

基于模糊综合评判法的城市森林健康评价

——以湖南省株洲市为例

谭三清, 张贵

(中南林业科技大学 理学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 在建立城市森林生态系统健康评价指标体系的基础上, 以 AHP 法求得各个指标权重, 再建立模糊综合评价模型, 对株洲市荷塘、芦淞、天元、石峰 4 区的城市森林生态系统进行实证评价分析。结果表明, 株洲市 4 个区的城市森林生态系统健康状况分别为不健康(评价值为 0.359 4)、不健康(评价值为 0.370 8)、不健康(评价值为 0.369 8)和良好健康(评价值为 0.783 3), 评价结果与当地实际情况相符。

关键词: 城市森林生态系统; 模糊综合评判法; 健康评价

中图分类号: S718.55⁺7 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2010)04-0474-04

Urban forest eco-system health assessment based on fuzzy synthetic appraisal: Taking Zhuzhou city, Hunan as an example

TAN San-qing, ZHANG Gui

(College of Sciences, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Based on the index system of health assessment of the urban forest ecosystem, the weight of each index was obtained by AHP method, and then the modal of fuzzy synthetic appraisal was established to evaluate it. An empirical analysis was conducted on the four areas: Hetang, Lushong, Tianyuan and Shifeng in Zhuzhou city, with the result of the urban forest ecosystem health appraisal, unhealthy (value, 0.359 4), unhealthy (value, 0.370 8), unhealthy (value, 0.369 8) and good health (value, 0.783 3) respectively. The result agrees with the reality.

Key words: urban forest eco-system; fuzzy synthetic appraisal; health assessment

目前, 对森林生态系统健康的研究, 主要集中在森林生态系统健康与森林生态系统服务功能的关系^[1]以及森林健康胁迫因子、活力、组织、承载能力和恢复能力等^[2]方面。对城市森林生态系统健康评价还没有比较成熟的方法。在景观健康和生态系统健康评价中经常采用的方法有生物指示物法^[3]和综合评判法^[4]。杨学民等^[5]借助生态系统健康指标, 采用 Delphi 法(专家咨询法)和 AHP 法(层次分析法)对徐州市城郊森林生态系统健康进行评价, 并提出管理对策。笔者在建立城市森林生态系统健康评价指标体系, 并求得各个指标权重的基础上, 建立模糊综合评价模型, 以株洲市为例, 对其森林生态

系统健康进行评价。

1 评价指标体系的建立

建立评价指标体系是对城市森林生态系统健康评价的前提。指标的选取一般应满足以下要求: 1) 能对森林生态环境自然属性进行多方位描述(包括环境变化趋势); 2) 对森林环境中不同程度的、可预见或不可预见的变化提出预警; 3) 能反映出整个森林生态系统的主要发展趋势, 以及影响整个生态系统发展的主要因素。遴选森林生态环境健康评价指标应遵循指标的代表性、科学性、系统性、独立性和实用性等原则^[6]。同时还应使生态系统健康

收稿日期: 2009-11-03

基金项目: 中南林业科技大学青年科学基金项目(07005A)

作者简介: 谭三清(1969—), 女, 湖南常德人, 副教授, 从事森林经济学、林业信息工程研究, tsq2100@163.com

评价指标具有实用性和可操作性。在满足以上原则的同时,通过查阅相关文献^[1-5, 7],对研究地城市森林结构和功能、景观效果和生态和谐性等城市森林健康的主要指标开展调查和研究,选择的森林生态系统健康评价指标体系见表 1。

表 1 城市森林生态系统健康评价指标体系
Table 1 Index system of health assessment in urban forest ecosystem health

| 监测与评价因子 | 指标 |
|-------------|---|
| C1(景观布局) | 植被覆盖率(X_1) 人均公共绿地面积(X_2) 人均公园面积(X_3) 景观破碎度(X_4) 嵌块体平均面积(X_5) 景观廊道密度(X_6) |
| C2(景观生态功能) | 大气污染物清除(X_7) 二氧化碳吸收(X_8) 蓄水功能(X_9) 节能功能(X_{10}) 释放氧气(X_{11}) 滞尘降尘(X_{12}) |
| C3(环境和管理) | 大气污染综合指数(X_{13}) 酸雨频率(X_{14}) 病虫害发生率(X_{15}) |
| C4(植物结构多样性) | 乔木结构多样性(X_{16}) 乔木结构均匀度(X_{17}) 乔木结构优势度(X_{18}) 乔灌木结构多样性(X_{19}) 乔灌木结构均匀度(X_{20}) 乔灌木结构优势度(X_{21}) |

2 评价指标权重的确定

2.1 判断矩阵的建立

建立指标的递阶层结构以后,上下层次之间元素的隶属关系就被确定。定义每个指标的上一层元素 C 为准则,其所支配的下一层元素为 u_1, u_2, \dots, u_n , 指标对于其所对应的准则的相对重要性即为各自的权重。由于元素的权重不容易直接获得,这里用 AHP 法来求得城市森林生态系统健康评价指标体系各指标的权重。在确定权重过程中,评价者要反复地对森林生态系统健康评价指标相对于准则的重要性进行判断,并按 1, 2, ..., 9 比例标度对重要性程度赋值。此时每个准则下的 n 个被比较元素构成了一个两两比较的判断矩阵: $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。其中 a_{ij} 为元素 u_i 与 u_j 相对于 C 的重要性比例标度。

如果矩阵 A 的元素具有传递性,即 $a_{im} \cdot a_{mn} = a_{in}$, 则判断矩阵 A 为一致性矩阵。

2.2 元素权重的计算

根据 n 个具体指标 u_1, u_2, \dots, u_n , 对于其相应

的准则 C 的判断矩阵 A, 求出其对于准则 C 的相对权重 w_1, w_2, \dots, w_n 。其向量形式为 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。权重的计算常用方法有和法、根法、特征根法(EM 法)、最小二乘法等。各种方法所得的计算结果基本相似,笔者采用最小二乘法进行计算。

2.3 一致性检验

计算单准则下排序权重向量时,由于客观事物的复杂性和人的认识的多样性,且在构造判断矩阵的过程中并不要求判断矩阵的一致性,这就容易导致判断的混乱,从而导致评判的失误。因此需要对判断矩阵进行一致性检验。定义一致性指标(CI)为: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, 式中, λ_{\max} 为判断矩阵 A 的最大特征值。通常 $\lambda_{\max} > n$, 故 CI 大于 0; 如果 A 为完全一致性矩阵,则 $\lambda_{\max} = n$, CI 等于 0, 具体计算步骤为:

$$\text{一致性比例 } CR = \frac{CI}{RI}$$

当 $CR < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的,否则应对判断矩阵进行修正^[8]。

2.4 指标权重值的求解

依据 AHP 法中的问卷设计方式,结合具体的指标,选择从事林业健康评价、城市林业和林业生态学等相关研究人员 200 人对本指标体系的各个指标进行全面调查,用最小二乘法对调查数据进行计算,得出 C1、C2、C3、C4 的权重分别为 0.263、0.225、0.134、0.378, CR 值为 0.005 4。二级指标的权重值列于表 2。

表 2 二级指标权重值
Table 2 The weight value of second grade indexes

| 序号 | 权重 | 序号 | 权重 |
|----------|-------|----------|-------|
| X_1 | 0.166 | X_{12} | 0.115 |
| X_2 | 0.149 | X_{13} | 0.248 |
| X_3 | 0.159 | X_{14} | 0.456 |
| X_4 | 0.177 | X_{15} | 0.296 |
| X_5 | 0.163 | X_{16} | 0.161 |
| X_6 | 0.186 | X_{17} | 0.169 |
| X_7 | 0.203 | X_{18} | 0.165 |
| X_8 | 0.210 | X_{19} | 0.162 |
| X_9 | 0.118 | X_{20} | 0.167 |
| X_{10} | 0.144 | X_{21} | 0.176 |
| X_{11} | 0.210 | X_{12} | 0.115 |

经检验,各二级指标的判断矩阵的一致性比例都符合要求,则根据判断矩阵求得的权重可信.

3 模糊综合评价模型的建立

森林生态系统健康评价指标体系建立之后,利用模糊综合评价相关理论^[9-10],设给定论域 U , U 到 $[0,1]$ 的映射 $\mu_A, \mu_A:U \rightarrow [0,1], u \rightarrow \mu_A$,则有有序对集合 $A = \{[u, \mu_A(u)] | u \in U\}$ 称为 U 上的一个模糊集, μ_A 称为 A 的隶属度函数, $\mu_A(u)$ 为 u 对 A 的隶属度,可简记为 $\mu(u)$.由于此评价模型中的指标全部为定量指标,此模糊集的映射用极差标准化的方法来进行定义.

又设有 m 个评价因素,则评价因素集合 U 和评语集合 V 之间的模糊关系可用评价矩阵 R 来表示:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

其中, r_{ij} 对应于评价指标 u_i .矩阵中的第 i 行 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$ 为第 i 个评价指标 u_i 的单因素评价,它是论域 U 上的一个模糊子集,并有如下关系存在: $r_{ij} = u_r(u_i, v_j) (0 \leq r_{ij} \leq 1)$.

当权重向量 w 和模糊关系矩阵 R 为已知时,使用模糊矩阵的复合运算,则森林生态系统健康评价第一层评价向量的数学模型为:

$$B_{1i} = w_{ik} \cdot R_{ik} \quad (1)$$

其中, R_{ik} 表示森林生态系统健康评价指标体系第一层指标第 k 组评价矩阵,可通过对森林生态系统健康评价指标相对各个评语级别进行打分,通过标准化即可得到森林生态系统健康评价指标的评价矩阵; w_{ik} 表示对应于 R_{ik} 的森林生态系统健康评价指标的权重向量,由AHP方法得到; B_{1i} 表示

所求的森林生态系统健康评价指标体系第一层第 k 组评价向量,表示成矩阵形式为:

$$(b_1, b_2, \dots, b_n)_{1i} = (w_1, w_2, \dots, w_n)_{ik} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

设有 n 个评价样本,其中, b_n 表示森林生态系统健康评价指标体系第一层第 i 个评价向量的元素, w_n 表示对应于第 i 个评价向量中第 k 个评价因素的权重, r_{ij} 为森林生态系统健康评价矩阵的元素.对此式进行合成运算并归一化,就可得到评价向量 B_{1i} .

$$B_{1i} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$$

如果将森林生态系统健康评价指标体系的第一层各组评价向量在第二层上进行第二次综合,就可得到总的评价向量模型.

$$B_2 = w_p \cdot R_p$$

其中, R_p 表示由森林生态系统健康评价指标体系第一层的评价向量组成的评价矩阵; w_p 表示对应于森林生态系统健康评价指标体系第二层评价因素的权重向量; B_2 表示所求的森林生态系统健康评价指标体系第二层评价向量.如果没有其他的评判层次, B_2 向量中的各个值即为对不同区域城市森林生态系统的健康评价价值.

4 实证分析

为了检验本模型的科学性和实用性,依据城市森林生态系统健康评价指标体系进行了实地调查,搜集了株洲市荷塘、芦淞、天元、石峰4区的评价指标相对应的指标数据(表3).

表3 各个指标的原始数据

Table 3 The Original data table of each index

| 地点 | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} | X_{11} | X_{12} | X_{13} | X_{14} | X_{15} | X_{16} | X_{17} | X_{18} | X_{19} | X_{20} | X_{21} |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 荷塘 | 33.08 | 1.22 | 1.61 | 0.32 | 1275 | 2.14 | 62.16 | 2762.5 | 25.86 | 62.16 | 2050.8 | 1881.9 | 2.788 | 79.17% | 2.20% | 1.29 | 0.50 | 1.30 | 1.29 | 0.65 | 0.71 |
| 芦淞 | 36.94 | 2.88 | 3.98 | 0.35 | 2616 | 3.39 | 56.94 | 2534.8 | 23.72 | 56.94 | 1881.6 | 1726.6 | 3.705 | 72.08% | 2.10% | 0.96 | 0.37 | 1.63 | 0.83 | 0.42 | 1.17 |
| 天元 | 31.07 | 5.20 | 11.9 | 0.30 | 2194 | 4.02 | 34.23 | 1524.0 | 14.26 | 34.23 | 1131.3 | 1038.0 | 3.925 | 72.60% | 2.07% | 1.05 | 0.41 | 1.54 | 1.56 | 0.78 | 0.44 |
| 石峰 | 39.15 | 8.60 | 9.96 | 0.39 | 2250 | 1.79 | 118.56 | 5278.3 | 49.40 | 118.56 | 3918.0 | 3595.3 | 4.123 | 84.15% | 2.34% | 1.56 | 0.60 | 1.03 | 1.32 | 0.66 | 0.68 |

由以上数据,通过极差标准化的方法构建评价矩阵 R ,通过与之相对应的一级权重指标进行公式

(1)的运算,可得如下运算结果:

$$R = \begin{bmatrix} 0.1098 & 0.5855 & 0.5371 & 0.7395 \\ 0.3304 & 0.2693 & 0 & 1 \\ 0.4104 & 0.2038 & 0.2311 & 1 \\ 0.5322 & 0.3410 & 0.5228 & 0.6079 \end{bmatrix}$$

4 个区森林健康状况最终评价结果：

$$(b_1, b_2, \dots, b_n) = (w_1, w_2, \dots, w_n) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix} = (0.263, 0.225, 0.134, 0.378) \cdot$$

$$\begin{pmatrix} 0.1098 & 0.5855 & 0.5371 & 0.7395 \\ 0.3304 & 0.2693 & 0 & 1 \\ 0.4104 & 0.2038 & 0.2311 & 1 \\ 0.5322 & 0.3410 & 0.5228 & 0.6079 \end{pmatrix} = (0.3594, 0.3708, 0.3698, 0.7833)$$

由以上计算结果可以看出,株洲市荷塘、芦淞、天元、石峰4区的森林生态健康评价权重值分别为 0.359 4, 0.370 8, 0.369 8和0.783 3。由于城市森林生态系统健康评价尚无统一、公认的标准,为了便于森林生态健康度的定性和定量比较,将健康标准细分为5个等级,等级划分范围为[0,1.00],按基本等量和就近取整的原则来划分不同等级的划分范围^[11]。具体划分见表4。

表 4 城市森林生态健康标准

Table 4 The dividing standard of urban forest ecosystem health

| 等级 | 不健康 | 亚健康 | 健康 | 良好健康 | 优质健康 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 健康评价值 | 0.00~0.40 | 0.40~0.55 | 0.55~0.70 | 0.70~0.85 | 0.85~1.00 |

由此可以看出,株洲市的荷塘区、芦淞区和天元区的森林生态系统健康状况为不健康,而石峰区为良好健康。结合各个区的森林生态系统现状,石峰区由于石峰公园的存在,其植被覆盖率较高,人均公共绿地面积相对也较高,绿地的块体平均面积较大,公园内部林木茂盛,乔木结构优势度较大,乔灌木结构具有多样性,生态环境相对来说比较好。而荷塘区、芦淞区和天元区,集中了株洲市的很多企业和商业设施,特别是集中了多家冶炼厂,绿地面积相对较少,生态环境遭受了比较严重的污染,生态系统可持续性较差,城市森林生态环境健康状况较差。

5 结论与讨论

在建立城市森林生态系统健康评价指标体系的基础上,通过 AHP 法求得各个指标权重,再利用模糊综合评价法对株洲市四区的城市森林生态系统健康进行评价,能比较快捷、方便地得到评价结果,并且评价模型具有较强的可操作性和通用性。评价结果对研究地森林生态系统的规划、建设和管理有一定的参考价值。

模糊评判法在城市森林生态系统健康评价中的应用,只适用于静态评价,其评价结果也只代表一个现值。在建立城市森林生态系统健康评价指标体系时,还应考虑建立一个更加全面的评价体系,但所需数据收集难度大。故今后研究的方向一个是建立更加全面的并且有代表性的评价指标体系,并加强指标数据的收集能力;另一个是研究城市森林生态系统动态评价方法和生态系统健康预警方法,以便于全面动态地对城市森林生态系统健康进行评价。

参考文献:

- [1] Hirvonen H. Canada's national ecological framework: An asset to reporting on the health of Canadian forests[J]. The Forestry Chronicle, 2001, 77(1): 111-115.
- [2] Allen Eric. Forest health assessment in Canada[J]. Ecosystem Health, 2001(7): 28-34.
- [3] Noble I R, Dirzo R. Forests as human-dominated ecosystems[J]. Science, 1997, 277: 522-525.
- [4] 曹宇. 额济纳天然绿洲景观格局、动态、演化机制及其健康评价[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.
- [5] 杨学民, 杨瑞卿, 张慧, 等. 徐州市城郊森林生态系统健康评价及管理对策[J]. 中国城市林业, 2007, 5(1): 39-41.
- [6] 王鸣远. 中国林业经营类型系统及环境功能评价指标体系的探讨[J]. 林业科学, 2000(2): 100-109.
- [7] 温芝元, 曹乐平. 一类复杂生态系统的稳定性研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 32(1): 92-95.
- [8] 黄鹤羽, 李智勇, 林泽攀. 科技进步对林业经济增长作用分析与定量测算研究[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1996: 1-123.
- [9] 王永庆. 人工智能原理与方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1998: 31-50.
- [10] 仇一颗. 模糊层次评价在逆作法施工方案优选中的应用[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(1): 91-94.
- [11] 张秋根, 王桃云, 钟全林, 等. 森林生态环境健康评

价初探[J]. 水土保持学报, 2003, 17(5): 16-18.

责任编辑: 刘目前

英文编辑: 罗文翠