

基于物种分布模型的重庆市自然保护地效果研究

Analysis on the Effectiveness of Chongqing's Natural Protected Area System Based on Species Distribution Model

包雷 许依宁 汪子涵 陶陶*

BAO Lei XU Yining WANG Zihan TAO Tao

(重庆大学建筑城规学院, 重庆 400030)

(School of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing, China, 400030)

文章编号: 1000-0283(2024)11-0102-08

DOI: 10.12193/j.laing.2024.11.0102.013

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2024-06-01

修回日期: 2024-07-02

摘要

自然保护地体系建设是保护生物多样性最为有效的措施之一, 物种多样性是对生物多样性的直观认识, 也是衡量区域生物资源丰富程度的重要标准。为实现对重庆市自然保护地体系保护效果评估和空间布局优化, 首先在 ArcGIS 平台建立重庆市自然保护地空间数据; 其次收集重庆市范围内植物物种的分布数据, 使用 MaxEnt 工具建立各指示物种分布的最大熵模型; 再使用物种丰富度评价工具, 将各物种分布模型叠加得到物种丰富度指数; 最后与重庆市现有自然保护地体系进行比对, 评价其保护的有效性并找出空缺和不足, 提出对自然保护地规划的建议。结果表明, 重庆市自然保护地体系仅保护了 9.12% 物种丰富度大的区域, 保护空缺集中在渝东北大巴山和巫山、渝东南武陵山等山区。建议扩大上述区域现有的保护区范围、增设自然保护地, 同时加强跨行政区自然保护地协调管理。

关键词

物种分布模型; 自然保护地体系; 有效性研究; 空缺分析; 重庆市

Abstract

Constructing a natural reserve system is one of the most effective measures to protect biological diversity. Species diversity is an intuitive understanding of biological diversity and an essential criterion for measuring the richness of regional biological resources. To evaluate the protection effect and optimize the spatial layout of Chongqing's natural protected area system, this paper first established the spatial data of Chongqing's natural protected areas on the ArcGIS platform. Secondly, the distribution data of plant species within Chongqing City were collected, and the MaxEnt tool was used to establish the maximum entropy model of the distribution of each indicator species. Then, the species richness evaluation tool will superimpose each species distribution model to obtain the species richness index. Finally, it was compared with the existing natural protected area system in Chongqing to evaluate the effectiveness of its protection, identify gaps and deficiencies, and put forward suggestions for natural protected area planning. The study found that Chongqing's nature reserve system only protects 9.12% of the areas with high species richness, and the protection gaps are concentrated in mountainous areas such as Daba Mountain and Wushan in northeastern Chongqing and Wuling Mountain in southeastern Chongqing. It is recommended that the scope of existing protected areas in the areas mentioned above be expanded, natural protected areas are added, and the coordinated management of cross-administrative natural protected areas be strengthened.

Keywords

species distribution model; nature reserve system; effectiveness research; vacancy analysis; Chongqing City

包雷

2002年生/男/安徽芜湖人/在读本科生/
研究方向为城乡规划技术

许依宁

2002年生/女/江苏常州人/在读本科生/
研究方向为风景园林设计

陶陶

1975年生/女/重庆人/博士/副教授/研
究方向为城市规划与 GIS

生物多样性是维系地球健康、人类福祉和经济繁荣的基础, 是地球生命共同体的血脉和根基^[1], 如何采取有效行动应对生物多样性丧失危机是全球广泛关注的议题^[2]。在保护生物多样性的措施中, 自然保护地体系建设最为有效^[3]。物种多样性是生物多样性

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: jlptaotao@126.com

基金项目:
国家级大学生创新训练项目“基于物种分布模型的自然保护地体系代表性研究与空缺分析——以重庆市为例”(编号: 202310611057)

研究的核心内容, 是对生物多样性较为直观的认识, 也是衡量一个国家或区域生物资源较为重要的标准^[4-5]。《2020 保护地球报告》指出, 在全球范围内, 仅18.3%的保护区进行了有效性评估^[6], 保护质量仍有待提高。重庆是全球生物多样性关键地区之一^[7], 在生物多样性保护方面具有重要作用。随着重庆城市化的快速发展, 不断扩张的城市对物种多样性有潜在的破坏风险。因此, 需要对重庆市自然保护地体系进行评估研究, 以更科学地保护重庆市生物多样性。

在对自然保护地物种多样性的既往研究中, 研究对象由单一个体到群落, 研究尺度从单个保护区到全球范围, 研究方法丰富多样。樊涵等^[8]对自然保护地空间布局与影响因子进行研究, 运用最邻近点指数、地理集中指数等空间分析方法, 得出自然保护区数量和面积的主要影响因素具有一致性, 均主要受生物资源影响, 即为物种多样性。余文刚等^[9]对自然保护区体系构建原则的研究中认为, 物种多样性与丰富度是构建自然保护区最重要的因素, 例如针对物种多样性的互补性原则等。谢嘉淇等^[10]综述了国家公园生态系统服务与生物多样性的关系研究, 认为生物多样性是生态系统一切功能与服务的前提与基础, 并且生态系统内的物种丰富度与总体服务功能呈正相关。焦瑞等^[11]利用CiteSpace知识图谱分析工具, 以自然保护区生态系统服务相关文献作为数据源进行科学知识图谱绘制, 结合研究结果与现状, 对国内自然保护区提出建议。

综合已有研究, 通过物种分布模型评估区域物种多样性较为广泛, 亦有通过统计学方法构建评价体系等其他方法。物种分布模型是基于物种的分布数据与相关的环境变量数据, 选择适宜的统计模型去预测地理空间

上该物种适宜生境的分布, 以概率的形式统计出该物种在不同环境中生存的可能性^[12]。孙艳芝等^[13]基于34种北京市有监测记录的国家重点保护动植物, 利用MaxEnt模型预测物种潜在适宜栖息地和热点分布区, 识别北京市生物多样性情况, 从而为自然保护地整合优化提供数据支撑; 刘艳霞等^[14]以深圳为例, 运用最大熵模型辨识野生保护动植物的热点分布区, 采用ArcGIS将热点区与现有自然保护区叠加分析当前生物多样性; 马孟泉等^[15]选用MaxEnt模型法对盘锦市生物多样性维护功能重要性进行评价, 指导生态保护红线划定工作。

多数学者在运用物种分布模型评估物种多样性后, 会进行有效性分析与空缺分析, 以评价物种多样性的保护效能。空缺分析法主要通过在空间上快速分析保护物种或生境的分布及保护状态, 并与现有自然保护区进行叠加识别空缺区域。近年来, 关于自然保护区的空缺分析逐渐受到关注, 并已对湖南^[16]、江西^[17]、西藏^[18]、云南^[19]等省(自治区)的自然保护地进行相关研究。此外, 姜芋孜等^[20]利用生态敏感性对威海自然保护区进行量化分析, 识别自然保护区生态空间以及保护空缺, 并提出优化建议。晁碧霄等^[21]运用MaxEnt模型, 根据广东省红树林分布数据和环境变量, 预测红树林潜在适生区的分布, 分析影响红树林分布的关键环境变量及其适生区间, 识别广东省红树林保护与修复空缺区域。

上述研究虽然在自然保护区体系的物种多样性保护效能研究上有所成果, 但多为单一物种、单一群落或特定区域内生态系统的空缺分析, 未将多个物种分布模型叠加后对自然保护区进行有效性评估。且侧重对单个自然保护区范围或某一类物种的物种多样性进行研究, 对行政区划视角的省、市域物种多

样性以及地区内整体物种多样性的研究较少, 并且缺乏针对重庆市的自然保护地有效性及空缺分析。本文从物种多样性的角度, 选取植物物种分布作为物种多样性的指示性指标, 使用物种分布模型预测并分析重庆市自然保护地体系的有效性, 为自然保护地体系的科学选址和合理布局提供数据支撑。

1 研究区概况

重庆市位于中国内陆西南部、长江上游地区, 面积8.24万km², 下辖38个区县(26区、8县、4自治县), 属亚热带湿润季风气候, 春早夏热、秋雨冬暖; 地貌以丘陵、山地为主, 其中山地占76%; 长江横贯全境, 流程691 km, 与嘉陵江、乌江等河流交汇。重庆市是世界上唯一一座建在平行岭谷的特大城市, 地处中国生物多样性最丰富的西南地区向华中地区的过渡地带, 因其独特的气候和地理环境在生物多样性保护方面具有重要作用^[22]。其平行岭谷由云雾山、缙云山、中梁山、铜锣山、明月山等数条背斜山脉平行排列, 构成了著名的褶皱山系——川东平行岭谷。对重庆全市的218处各类型自然保护区进行研究, 包含野生动物类型、野生植物类型、森林生态系统类型、内陆湿地类型、地质遗迹类型等, 总面积约126.9万hm², 占全市面积的15.4%。自然保护区中, 包含自然保护区58处、湿地公园26处、地质公园10处、风景名胜区36处、森林公园85处(含两处生态公园)及世界自然遗产地3处(五里坡、武隆、金佛山)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 重庆市自然保护地空间数据

重庆市各级各类自然保护地空间数据

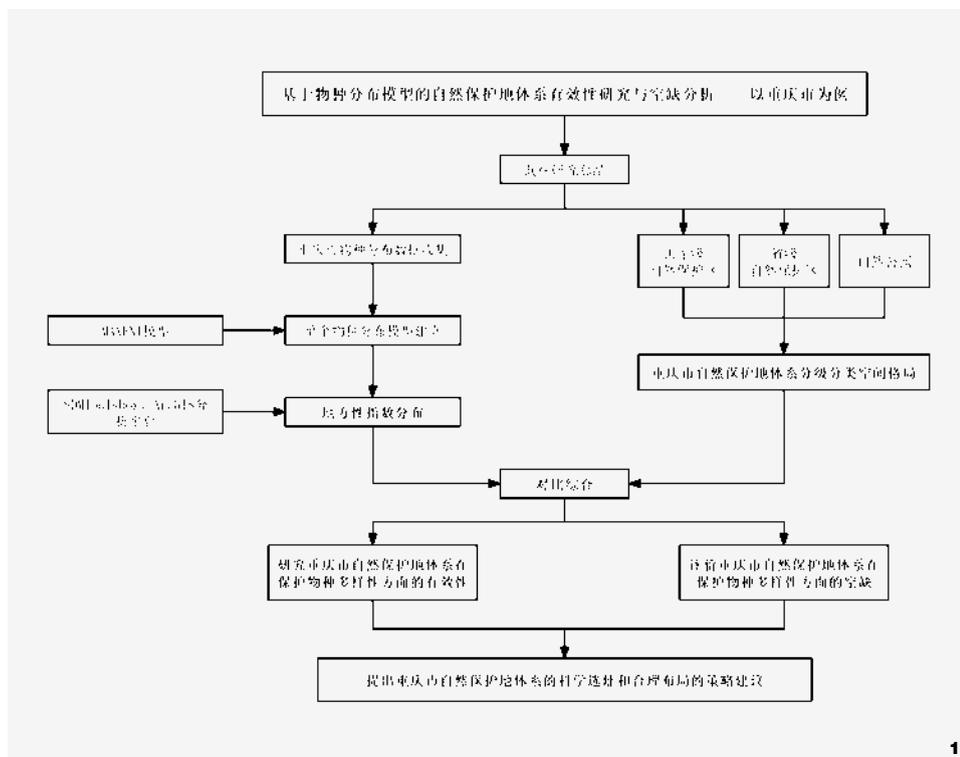


图1 研究方法流程图
Fig. 1 Flowchart of research methods

的来源主要包括：重庆市及各区县规划和自然资源局公布公示的自然保护地范围文件图则、各地图软件中自然保护地边界数据的爬取，以及现场对自然保护地边界的踏勘。依据上述数据在ArcGIS软件中绘制出自然保护地.shp格式文件，创建重庆市自然保护地空间数据库。

2.1.2 物种分布数据

从全球生物多样性信息服务网络平台 (GBIF) 网站下载重庆物种分布发生数据，删除植物以外的其他界数据 (动物、细菌、真菌、亚纲目科未定植物、单细胞生物等) 和重复数据后，再删除同一物种空间临近的物种分布发生点，共得到10 177个物种的分布数据。筛选出分布发生点数>5个的

物种，得到来自2 504个物种的23 162条物种分布记录。

2.1.3 生物气候数据

从全球高分辨率气候数据分享平台WorldClim网站下载当前含有19个生物气候变量的数据，数据分辨率为30 m，经投影后栅格大小约为1 000 m。批量裁剪出重庆市市域范围的19个气候因子栅格数据。

2.1.4 地形数据

从全球高分辨率气候数据分享平台WorldClim网站下载与生物气候数据相同分辨率的高程数据，裁剪出重庆市市域范围的DEM高程栅格数据。通过表面分析，得到重庆市的坡度、坡向等地形栅格数据。

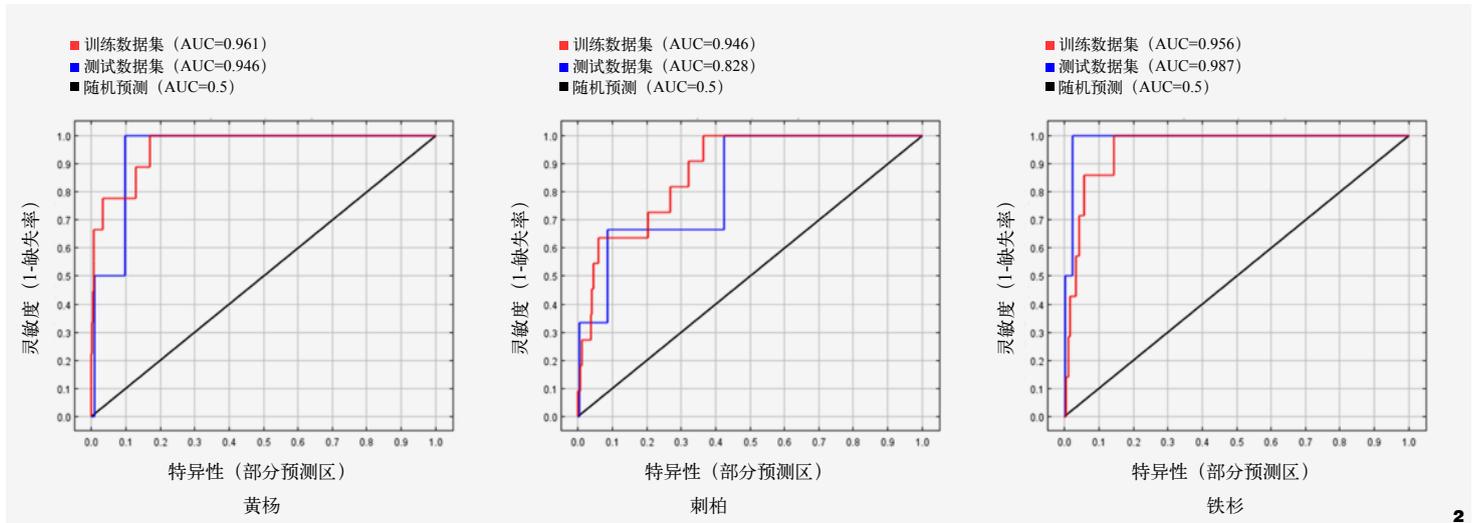
2.1.5 土壤数据

在联合国粮农组织 (FAO) 网站下载世界土壤数据库 (Harmonized World Soil Database, HWSD) 数据库文件和栅格文件，裁剪出重庆市市域范围的土壤栅格数据。

2.2 研究方法

既往研究表明，自然保护地体系建设是最有效保护生物多样性的措施。国内外现有研究中对于自然保护地体系中物种多样性方面的研究仍较少，一是因为一些物种在大范围内数据本底资料不足，其生存动态更新不及时；二是研究物种多样性用到的研究方法较复杂，需借助物种分布模型或其他基于不同理论、算法的模型，操作难度较大。物种多样性是生物多样性研究的核心内容，是衡量区域生物资源较为重要的标准。在指示物种选择上，植物为动物提供栖息地和食物来源，且静态植物避免了动物迁徙的复杂性，在数据来源上易于获取，因此研究选取植物物种分布作为生物多样性的指示性指标，分析自然保护地体系保护的有效性和保护空缺。

本研究采用空间数据和物种分布模型叠加分析的方法体系 (图1)。首先在ArcGIS平台建立重庆市自然保护地的空间数据；其次收集重庆市范围内植物物种的分布数据，建立各指示物种的最大熵分布模型；在运用物种分布模型进行分布预测等研究的基础上，分析得到重庆市物种丰富度指数，评价重庆市范围内的物种多样性；最后结合重庆市当前的自然保护地体系空间格局，将评价结果与重庆市现有的自然保护地体系进行对比，评价重庆市自然保护地体系在物种多样性保护方面的有效性，分析其保护空缺。和既往研究不同的是，本研究将多物种进行叠加综合分析，与传统的单一物种分析相比更加侧



重对生物多样性的分析，以评价自然保护地生物多样性保护的有效性。

3 结果与分析

3.1 MaxEnt 预测物种分布模型

将处理完毕的物种分布点与地形数据、土壤数据、气候数据导入MaxEnt软件V3.4.4 (java环境)，进行各物种的分布预测，并得到每个物种对应的ROC曲线、各变量对物种分布适宜度的贡献率、单一变量响应曲线等过程数据。其中：ROC曲线 (Receiver Operating Characteristic curve, 受试者工作特征曲线)，常用于评价MaxEnt模型预测的精确程度^[23]。其中红线为代表最终结果的平均训练AUC值 (Mean training AUC) 曲线，若其距离黑色基准线越远 (越靠近图表左上角)，且其拐点越多、最终得分越高，说明该模型预测的物种已知分布点越多，模型的预测效果越精确。经检验，本次MaxEnt模型得到的大部分物种生境分析的平均训练AUC值 (红线) ≥ 0.85 ，满足上述要求，证明模型整体预测精度较好。ROC曲线同时也验证了本研究用Maxent模型预测重庆市植物物种分布的方法可行，能够获得较准确的预测结果。图2为黄杨 (*Buxus sinica*)、刺柏 (*Juniperus formosana*)、铁杉 (*Tsuga chinensis*) 三种入选重庆市重点保护野生植物名录的植物的ROC曲线示例。

各变量对物种分布适宜度的贡献率采用刀切法 (jackknife test)，以柱状图方式呈现 (图3)。由于贡献度值总和为1，因此其中各变量贡献度值取 [0, 1] 区间，某个变量贡献度的值越大，则说明该变量对物种分布适宜度的影响越大；置换重要值则反映了模型对该变量依赖性

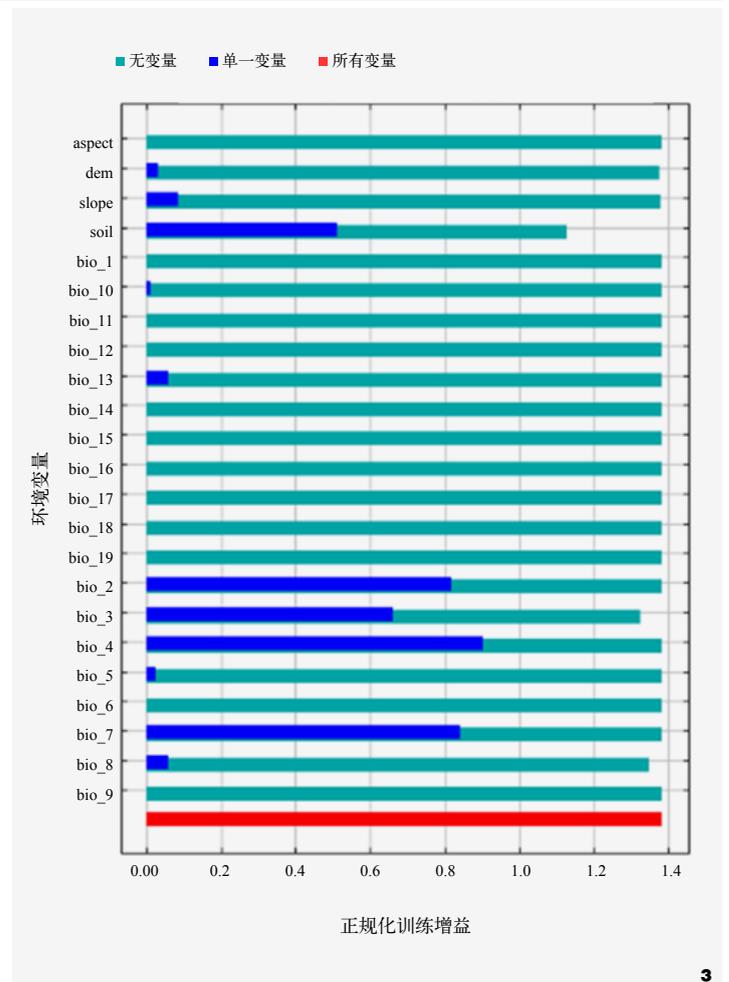


图2 三种重庆市重点保护野生植物的ROC曲线
Fig. 2 ROC curves of three key protected wild plants in Chongqing

图3 变量贡献率柱状图 (刀切法)
Fig. 3 Variable contribution rate bar chart (jackknife test)

表1 影响黄杨潜在分布的变量贡献度与置换重要值

Tab. 1 Variable contribution and permutation importance value affecting the potential distribution of *Buxus sinica*

环境变量 Environment variables	描述 Description	贡献度 / % Contribution	置换重要值 / % Permutation important values
Bio2	昼夜温差月均值	40.9	0
Soil	土壤	25.5	33.8
Bio4	温度季相变化标准差	18.0	0
Bio8	最湿季度平均温度	11.8	17.8
Bio3	等温性	2.9	44.4
Dem	高程	0.5	3.1
Slope	坡度	0.4	0.9

的强弱。以上文所述黄杨为例，其各变量贡献度如表1所示。

通过对黄杨等物种分布预测的贡献度分析，可证明研究数据选择中土壤、生物气候、地形数据能够基本包括物种预测的要求。由表1可知，对黄杨潜在分布预测贡献度最大

的前4个环境因子变量依次为昼夜温差月均值(40.9%)、土壤(25.5%)、温度季相变化标准差(18%)和最湿季度平均温度(11.8%)，合计贡献率达到了96.2%。而置换重要值排名前三位的变量依次为等温性(44.4%)、土壤(33.8%)、最湿季度平均温度(17.8%)。由此，可得知主

导黄杨在重庆行政区范围内潜在地理分布的变量主要为温度变量(昼夜温差月均值、温度季相变化标准差、最湿季度平均温度、等温性)和土壤变量。地形变量(高程、坡度)尽管贡献度、置换重要值均较小，但也对黄杨的潜在分布具有一定影响，而降水变量对黄杨潜在分布影响不显著。

为进一步探究不同变量对物种分布预测的定量影响，仍以黄杨为例，通过MaxEnt模型生成，绘制上述显著影响其分布的单一变量响应曲线(图4)^[24]。其反映了物种适生存在概率与该变量阈值范围的关系。由图可知，黄杨潜在分布概率与昼夜温差月均值、温度季相变化标准差和最湿季度平均温度均成正相关，在当前气候情景下最适宜黄杨分布的变量数值范围为：昼夜温差月均值(7.78 ~ 9.23℃)、温度季相变化标准差(783.84 ~ 828.31)、最湿季度平均温度(21.64 ~ 29.39℃)；最适宜黄杨分布的土壤类型有三类，分别为松软沉积土、暗色火山灰土、松软潜育土。

3.2 物种丰富度分析

运用ArcGIS软件的SDMToolbox工具箱的物种丰富度评价工具，将2 504个物种的适宜分布数据批量叠加分析，得到重庆市全域物种丰富度指数(图5-a)，最高2 186个、最低11个。使用自然间断点分级法，对物种丰富度指数重分类，共得到5级分类(低、较低、中、较高、高)。可以定性观察到渝东北大巴山区和巫山的物种丰富度最高，渝东南武陵山区的物种丰富度较高，且物种丰富度分布与地形走向有较高的相关性(图5-b)。将物种丰富度指数与自然保护地空间数据叠加进行定量分析，评价自然保护地的保护有效性并寻找保护空缺。

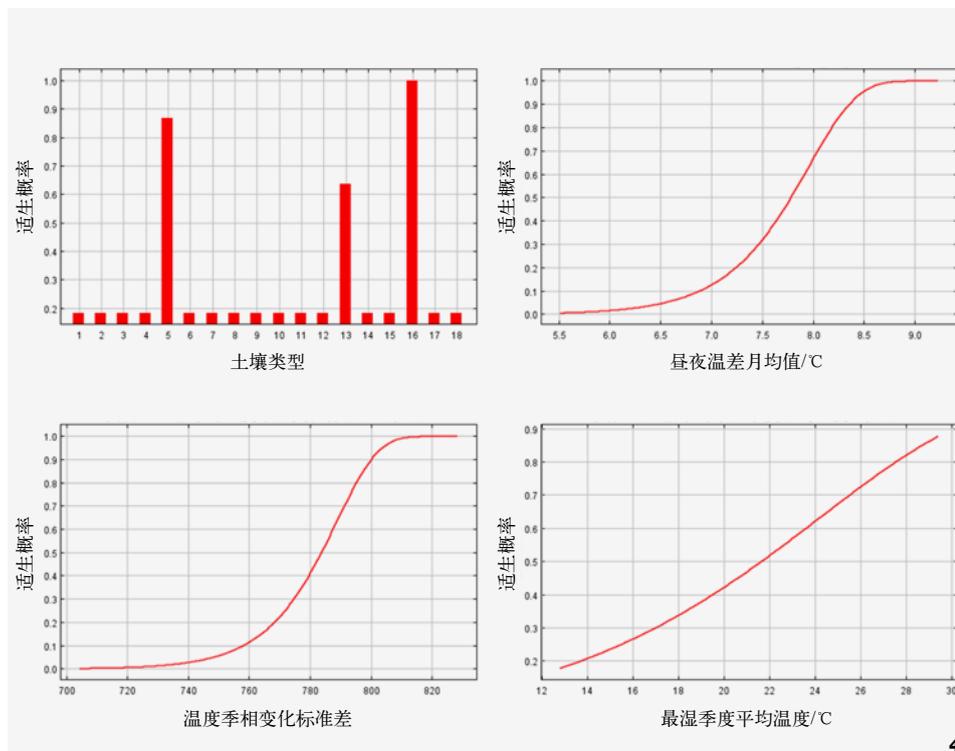


图4 黄杨适生概率对部分单一变量的响应曲线

Fig. 4 Response curves of the suitable probability of *Buxus sinica* to some single variables

3.3 有效性分析和空缺分析

筛选出物种丰富度较高(914 ~ 1421)和高(1421 ~ 2168)的区域,面积共10308.8 km²。将较高区域赋值4、高区域赋值6,将自然保护区空间栅格数据赋值1,使用数据管理工具“镶嵌至新栅格”将筛选后的物种丰富度数据与自然保护区数据进行叠加运算,得到重庆市自然保护区体系保护评估结果(图6-a,表2)。

结果表明,自然保护区仅保护了941 km²物种丰富度较高、高的区域(简称丰富度大的区域),已保护面积只占到9.12%,仍有90%以上物种丰富度大的区域不在自然保护区范围内,保护有效性有待提升。保护空缺集中在渝东北大巴山和巫山山区、渝东南武陵山区,少量分布在主城都市区。

4 对自然保护区规划规划和管理建议

4.1 严格把控生态保护红线,继续提升生态保护效果

要在保护质量较高的区域强化对重点区

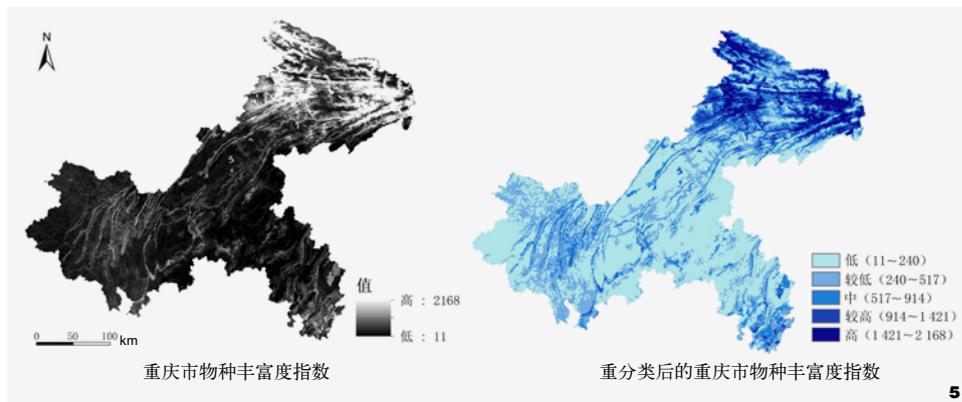


图5 重庆市物种丰富度指数图
Fig. 5 Species richness index of Chongqing

域的监管,严格把控生态保护红线,落实重点生态区域生物多样性保护和管控政策,实现对自然保护区的差别化、精细化管理,稳步提升生态保护的效果。以生物多样性最丰富的渝东北地区为例(图6-b),渝东北地区巴山湖国家湿地公园、九重山国家森林公园、雪宝山国家森林公园、汉丰湖国家湿地公园、彭溪河湿地市级自然保护区、小江湿地县级自然保护区、巫山湿地县级自然保护区、五里坡国家级自然保护区、江南市级自然保护区、阴条岭国家自然保护区、大巴山国家自然保护区、长江三峡国家地质公园

自然保护区、巫山湿地县级自然保护区、五里坡国家级自然保护区、江南市级自然保护区等保护地保护效果较好。

4.2 推进优化整合,规范管理机制

保护空缺集中在大巴山区和巫山山区,巫溪、城口、开州、云阳、奉节、巫山等区县,且空缺大多跨行政区边界。建议扩大

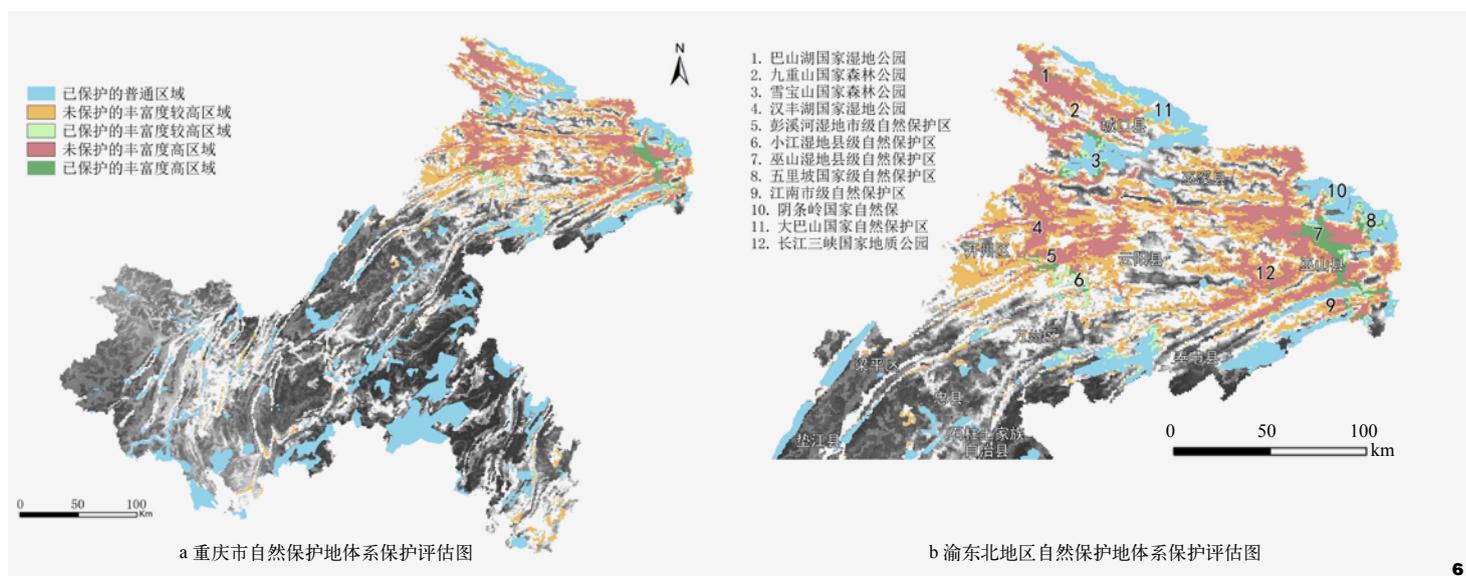


图6 重庆市和渝东北地区自然保护区体系评估图
Fig. 6 Assessment map of natural protected area system in Chongqing and northeastern Chongqing

表2 重庆市自然保护地体系保护评估表
Tab. 2 Chongqing natural protected area system protection evaluation table

赋值 Calculation value	类型 Type	面积 /km ² Area	占自然保护地面积比例 /% Proportion of area in natural protected areas	占物种多样性高和较高区域面积比例 /% Proportion of area in regions with high and relatively high species diversity
1	已保护的普通区域	9 823.8488	91.25	—
4	未保护的丰富度较高区域	5 304.6965	—	51.48
5	已保护的丰富度较高区域	480.7348	4.47	4.66
6	未保护的丰富度高区域	4 062.5222	—	39.40
7	已保护的丰富度高区域	460.8629	4.28	4.46

阴条岭国家自然保护区、大巴山国家自然保护区、巴山湖国家湿地公园、九重山国家森林公园、汉丰湖国家湿地公园、彭溪河湿地市级自然保护区、长江三峡国家地质公园的保护范围，在大巴山区增设自然保护地。在尽量考虑到自然保护地生态系统延续性及完整性的基础上同时加强跨行政区自然保护地管理。调整划定的边界范围应便于识别和管理，统一管理机构，管辖区域分明，避免因行政边界问题出现重叠、遗漏导致生态系统遭到破坏。从而解决自然保护地管理割裂问题、生态系统破碎问题，实现对自然保护地体系的整体保护。

4.3 妥善处理城区与自然之间发展、保护的关系

渝东南地区的重庆巴尔盖国家森林公园保护地保护效果较好。秀山、酉阳两县有部分空缺，建议在武陵山区增设自然保护地。主城区市区的保护空缺大致沿铜锣山、缙云山等山脉分布，建议沿山脉走向增设自然保护地。在主城区、有城镇建设旁的自然保护地，需坚持生态保护优先，在自然保护地一般控制区内划定合适区域开展生态旅游、自然体验等活动，适度发展，同时引导社区居民参与自然保护地共管，在保障生态保护质量的同时兼顾民生福祉，在资源利用的同时

运用做好调控、监测。

4.4 保障当地社会经济健康发展

重庆市生物多样性丰富，自然保护地较多，在自然保护地较为严格的保护状态下，当地社会经济的健康发展需要被关注。社区与自然保护地合作是较高效率与收益的一种方式，自然保护地能在当地居民的参与中得到较好的维护，社区能被自然保护地生态效益回馈，同时政府作为合作的主导方也能够更好地进行行政管理。

5 总结

自然保护地体系建设是保护生物多样性最为有效的措施之一，而物种多样性是对生物多样性的直观认识，也是衡量区域生物资源的重要标准。本研究创新性地采用空间数据和物种分布模型叠加分析的方法体系，在MaxEnt物种分布模型的基础上得出重庆市全域物种丰富度指数，和自然保护地空间数据叠加分析后，评价重庆市自然保护地体系的有效性。研究发现重庆大巴山区的物种丰富度最高，武陵山、巫山、七曜山等山区的物种丰富度较高，但自然保护地体系仅保护了9.12%物种丰富度大的区域，生物多样性保护的有效性有待提升。保护空缺集中在渝东北大巴山和巫山、渝东南武陵山等山区，

建议扩大上述区域现有的保护区范围、增设自然保护地，同时严守生态红线、加强跨行政区管理、注重城区自然协调、考虑社会经济发展。

本研究在模型预测基础上对自然保护地空缺进行分析，为自然保护地边界范围的调整提供数据支撑与可持续发展的方向、建议。但研究亦存在相对局限性：一是模型预测结果可能与实际物种分布存在偏差，多个物种叠加后会放大误差；二是未考虑城镇开发对物种分布的影响，在研究时未将建设用地排除在外，计算出物种丰富度大的区域可能在城镇建成区内，对评价结果产生干扰；三是MaxEnt分析结果的分辨率精度对运算结果有影响，且绘制的自然保护地空间数据与实际边界范围存在误差。本研究仅供宏观评估参考，明确重庆市自然保护地体系的改进方向，在未来实际规划中还需结合本研究的方法与研究结论，对于自然保护地进行实地考察，根据实际情况作出优化。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 黄润秋. 引领全球生物多样性走向恢复之路[J]. 中国生态文明, 2023(21): 19-21.

- [2] 马克平. 《昆明—蒙特利尔全球生物多样性框架》是重要的全球生物多样性保护议程[J]. 生物多样性, 2023, 31(04): 5-6.
- [3] 本刊编辑部. 加强生态环境监管助力自然保护地体系建设[J]. 环境保护, 2020, 48(18): 4.
- [4] 段晓梅. 城乡绿地系统规划[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2017.
- [5] 何宣, 高正文, 许太琴. 云南自然博物馆·生物多样性[M]. 昆明: 云南大学出版社, 2015.
- [6] 联合国环境规划署. 2020保护地球报告[R/OL]. (2021-05-19)[2024-05-22]. <https://www.unep.org/zh-hans/resources/2020baohudiqubaogao>.
- [7] 重庆发布. 今天, 重庆“宝贝”有话说[EB/OL]. (2023-05-22)[2024-05-24]. <https://mp.weixin.qq.com/s/QxKAzdScByWS7sqvyVyb7w>
- [8] 樊涵, 刘佳梅, 杨朝辉, 等. 贵州省不同类型自然保护地空间分异及其影响因素[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2023, 45(01): 226-238.
- [9] 余文刚, 陈建伟, 邢韶华. 自然保护区体系构建的原则及其应用[J]. 环境保护, 2009(02): 40-42.
- [10] 谢嘉洪, 徐曼, 王薇嵩, 等. 国家公园生态系统服务研究与展望[J]. 生态学杂志, 2023, 42(01): 219-227.
- [11] 焦瑞, 李侃侃, 尹梦垒, 等. 基于CiteSpace的自然保护地生态系统服务国内外研究进展[J]. 园林, 2024, 41(05): 100-110.
- [12] 郭彦龙, 赵泽芳, 乔慧捷, 等. 物种分布模型面临的挑战与发展趋势[J]. 地球科学进展, 2020, 35(12): 1292-1305.
- [13] 孙艳芝, 何紫云, 张同升, 等. 基于保护物种适宜生境的北京自然保护空间识别[J]. 浙江林业科技, 2022, 42(01): 48-55.
- [14] 刘艳霞, 陈慧慧, 孙芳芳, 等. 城市化地区生态保护红线保护成效评估: 以深圳市为例[J]. 环境科学研究, 2023, 36(07): 1329-1339.
- [15] 马孟泉, 张慧, 高吉喜, 等. 生物多样性维护生态保护红线划定方法对比[J]. 生态学报, 2019, 39(19): 6959-6965.
- [16] 洪倩, 李艳元, 胡茹, 等. 湖南省自然保护区空间分布特征及空缺分析[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2023, 45(01): 63-72.
- [17] 黄志强, 陆林, 戴年华, 等. 江西省自然保护区发展布局空缺分析[J]. 生态学报, 2014, 34(11): 3099-3106.
- [18] 李士成, 李少伟, 希娜吉, 等. 西藏自然保护区现状分析及其空间布局评估[J]. 生态学报, 2018, 38(07): 2557-2565.
- [19] 王勇, 余昌元, 杨东, 等. 云南省自然保护区保护空缺分析[J]. 林业调查规划, 2018, 43(04): 55-58.
- [20] 姜芊孜, 刘娜, 赵怡康, 等. 基于生态评价的威海市自然保护地保护空缺识别与优化[J]. 园林, 2023, 40(06): 99-107.
- [21] 晁碧霄, 胡文佳, 陈彬, 等. 基于MaxEnt模型的广东省红树林潜在适生区和保护空缺分析[J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3785-3794.
- [22] 重庆市政府. 重庆市情简介[EB/OL]. (2023-05-22)[2024-05-24]. https://www.cq.gov.cn/zjcq/sqgk/cqsq/202312/t20231205_12651429.html
- [23] 王晓峰, 高俊波, 孔繁荣. 英汉人工智能辞典[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2019.
- [24] 王书越, 潘少安, 王明睿, 等. 基于MaxEnt模型评估刺五加在东北地区的空间分布[J]. 生态学报, 2019, 39(09): 3277-3286.