

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 035

基于多层次灰色方法的宁波森林公园康养潜力评价

诸葛丰林¹, 李正泉², 吕劲文¹, 王健捷³

(1. 浙江省宁波市气象服务中心, 浙江 宁波 315000; 2. 浙江省气候中心, 浙江 杭州 310000;
3. 浙江省宁波市鄞州区气象台, 浙江 宁波 315100)

摘要: 基于层次分析法结合灰色理论构建了宁波森林公园康养潜力评价指标体系, 分别对四大森林公园的康养潜力进行了评价和排序。结果表明, 宁波四大国家级森林公园康养潜力均较大, 其开发价值均较高, 其中奉化溪口森林公园具有相对最高的康养潜力评分, 值得重点发展康养事业。认为森林公园康养潜力多层次灰色评价法中所需的样例数少, 对于层次分析法中出现的信息不完备以及信息不确切等问题可加以有效解决, 从而使评价结果更加客观可信。

关键词: 森林公园康养潜力; 多层次灰色方法; 森林公园; 宁波

中图分类号: S788. 1; S759. 1 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0197-07

引文格式: 诸葛丰林, 李正泉, 吕劲文, 等. 基于多层次灰色方法的宁波森林公园康养潜力评价[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 197-203. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 035

ZHUGE Fenglin, LI Zhengquan, LYU Jinwen, et al. Potential Evaluation of Health Preservation of Ningbo Forest Park Based on Multi-level Grey Method[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 197-203. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 035

Potential Evaluation of Health Preservation of Ningbo Forest Park Based on Multi-level Grey Method

ZHUGE Fenglin¹, LI Zhengquan², LYU Jinwen¹, WANG Jianjie³

(1. Ningbo Meteorological Service Center, Ningbo, Zhejiang 315000, China; 2. Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310000, China; 3. Yinzhou Meteorological Observatory, Ningbo, Zhejiang 315100, China)

Abstract: The evaluation index system of health preservation potential of forest parks was constructed and the four major forest parks in Ningbo was evaluated and ranked based on analytic hierarchy process and multi-level grey. The results showed that all of four forest parks had a great potential and were worthy for forest health preservation development, especially Xikou Forest Park in Fenghua had the highest potential value to take great efforts to develop. This paper believed that the multi-level grey evaluation method of the health preservation potential of forest parks required a small number of samples, and the problems of incomplete and inaccurate information in the analytic hierarchy process could be effectively solved, so as to make the evaluation results more objective and credible.

Key words: health preservation potential of forest park; multi-level grey; forest park; Ningbo

收稿日期: 2022-07-05.

基金项目: 宁波舟山港南大风的时空分布特征及诊断分析项目(2021YB21).

第一作者: 诸葛丰林(1989-), 男, 浙江舟山人, 硕士, 工程师. 主要从事气象服务研究工作. Email: espnss@qq. com

1 研究背景

气候与人类的生活息息相关。随着社会、经济日新月异飞速发展,现代人工作及生活压力日益增长,运动量减少,城市人居环境恶化等一系列问题让越来越多的人开始更加重视健康养生之道。森林拥有优质富氧的森林环境、丰富多彩的森林景观以及深厚浓郁的森林文化等,能够缓解人们心理及精神压力,亦可辅助治疗相关疾病,其作为一类重要而独特的康养资源正吸引着越来越多的旅游人群。森林康养依托于优良的森林环境和自然资源,具备康复、疗养等多项功能,以全面促进人的身心发展为目的而进行各类疗养、康复、养生和休闲活动。青少年、亚健康人群、老年等人群,从森林小气候、芬多精、负氧离子等康养要素中,无论从心理上还是生理上都能获得显著的健康效益,同时也可促进社会交往^[1-6]。

国内外对于森林康养的研究有很多。早在 19 世纪 40 年代,德国巴特的威利斯赫恩镇创立了世界上第一个森林医疗基地,“森林康养”得到推广和普及。美国森林资源丰富,将森林作为旅游休闲场所,进而开展森林保健。日本形成“森林浴”理念,并在 2007 年建立了首个森林康养基地认证体系。随后森林康养在世界范围内蓬勃发展^[7]。Hansen 等^[8]研究发现,漫步或短居在森林中,能够有效地缓解心理、精神压力。Lee 等^[9]认为,森林浴能够对人体的身心健康发展产生积极的作用。StiAsdotter 等^[10]将森林自然疗法联系人的行为,规划设计森林医疗花园。

森林康养在中国仍处于起步阶段。李正泉等^[11]研究丽水市生态气候发现,丽水的森林覆盖率达 80.8%,休闲养生适宜性在国内城市中具有突出优势。李济任等^[12-13]、宋子健等^[14]、晏琪^[15]、潘洋刘等^[16]均对构建森林康养资源评价指标体系做出了一定的研究。陆晓梅等^[17]对黄山的森林养生旅游开发潜力进行多层次灰色评价研究并建立相应的评价指标。景志慧等^[18]对巴中南阳森林公园的旅游资源开发潜力也进行了多层次灰色评价研究。徐高福等^[19]、马德辉等^[20]、李欣华等^[21]、李祗辉^[22]均探析需要深入增强康养资源评价指标来促进森林康养产业发展。

目前,对森林资源康养潜力的定量评价研究尚浅,且尚未有系统的森林康养潜力评价指标体系。而宁波地处中国华东沿海,属亚热带季风气候,四季分明。“书藏古今、港通天下”的宁波也不乏国家级

森林公园,诸如奉化溪口国家森林公园、余姚四明山国家森林公园、鄞州天童国家森林公园、宁海双峰国家森林公园,且奉化溪口是国家级重点风景名胜区 5A 级旅游区,余姚四明山、奉化、宁海是宁波市三大“中国天然氧吧”区。鉴于此,尝试建立森林资源康养潜力评价指标体系,在此基础上运用 AHP 层次分析法确定指标权重,并以宁波市四大国家级森林公园为例,采用多层次灰色评价法对其康养潜力进行测算,旨在为宁波森林公园森林康养活动的潜力开发提供参考和借鉴。

2 研究方法

层次分析法(analytic hierarchy process,简称 AHP),是将与决策相关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。期间运用求解判断矩阵特征向量的办法,求得每一层次的各元素对上一层次某元素的权重,最后再加权和方法递阶归对总目标的最终权重。它多被应用于旅游开发潜力评价的研究中。但层次分析法具有一定的局限性,比如信息不完备(咨询专家时,专家易因不满足传递性公理而丢失部分评价信息),以及信息不确切(专家评价时易出现建立在专家的个人经验、认知能力上的人为因素偏差)等问题。为有效解决 AHP 法的上述问题,可运用将层次分析法与灰色系统理论相结合的方法实现。

灰色系统理论是一种研究样例数少、信息量少、系统因素间关联程度不确定性问题的新方法,其主要优点在于:(1)对于信息不确切的系统具有较明显的分析优势;(2)所需的样例数少,研究分析计算相对简易^[23]。灰色理论与 AHP 法相结合的研究方法常用于城市、旅游、工程、投资等方面的评价,评价结果客观有效^[24-27]。本文在宁波森林公园康养潜力的评价上尝试运用多层次灰色评价方法,以宁波四大森林公园为例进行实证研究。

宁波森林公园康养潜力的多层次灰色评价研究步骤如下:(1)应用因子分析法整理出影响森林公园康养潜力的关键因素,将这些关键因素指标分配至相对应的递阶内容层次,从而构建多层次评价指标体系,并制定评价指标的评分等级标准;(2)运用李克特量表进行评价指标的量化,利用 AHP 法确定各层次的评价指标的权重;(3)使用专家评价法对评价对象进行打分,依据灰色评价过程确定评价样本矩阵和评价灰类,求得灰色评价权向量;(4)计算出各评价对象的康养潜力综合评价值并排序。

本研究咨询的专家学者主要是在旅游管理、经济学、地理学、林学、生态学、风景园林学、医学、心理学等相关领域有深入研究,其中也不乏对森林公园有着丰富研究经验的专家,具有很强的代表性。以上多种研究方法的综合运用使评价过程更加科学,结果更加客观,能更真实地反映森林公园康养情况。

3 实证研究

3.1 评价指标体系

森林康养开发潜力评价指标的遴选是森林康养开发潜力评价的关键点和首要的难点,若评价指标不全面和不准确,将直接影响评价结果的科学性和准确性。目前国内仍未有一套较为成熟的森林康养评价指标体系。本研究通过借鉴国标和国内外研究成果,根据全面性、层次性和可行性的原则,并结合宁波森林公园的实际情况及相关专家咨询和问卷调查的结果等,综合遴选出 30 项评价森林康养开发潜力的评价指标,最终确定了宁波森林公园康养潜力评价指标体系,如表 1 所示。

该指标体系分 4 个层次。总目标层为森林康养潜力评价体系 H;H 分成 H₁ 资源价值、H₂ 环境价值和 H₃ 开发价值 3 个方面,形成综合层,进而形成 8 个要素层及 30 个指标层的递阶层次,对森林公园康养潜力进行全面系统的测量。

3.2 计算评价指标权重

运用 AHP 法对所有评价指标进行权重计算。在评价指标间的重要性时常采用 1-9 标度法,即用 1、3、5、7、9 标度前者较后者同等重要、稍重要、明显重要、强烈重要、极端重要,2、4、6、8 标度介于相邻两种情况间的过渡情形,而后者较前者的重要性标度值用前者较后者的重要性标度值的倒数来表示。鉴于不同专家对于指标间互比的重要性的认知存在差异,指标量化阶段经过数轮反馈后最终确定了评价指标间互比的重要性标度值,并进行 AHP 法求权重的相关计算后,通过了判断指标矩阵的一致性检验(由于篇幅有限,具体计算过程略),进而求得各层次的各评价指标的权重值(表 1)。

3.3 确定评价样本矩阵

参照国家环境行业相关标准和研究区的实际情况^[28-40],采用李克特五级量表对宁波四大森林公园的康养潜力评价指标进行评分评价。评价值为 1、2、3、4、5 时,分别表示康养潜力价值很不好、不好、一般、好、很好;评价值为 1.5、2.5、3.5、4.5 时,分别表示介于相邻两种情况间的过渡情形。

表 1 森林公园康养潜力评价体系
Tab. 1 Evaluation index system of health preservation potential of forest parks

目标层	综合层		要素层		指标层	
	综合	权重	因素	权重	指标	权重
森林康养潜力评价体系 H	H ₁ 资源价值	0.2395	H ₁₁ 康养价值	0.3667	H ₁₁₁ 观赏游憩价值	0.1687
					H ₁₁₂ 养生体验价值	0.5616
					H ₁₁₃ 艺术审美价值	0.2697
					H ₁₂₁ 资源丰度和规模	0.5571
					H ₁₂₂ 资源组合度	0.1226
					H ₁₂₃ 资源影响力	0.3203
					H ₂₁₁ 森林覆盖率	0.1282
					H ₂₁₂ 植物杀菌素含量	0.1096
	H ₂ 环境价值	0.6232	H ₂₁ 自然环境	0.5679	H ₂₁₃ 负氧离子浓度	0.1072
					H ₂₁₄ 海拔高度	0.0555
					H ₂₁₅ 温度和湿度	0.2451
					H ₂₁₆ 风速	0.1035
					H ₂₁₇ 地表水质量	0.0763
					H ₂₁₈ 土壤环境质量	0.0574
					H ₂₁₉ 声环境	0.1172
					H ₂₂₁ 民俗养生文化	0.6999
					H ₂₂₂ 中医药养生文化	0.1936
					H ₂₂₃ 康养人文氛围	0.1065
					H ₂₃₁ 生态环境方面	0.7750
					H ₂₃₂ 物种方面	0.2250
	H ₃ 开发价值	0.1373	H ₃₁ 区位设施条件	0.5834	H ₃₁₁ 交通条件	0.3442
					H ₃₁₂ 食宿条件	0.0988
					H ₃₁₃ 购物条件	0.0687
					H ₃₁₄ 安全设施	0.1765
					H ₃₁₅ 医疗卫生设施	0.3118
					H ₃₂₁ 环境容量	0.1183
					H ₃₂₂ 用地条件	0.1005
					H ₃₂₃ 社会经济条件	0.2366
					H ₃₂₄ 专项规划、政府支持	0.3682
					H ₃₂₅ 科普宣传力度	0.1764
			H ₃₂ 建设条件	0.4166		

根据现有的多层次灰色评价方法研究发现,通常采用 5 个数据列进行研究即可得到客观可信的评价结果^[41-43]。为了保证数据的可靠性,通过宁波各

国家森林公园的官方网站、宁波市统计局、宁波市政府信息公开网、宁波市气象局和宁波市环保局等渠道,邀请了 5 位对森林公园有着丰富研究经验的专家,分别对四个国家森林公园进行打分,综合获得了定量指标数据,形成样本评价矩阵。

设第 p 个专家对第 S 个森林公园评价形成的矩阵为 $D^{(S)}$,其中 $d_{ijkp}^{(S)}$ 为评价分, S 为数值(1 代表四明山、2 代表溪口、3 代表天童、4 代表双峰)。设综合层 $H=(H_i)=(H_1, H_2, H_3)$,要素层 $H_i=(H_{ij})=(H_{i1}, H_{i2}, \dots, H_{im_i})$,指标层 $H_{ij}=(H_{ijk})=(H_{ij1}, H_{ij2}, \dots, H_{ijm_{ij}})$ 。各层对应的指标权重分别为 $A=(A_i)=(A_1, A_2, A_3)$, $A_i=(A_{ij})=(A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im_i})$, $A_{ij}=(A_{ijk})=(A_{ij1}, A_{ij2}, \dots, A_{ijm_{ij}})$ 。由于篇幅原因,本文仅展示以宁波四明山国家森林公园为例。

$$D^{(S)} = \begin{bmatrix} d_{1111}^{(S)} & d_{1112}^{(S)} & \dots & d_{111p}^{(S)} \\ d_{1121}^{(S)} & d_{1122}^{(S)} & \dots & d_{112p}^{(S)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{ijm_{ij}1}^{(S)} & d_{ijm_{ij}2}^{(S)} & \dots & d_{ijm_{ij}p}^{(S)} \end{bmatrix} (H_{111}, H_{112}, \dots, H_{ijm_{ij}})^T$$

3.4 确定评价灰类和灰色系数

根据森林康养潜力评价指标很好、好、一般、不好、很不好 5 个灰类等级,每一个灰类都对应着一个白化权函数 $f_e(e=1, 2, 3, 4, 5)$ 。第一灰类“很好”($e=1$),灰数 $\otimes_1 \in [5, \infty)$;第二灰类“好”($e=2$),灰数 $\otimes_2 \in [0, 4, 8]$;第三灰类“一般”($e=3$),灰数 $\otimes_3 \in [0, 3, 6]$;第四灰类“不好”($e=4$),灰数 $\otimes_4 \in [0, 2, 4]$;第五灰类“很不好”($e=5$),灰数 $\otimes_5 \in [0, 1, 2]$ 。其白化权函数公式分别如下:

$$f_1 = \begin{cases} \frac{1}{5} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0, 5] \\ 1, d_{ijkp}^{(S)} \in [5, \infty) \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0, \infty) \end{cases}$$

$$f_2 = \begin{cases} \frac{1}{4} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0, 4] \\ -\frac{1}{4} d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [4, 8] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0, 8] \end{cases}$$

$$f_3 = \begin{cases} \frac{1}{3} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0, 3] \\ -\frac{1}{3} d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [3, 6] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0, 6] \end{cases}$$

$$f_4 = \begin{cases} \frac{1}{2} d_{ijkp}^{(S)}, d_{ijkp}^{(S)} \in [0, 2] \\ -\frac{1}{2} d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [2, 4] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0, 4] \end{cases}$$

$$f_5 = \begin{cases} 1, d_{ijkp}^{(S)} \in [0, 1] \\ -d_{ijkp}^{(S)} + 2, d_{ijkp}^{(S)} \in [1, 2] \\ 0, d_{ijkp}^{(S)} \notin [0, 2] \end{cases}$$

3.5 计算灰色评价系数

对于评价指标 H_{ijk} ,其灰色评价系数为

$$o_{ijke}^{(S)} = \sum_{p=1}^5 f_e(d_{ijkp}^{(S)})$$

宁波四明山森林公园康养潜力评价指标 A_{111} (观赏游憩价值)灰色评价系数为 $o_{111e}^{(1)}$ 。当 $e=1$,

$o_{1111}^{(1)} = \sum_{p=1}^5 f_1(d_{111p}^{(1)}) = f_1(5) + f_1(4.5) + f_1(5) + f_1(4.5) + f_1(5) = 1 + 0.9 + 1 + 0.9 + 1 = 4.8$ 。同理可得:当 $e=2$, $o_{1112}^{(1)} = 4$;当 $e=3$, $o_{1113}^{(1)} = 2$;当 $e=4$, $o_{1114}^{(1)} = 0$;当 $e=5$ 时, $o_{1115}^{(1)} = 0$ 。所以,对于评价指标 H_{111} ,宁波四明山森林公园康养潜力属于各个灰类的总灰类评价系数

$$o_{111}^{(1)} = \sum_{e=1}^5 o_{111e}^{(1)} + o_{1111}^{(1)} + o_{1112}^{(1)} + o_{1113}^{(1)} + o_{1114}^{(1)} + o_{1115}^{(1)} = 4.8 + 4 + 2 + 0 + 0 = 10.8。$$

3.6 计算灰色评价权向量

经过归一化,获得评价对象的权矩阵为 $u_{ijke}^{(S)} =$

$$o_{ijke}^{(S)} / \sum_{e=1}^5 o_{ijke}^{(S)} (e=1, 2, 3, 4, 5) \text{ 以及评价指标 } H_{ijk} \text{ 灰色评价权重向量 } u_{ijk}^{(S)} = (u_{ijk1}^{(S)}, u_{ijk2}^{(S)}, u_{ijk3}^{(S)}, u_{ijk4}^{(S)}, u_{ijk5}^{(S)})。$$

就评价指标 A_{111} ,5 位专家对宁波四明山森林公园康养潜力主张第 e 个评价灰类的灰色评价权向量记为 $u_{111e}^{(1)}$,则当 $e=1$, $u_{1111}^{(1)} = o_{1111}^{(1)} / \sum_{e=1}^5 o_{111e}^{(1)} = 4.8 / 10.8 = 0.4444$ 。同理可得:当 $e=2$, $u_{1112}^{(1)} = 0.3704$;当 $e=3$, $u_{1113}^{(1)} = 0.1852$;当 $e=4$, $u_{1114}^{(1)} = 0$;当 $e=5$, $u_{1115}^{(1)} = 0$ 。所以,宁波四明山森林公园康养潜力评价指标 H_{111} 对于各灰类的灰色评价权向量为 $u_{111}^{(1)} = (u_{1111}^{(1)}, u_{1112}^{(1)}, u_{1113}^{(1)}, u_{1114}^{(1)}, u_{1115}^{(1)}) = (0.4444, 0.3704, 0.1852, 0, 0)$ 。

同理可计算出 $u_{112}^{(1)}, u_{113}^{(1)}, u_{121}^{(1)}, u_{122}^{(1)}, u_{123}^{(1)}, u_{211}^{(1)}, u_{212}^{(1)}, u_{213}^{(1)}, u_{214}^{(1)}, u_{215}^{(1)}, u_{216}^{(1)}, u_{217}^{(1)}, u_{218}^{(1)}, u_{219}^{(1)}, u_{221}^{(1)}, u_{222}^{(1)}, u_{223}^{(1)}, u_{231}^{(1)}, u_{232}^{(1)}, u_{311}^{(1)}, u_{312}^{(1)}, u_{313}^{(1)}, u_{314}^{(1)}, u_{315}^{(1)}, u_{321}^{(1)}, u_{322}^{(1)}, u_{323}^{(1)}, u_{324}^{(1)}, u_{325}^{(1)}$ 。宁波四明山森林公园康养潜力 H_{11} 所属

指标 $H_{11j}(j=1,2,3)$, H_{12} 所属指标 $H_{12j}(j=1,2,3)$, H_{21} 所属指标 $H_{21j}(j=1,2,3,4,5,6,7,8,9)$, H_{22} 所属指标 $H_{22j}(j=1,2,3)$, H_{23} 所属指标 $H_{23j}(j=1,2)$, H_{31} 所属指标 $H_{31j}(j=1,2,3,4,5)$, H_{32} 所属指标 $H_{32j}(j=1,2,3,4,5)$, 对于各指标评价灰类的灰色评价权矩阵为 $U_{11}^{(1)}$, 则 $U_{12}^{(1)}$ 、 $U_{21}^{(1)}$ 、 $U_{22}^{(1)}$ 、 $U_{23}^{(1)}$ 、 $U_{31}^{(1)}$ 、 $U_{32}^{(1)}$ 如下:

$$U_{11}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{111}^{(1)} \\ u_{112}^{(1)} \\ u_{113}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4444 & 0.3704 & 0.1852 & 0 & 0 \\ 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \\ 0.4114 & 0.3801 & 0.2084 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{12}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{121}^{(1)} \\ u_{122}^{(1)} \\ u_{123}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4276 & 0.3753 & 0.1971 & 0 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \\ 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{21}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{211}^{(1)} \\ u_{212}^{(1)} \\ u_{213}^{(1)} \\ u_{214}^{(1)} \\ u_{215}^{(1)} \\ u_{216}^{(1)} \\ u_{217}^{(1)} \\ u_{218}^{(1)} \\ u_{219}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \\ 0.4114 & 0.3801 & 0.2084 & 0 & 0 \\ 0.4619 & 0.3653 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.3803 & 0.3889 & 0.2308 & 0 & 0 \\ 0.4798 & 0.3599 & 0.1603 & 0 & 0 \\ 0.3515 & 0.3975 & 0.2510 & 0 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \\ 0.3515 & 0.3975 & 0.2510 & 0 & 0 \\ 0.3956 & 0.3846 & 0.2198 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{22}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{221}^{(1)} \\ u_{222}^{(1)} \\ u_{223}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3243 & 0.4054 & 0.2703 & 0 & 0 \\ 0.2987 & 0.3734 & 0.2885 & 0.0393 & 0 \\ 0.2748 & 0.3435 & 0.3053 & 0.0763 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{23}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{231}^{(1)} \\ u_{232}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4619 & 0.3653 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.3515 & 0.3975 & 0.2510 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{31}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{311}^{(1)} \\ u_{312}^{(1)} \\ u_{313}^{(1)} \\ u_{314}^{(1)} \\ u_{315}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2413 & 0.3016 & 0.3291 & 0.1280 & 0 \\ 0.2866 & 0.3583 & 0.2969 & 0.0581 & 0 \\ 0.2205 & 0.2756 & 0.3438 & 0.1601 & 0 \\ 0.2987 & 0.3734 & 0.2885 & 0.0393 & 0 \\ 0.2987 & 0.3734 & 0.2885 & 0.0393 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_{32}^{(1)} = \begin{bmatrix} u_{321}^{(1)} \\ u_{322}^{(1)} \\ u_{323}^{(1)} \\ u_{324}^{(1)} \\ u_{325}^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4619 & 0.3653 & 0.1728 & 0 & 0 \\ 0.4444 & 0.3704 & 0.1852 & 0 & 0 \\ 0.2522 & 0.3153 & 0.3212 & 0.1113 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \\ 0.3657 & 0.3933 & 0.2409 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.7 综合评价各级评价指标

3.7.1 综合评价三级指标

先对宁波四明山森林公园康养潜力的三级评价指标 H_{11} 、 H_{12} 、 H_{21} 、 H_{22} 、 H_{23} 、 H_{31} 、 H_{32} 作综合评价, 评价结果为 $B_{11}^{(1)}$ 、 $B_{12}^{(1)}$ 、 $B_{21}^{(1)}$ 、 $B_{22}^{(1)}$ 、 $B_{23}^{(1)}$ 、 $B_{31}^{(1)}$ 、 $B_{32}^{(1)}$ 。

$$B_{11}^{(1)} = A_{11} \times U_{11}^{(1)} = (0.4554, 0.3671, 0.1775, 0, 0)$$

$$B_{12}^{(1)} = A_{12} \times U_{12}^{(1)} = (0.4367, 0.3726, 0.1907, 0, 0)$$

$$B_{21}^{(1)} = A_{21} \times U_{21}^{(1)} = (0.4256, 0.3758, 0.1985, 0, 0)$$

$$B_{22}^{(1)} = A_{22} \times U_{22}^{(1)} = (0.3141, 0.3926, 0.2776, 0.0157, 0)$$

$$B_{23}^{(1)} = A_{23} \times U_{23}^{(1)} = (0.4371, 0.3725, 0.1904, 0, 0)$$

$$B_{31}^{(1)} = A_{31} \times U_{31}^{(1)} = (0.2724, 0.3405, 0.3046, 0.0800, 0)$$

$$B_{32}^{(1)} = A_{32} \times U_{32}^{(1)} = (0.3581, 0.3692, 0.2462, 0.0263, 0)$$

3.7.2 综合评价二级指标

再对宁波四明山森林公园康养潜力的二级评价指标 H_1 、 H_2 、 H_3 作综合评价, 评价结果为 $B_1^{(1)}$ 、 $B_2^{(1)}$ 、 $B_3^{(1)}$ 。

$$B_1^{(1)} = A_1 \times \begin{bmatrix} B_{11}^{(1)} \\ B_{12}^{(1)} \end{bmatrix} = (0.4436, 0.3706, 0.1858, 0, 0)$$

$$B_2^{(1)} = A_2 \times \begin{bmatrix} B_{21}^{(1)} \\ B_{22}^{(1)} \\ B_{23}^{(1)} \end{bmatrix} = (0.4185, 0.3764, 0.2036, 0.0015, 0)$$

$$B_3^{(1)} = A_3 \times \begin{bmatrix} B_{31}^{(1)} \\ B_{32}^{(1)} \end{bmatrix} = (0.3081, 0.3525, 0.2803, 0.0576, 0)$$

由 $B_1^{(1)}$ 、 $B_2^{(1)}$ 、 $B_3^{(1)}$ 得宁波四明山森林公园康养潜力的总灰色评价权矩阵 $U^{(1)}$:

$$U^{(1)} = \begin{bmatrix} B_1^{(1)} \\ B_2^{(1)} \\ B_3^{(1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4436 & 0.3706 & 0.1858 & 0 & 0 \\ 0.4185 & 0.3764 & 0.2036 & 0.0015 & 0 \\ 0.3081 & 0.3525 & 0.2803 & 0.0576 & 0 \end{bmatrix}$$

3.7.3 综合评价一级指标

然后对宁波四明山森林公园康养潜力的一级评价指标 H 作综合评价, 得其综合评价结果为 $B^{(1)}$:

$$B^{(1)} = A \times U^{(1)} = (0.4093, 0.3717, 0.2101, 0.0089, 0)$$

3.8 评价对象综合评价计算及排序

研究宁波森林公园的康养潜力评价中, 评价灰

类等级值化向量 $C=(5,4,3,2,1)$, 得到评价对象的综合得分 $W^{(n)}=B^{(n)}C^T$ 。故宁波 4 个森林公园康养潜力综合评价如下:

$$W^{(\text{四明山})}=B^{(1)}\times C^T=(0.4093, 0.3717, 0.2101, 0.0089, 0)(5, 4, 3, 2, 1)^T=4.1814$$

$$W^{(\text{溪口})}=B^{(1)}\times C^T=(0.4062, 0.3791, 0.2124, 0.0024, 0)(5, 4, 3, 2, 1)^T=4.1894$$

$$W^{(\text{天童})}=B^{(1)}\times C^T=(0.3852, 0.3829, 0.2271, 0.0047, 0)(5, 4, 3, 2, 1)^T=4.1483$$

$$W^{(\text{双峰})}=B^{(1)}\times C^T=(0.3880, 0.3752, 0.2251, 0.0116, 0)(5, 4, 3, 2, 1)^T=4.1393$$

得四大森林公园康养潜力综合评价的排序为:

$$W^{(\text{溪口})}>W^{(\text{四明山})}>W^{(\text{天童})}>W^{(\text{双峰})}$$

根据以上计算, 宁波四大森林公园的森林康养潜力综合评价均大于等于 4, 均为优先开发森林康养景区。宁波溪口森林公园不仅有青山碧水、幽谷飞瀑的自然景观, 还有蒋氏故居、禅宗古刹等人文景观, 是集旅游观光、休闲度假、健康养生及餐饮住宿等于一体的综合性森林公园, 且位置距离宁波市区相对较近且交通较方便。四明山森林公园内古木参天、千峰竞翠、湖泊连绵、奇岩众多, 有千种植物及多种鸟类景观, 并有仰天湖、商量岗等景区, 生态旅游独显风采, 但位置距离宁波市区相对较远且交通较不便。天童森林公园以森林、寺庙、奇石、云雾、溪瀑等构成, 植被茂密, 风景优美, 更有神秘莫测的岩洞、深邃幽幻的峡谷等奇异自然景观, 位置距离宁波市区相对较近且交通较方便。双峰森林公园植被繁茂葱郁, 奇树异木千姿百态, 溪谷瀑泉美不胜收, 但位置距离宁波市区相对较远且交通较不便。总体来说, 宁波溪口森林公园的康养潜力最高, 四明山森林公园次之, 紧接着分别为天童森林公园和双峰森林公园。

3.9 评价结果检验

为检验多层次灰色评价方法的宁波四大森林公园康养潜力研究成果的科学性和可靠性, 使用特尔菲调查法, 邀请四大森林公园的规划建设专家、资源保护专家和公园管理人员等对研究结果进行评价。多方的评价结论与研究结果基本一致, 从而验证了将多层次灰色方法应用于森林公园康养潜力评价具有一定的准确性, 可以为其他森林公园的康养研究提供参考和借鉴。

4 结 论

本文通过多层次灰色分析法综合评价, 不仅构

建了宁波森林公园康养潜力评价指标体系, 同时也对宁波四大国家森林公园的康养潜力进行了具体评价。研究表明, 四大国家级森林公园在发展森林康养事业中的优势与劣势共存, 整体来说均具有较高的森林康养开发价值潜力, 尤其奉化溪口森林公园可重点开发森林康养事业。另外, 将 AHP 和灰色系统理论这两个方法有机结合, 研究过程所需样例数少, 研究结果客观可信, 不仅有效地解决了以往 AHP 法中出现信息不完备的问题, 同时也解决了信息不确切的问题。研究结果望能为未来宁波森林公园康养开发规划提供有益的参考。宁波森林公园可凭借自身的优势条件充分展现宁波森林康养独一无二的特色。

参考文献:

- [1] 陈纯. 国内外康养旅游研究综述[J]. 攀枝花学院学报, 2019, 36(4): 43-47.
- [2] 尹思琴, 李燕. 浅谈森林康养与森林资源的开发利用[J]. 中国林业产业, 2017(4): 244.
- [3] 黄艳华. 论森林康养的功能、价值及路径[J]. 湖南生态科学学报, 2019, 6(2): 38-42.
- [4] 廖日红, 刘国平. 森林康养对维护人体健康的综合影响[J]. 现代园艺, 2019(1): 93-95.
- [5] 王忠贵. 森林康养对人体健康促进作用浅析[J]. 现代园艺, 2020(1): 106-108.
- [6] 李虹. 康养旅游研究述评与展望[J]. 商业经济, 2019(4): 50-52.
- [7] 许忠南. 森林康养发展模式及康养要素浅析[J]. 农业开发与装备, 2019(10): 148-151.
- [8] HANSEN M M, JONES R, TOCCHINI K. Shinrin-yoku (forest bathing) and nature therapy: a state-of-the-art review[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017, 14: 851-887.
- [9] LEE J, PARK B J, TSUNETSU AU Y, et al. Effect of forest bathing on physiological and psychological responses in young Japanese male subjects[J]. Public Health, 2011, 125(2): 1-100.
- [10] STIASDOTTER U K, CORAZON S S, SIDENIUS U, et al. Forest design for mental health promotion—using perceived sensory dimensions to elicit restorative responses[J]. Landscape & Urban Planning, 2017, 160: 1-15.
- [11] 李正泉, 肖晶晶, 马浩, 等. 丽水市生态气候休闲养生适宜性分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(3): 104-111.
- [12] 李济任, 许东. 森林康养旅游评价指标体系构建研究[J]. 林业经济, 2018(3): 28-34.
- [13] 李济任, 许东. 基于 AHP 与模糊综合评价法的森林康养旅游开发潜力评价[J]. 中国农业资源与区划,

- 2018,39(8):135-142.
- [14] 宋子健,温全平. 森林康养资源评价指标体系构建及评价——以蔡家川森林康养区为例[J]. 林业科技情报,2020,52(1):38-43.
- [15] 晏琪,刘苑秋,文野,等. 基于因子分析的森林康养空间评价指标体系研究[J]. 中国园林,2020(1):81.
- [16] 陆晓梅,张鑫,高淑春. 森林养生旅游开发潜力评价研究[J]. 林业经济问题,2017,37(1):44-49.
- [17] 潘洋刘,刘苑秋,曾进,等. 基于康养功能的森林资源评价指标体系研究[J]. 林业经济,2018(8):53-57.
- [18] 景志慧,张隧文. 基于多层次灰色方法的旅游资源开发潜力评价——以巴中南阳森林公园为例[J]. 西北大学学报:自然科学版,2014,44(5):813-816.
- [19] 徐高福,徐小忠,余梅生. 千岛湖森林康养基地发展路径探析——基于千岛湖龙川湾的调查研究[J]. 林业调查规划,2020,45(1):168-172.
- [20] 马德辉,王赞,高建玉,等. 对森林康养产业发展的思考[J]. 林业调查规划,2020,45(6):105-107.
- [21] 李欣华,陈红玲. 森林康养高质量发展研究[J]. 林业调查规划,2021,46(3):171-177.
- [22] 李祗辉. 韩国森林疗愈服务体系建设及其对我国森林康养产业发展的启示[J]. 林业调查规划,2021,46(5):59-64.
- [23] 汪侠,顾朝林,刘晋媛,等. 旅游资源开发潜力评价的多层次灰色方法[J]. 地理研究,2007,26(3):625-635.
- [24] 周明耀,陈朝如,彭怀英. 灌溉管理的递阶多层次灰色评价方法[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(4):120-126.
- [25] 石丹,杨慧. 基于多层次灰色方法的生态旅游发展潜力评价及实证研究[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(2):40-48.
- [26] 姜伯敏,姚立根. 基于 AHP 的建筑企业知识创新能力灰色评价[J]. 石家庄铁道大学学报:社会科学版,2012,6(2):41-45.
- [27] 蔡建春,王勇,李汉铃. 风险投资中投资风险的灰色多层次评价[J]. 管理工程学报,2003,17(2):94-97.
- [28] GB/T 14592—1993,自然保护区类型与级别划分原则[S].
- [29] GB 15618—1995,土壤环境质量标准[S].
- [30] GB/T 18005—1999,中国森林公园风景资源质量等级评定[S].
- [31] GB 3838—2002,地表水环境质量标准[S].
- [32] GB/T 17775—2003,旅游区(点)质量等级的划分与评定[S].
- [33] GB/T 18972—2003,旅游资源分类、调查与评价[S].
- [34] GB 5749—2006,生活饮用水卫生标准[S].
- [35] GB 3096—2008,声环境质量标准[S].
- [36] GB/T 26358—2010,旅游度假区等级划分[S].
- [37] GB 3095—2012,环境空气质量标准[S].
- [38] LB/T 051—2016,国家康养旅游示范基地[S].
- [39] LY/T 2934—2018,森林康养基地质量评定[S].
- [40] T/LYCY 012—2020,国家级森林康养基地标准[S].
- [41] 李大建,王凤山. 地空导弹总体性能多层次灰色评价[J]. 中国管理科学,2004,12(5):107-110.
- [42] 胡望煌. 主观指标评价的多层次灰色评价法[J]. 系统工程理论与实践,1996(1):12-20.
- [43] 唐尧钊,邹珊刚. 企业技术创新能力的多层次灰色评价[J]. 科技进步与决策,1999,16(5):46-49.

责任编辑:刘平书

(上接第50页)

- [7] 张文静,梁振天. 生物表面活性剂及其在地下水污染修复领域的应用与展望[J]. 环境污染与防治,2021,43(2):237-242.
- [8] 陈世贵. 宁夏山区水库污染水体生态修复研究[J]. 人民黄河,2020,42(12):66-69.
- [9] 宋易南,侯德义,赵勇胜,等. 京津冀化工场地地下水污染修复治理对策研究[J]. 环境科学研究,2020,33(6):1345-1356.
- [10] 胡世琴,杨金辉,杨斌,等. 稻壳基材料应用于水污染治理领域的研究进展[J]. 材料导报,2022,36(4):49-59.
- [11] 何舸,牛宇琛,王成坤,等. 高度城镇化地区跨区水污染协同综合治理——东莞案例[J]. 中国给水排水,2020,36(12):25-30.
- [12] 孙文洁,任顺利,武强,等. 新常态下我国煤矿废弃矿井水污染防治与资源化综合利用[J]. 煤炭学报,2022,47(6):2161-2169.
- [13] 瞿芳术,余华荣,朱学武,等. 基于超滤/纳滤双膜工艺的给水厂应急处理技术研究[J]. 给水排水,2020,56(S2):189-194.
- [14] 刘艺,于洋,金彪,等. 持久、迁移性有机污染物的水污染现状、分析检测方法和去除技术[J]. 地球化学,2021,50(3):305-316.
- [15] 付鹏波,田金乙,吕文杰,等. 物理法水处理技术[J]. 化工学报,2022,73(1):59-72.
- [16] 赵玄,高文艳,周曦琳,等. 废水中络合态重金属形态、去除机制及净化技术研究进展[J]. 燕山大学学报,2022,46(4):297-308.

责任编辑:许易琦