京:中国林业出版社,2020:25-26.
- [10] 陈 波,宋永昌,达良俊.天童常绿阔叶树种栲树生殖个体大小及其生殖构件特征[J].植物研究,2004,24(1):80-86.
- [11] 张继渝.设计色彩[M].2 版.重庆:重庆大学出版社,2005.
- [12] 高凤娟.丽水市公园绿地园林植物应用特点分析[J].福建农业科技,2011(4):90-92.
- [13] 胡 华,吴博阳,李 震.丽水市居住小区园林植物种类及其应用[J].浙江农业科学,2019,60(4):646-649.
- [14] 高凤娟.丽水市公园绿地园林植物应用现状及分析[J].吉林农业,2011(6):233-236.
- [15] 黄宇南,朱秀玲,练华瑶,等.深山含笑等 3 种木兰科植物在城市园林绿化中的应用评价[J].绿色科技,2016(15):124-126,128.