

基于Fuzzy的海南省天然林资源质量评估*

彭泰来 熊嘉武 邢元军 刘金山 黄俊威 齐建文

(国家林业和草原局中南调查规划院, 湖南 长沙 410014)

摘要 天然林资源质量评估是天然林保护修复工作开展的关键环节。文章以海南省天然林资源数据库为基础, 从中选择 8 项天然林小班属性因子, 构建天然林资源质量评估指标体系。使用熵值法计算评估指标权重, 建立模糊评价模型, 对海南省天然林资源质量水平进行评估分析。评估结果表明, 海南省天然林资源质量总体评估分值为 2.403 8, 海南省内不同林种中, 以特种用途林的天然林资源质量最优, 用材林中的天然林资源质量评估分值相对较低。全省不同生态区位之间的天然林资源质量总体评估分值排序为: 干流源头 > 江河两岸 > 国家级自然保护区 > 其它生态区位 > 重要水库 > 沿海防护林基干林带。

关键词 模糊数学; 海南省; 天然林资源; 森林质量; 综合评价

中图分类号: F326.2 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053(2023)02-0097-06

Quality Assessment of Natural Forest Resources in Hainan Province Based on Fuzzy Methods

PENG Taila XIONG Jiawu XING Yuanjun LIU Jinshan
HUANG Junwei QI Jianwen

(Central South Inventory and Planning Institute of National Forestry and Grassland Administration,
Changsha, Hunan 410014, China)

Abstract The evaluation of the quality of natural forest resources is an important part of the protection and restoration of natural forests. Based on the natural forest resources database, eight factors were selected to construct natural forest resources quality evaluation system. The weights of evaluation factors were calculated by the method of entropy analysis, and the quality of natural forest resources in Hainan province was evaluated by the method of fuzzy comprehensive evaluation. The evaluation results showed that the comprehensive evaluation score of natural forest resources in Hainan province was 2.403 8. Among different forest species in Hainan province, the quality of natural forest resources in special purpose forests was the best, while the quality of natural forest resources in timber forests was relatively poor. The ranking of comprehensive evaluation values was: the source of the main stream > both banks of river > National Nature Reserve > other ecological locations > important reservoirs > coastal shelter forest base trunk forest belt.

Key words fuzzy; Hainan province; natural forests; forests quality; comprehensive evaluation

* 基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (CAFYBB2017ZX002), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目重点项目 (CAFYBB2020ZD002)。

第一作者: 彭泰来 (1993—), 男, 主要从事林业调查规划设计等工作, E-mail: PengTL93@163.com。

通信作者: 齐建文 (1967—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事林业调查规划设计、资源监测和碳汇计量研究, E-mail: 631659781@qq.com。

天然林指天然起源的森林,包括自然形成与人工促进天然更新或者萌生所形成的地带性森林,具有较高的生物多样性、较复杂的群落结构和较高的生态系统稳定性^[1]。1993 年,海南省颁布实施《海南省森林保护管理条例》,自 1994 年起,海南省在全国范围内率先全面停止天然林商业性采伐,尖峰岭林业局等 11 个原森工企业实施转产,切实加强生态保护和建设,1998 年海南省被纳入天然林资源保护工程试点范围,海南省天然林为全省贡献了丰富的生态效益、社会效益和经济效益,有效保障了生态安全和木材战略储备。《天然林保护修复制度方案》要求全面落实天然林保护责任,对天然林质量、数量和效益进行监测评估。因此,加强对海南省天然林资源质量评估研究力度,量化得到科学的评估数据,对进一步健全海南省天然林资源监测评估体系至关重要。

森林在生态、社会和经济效益三方面的价值之和即为森林质量^[2],质量评价通常使用模糊综合评价法^[3-10]、层次分析法^[11-17]、因子分析法^[18-19]、物元分析法^[11,20-21]等方法。森林质量评价目前使用方法多为模糊综合评价法,该方法能有效处理难以量化的指标。目前,森林资源质量评估使用的数据大多来自于森林资源连续清查数据、森林资源二类调查数据和森林资源管理“一张图”数据等,因受到原始数据源限制,尚未实现全国各省(区、直辖市)基于相同尺度的对天然林资源的综合质量评价。随着森林资源管理“一张图”数据与第三次全国国土调查数据对接融合工作开展,天然林资源数据库的形成,具备了全国各省(区、直辖市)开展基于相同尺度的对天然林资源质量评价的条件。本文以海南省天然林资源数据库为基础,科学选择评估因子,并运用熵值法计算得到各评估因子权重,建立模糊评价模型计算得出评估结果。对天然林资源质量分生态区位开展评估分析,为实现海南省天然林资源全面保护管理决策和高质量发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文数据均来源于 2021 年度海南省天然林资源数据库。2021 年,国家林业和草原局开展天然林资源保护工程省级自评估项目工作,海南省依据相关规程规范,进行天然林管理管护情况、建

设情况、成效调研,全面系统地梳理并建立海南省天然林资源数据库。

1.2 评估指标体系的构建

借鉴相关文献^[16,22-25],根据数据的可获得性、评估指标的适用性和可行性,以海南省天然林资源质量为目标层,分别由 3 个准则层和 8 个评价指标来反映。如表 1 所示,准则层分别为天然林资源林木质量 B_1 、稳定性 B_2 和立地条件 B_3 。其中:天然林资源林木质量分别由郁闭度(覆盖度) C_1 、平均胸径 C_2 和每公顷蓄积量 C_3 等构成;天然林资源稳定性分别由坡位 C_4 、坡度级 C_5 和地貌 C_6 构成;天然林资源立地条件分别由保护等级 C_7 和龄组 C_8 等构成。

1.3 评估方法

模糊数学是描述和研究模糊事物或对象的新型数学方式与理论。模糊评价模型是建立在不具备确定性的模糊集合基础上,依据模糊数学的“隶属度”理论来表征模糊集合中的元素属于模糊集合的程度,能有效处理较难量化的、无法确定的问题。同时,在模糊评价模型中,因子权重的设计环节将对评估的最终结果产生显著影响^[26],通过与以往的森林质量评价研究对比^[23],本文在等级划分上更详细,应用熵值法计算得出权重,并进行分析。

建立模糊评价模型的步骤:

1) 明确因子集 C 和评估集 V

根据海南省天然林资源质量评估指标体系,因子集由 8 项指标组成,即因子集 $C=\{C_1, C_2, \dots, C_8\}$ 。通过参考过往的关于森林资源综合评估等领域的研究结果^[15,27-30],拟将海南省天然林资源质量评估等级划分为 4 级,即评估集 $V=\{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{劣}\}$ 。

2) 构建综合评估矩阵 R

使用频率法计算隶属度函数,即计算得出海南省天然林资源数据库中不同评估因子属于不同评估质量级别的比重,由此确定每个指标的隶属度,综合评估隶属度矩阵 R 如下:

$$R = \begin{bmatrix} R & | & C_1 \\ R & | & C_2 \\ \vdots & \dots & \vdots \\ R & | & C_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \dots\dots (1)$$

式中: r_{nm} 表示第 n 个因子对应第 m 个级别的相对隶属度。 $n=1, 2, 3, 4, \dots, 8$; $m=1, 2, 3, 4$; R 为综合评价隶属度矩阵, C 为因子集。

表 1 天然林资源质量评估指标体系及级别划分
Tab.1 Natural forest resources quality evaluation index system and classification

目标层 A Target layer A	准则层 B Criteria layer B	指标层 C Indicator layer C	等级划分标准 Grading criteria			
			优	良	中	劣
海南省天然林资源质量 A	天然林资源林木质量 B ₁	郁闭度 C ₁	$0.6 \leq C_1 < 0.8$	$0.4 \leq C_1 < 0.6, C_1 \geq 0.8$	$0.2 \leq C_1 < 0.4$	$C_1 < 0.2$
		覆盖度 C ₁	$C_1 \geq 70\%$	$55\% \leq C_1 < 70\%$	$30\% \leq C_1 < 55\%$	$C_1 < 30\%$
		平均胸径 C ₂	$C_2 \geq 20 \text{ cm}$	$14 \text{ cm} \leq C_2 < 20 \text{ cm}$	$5 \text{ cm} \leq C_2 < 14 \text{ cm}$	$C_2 < 5 \text{ cm}$
		每公顷蓄积量 C ₃	$C_3 \geq 150 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	$90 \text{ m}^3/\text{m}^2 \leq C_3 < 150 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	$45 \text{ m}^3/\text{m}^2 \leq C_3 < 90 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	$C_3 < 45 \text{ m}^3/\text{hm}^2$
	天然林资源稳定性 B ₂	坡位 C ₄	山谷, 平地, 下坡	中坡	上坡	脊部
		坡度级 C ₅	缓坡, 平坡 ($< 15^\circ$)	斜坡 ($16^\circ \sim 25^\circ$)	陡坡, 急坡 ($26^\circ \sim 45^\circ$)	险坡 ($\geq 46^\circ$)
		地貌 C ₆	平原和台地 (平坦开阔, 起伏很小, 相对高差小于 50 m)	丘陵 (没有明显的脉络, 坡度较缓和, 且相对高差小于 100 m)	低山 (海拔小于 1 000 m 山地。2 km ² 范围内相对高差 200~500 m)	中山 (海拔为 1000~3499m 的山地。2 km ² 范围内相对高差在 500 m 左右)
		保护等级 C ₇	I 级	II 级	III 级	IV 级
	天然林资源立地条件 B ₃	龄组 C ₈	成熟林	过熟林, 近熟林	中龄林	幼龄林

3) 确定评估指标权重向量 W

构建并标准化处理海南省天然林资源数据矩阵后, 运用熵值法进行计算^[31]。天然林数据库中乔木型小班填写郁闭度, 灌木型小班填写覆盖度, 两者共用一个“郁闭度/覆盖度”指标; 其中覆盖度指标数据由公式 $F_{\text{处理值}} = 0.00875 \times F_{\text{原始值}} + 0.00125$ 进行转换计算^[7]。

熵值法计算步骤:

①求指标 j 的熵值 e_j

$$e_j = -\frac{1}{\ln k} \sum_{i=1}^k p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中, $0 \leq e_j \leq 1$, 指标 j 的标准化值为 p_{ij} ; e_j 为指标 j 的熵值, k 为待定系数, 取值为 $k > 1$ 。

②求指标 j 的效用值 d_j

$$d_j = 1 - e_j \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中, d_j 为指标 j 的效用值, e_j 为指标 j 的熵值。

③求指标 j 的权重 w_j

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad \dots\dots\dots (4)$$

4) 确定综合评价向量 B , 进行综合评价。选择 $M(\cdot, \oplus)$ 算子^[32], 求得得到综合评价向量 B 。

海南省天然林资源质量综合评价模型为:

$$B = w_j \cdot R = (b_1 \quad b_2 \quad \dots \quad b_m) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中, b_m 为隶属水平, w_j 为指标 j 的权重, R 为综合评价隶属度矩阵, B 为综合评价向量。

在进行有效度检验后, 可以运用最大隶属度原则确定评价结果, 具体检验指标为:

$$\alpha = \frac{m\beta - 1}{2\gamma(m-1)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中: $\beta = \max_{1 \leq i \leq m} \{b_i\}$, $\gamma = \max_{1 \leq j \leq m, j \neq i} \{b_j\}$ 。当 $1 \leq \alpha < +\infty$ 时, 施行最大隶属原则达到极显著效果; 当 $0.5 \leq \alpha < 1$ 时, 施行最大隶属原则达到显著效果; 当 $0 < \alpha < 0.5$ 时, 施行最大隶属原则效果不显著。

如采用加权平均原则, 综合评价值为:

$$B^* = \frac{\sum_{i=1}^m \mu(v_i) \times b_i^k}{\sum_{i=1}^m b_i^k} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中, B^* 为综合评价值; $\mu(v_i)$ 为评价等级值变量, 本研究中“优”、“良”、“中”、“劣”等级分别取 4、3、2、1; k 为待定系数, 取值为 $k > 1$ 。

2 结果与分析

2.1 海南省天然林资源质量评估指标隶属度

基于海南省天然林资源质量评估指标体系标准,计算得到海南省天然林资源质量不同评估指标在各个评估级别上的比重(表2),从而确定单一指标隶属度,确定隶属度矩阵。

表2 海南省天然林资源质量评估指标隶属度
Tab.2 Subordinate degree of evaluation index of natural forest resources quality in Hainan province

评估指标 Evaluation indicators	等级 Grade			
	优	良	中	劣
C ₁	0.353 8	0.612 5	0.033 6	0.000 1
C ₂	0.069 8	0.282 2	0.594 6	0.053 4
C ₃	0.191 5	0.187 3	0.296 6	0.324 6
C ₄	0.610 0	0.009 7	0.001 6	0.378 7
C ₅	0.035 2	0.050 0	0.914 3	0.000 5
C ₆	0.015 5	0.150 5	0.744 0	0.090 0
C ₇	0.270 2	0.695 8	0.005 0	0.029 0
C ₈	0.088 2	0.160 9	0.536 0	0.214 9

表4 海南省天然林资源质量评估结果

Tab.4 Evaluation results of natural forest resource quality in Hainan province

方法 Method	等级 Grade				最大隶属原则 有效度检验 Method maximum subordination principle validity test
	优	良	中	劣	
熵值法 Entropy method	0.174 9	0.255 3	0.368 5	0.201 3	0.309 4

评估结果显示,海南省天然林资源质量评估分值为2.403 8,总体质量水平高于“中”级,表明海南省天然林资源质量水平处于中等偏上区间,需进一步健全天然林保护修复的政策保障体系和监督评估体系,建立健全天然林补偿政策和机制,推动天然林保护工作高质量发展。各森林类别中,公益林中的天然林资源质量最优;一般商品林内的天然林资源质量评估分值相对较低,并且处于临界值,如果未来对其保护修复不当,一定程度上可能向更低等级发展。总体评估分值从大到小排序依次为:公益林>重点商品林>一般商品林。按林种和生态区位对总体评估分值进行排序,分别为:特种用途林>防护林>用材林;干流源头>江河两岸>国家级自然保护区>其它生态区位>重要水库>沿海防护林基干林带。权属为国有的

2.2 海南省天然林资源质量评估指标权重

运用熵值法计算出不同评估因子的权重(表3)。通过参考过往的森林资源质量指标体系研究成果^[33],C₃、C₂指标表现尤为关键,是主要区分指标。

表3 评估指标权重
Tab.3 Weight of evaluation indexes

评估指标 Evaluation indicators	权重 Weight value	评估指标 Evaluation indicators	权重 Weight value
C ₁	0.051 2	C ₅	0.009 8
C ₂	0.320 5	C ₆	0.002 9
C ₃	0.497 1	C ₇	0.048 7
C ₄	0.037 4	C ₈	0.032 4

2.3 海南省天然林资源质量评估结果

根据评估指标权重和隶属度矩阵,计算得到海南省天然林资源质量评估结果(表4)。通过最大隶属原则有效度检验,显示熵值法计算的评估结果有效度为0.309 4。海南省天然林资源质量评估方法选取熵值法计算得到的权重,通过加权平均原则得出综合评估分值(表5)。

天然林多数位于自然保护区、森林公园等自然保护区或重要水库周边。各评估对象的总体评估在一定程度上可以相互验证,证明本评估方法具有可行性和实用性。

3 结论与讨论

3.1 根据模糊综合评价模型计算得到的评估结果,并不单是一个简单的数值,其既能够准确评估目标对象,又能够延伸出不同级别和层次的评估内容。同时对海南省天然林资源质量的评估结果符合常识规律,具有客观性和可行性。运用模糊综合评价法对海南省天然林资源质量开展监测评估,能够高效、科学、精确地产出评估结果,同时能够对全国各省(区、直辖市)基于相同尺度开展监测评估提供借鉴,具有良好的实际应用潜力。

表 5 海南省天然林资源质量分森林类别、林种、生态区位综合评估值
Tab.5 Comprehensive evaluation value of forest category, forest species, and ecological location of natural forest resources quality branch in Hainan province

类别 1 Classification 1	类别 2 Classification 2	等级 Grade				综合评估分值 Comprehensive evaluation score
		优	良	中	劣	
总体		0.174 9	0.255 3	0.368 5	0.201 3	2.403 8
森林类别	公益林	0.177 2	0.260 0	0.369 9	0.193 0	2.421 6
	重点商品林	0.148 3	0.131 4	0.256 7	0.463 6	1.964 4
	一般商品林	0.070 7	0.120 8	0.408 9	0.399 7	1.862 7
	防护林	0.142 9	0.263 7	0.384 2	0.209 2	2.340 3
林种	特种用途林	0.251 5	0.251 6	0.338 7	0.158 2	2.596 4
	用材林	0.117 7	0.132 2	0.362 8	0.387 2	1.980 2
生态区位	干流源头	0.402 8	0.180 7	0.247 0	0.169 5	2.816 8
	江河两岸	0.336 3	0.230 9	0.249 1	0.183 7	2.719 8
	沿海防护林基干林带	0.042 6	0.224 1	0.344 1	0.389 1	1.920 0
	国家级自然保护区	0.272 9	0.249 2	0.316 3	0.161 7	2.633 5
	重要水库	0.115 5	0.130 1	0.580 4	0.174 0	2.187 1
	其它生态区位	0.153 1	0.270 1	0.384 1	0.192 7	2.383 6

注：评估等级按 4、3、2、1 赋值。
Note: The evaluation level is assigned as 4, 3, 2 and 1.

质量评估是天然林资源监测评估体系的关键环节之一，应对其开展进一步研究。

3.2 根据表 5 的计算结果，可知影响天然林资源质量的关键因素是每公顷蓄积量和平均胸径。依据评估结果，海南省天然林资源质量各森林类别总体评估值均高于“中”级，总体质量有待提高。不同类别天然林之间，公益林综合评估分值最高，一般商品林分值相对较低；不同林种之间，特种用途林最高，用材林相对较低；不同生态区位之间，干流源头最优，沿海防护林基干林带相对较低。通过对天然林资源评估指标进行分析，影响天然林资源质量的因素主要有：一是天然商品林林分质量有待提高，商品林因受到人为因素干扰较多，较难完全实现天然林生态系统最佳整体功能。二是龄组结构不理想，通过对海南省天然林资源数据库比对分析后可以发现，海南省天然乔木林以幼龄林和中龄林为主，中幼龄林面积达 75.09%，纯林面积占比 23.58%，天保工程区内乔木林中幼龄林面积达 71.64%，纯林面积占比 26.22%，林分质量仍有提升空间。受天然林的管

控要求，天然林改造活动强度不得过高。

建议一是采取在重点生态区位商品林赎买、置换等方式，科学经营，人工促进天然林自然修复，将天然商品林逐步转化为天然公益林，从而实现天然林生态系统最佳整体功能。二是针对海南省天然林资源数据库部分小班，即尚处于群落演替早期阶段，尚未形成复层异龄混交林等相对稳定状态，可以通过采取森林经营措施，改善林分结构，提高林分质量，逐渐形成以热带阔叶混交林、针阔混交林等为主的森林顶级群落。

3.3 天然林资源评估指标体系还需要进一步健全。

①天然林资源在不同地区之间存在差异，如何进一步开展科学评估有待探讨；②天然林资源评估指标尚不完善，仍有部分可参与质量评估的指标未被纳入，如缺少区域生态系统脆弱性、自然恢复能力、物种珍稀性等，如能结合森林资源管理“一张图”数据与“三调”数据对接融合后的数据库，可进一步完善天然林资源评估指标体系，更科学地评估天然林资源质量；③通过天然林全面保护，多数地区已是青山常驻，但是目前天然林

资源总体状况距离功能完备、高质量、高价值的森林资源还有一定差距,如何根据天然林保护重点区域和基础区域差异,以及不同的地形地貌、森林类型和质量、人口密度及管护难易程度等因素,完善天然林资源质量评估体系,提供更多优质天然林生态产品是今后的研究重点之一。

参考文献

- [1] 刘世荣,马姜明,缪宁.中国天然林保护生态恢复与可持续经营的理论与技术[J].生态学报,2015(35):212-218.
- [2] DUDLEY N, SCHLAEPFER R, JACKSON W, et al. Forest quality: assessing forests at a landscape scale[M]. Routledge,2012.
- [3] 陈焱,朱梦旗,卢佳欢,等.森林公园香景观模糊综合评价研究:以五营国家森林公园为例[J].生态经济,2018,34(12):232-236.
- [4] 王硕,安慧君,张智杰,等.基于模糊综合评价法的红花尔基森林健康质量评价[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2018,39(1):22-28.
- [5] 安慧君,王硕,常峥,等.森林质量模糊评价模型中赋权方法的选择:以红花尔基为例[J].西北林学院学报,2018,33(5):167-171.
- [6] 齐也,江瑶,张中瑞.广东蕉岭生态公益林质量评价[J].林业与环境科学,2021,37(4):91-95.
- [7] 彭泰来,黄俊威,刘金山,等.基于模糊综合评价法的天然林资源质量评价[J].林业资源管理,2022(6):82-88.
- [8] 李宁.基于层次分析和模糊评价法的本溪市森林结构调整研究[J].中南林业科技大学学报,2014,34(4):68-71.
- [9] 肖化顺,张贵,曾思齐.武冈林场森林可持续经营能力模糊综合评价[J].中南林学院学报,2004(4):54-58.
- [10] WANG H, DING T. Research on the evaluation of energy-saving emission reduction for the drop and pull transport based on the AHP-fuzzy comprehensive evaluation[C]//Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Business Innovation and Technology Management Conference. Institute of Electrical and Electronics Engineers,2013:283-286.
- [11] 张博,王照利,雷方隽.基于层次分析法和物元分析法的森林资源质量评价:以延川县为例[J].西北林学院学报,2022,37(2):208-215.
- [12] 邓须军,黄芷妍.基于层次分析法的海南森林资源健康评价研究[J].生态经济,2017,33(6):201-204.
- [13] 刘燕,刘佳,支玲.国有林场森林资源管理条件评价:以福建省将乐国有林场为例[J].中南林业科技大学学报,2015,35(8):115-121.
- [14] 赵新泉,马燕娥.基于层次分析法的大兴安岭林区森林可持续经营评价[J].东北林业大学学报,2014,42(12):137-140.
- [15] 张会儒,何鹏,郎璞玫.基于AHP和Fuzzy的延庆县森林资源综合评价[J].西北林学院学报,2011,26(5):179-184.
- [16] 郭宁,邢韶华,姬文元,等.森林资源质量状况评价方法及其在川西米亚罗林区的应用[J].生态学报,2010,30(14):3784-3791.
- [17] WANG N J, BAO Y Q. Modeling forest quality at stand level: a case study of loess plateau in China [J]. Forest Policy and Economics,2011,13(6):488-495.
- [18] 温小荣,蒋丽秀,郑勇,等.因子分析法在马尾松人工林蓄积相关因子评价中的应用[J].中南林业科技大学学报,2014,34(11):32-36.
- [19] 王京民,李清顺.应用因子分析法对林分蓄积相关因子的分析[J].西北林学院学报,2012,27(1):169-172.
- [20] 陈俊华,龚固堂,朱志芳,等.小流域防护林体系的空间对位配置[J].林业科学,2012(48):38-47.
- [21] 陈华,林华忠,靳爱仙,等.基于物元分析法的将乐国有林场用材林质量评价研究[J].林业资源管理,2018(5):82-89.
- [22] 冯继广,王景升,姚帅臣,等.基于因子分析的森林资源质量综合评价[J].中南林业科技大学学报,2017,37(1):27-32; 42.
- [23] 张邦文,郑世跃,欧阳勋志,等.基于森林资源二类调查数据的森林资源质量评价:以江西安福县明月山林场为例[J].江西农业大学学报,2011,33(6):1155-1159.
- [24] 武高洁,赵天忠.基于物元模型的森林资源质量评价研究[J].南方农业学报,2011,42(1):109-113.
- [25] 石春娜,王立群.我国森林资源质量变化及现状分析[J].林业科学,2009,45(11):90-97.
- [26] 刘素芝,何小东,李建军.基于知识粒度的森林生态系统健康评价指标赋权方法[J].生态学杂志,2014,33(4):1082-1088.
- [27] 温伟庆.基于GIS的漳平市生态公益林建设监测与评价[J].福建林学院学报,2010,30(2):187-192.
- [28] 王雪军,张煜星,黄国胜,等.赣州市林地质量评价及生产潜力研究[J].江西农业大学学报,2014,36(5):1159-1166.
- [29] 崔国发,邢韶华,姬文元,等.森林资源可持续状况评价方法[J].生态学报,2011,31(19):5524-5530.
- [30] 张宗艺,刘鹏举,唐小明.基于粗糙集与C5.0决策树的林地质量评价[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(3):96-102; 110.
- [31] 邹志红,孙靖南,任广平.模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J].环境科学学报,2005,25(4):552-556.
- [32] 张连刚,支玲,张静,等.林业专业合作组织满意度的多层次模糊综合评价[J].林业科学,2014,50(8):154-161.
- [33] 杨诚誉,陈启博.湖南省森林资源可持续经营指标体系研究[J].林业资源管理,2017(S1):41-46.