

引用格式: 杨友宝, 杜诗雨. 山地康养旅游空间适宜性评估——基于随机森林算法的云南实证[J]. 山地学报, 2025, 43(1): 46-58.

YANG Youbao, DU Shiyu. Spatial suitability assessment on health-wellness tourism in mountainous regions: An empirical study in Yunnan Province of China based on random forest algorithm [J]. Mountain Research, 2025, 43(1): 46-58.

# 山地康养旅游空间适宜性评估 ——基于随机森林算法的云南实证

杨友宝, 杜诗雨

(湖南师范大学 旅游学院, 长沙 410081)

**摘要:** 中国山地康养旅游普遍存在空间配置受限、资源利用低效等问题, 科学识别与解析山地康养旅游空间适配格局及其驱动机制, 是实现山地康养旅游高质量发展的基础。既有研究受制于山区可达性差而导致数据采集困难, 同时基于传统统计模型的空间适宜性评估存在结果精度不足与结论可靠性问题。本研究通过整合地理空间数据、网络平台数据与社会经济统计数据等多源信息, 创新性采用随机森林算法(RF)模型, 精准评估云南省山地康养旅游适宜性, 并系统探讨了其影响因素。结果表明: (1) RF模型在十折交叉验证中表现出良好的模型匹配性(平均准确率 84.4%, 召回率 74.0%,  $F_1$ -Score 77.5%, AUC 0.87), 表明该模型对于云南省山地康养旅游适宜性评估结果具有较为准确的解释力。(2) 云南省山地康养旅游形成“高度适宜-适度适宜-边际适宜-不适宜”四级开发格局, 其中前两类占全省国土面积的 85.92%, 主要分布在云岭-哀牢山以西区域; 边际适宜区(2.73%)主要分布在云南省三大水源区; 不适宜区(10.81%)呈“斑块状”镶嵌分布。(3) 云南省山地康养旅游适宜性开发格局的形成是自然本底、大气环境、资源特质和社会经济等多因素综合作用的结果, 特别是归一化植被指数(NDVI)、距水域距离及气候条件等因素, 对山地康养旅游适宜性具有显著影响, 应作为开发规划与决策中的关键考量因素。研究成果不仅为云南省康养旅游空间优化提供量化依据, 更为高原山区“防-治-养”一体化康养模式构建提供理论支撑。

**关键词:** 山地康养旅游; 适宜性; 随机森林算法; 山区经济; 云南

**中图分类号:** F592

**文献标志码:** A

康养旅游作为新型旅游形态已被纳入国家旅游体系的顶层设计<sup>[1]</sup>。这一兼具健康管理与休闲体验的旅游业态, 因其契合“健康中国”战略导向, 已然成为人文地理学与旅游科学交叉领域的研究热点<sup>[2]</sup>。山地生态系统凭借其垂直气候带谱、负氧离子富集环境以及生物多样性等优势, 通过环境暴露、行为干预和心理调节三位一体作用机制, 为现代都市人群提供了特有的森林疗愈、避暑养生、情志陶冶、山地运动等兼具多元功能的新型康养旅游产品体系<sup>[3-5]</sup>。然而, 受制于地形破碎度高、生态承载力

低等因素, 中国山地康养旅游普遍存在空间布局受限、资源利用低效等问题。在此背景下, 系统开展山地康养旅游空间适配性评估及驱动机制解析, 对于优化山地康养旅游开发格局、提升全民健康福祉具有重要战略意义。

国际康养旅游研究可追溯至 1961 年 Halbert Dunn 提出的“wellness”健康生态理论, 该理论构建了环境要素与健康促进的关联框架<sup>[6]</sup>。伴随“后工业时代”健康需求的转变, 20 世纪 90 年代康养旅游逐渐从传统健康旅游中分化出来, 形成以“预防

收稿日期(Received date): 2024-09-18; 改回日期(Accepted date): 2025-01-02

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(42201224); 湖南省教育厅重点项目(22A0047)。[National Natural Science Foundation of China (42201224); Key Project of Hunan Provincial Department of Education(22A0047)]

作者简介(Biography): 杨友宝(1987-), 男, 山东胶州人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 旅游开发与规划管理。[YANG Youbao(1987-), male, born in Jiaozhou, Shandong Province, Ph.D., associate professor, research on tourism development and planning management] E-mail: qdyb1987@126.com

疾病、保持并维持健康”为价值核心的旅游细分领域<sup>[7-8]</sup>。综合来看,国外学界更多关注需求侧的行为心理与生理指标验证<sup>[9-10]</sup>,多基于康养理念和实证医学<sup>[11-12]</sup>,验证自然环境与健康效益的正向关联<sup>[13]</sup>。

国内研究自 21 世纪初期兴起,主要立足供给侧视角<sup>[14]</sup>,研究尺度涵盖经济带<sup>[15]</sup>、城市群<sup>[16]</sup>、市域<sup>[17]</sup>、景区<sup>[18]</sup>等空间单元,研究主题聚焦资源分布特征<sup>[19]</sup>、功能分区识别<sup>[20]</sup>、游客感知机制<sup>[21]</sup>等领域,虽然开展了发展优势区生态旅游<sup>[22-23]</sup>、乡村旅游<sup>[24-25]</sup>等适宜性分析,但在山地康养旅游空间适配性评价等关键问题方面尚未形成系统性研究成果。

现有康养旅游研究方法多采用地理加权回归、地理探测器等传统统计模型,尽管取得显著进展,但仍面临两个技术瓶颈:其一,指标体系构建过程难以规避主观赋权带来的结果偏差;其二,复杂运算过程易产生累积误差,影响结论可靠性。

随机森林算法(Random Forest, RF),作为机器学习领域的经典算法之一,通过非线性拟合构建特征变量与样本类别之间的关联,利用训练好的模型对未知样本进行分类预测<sup>[26]</sup>,可解决共线性干扰与量纲差异问题,其既可规避传统统计方法中指标赋权的主观性缺陷,又能通过袋外误差估计实现模型自验证,显著提升预测结果的稳健性与科学性。

云南省作为中国少有具备“避暑-避寒-避霾”三避功能的康养目的地,其康养旅游空间适配性评估具有典型的示范价值。在地理空间上,云南省 94% 国土面积为山地,森林覆盖率达 65.04%,负氧离子浓度平均值高达 2553 个/cm<sup>3</sup>,全年气候宜人;在民族医药文化上,25 个世居民族孕育独特的“云药养生”体系,具有独特的生物养生资源。然而,云南特殊的地形地貌以及相对落后的社会经济发展水平,致使全省康养旅游资源优势未得到充分彰显,康养旅游产业高质量发展面临较大挑战<sup>[27]</sup>。

本研究以云南省为研究对象,构建“自然本底-大气环境-资源特质-社会经济”四维指标体系,并引入随机森林算法模型解析云南省山地康养旅游适配格局及其影响因素。研究成果不仅为云贵高原山地康养旅游资源优化配置提供决策工具,对于全面推进“健康中国”战略实施和山区经济可持续发展具有重要实践价值。

## 1 研究区概况

云南省地处中国西南边陲(21°8′~29°15′N, 97°31′~106°11′E),北回归线横贯其南部,属低纬度内陆地区。省域地貌类型多样,以高原和山地为主,地势由西北向东南呈阶梯状递减。气候差异显著,西北部高原山区海拔较高,表现为典型的寒温带气候特征,年均温较低,降水稀少;中部、东部地区地势较低,气候相对温和,年均温为 16℃~18℃,降水较为充沛;西部、西南部属低热河谷区,全年气温较高,降水充沛。云南省现辖 8 个地级市、8 个自治州以及 129 个县级行政区,截至 2023 年末,全省常住人口约为 4673 万人,基本形成以文旅康养产业为主,现代物流、数字经济为辅的产业结构特征。2023 年,全省共接待游客 10.4 亿人次,实现旅游总收入 1.4 万亿元。

## 2 概念模型、研究方法 with 指标数据

### 2.1 概念模型

人类与自然持续疏远导致的诸如感觉迟钝、抑郁、愤怒等生理和心理疾病时有发生,严重困扰人类身心健康<sup>[28]</sup>。环境心理学关注环境的某些特质对人类心灵的疗愈功能与康养作用,旨在依托自然本底、大气环境、资源特质、社会经济等更新人类的身心状态。山地康养旅游高质量发展不仅取决于政府支持与经济投入,也依赖于山地自然环境条件与物质文化要素的合理开发利用。其中,自然本底是基本前提,决定山地康养旅游开发程度<sup>[29]</sup>;大气环境是要素关键,既能改善生理健康,亦能缓解精神焦虑<sup>[30]</sup>;资源特质是核心物质条件,制约山地康养旅游产品开发定位与市场规模;社会经济则为山地康养旅游开发提供市场、资金、技术等外部支持。健康经济学理论旨在通过对社会健康资源的最优配置实现人力资本最大化,强调人体健康作为人力资本组成部分的重要性<sup>[31-32]</sup>。山地康养旅游是以提升社会公众的健康资本为目标导向,通过承接利用山地自然环境和推动社会健康资源优化配置,实现山区经济社会良性发展的有机关联系统。该系统体现了山地环境、健康资本和山地经济之间的动态交互关系:一方面,山地环境为康养旅游客群提供活动场

域,康养旅游者健康资本提升将逆向倒逼山地环境设施适时更新和康养旅游产品体系拓展升级,进而转化为山地经济可持续发展的内在动力,山地经济发展的关联效应将反哺升级康养旅游产品供给体系并促进人类健康资本的协同循环提升;另一方面,山地环境作为山地经济社会发展的空间基底,山地经济社会发展也将连锁带动区域生产经营方式、社会经济结构、公共基础设施、技术创新能力等进行升级革新,进而不断重组山地环境空间组织。

综上,本研究以健康经济学和环境心理学的经典理论观点为支撑,构建基于“山地环境-健康资本-山地经济”三大系统闭环传导的概念框架模型(图1)。该模型既关注山地经济社会可持续发展,也兼顾康养旅游客群的健康需求,为山地康养旅游空间适宜性评估提供了充分的理论依据。

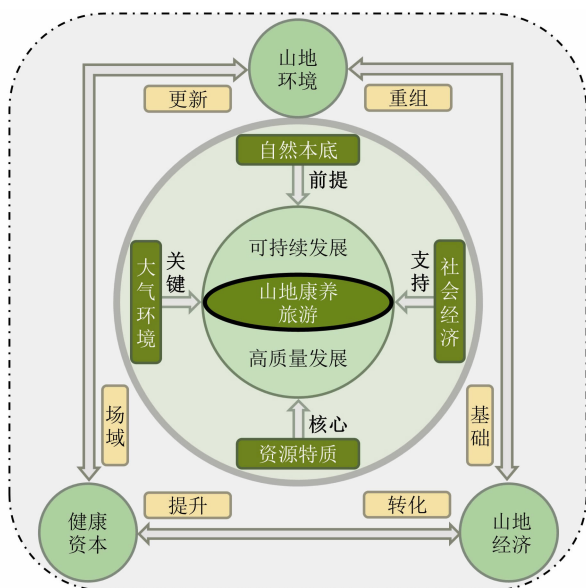


图1 山地康养旅游概念模型

Fig. 1 Conceptual model of the health-wellness tourism in mountainous regions

## 2.2 随机森林算法

随机森林算法基于特征矩阵进行分类预测<sup>[33]</sup>,目前该算法在评估农村居民点适宜性、生态旅游适宜性等方面,均取得了良好的分类精度和预测效果<sup>[34-35]</sup>。本研究进一步将随机森林算法引入山地康养旅游适宜性评价领域,从本质上来看,这正是随机森林算法擅长解决的数据分类问题<sup>[36]</sup>,但随机森林算法在山地康养旅游适宜性评价中的运用,需将评估指标与训练模型建立一种数据关系映射<sup>[35]</sup>。

具体来说,山地康养旅游适宜性评价结果映射为机器学习已知样本的标签或未知数据的预测分类结果,对山地康养旅游适宜性产生影响的特征因子映射为机器学习中的特征变量。随机森林算法模型性能的评价指标如下:

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F_1 = 2 \times \frac{P \times R}{P + R} \quad (4)$$

式中, $Acc$ 为直接衡量模型总体分类性能的指标; $TP$ 为真实正类被预测为正类的样本数量; $TN$ 为真实负类被预测为负类的样本数量; $FP$ 为真实负类被预测为正类的样本数量; $FN$ 为真实正类被预测为负类的样本数量; $P$ 为所有预测为正类的样本中真实正类样本的比例; $R$ 为实际正类样本中被模型正确预测为正类的比例; $F_1$ 为 $P$ 和 $R$ 的平衡。

在随机森林算法的评估指标中,横坐标与ROC曲线(Receiver Operating Characteristic Curve)构成的封闭几何图形面积即为AUC值(Area Under the Curve)。AUC取值为 $[0, 1]$ ,用以反映随机森林算法模型的准确度,该值越接近于1,表示模型准确度越高。

## 2.3 指标因子构建

基于山地康养旅游概念模型,结合系统性、代表性与可获得性原则,构建山地康养旅游适宜性评价指标因子(表1)。具体来看,年均温和年均降水量表征康养旅游地气候特征,是影响康养旅游者感官舒适度的重要因素。高程表征康养旅游地海拔高度,是康养旅游景观格局形成的重要条件。旅游者不同坡向的凝视偏好以及随地形变化产生的凝视差异决定其能否获得良好的审美愉悦感,这依赖于坡度和起伏度产生的知觉体验<sup>[37-38]</sup>。空气质量的影响因素包括PM2.5、二氧化硫、二氧化碳等,由于山地海拔较高而强化了紫外线辐射对旅游者身体的潜在伤害,因而山地康养旅游应特别考虑臭氧对太阳紫外线辐射的有效吸收能力。归一化植被指数反映地表植被覆盖程度,为康养旅游活动开展提供绿色空间载体<sup>[39]</sup>。A级景点密度反映康养旅游地可依托景区的开发成熟水平<sup>[16]</sup>。各土地利用类型对康

表1 山地康养旅游适宜性评价指标因子构建  
Tab.1 Construction of indicators for suitability assessment on the health-wellness tourism in mountainous regions

指标维度	特征因子	因子说明	数据来源	参考文献
自然本底	高程	反映康养旅游地海拔高度	地理空间数据云 ( <a href="https://www.gscloud.cn/">https://www.gscloud.cn/</a> )	[30,37-38]
	坡度	反映康养旅游地地表陡峭程度		
	起伏度	反映康养旅游地地貌起伏状况		
	年均温	反映康养旅游地气温舒适度	国家气象信息中心-中国气象数据网 ( <a href="https://data.cma.cn/">https://data.cma.cn/</a> )	[29]
	年均降水量	反映康养旅游地干湿状况		
大气环境	PM2.5	反映康养旅游地空气悬浮颗粒物含量状况	国家青藏高原科学数据中心 ( <a href="https://data.tpdc.ac.cn/">https://data.tpdc.ac.cn/</a> )	[37]
	臭氧	反映康养旅游地紫外线辐射强度		
	二氧化碳	反映康养旅游地生态平衡状况		
	二氧化硫	反映康养旅游地大气污染程度		
资源特质	归一化植被指数(NDVI)	反映康养旅游地植被覆盖程度	地理空间数据云 ( <a href="https://www.gscloud.cn/">https://www.gscloud.cn/</a> )	[39]
	A级景点密度	反映康养旅游地可依托景区开发成熟水平	百度地图API数据开放接口	[16]
	水网密度	反映康养旅游地水资源丰沛程度	全国地理信息资源目录服务系统 ( <a href="https://www.webmap.cn/">https://www.webmap.cn/</a> )	[41]
	距水域距离	反映康养旅游地水资源可利用程度		
	土地利用类型	反映土地利用多样化对康养旅游活动的支持力度	30 m全球地表覆盖数据 ( <a href="https://www.globallandcover.com/">https://www.globallandcover.com/</a> )	[40]
社会经济	人口空间分布	反映康养旅游市场规模与潜力	WORLDPOP全球高分辨率人口计划项目数据集( <a href="https://www.worldpop.org/">https://www.worldpop.org/</a> )	[42-43]
	人均GDP	反映康养旅游市场消费购买力	《云南省统计年鉴》	[17,19,37]
	人口老龄化率	反映康养旅游老年市场人群的需求强度		
	距道路距离	反映康养旅游地交通可进入性	OSM( <a href="https://www.openstreetmap.org/">https://www.openstreetmap.org/</a> )	[42-43]

养旅游活动的支持力度不同,给旅游者带来不同的五感体验<sup>[40]</sup>。山地提供世界50%以上人口所需的淡水资源<sup>[41]</sup>,山地康养旅游应重点考虑对水资源的利用,本研究用水网密度和距水域距离予以表征。人口分布影响康养旅游市场的规模和潜力<sup>[42]</sup>,人均GDP则反映区域经济发展水平和居民购买力,决定居民能否承担高水平的康养旅游消费支出。在老龄化背景下,老龄化率反映了康养旅游老年市场人群的需求强度<sup>[30]</sup>。交通可进入性是掣肘山地康养旅游开发的重要因素<sup>[43]</sup>,应重点考虑康养旅游地距道路的距离。另外,上述所有指标因子的基础数据均采集于2020年。

2.4 数据处理流程

本研究基于随机森林算法对云南省山地康养旅游适宜性格局开展评价分析,数据处理和建模流程如下(图2)。首先,选取山地康养旅游适宜性评价

特征因子,进行投影操作并利用研究区矢量边界进行掩膜处理,通过重采样将特征因子统一为100 m×100 m的栅格数据,并构建特征矩阵。其次,提取山地康养旅游景点POI(Point of Interest)正类样本以及相同数量的负类样本特征值,并从样本中随机提取70%作为训练集,剩余30%作为测试集。再次,综合运用随机参数方法优化模型参数,通过十折交叉验证分析模型各项分类评估指标。最后,将特征矩阵导入训练好的随机森林算法模型进行分类预测,得到每个网格适宜性概率及特征重要性排序。

3 实证结果分析

3.1 模型评估

本研究采用随机超参数搜索调优方法对随机森林模型进行优化,具体参数如表2所示。为确保模

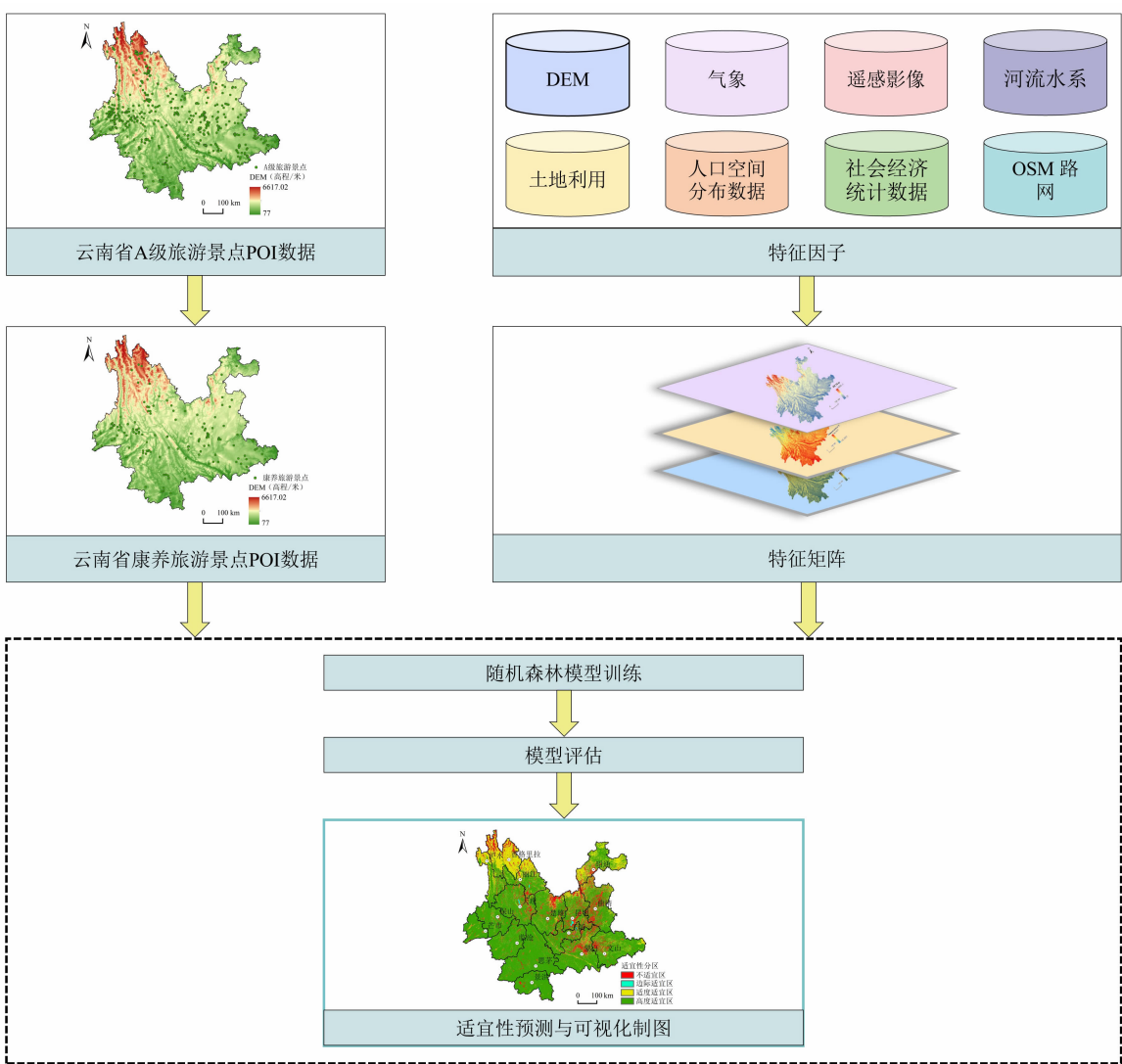


图 2 山地康养旅游适宜性评价技术路线

Fig. 2 Technical roadmap for suitability assessment on the health-wellness tourism in mountainous regions

表 2 随机森林模型超参数组合

Tab. 2 Hyperparameter combination of the random forest model

参数名称	参数值
最大深度	71
最大特征数	61
节点分裂最小样本数	8
决策树个数	221

型具有良好的泛化能力和稳定性,采用十折交叉方法进行模型验证,模型总体分类准确率达 84.4%,召回率为 74%, $F_1$  值为 77.5%,表明模型兼顾了精确度与召回率,二者达到了较好的平衡。为综合权衡模型在捕捉正类样本时对负类样本的误伤变化情

况,本研究采用 ROC 曲线及 AUC 面积对其进行量化评价(图 3),结果显示 AUC 面积达到 0.87。因此,该模型总体分类性能表现较佳,其对云南省山地康养旅游的适宜性评价结果较为可靠。

为进一步验证随机森林算法对于山地康养旅游适宜性评价的精确度,以 2020 年中国林业产业联合会发布的 22 处云南省森林康养基地试点建设单位和《云南省“十四五”文化和旅游发展规划》<sup>[44]</sup>中拟建设的 20 处温泉康养旅游示范区为样本,验证样本所在地康养旅游开发适宜性等级,结果显示大部分森林康养试点建设单位和温泉康养旅游示范区处于适宜性等级相对较高的高度适宜区和适度适宜区,说明随机森林算法对云南省山地康养旅游适宜性评价结果与现实状况较为吻合,该算法模型在康养旅



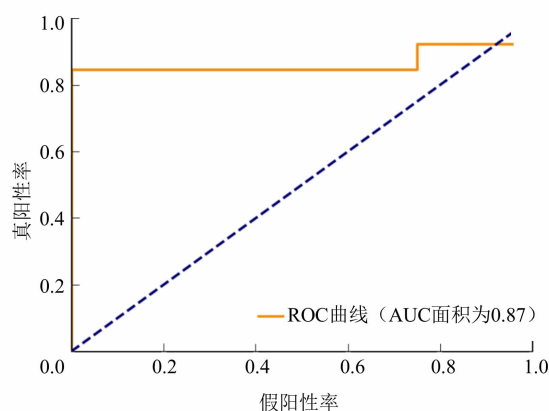


图3 随机森林模型 ROC 曲线与 AUC 面积

Fig. 3 ROC curve and AUC area of the random forest model

游适宜性评价领域具有良好的匹配性。

### 3.2 适宜性分布格局

借助训练好的随机森林模型对云南省山地康养旅游特征因子进行预测,得到各网格预测概率值,并运用 ArcGIS 软件平台对预测结果进行地图可视化分析(图4)。云南省山地康养旅游适宜性开发格局具有显著的空间异质性,并形成“高度适宜-适度适宜-边际适宜-不适宜”四级开发格局。

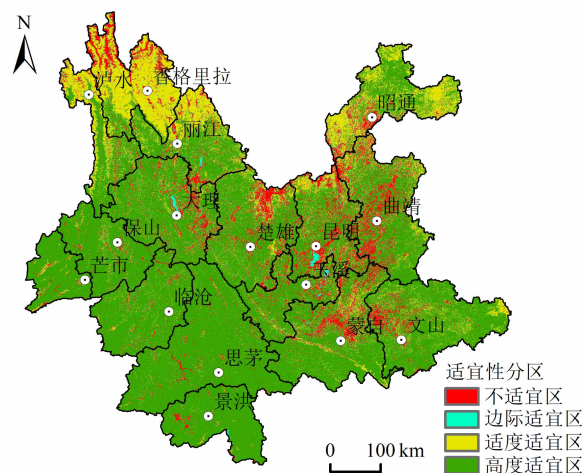


图4 云南省山地康养旅游空间适宜性格局

Fig. 4 Spatial suitability pattern of the health-wellness tourism in mountainous regions of Yunnan Province, China

#### 3.2.1 高度适宜区

高度适宜区山地康养旅游适宜性概率为0.88 ~ 0.99,总面积约为 283 705.60 km<sup>2</sup>,占云南省国土面积的 70.15%。从空间特征上来看,高度适宜区分布较为广泛,主要位于云南省西部、西南部和东部地

区,云岭—哀牢山以西地区呈集中连片分布的格局特征。这些区域海拔多低于 2000 m,良好的气候环境孕育了丰富的康养旅游资源,是康养旅游消费人群的首选之地,且低浓度的 PM2.5 和 80% 以上的森林覆盖率有利于促进旅游者的呼吸调节和缓解生活工作压力,在吸引中远程康养旅游客源市场方面具有较强竞争力。具体地,西部地区主要分布于德宏州、保山市和临沧市,这些地区拥有独特的自然景观和多元的民族文化,应依托深厚的文化底蕴、丰富的温泉资源、宜居的生态环境等综合地域优势,将腾冲、瑞丽、芒市等打造为西部山地康养旅游目的地和跨境康养旅游合作的重要空间支点;西南部地区主要分布于普洱市和西双版纳州,这些区域应借助普洱茶文化、澜沧江自然风光、热带生态景观系统、傣族民族风情等资源优势,打造集茶文化鉴赏、山水观光、避寒疗养、民俗体验等一体的山地康养旅游“大产业链”培育示范基地;东部地区主要分布于昆明市、文山州及昭通市北部,这些区域应着力贯彻“产城一体化、文旅一体化、城乡一体化”等发展理念,以昆明市为空间极核,打造滇池流域生态康养旅游目的地,进而辐射带动滇中城市群康养旅游产业协同发展,同时应凸显城市群外围的文山州、昭通市作为“世外桃源”胜地和远离大都市喧嚣环境的康养疗愈优势。

综合来看,山地康养旅游高度适宜区优化开发是云南省打造国际康养旅游目的地的关键,该类型区域开发应强化资源高效利用,充分释放“好山、好水、好风光”康养旅游资源潜力,重点打造大滇西康养旅游环线、澜沧江康养旅游示范带、康养旅游文化体验走廊等游线组织,提升民族医药和医疗康养旅游品牌影响力,聚力建设康养旅游产品多元、辐射市场广阔、产业链条完善的国际康养旅游体验胜地。

#### 3.2.2 适度适宜区

适度适宜区山地康养旅游适宜性概率为 0.67 ~ 0.88,总面积约为 63 784.17 km<sup>2</sup>,占云南省国土面积的 15.77%。从空间特征上来看,适度适宜区主要在省域西北和东北方向呈集群状分布。其中,西北地区主要分布于迪庆州、丽江市北部以及怒江州北部的“三江并流”区域,东北地区则主要集中于昭通市西南部。该类型区域拥有世界自然遗产“三江并流”、世界文化遗产丽江古城以及梅里雪山、怒江大峡谷、泸沽湖等自然山水景观,生物多样

性、景观多样性、民族多样性、文化多样性等特征突出。此外,适度适宜区依托降雨充沛、冬暖夏凉等气候优势以及充盈负氧离子的大气环境和便捷可用的水体资源,能够满足社会公众日益旺盛的康养旅游需求,推动各类康养旅游资源要素有机融合,进而为康养旅游业态发展不断注入新动能。

综合来看,适度适宜区可依托优质的自然环境、宜人的气候条件和多彩的民族文 化,打造差异化、特色化的康养旅游产品体系,然而,受制于山区交通可达性差、社会经济发展迟滞等因素,康养旅游资源闲置问题较为突出,区域山地康养旅游高质量发展面临较大瓶颈。为此,该类型区域应充分发挥自然景观优势,推动优秀文化基因传承创新,加快推动康养旅游资源活化利用,通过融入“生态、绿色、低碳”理念,积极探索林间小屋、湖畔度假、文化演艺等复合型康养旅游新业态,不断完善区域交通设施和提升社会经济活力,破解康养旅游资源闲置的现状困境,重塑康养旅游开发新格局。

### 3.2.3 边际适宜区

边际适宜区山地康养旅游适宜性概率为 0.40~0.67,总面积约为 11 060.15 km<sup>2</sup>,占云南省国土面积的 2.73%。边际适宜区主要分布于大理州洱海区域、昆明市滇池区域以及玉溪市抚仙湖区域,这些区域多位于水源地,因长期以来旅游开发过度商业化,致使旅游地处于持续高负荷运转状态,空气质量下降、水源污染严重、环境承载力超载等问题突出,并成为制约康养旅游可持续发展的重要因素。同时,昆明市、玉溪市、大理州人口分布密集、交通条件便利、基础设施完善,康养旅游市场潜力巨大,但存在旅游开发与环境保护“脱钩”的潜在风险,进而对区域康养旅游品牌形象产生较大威胁,边际适宜区环境治理成为区域康养旅游开发亟须关注的重点问题。

为此,针对环境脆弱的山地康养旅游边际适宜区,应坚持绿色可持续发展理念,重点聚力解决水污染、空气污染等环境问题,实施生态保护修复工程,改变过度商业化旅游开发现状,依托苍山—洱海秀美的生态环境、滇池流域厚重的历史文化、抚仙湖浓厚的艺术气息等资源禀赋,完善延伸以生态休闲、文化体验为主导的康养旅游产业链,推出生态养心、文化润心等高端康养旅游产品,满足社会公众高品质的康养旅游需求。

### 3.2.4 不适宜区

不适宜区域山地康养旅游适宜性概率为 0.06~0.40,总面积约 45 858.22 km<sup>2</sup>,占云南省国土面积的 10.81%。不适宜区域呈“斑块状”与其他类型区域交错镶嵌分布,昆明、曲靖、玉溪、迪庆、昭通、大理、楚雄等是重点分布区域。具体地,昆明南部、曲靖西南部以及玉溪北部,尽管具有较好的社会经济基础,但土地利用类型以基本农田为主,低海拔限制了山地康养旅游项目开发与产品创新,山地康养旅游活动开展明显受限。迪庆州北部和昭通市东南部,由于海拔超过 3000 m,气温低、降水少、地形陡峻等地理特征突出,区域山地康养旅游竞争力稍显逊色,特别是昭通市东南部,由于康养旅游开发起步较晚,尚未形成成熟的康养旅游景区,整体服务功能欠佳。大理州东部和楚雄州北部地区,由于水网密度低,水资源短缺,气候环境不利,且交通基础设施、社会经济条件、公共服务水平等所构成的康养旅游产业协作力偏弱,对山地康养旅游开发的支撑能力不足,亦属于不适宜开发区域。

## 3.3 影响因素分析

通过对随机森林模型返回的特征因子重要性进行排序,图 5 显示,NDVI 对云南省山地康养旅游的贡献率达到 16.99%,可能原因在于 NDVI 不仅能通过发挥资源供给、气候调节、水土保持等功能而提升区域环境承载力,同时也是康养旅游活动开展的重要载体。压力缓解理论强调,绿色植被在生理层面对人体的积极影响能够外显为情绪上的放松和平静。云南省山地康养旅游高度适宜区依托较高的植被覆盖率,营造了愉悦身心的森林养生环境,为省域康养旅游业态发展奠定了重要基础。距水域距离的贡献度达到 16.43%,温泉疗养作为云南省开发山地康养旅游的重要产品支撑,距水域距离主要表现为距温泉的距离,以保山市腾冲火山地热温泉为例,距地热温泉距离越近,预示着对温泉康养资源的可利用程度越高,因而成为山地康养旅游活动开展的重要载体条件。气候条件对云南省山地康养旅游开发的影响力亦较为显著,其中,年平均降水贡献度达到 9.19%,年平均气温贡献度达到 8.64%,温暖湿润的气候是康养旅游开发的必要条件,其不仅孕育了众多富有疗愈功效的自然景观,同时其带来的舒适体感也有助于旅游者放松身心和实现康养旅游需求。云南省气候条件得天独厚,年平均气温约

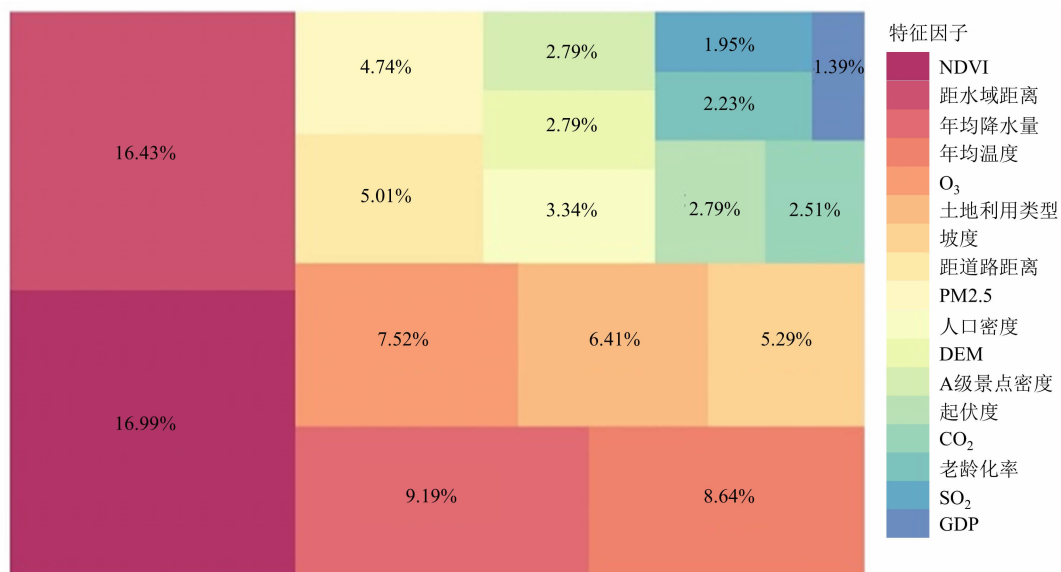


图5 特征因子重要性排序结果

Fig. 5 Results of feature importance ranking

22℃,年平均降雨量约150mm,依托优越的气候条件使其成为国内稀有的具备“避暑-避寒-避霾”三避功能的旅游胜地,由此成为塑造山地康养旅游品牌的重要因子。

其他方面,如臭氧浓度、土地利用类型、坡度和距道路距离对云南省山地康养旅游开发的贡献度均超过5%,其中,云南省地处高原地带,紫外线辐射强,臭氧浓度可助于缓释高原太阳辐射对旅游消费人群身心健康的潜在影响;云南省土地利用类型多样,耕地、湿地、森林等相间分布,不同土地利用类型对区域康养旅游开发支持力与承载力产生显著差异;云南省作为高海拔山区,地势陡峭,坡度因素对省域康养旅游服务设施建设产生明显制约,且距道路远近直接影响康养旅游目的地交通可达性和游客出行动机。相比之下,人均GDP、老龄化率和二氧化硫浓度等因素影响程度较低,对云南省山地康养旅游适宜性开发的阻滞效应不强,具体来看:人均GDP影响较小的可能原因在于随着云南省城市化进程加快以及国家“脱贫攻坚战”全面胜利,居民贫富差距逐步缩小,高收入与低收入人群对健康的追求趋于一致,康养旅游开发面临较好的市场前景。老龄化率影响程度较小的可能原因在于随着日常生活节奏加快和工作压力提升,年轻人也开始逐步加入“养生、保健、疗养”行列,使得老年市场人群对康养旅游开发的贡献集中度呈相对下降态势。二氧化

硫浓度方面,随着我国进入“生态文明”和“美丽中国”战略纵深期,并持续深入推进“蓝天、碧水、净土”保卫战,国内大、中、小城市空气质量呈持续向好态势,二氧化硫浓度对康养旅游开发的阻滞作用逐步弱化,贡献度不够显著。

## 4 讨论与建议

### 4.1 讨论

本研究通过融合地理空间数据、网络平台数据与社会经济统计数据等多源信息,引入随机森林算法(RF)模型识别评估云南省山地康养旅游空间适宜性格局,并深入探究其影响因素,体现了“健康中国”和“高质量发展”背景下对康养旅游新业态和山区经济社会发展的高度关切。本研究通过借鉴环境心理学和健康经济学的经典理论观点,构建了基于“山地环境-健康资本-山地经济”三大系统闭环传导的概念框架模型,并从“自然本底-大气环境-资源特质-社会经济”四个维度构建了山地康养旅游适宜性评价指标体系,这既体现了山地康养旅游开发的“人文-自然”地理特性,也厘清了环境心理学与健康经济学经典理论对山地康养旅游研究的支撑关系,丰富了本研究的基本学理依据。

随机森林算法作为机器学习领域的常用方法之一,其与传统方法均是基于评价体系进行指标赋值,



二者在研究思路上具有相似性。然而,随机森林算法模型不要求具有完备的指标体系,避免了数据量纲不一致、特征因子共线性和权重设置主观性等问题,且在建模过程中无须进行大量的数据运算与处理工作,增加了预测结果的客观性和可靠性,已有研究表明该算法在适宜性评价领域具有丰硕的成果支撑和普适性推广价值<sup>[34-35]</sup>。因而,本研究引入随机森林算法模型对云南省山地康养旅游空间适宜性展开评价,结果显示模型评估精度较高,并得到“云南省山地康养旅游形成‘高度适宜-适度适宜-边际适宜-不适宜’四级开发格局”这一研究结论,这与已有成果关于山地康养旅游研究的主流观点相一致<sup>[27]</sup>,由此表明运用随机森林算法对云南省山地康养旅游开发适宜性进行分析评价具有良好的方法可行性。

同时,本研究尚存在相关缺陷和不足,有待后续研究持续深化,具体如下:

(1)山地康养旅游目的地作为一个复杂典型的地域空间单元,对于其开发适宜性的科学评价是一项涉及多元要素的系统工程,但囿于数据获取难度,本研究仅基于“自然本底、大气环境、资源特质、社会经济”四个维度对云南省山地康养旅游适宜性展开分析,未来将进一步深化指标因子遴选,力求构建更为完善的指标体系对山地康养旅游适宜性进行评价分析。

(2)本研究主要从时间静态角度对云南省山地康养旅游适宜性开展评价,但旅游活动作为一项与区域社会、经济、文化等背景环境协同演进的动态现象,基于对地理空间数据、网络平台数据、社会经济数据等多源数据的长时间考察追踪,开展对山地康养旅游适宜性的动态评价是未来应重点考虑的探索方向。

(3)由于随机森林算法并非基于严密的经济理论推导,意味着可解释性“黑箱”是该算法应用于山地康养旅游适宜性评价的较大障碍,未来将持续探寻提升算法“可解释性”的相关途径,尝试推进机器学习算法与传统评价范式的深度结合,以优化提升山地康养旅游适宜性评价的科学性与精准性。

#### 4.2 建议

山地康养旅游作为“健康中国”和“高质量发展”背景下的新型旅游业态,未来应以“资源保护性开发”为理念,以“人-山关系协调优化”为导向,以提升国民“经济-社会-生态”福祉为目标,在满足社

会公众身心健康需求的同时,寻求实现山地“绿水青山”向“金山银山”的价值转化,推动山地经济绿色可持续发展。为此,本研究重点从资源合理利用、人-山关系优化和民生福祉共享三方面提出山地康养旅游高质量发展的对策建议:

(1)通过合理开发利用山地康养旅游资源,实现山地康养旅游产业发展与山地环境保护的目标协同。一方面,要推动山地康养旅游与关联产业深度融合发展,构建完善“大健康”产业链,通过创新升级康养旅游发展模式,引导山地康养旅游产业向“循环化、绿色化、低碳化”方向发展。另一方面,要科学评估山地康养旅游开发的资源环境承载力,合理规划山地康养旅游功能分区,加强对山地康养旅游客流的监测管控,在不破坏山地环境的前提下,实现对康养旅游资源的永续利用。

(2)通过优化“人-山关系”提升山地康养旅游开发的主客幸福感。原著居民对山地有着深刻的情感依恋,山地康养旅游开发应以保障当地居民基本生存权与发展权为前提,在充分尊重其原有生产生活方式、民俗文化背景的基础上,打造山地康养旅游特色品牌和驱动山区经济发展,不断提升山地康养旅游开发所带来的居民幸福感。从游客层面来看,应在满足游客基本康养旅游需求和追求身心健康的基础上,注重唤醒其对山地环境的保护意识和提升游客环境责任,达到游客幸福感提升和“人-山关系”优化的双赢。

(3)构建面向“政府-企业-居民”不同利益主体的价值共创机制,实现山地康养旅游开发的民生福祉共享。政府应做好顶层设计和宏观调控,发挥山地康养旅游开发的“战略引导”作用,践行“以人为本”旅游发展观。企业要扮演好“资源统筹”和“服务创新”角色,发挥山地康养旅游开发的“市场纽带”作用,以高品质供给响应社会公众健康消费新需求。居民作为山地康养旅游开发的“受益者”和“监督者”,要通过增强居民参与山地康养旅游开发的内生动力,丰富拓展居民生计来源,将山地康养旅游产业培育为提振民生经济的新增长点。

## 5 结论

康养旅游适宜性评价是评估康养旅游开发潜力和制定发展战略的重要依据,本研究通过引入随机

森林算法模型,融合地理空间数据、网络平台数据、社会经济统计数据等多源信息,对云南省山地康养旅游适宜性进行评价并探析影响因素,结论如下。

(1)通过十折交叉验证,随机森林模型具有优异的性能表现,平均准确率达到 84.4%,召回率为 74.0%, $F_1$  为 77.5%,AUC 面积为 0.87,充分验证了模型的整体分类能力,该模型对云南省山地康养旅游开发适宜性评估结果具有较为准确的解释力。

(2)根据模型评估结果,云南省山地康养旅游空间适宜性形成“高度适宜-适度适宜-边际适宜-不适宜”四级开发格局,分别占云南省国土总面积的 70.15%、15.77%、2.73% 和 10.81%。其中,高度适宜区和适度适宜区主要分布在云岭-哀牢山以西区域;边际适宜区分布面积最小,主要分布在云南省三大水源区;不适宜区呈“斑块状”镶嵌分布形态,滇西北与滇东北为重点分布区域。

(3)特征因子的重要性排序显示,云南省山地康养旅游适宜性格局的形成是自然本底、大气环境、资源特质和社会经济等因素综合作用的结果。其中,NDVI、距水域距离和气候条件是影响云南省山地康养旅游适宜性的关键因素,因子贡献程度达 51.25%,臭氧浓度、土地利用类型、坡度和距道路距离是阻碍云南省康养旅游开发的重要因素,人均 GDP、老龄化率和二氧化硫浓度对云南省山地康养旅游开发适宜性的影响程度则不够显著。

## 参考文献 (References)

- [1] 任宣羽. 康养旅游: 内涵解析与发展路径[J]. 旅游学刊, 2016, **31** (11): 1 - 4. [REN Xuanyu. Health tourism: Connotation analysis and development path [J]. Tourism Tribune, 2016, **31** (11): 1 - 4] DOI: 10.3969/j.issn.1002-5006.2016.11.001
- [2] MUELLER H, KAUFMANN E L. Wellness tourism: Market analysis of a special health tourism segment and implications for the hotel industry [J]. Journal of Vacation Marketing, 2001, **7** (1): 5 - 17. DOI: 10.1177/135676670100700101
- [3] SKELDON R. Population pressure, mobility, and socio-economic change in mountainous environments: Regions of refuge in comparative perspective [J]. Mountain Research and Development, 1985, **5** (3): 233 - 250. DOI: 10.2307/3673356
- [4] 史鹏飞, 明庆忠, 韩剑磊, 等. 慢山: 山地旅游发展的适宜模式研究[J]. 山地学报, 2020, **38** (4): 608 - 618. [SHI Pengfei, MING Qingzhong, HAN Jianlei, et al. Slow mountain: A suitable model of mountain tourism development [J]. Mountain Research, 2020, **38** (4): 608 - 618] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000538
- [5] RITPANITCHAJCHAVAL N, ASHTON A S, APOLLO M. Eudaimonic well-being development: Motives driving mountain-based adventure tourism [J]. Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 2023, **42**: 100607. DOI: 10.1016/j.jort.2023.100607
- [6] DUNN L H. High-level wellness for man and society [J]. American Journal of Public Health, 1959, **49** (6): 786 - 792.
- [7] LIM Y J, KIM H K, LEE T J. Visitor motivational factors and level of satisfaction in wellness tourism: Comparison between first-time visitors and repeat visitors [J]. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 2016, **21** (2): 137 - 156. DOI: 10.1080/10941665.2015.1029952
- [8] SMITH M. Baltic health tourism: Uniqueness and commonalities [J]. Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism, 2015, **15** (4): 357 - 379. DOI: 10.1080/15022250.2015.1024819
- [9] MANNA R, CAVALLONE M, CIASULLO M V, et al. Beyond the rhetoric of health tourism: Shedding light on the reality of health tourism in Italy [J]. Current Issues in Tourism, 2020, **23** (14): 1805 - 1819. DOI: 10.1080/13683500.2019.1650726
- [10] MAJEED S, LU C B, MAJEED M, et al. Health resorts and multi-textured perceptions of international health tourists [J]. Sustainability, 2018, **10** (4): 1 - 26. DOI: 10.3390/su10041063
- [11] DRYGLAS D, SALAMAGA M. Applying destination attribute segmentation to health tourists: A case study of Polish spa resorts [J]. Journal of Travel & Tourism Marketing, 2017, **34** (4): 503 - 514. DOI: 10.1080/10548408.2016.1193102
- [12] KAZAKOV S, OYNER O. Wellness tourism: A perspective article [J]. Tourism Review, 2020, **76** (1): 58 - 63. DOI: 10.1108/TR-05-2019-0154
- [13] HAN H, HWANG J. Multi-dimensions of the perceived benefits in a medical hotel and their roles in international travelers' decision-making process [J]. International Journal of Hospitality Management, 2013, **35** (6): 100 - 108. DOI: 10.1016/j.ijhm.2013.05.011
- [14] 王兆峰, 史伟杰, 苏昌贵. 中国康养旅游地空间分布格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2020, **40** (11): 196 - 207. [WANG Zhaofeng, SHI Weijie, SU Changgui. Spatial pattern of health tourism destination in China and its influence factors [J]. Economic Geography, 2020, **40** (11): 196 - 207] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2020.11.022
- [15] 李凌雁, 杨婉婷, 梁杰. 长江经济带康养旅游吸引力时空演变及因子解释力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2024, **33** (4): 758 - 772. [LI Lingyan, YANG Wanting, LIANG Jie. Analysis on spatio-temporal evolution and factor explanatory ability of attractiveness of health tourism in the Yangtze River Economic Belt based on theory of therapeutic landscape [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, **33** (4): 758 - 772]

- DOI: 10.11870/cjlyzyyhj202404007
- [16] 唐健雄, 陈宁, 马梦瑶, 等. 长株潭城市群康养旅游地空间结构及其差异[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2018, **47**(3): 115–124. [TANG Jianxiong, CHEN Ning, MA Mengyao, et al. The spatial structure and disparities of healthy tourism destinations in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan [J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2018, **47**(3): 115–124] DOI: 10.15983/j.cnki.jsnu.2019.03.433
- [17] 谢文彩, 李星明, 向兴, 等. 武汉市康养旅游地空间布局及其优化研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2018, **52**(1): 147–154. [XIE Wencai, LI Xingming, XIANG Xing, et al. The spatial layout and optimization study of health and wellness tourism destinations in Wuhan [J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2018, **52**(1): 147–154] DOI: 10.19603/j.cnki.1000–1190.2018.01.023
- [18] 张彩红, 薛伟, 辛颖. 玉舍国家森林公园康养旅游可持续发展因素分析[J]. 浙江农林大学学报, 2020, **37**(4): 769–777. [ZHANG Caihong, XUE Wei, XIN Ying. On sustainable development of health and wellness tourism in Yushe National Forest Park based on SWOT-AHP model [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2020, **37**(4): 769–777] DOI: 10.11833/j.issn.2095–0756.20190463
- [19] 赵鹏宇, 刘芳, 崔婧. 山西省康养旅游资源空间分布特征及影响因素[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2020, **56**(4): 112–119. [ZHAO Pengyu, LIU Fang, CUI Qiang. Spatial distribution characteristics of health and wellness tourism resources in Shanxi Province [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2020, **56**(4): 112–119] DOI: 10.16783/j.cnki.nwnuz.2020.04.017
- [20] 黄力远, 徐红罡. 巴马养生旅游: 基于康复性景观理论视角[J]. 思想战线, 2018, **44**(4): 146–155. [HUANG Liyuan, XU Honggang. Wellness tourism in Bama from the perspective of therapeutic landscape [J]. The Ideological Front, 2018, **44**(4): 146–155]
- [21] 程云, 殷杰. 新冠肺炎疫情是否激发了康养旅游意愿?——一个条件过程模型的检验[J]. 旅游学刊, 2022, **37**(7): 119–132. [CHENG Yun, YIN Jie. Has COVID-19 increased the intention to undertake health tourism? Examination using a conditional process model [J]. Tourism Tribune, 2022, **37**(7): 119–132] DOI: 10.19765/j.cnki.1002–5006.2021.00.020
- [22] 胡佳媛, 刘灵豫, 代勤龙, 等. 基于 AHP-GIS 的生态旅游适宜性评价——以大熊猫国家公园小相岭片区及周边社区为例[J]. 应用生态学报, 2024, **35**(3): 780–788. [HU Jiayuan, LIU Lingyu, DAI Qinlong, et al. Evaluation of ecotourism suitability based on AHP-GIS: Taking Xiaoxiangling area of the Giant Panda National Park and surrounding communities as an example [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2024, **35**(3): 780–788] DOI: 10.13287/j.1001–9332.202403.020
- [23] 管芸, 唐仲霞, 陈正逸. 祁连山国家公园青海片区生态旅游开发适宜性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2023, **37**(12): 151–161. [GUAN Yun, TANG Zhongxia, CHEN Zhengyi. Evaluation on the suitability of ecotourism development in Qilian Mountain National Park (Qinghai area) [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2023, **37**(12): 151–161] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2023.289
- [24] 康丽婷, 罗紫薇, 胡希军, 等. 基于 GIS 的漳州市松岭村乡村旅游适宜性评价及 GAP 分析[J]. 生态科学, 2024, **43**(2): 123–131. [KANG Liting, LUO Ziwei, HU Xijun, et al. Evaluation of tourism suitability and GAP analysis for rural based on GIS: A case study in Songling Village, Zhangzhou City [J]. Ecological Science, 2024, **43**(2): 123–131] DOI: 10.14108/j.cnki.1008–8873.2024.02.014
- [25] 薛芮, 阎景娟. 景观管理嵌入乡村旅游人地关系研究的应用框架建构[J]. 地理科学进展, 2022, **41**(3): 510–520. [XUE Rui, YAN Jingjuan. A framework for incorporating landscape management into the human-environment relationship research of rural tourism [J]. Progress in Geography, 2022, **41**(3): 510–520] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.03.013
- [26] BREIMAN L. Random forests [J]. Machine Learning, 2001, **45**: 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324
- [27] 田瑾, 明庆忠, 刘安乐. 基于时间地理学的旅游可达性测评模型及在山地旅游景区应用研究[J]. 人文地理, 2023, **38**(2): 181–191. [TIAN Jin, MING Qingzhong, LIU Anle. Research of tourism accessibility evaluation model and its application in Yunnan mountain tourist attractions based on time geography [J]. Human Geography, 2023, **38**(2): 181–191] DOI: 10.13959/j.issn.1003–2398.2023.02.021
- [28] 理查德·洛夫. 林间最后的小孩: 拯救自然缺失症儿童[J]. 中国发展观察, 2014(9): 14–15. [RICHARD L. The last child in the woods: Saving nature-deficient children [J]. China Development Observation, 2014(9): 14–15]
- [29] 陆保一, 张恩伟, 明庆忠, 等. 云南省 A 级旅游景区空间演化特征及其驱动机制[J]. 山地学报, 2019, **37**(6): 879–890. [LU Baoyi, ZHANG Enwei, MING Qingzhong, et al. Spatial evolution characteristics and driving mechanism of A-class tourist attractions in Yunnan Province, China [J]. Mountain Research, 2019, **37**(6): 879–890] DOI: 10.16089/j.cnki.1008–2786.000478
- [30] 徐虹, 于海波. 大健康时代旅游康养福祉与旅游康养产业创新[J]. 旅游学刊, 2022, **37**(3): 10–12. [XU Hong, YU Haibo. Tourism well-being and tourism well-being industry innovation in the era of great health [J]. Tourism Tribune, 2022, **37**(3): 10–12] DOI: 10.19765/j.cnki.1002–5006.2022.03.005
- [31] 王金岩, 孙世德, 许美洁, 等. 健康经济学视角下健康城市空间组织框架及推进策略[J]. 区域经济评论, 2023(5): 79–86. [WANG Jinyan, SUN Shide, XU Meijie, et al. Healthy city spatial organization framework and its promotion strategy from the

- perspective of health economics [J]. *Regional Economic Review*, 2023(5): 79–86] DOI: 10.14017/j.cnki.2095–5766.2023.0072
- [32] 毛振华, 王健, 毛宗福, 等. 加快发展中国特色的健康经济学[J]. *管理世界*, 2020, **36**(2): 17–26. [MAO Zhenhua, WANG Jian, MAO Zongfu, et al. Accelerate the development of health economics with Chinese characteristics [J]. *Journal of Management World*, 2020, **36**(2): 17–26] DOI: 10.19744/j.cnki.11–1235/f.2020.0018
- [33] 施光耀, 杨思琪, 张劲松, 等. 基于机器学习算法的高海拔地区臭氧影响因素重要性分析[J]. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2024, **45**(2): 196–202. [SHI Guangyao, YANG Siqi, ZHANG Jingsong, et al. Importance analysis of ozone influencing factors in high-altitude regions based on machine learning algorithms [J]. *Journal of Ningxia University (Natural Science Edition)*, 2024, **45**(2): 196–202] DOI: 10.20176/j.cnki.nxdz.000006
- [34] 徐枫, 王占岐, 张红伟, 等. 随机森林算法在农村居民点适宜性评价中的应用[J]. *资源科学*, 2018, **40**(10): 2085–2098. [XU Feng, WANG Zhanqi, ZHANG Hongwei, et al. Application of random forest algorithm in suitability evaluation of rural residential land [J]. *Resources Science*, 2018, **40**(10): 2085–2098] DOI: 10.18402/resci.2018.10.16
- [35] 谭翠, 黄钦, 杨波, 等. 随机森林算法在区域生态旅游适宜性评价中的应用研究[J]. *地球信息科学学报*, 2024, **26**(2): 318–331. [TAN Cui, HUANG Qin, YANG Bo, et al. Application of random forest algorithm in regional ecotourism suitability assessment [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2024, **26**(2): 318–331] DOI: 10.12082/dqxxkx.2024.230198
- [36] 王江波, 连芝锐, 冯涛, 等. 基于机器学习的时空出行选择行为研究综述与展望[J]. *地理科学进展*, 2024, **43**(8): 1649–1665. [WANG Jiangbo, LIAN Zhirui, FENG Tao, et al. A review and outlook of machine learning-based travel choice behavior research [J]. *Progress in Geography*, 2024, **43**(8): 1649–1665] DOI: 10.18306/dlxjz.2024.08.014
- [37] 胡传东, 李露苗, 罗尚焜. 基于网络游记内容分析的风景道骑行体验研究——以318国道川藏线为例[J]. *旅游学刊*, 2015, **30**(11): 99–110. [HU Chuandong, LI Lumiao, LUO Shangkun. Cycling tourists' experience of scenic byways based on content analysis of travel blogs: A case study of the Sichuan-Tibet section of national highway 318 [J]. *Tourism Tribune*, 2015, **30**(11): 99–110] DOI: 10.3969/j.issn.1002–5006.2015.11.014
- [38] 赵振斌, 党娇. 基于网络文本内容分析的太白山背包旅游行为研究[J]. *人文地理*, 2011, **26**(1): 134–139. [ZHAO Zhenbin, DANG Jiao. The travel behavior of backpackers of mountain Taibai based on internet text content analysis [J]. *Human Geography*, 2011, **26**(1): 134–139] DOI: 10.13959/j.issn.1003–2398.2011.01.012
- [39] TWOHIG-BENNETT C, JONES A. The health benefits of the great outdoors: A systematic review and meta-analysis of greenspace exposure and health outcomes [J]. *Environmental Research*, 2018, **166**: 628–637. DOI: 10.1016/j.envres.2018.06.030
- [40] 曾瑜哲, 钟林生, 虞虎. 气候变化背景下青海省三江源地区游憩功能格局演变[J]. *生态学报*, 2021, **41**(3): 886–900. [ZENG Yuxi, ZHONG Linsheng, YU Hu. Spatial and temporal evolution of recreational function in the Sanjiangyuan region of Qinghai Province under climate change [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, **41**(3): 886–900] DOI: 10.5846/stxb202005171259
- [41] 明庆忠. 山地人地关系协调优化的系统性基础研究——山地高梯度效应研究[J]. *云南师范大学学报(哲学社会科学版)*, 2008, **40**(2): 4–10. [MING Qingzhong. Highland gradient effect study: A systematic and basic study on the optimizing of the relations between highland and mankind [J]. *Journal of Yunnan Normal University (Philosophy and Social Sciences)*, 2008, **40**(2): 4–10] DOI: 10.3969/j.issn.1000–5110.2008.02.002
- [42] JEONG J S, GARCÍA-MORUNO L, HERNÁNDEZ-BLANCO J, et al. An operational method to supporting siting decisions for sustainable rural second home planning in ecotourism sites [J]. *Land Use Policy*, 2014, **41**: 550–560. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.04.012
- [43] 卢晓旭, 陆玉麒, 靳诚, 等. 江苏湿地资源旅游开发适宜性评价[J]. *自然资源学报*, 2011, **26**(2): 278–290. [LU Xiaoxu, LU Yuqi, JIN Cheng, et al. Evaluation about tourism development suitability of wetland resource in Jiangsu [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, **26**(2): 278–290] DOI: 10.11849/zrzyxb.2011.02.011
- [44] 云南省人民政府办公厅. 云南省人民政府关于印发云南省“十四五”文化和旅游发展规划的通知[EB/OL]. (2022-05-27) [2025-3-20]. [https://www.yn.gov.cn/zwgk/zfxgkpt/fdzdgknr/ghxx/zxgh/202205/t20220527\\_242589.html](https://www.yn.gov.cn/zwgk/zfxgkpt/fdzdgknr/ghxx/zxgh/202205/t20220527_242589.html). [Yunnan Provincial People's Government General Office. Notice of the People's Government of Yunnan Province on the issuance of the “14th Five-Year Plan” for culture and tourism development of Yunnan Province[EB/OL]. (2022-05-27) [2025-03-20]. [https://www.yn.gov.cn/zwgk/zfxgkpt/fdzdgknr/ghxx/zxgh/202205/t20220527\\_242589.html](https://www.yn.gov.cn/zwgk/zfxgkpt/fdzdgknr/ghxx/zxgh/202205/t20220527_242589.html).]

# Spatial Suitability Assessment on Health-Wellness Tourism in Mountainous Regions: An Empirical Study in Yunnan Province of China Based on Random Forest Algorithm

YANG Youbao, DU Shiyu

(College of Tourism, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

**Abstract:** Health-wellness tourism in mountainous regions in China generally faces issues such as limited spatial allocation of resource with inefficient utilization. Scientific determination of a spatial suitability pattern and its driving mechanisms for health-wellness tourism in a mountainous region is fundamental to achieving high-quality development. Unfortunately, previous studies were constrained by difficulties in data collection due to poor accessibility in mountainous areas, and spatial suitability assessments based on traditional statistical models suffer from insufficient accuracy and reliability of results.

In this study, it integrated multi-source information including geospatial data, network platform data, and socio-economic statistics, and innovatively adopted a model of Random Forest Algorithm (RF) to accurately assess the suitability of health-wellness tourism in mountainous regions of Yunnan Province, China, and systematically discussed its influencing factors.

(1) The RF model exhibited good model fit in ten-fold cross-validation (average accuracy rate of 84.4%, recall rate of 74.0%,  $F_1$ -Score of 77.5%, and AUC of 0.87), indicating that the model had accurate explanatory power for assessing the suitability of health-wellness tourism in mountainous regions of Yunnan Province.

(2) Health-wellness tourism in Yunnan formed a four-level development pattern of suitability “high -moderate-marginal-unsuitable”, of which the first two categories account for 85.92% of the province’s land area and were mainly distributed in the area west of the Yunling Mountains – the Ailao Mountains; the areas in marginal suitability (2.73%) were mainly distributed in the three major water source regions of Yunnan; unsuitable areas (10.81%) were scatteredly distributed in patches.

(3) The formation of spatial suitability development pattern for health-wellness tourism in mountainous regions of Yunnan is the result of a combination of multiple factors, including natural settings, atmospheric environment, resource characteristics, and socio-economic factors. In particular, factors such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), distance to water bodies, and climatic conditions had significant impacts on health-wellness suitability, and should be included as key factors in development planning and decision-making.

The research findings not only provide quantitative evidence for optimizing the spatial layout of health-wellness tourism in Yunnan but also offer theoretical support for constructing an integrated prevention-treatment-wellness model of health-wellness tourism in plateau mountainous regions.

**Key words:** health-wellness tourism in mountainous regions; suitability; random forest algorithm; economy of mountainous regions; Yunnan Province

(责任编辑 李 嵘)