

农村生态环境指标体系的构建与评价

曹连海, 郝仕龙, 陈南祥

(华北水利水电学院 资源与环境学院, 郑州 450011)

摘 要: 农村生态环境系统是复杂的系统, 是一个多属性、多层次的子组织系统, 它的影响因素包括自然因素、经济因素和社会因素。利用层次分析法, 构建了三层农村生态环境评价指标体系, 给出各指标评价的标准值, 利用主成分分析法计算指标的权重, 给出了各指标的计算方法; 设计了一个五级分级标准, 并给出相应的分级评语, 用以评价农村地区的生态化程度。以新密市为例, 评价各乡镇的生态化程度, 利用评价结果, 探讨了各乡镇提高生态化程度的方向。

关键词: 农村生态环境; 层次分析法; 指标体系

中图分类号: X321

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0238-03

Building and Evaluation of the Rural Ecological Environment Index System

CAO Lianhai, HAO Shilong, CHEN Nianxiang

(College of Resource and Environment Science, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: The rural ecological environment system is complexity, multiattribute and multilayer tissue system, so its impact factors include natural, economic and social factors. This paper builds three layers rural ecological environment index system with analytic hierarchy process and presents standard value of the index evaluation, and calculates index weight with principal component analysis, and gives indexes computing method, and designs five classification standard, and presents corresponding classification remark, use the remark to evaluate rural ecological degree. As an example of Xinmi town, this paper evaluates villages and towns ecological degree and discusses the ways to improve ecological degree.

Key words: the rural ecological environment; analytic hierarchy process; index system

随着我国农村经济的发展, 生态环境也面临着日趋恶化的危机。“许多乡村特别是乡镇企业发达地区和开发项目比较多的地区, 很难找到‘一块净土’、‘一方净水’。”^[1] 在很多农村的沟渠河道正遭受着工业废水和生活垃圾污染的同时, 水土流失尚未得到有效控制, 边治理边破坏的现象依然存在, 目前全国还有 200 多万平方公里的水土流失区亟待治理, 任务十分艰巨。环境污染也逐步加重, 植被严重破坏、水土流失日趋严重, 水资源的缺乏与污染令人担忧。环境问题已成为我国 21 世纪农村经济发展的重要制约因素。虽然国内在生态环境方面的研究较多^[2-3], 但多偏重于城市或工程项目的生态环境研究, 对于农村生态环境的研究要么偏重于治理, 要么侧重于管理, 而对农村生态环境的评价较少涉及。

农村生态环境评价是依据一定的标准和方法对

农村地区生态环境所处状态的一种整体性描述, 它是客观的, 不以评价者的主观意志为转移的, 生态环境系统也是复杂的系统, 它的影响因素包括自然因素、经济因素和社会因素, 所以指标的选取应涵盖这三个因素, 同时在确定生态环境评价指标体系时应充分考虑到生态环境的服务功能和健康诊断评价。

本文利用层次分析法^[4], 从农村生态系统的空间结构、生态功能和协调度三个方面来构建指标体系; 利用主成分分析法确定各级指标的权重, 并以新密市为例, 评价新密市农村生态环境状况, 利用评价结果, 探讨各乡镇提高生态化程度的方向。

1 指标体系的构建

农村生态环境系统是一个大系统, 包含的因子极多, 对它进行生态评价必须选择若干因子作为评价指

收稿日期: 2010-06-18

资助项目: 国家自然科学基金项目(40772165); 华北水利水电学院青年科研基金(HSQJ2006010)。

作者简介: 曹连海(1970-), 男, 河南信阳人, 副教授, 硕士, 主要研究方向为资源保护与环境治理。E-mail: caolianhai@ncwu.edu.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

标。但不管确定哪些指标都必须围绕生态区域的建设规律来进行,一个符合生态规律的农村地区应该具备结构合理、功能高效和关系协调的条件。因此农村生态环境指标体系的确定应从农村生态系统的空间结构、生态功能和协调度三个方面来构建指标体系。

农村生态环境系统是一个多属性、多层次的子组织系统,其指标体系的建立在科学上属于复杂系统的多属性评判问题。它不是一维简单的物理量,而是一个包括物理因素、社会因素及心理因素在内的,由众多属性组成的多维多层向量。

指标体系的构建主要采用层次分析方法,首先确定社会主义新农村生态环境评价的主要方面,然后分解为能体现该指标的亚指标,按此原则再次进行分解,直到最底层的单项评价指标。在这里构建了一个三层次的生态环境评价指标结构的框架,一级指标有结构、功能和协调度三方面组成。二级指标是根据前述评价指标选择原则,选择若干因子所组成;三级指标又是在二级指标下选择若干因子组成整个评价指标体系。它们的最高级(0级)综合指标为生态环境综合指数(ESI),用以评价农村地区的生态化程度。

由于农村生态环境系统的结构、功能和协调度都是许多因子组成的,其中有些因子可以定量并且容易定量,而有些因子是难以定量或者说是难以取得定量数据的。因此,对二级指标,特别是三级指标的选择只能根据评价指标建立的原则加以选择,不可避免地存在着不完备的缺陷。随着对农村生态环境系统研究的深入以及统计资料的不断完备,对二级指标,特别是三级指标还可以进行不断修改和补充。

对农村生态环境评价离不开对各项评价指标标准值的确定,为了适应当前评价的要求,指标的标准值确定采用几个途径:①凡已有国家标准的或国际标准的指标尽量采用规定的标准值;②参考国内或国外具有良好农村生态环境的现状值作为指标值;③依据现有的环境与社会、经济协调发展的理论量化确定标准值;④参考现有的文献资料确定;⑤对那些目前统计数据不十分完整,但在指标体系中又十分重要的指标,在缺乏有关指标统计前,暂用类似指标代替。本文建立的指标体系及其标准值见表1。

2 权重的确定

社会主义新农村生态环境评价指标体系涉及自然、社会、经济等多个复杂因素。各个因素对新农村生态环境质量的影响程度各不相同。只有准确地确定出各个指标的权重值才能科学地评价生态环境质量。有关综合评价中指标权重的确定方法,目前已取

得较多研究成果,根据确定途径,大致可分为两类:一类是基于决策者的经验和偏好,通过各指标属性进行比较而赋权的方法,称为主观赋权法,如专家调研法(Delphi法)、层次分析法(AHP法)、环比评分法、二项系数法等;另一类是基于相应属性指标的数据关系确定权重的方法,称为客观赋权法,如主成分分析法、因子分析法、熵值法、物元分析法、灰色关联度法、模糊聚类法、人工智能算法、粗糙集理论算法、云模型方法等^[56]。本文采用主成分分析法确定指标的权重。

3 生态环境综合指数的计算

3.1 三级指标指数的计算

三级指标指数是社会主义生态环境综合评价指标体系的基础,其计算公式如下:

当指标数值越大越好时,

$$Q_i = 1 - \frac{S_i - C_i}{S_i - \min S} \quad (1)$$

当指标数值越小越好时,

$$Q_i = 1 - \frac{C_i - S_i}{\max S - S_i} \quad (2)$$

式中: Q_i ——三级指标 i 的指数值; S_i ——三级指标 i 的标准值; C_i ——评价农村地区三级指标 i 的现状值; $\max S$ ——指标 i 的最大值值乘以 1.05; $\min S$ ——指标 i 的最小值值除以 1.05。

3.2 二级指标指数的计算

二级指标指数是根据所属各三级指标指数乘以各自的权重后,进行加和。其计算公式如下:

$$V_i = \sum_{j=1}^m \lambda_j Q_{ij} \quad (3)$$

式中: V_i ——二级指标 i 的指数值; Q_{ij} ——三级指标 j 的指数值; λ_j ——该级指标下三级指标 j 的权重; m ——该二级指标所属三级指标的项数。

3.3 一级指标指数的计算

一级指标指数的计算是将其所属的二级指数乘以各自的权重后,进行加和。其计算公式如下:

$$U_i = \sum_{j=1}^n W_j V_{ij} \quad (4)$$

式中: U_i ——一级指标 i 的指数值; V_{ij} ——该一级指标下二级指标 j 的指数值; W_j ——该一级指标下二级指标 j 的权重; n ——该一级指标下所属二级指标的个数。

3.4 生态环境综合指标的计算

采用加权叠加的方法,将个一级指标乘以各自的权重,再进行一次求和,得到生态环境综合指数(ESI),其计算公式如下:

$$ESI = \sum_{i=1}^n W_i U_i \quad (5)$$

式中: U_i ——一级指标 i 的指数值; W_i ——一级指标 i 的权重; n ——一级指标个数。

3.5 评价计算的结果及综合分析

根据调查资料, 按上述公式计算即可得出各级指标评价结果, 再进一步对综合指数进行分级, 以确定农村地区的生态化程度。参照国内外的各种综合指数的分级方法, 设计了一个五级分级标准, 并给出相应的分级评语, 可以在此基础上做出生态环境评价。的分级标准及评语见表 1。

表 1 的分级标准及评语

分级	指数值	评语
第 I 级	> 0.75	生态化程度很高
第 II 级	0.50~ 0.75	生态化程度较高
第 III 级	0.35~ 0.50	生态化程度一般
第 IV 级	0.20~ 0.35	生态化程度较低
第 V 级	< 0.20	生态化程度很低

4 案例

新密市地处中原腹地的嵩山东麓, 双洎河上游, 距河南省会郑州 40 km。辖 14 个乡镇、3 个街道办事处, 总人口 75.8 万人。新密是河南省 26 个加快城镇化进程重点县(市)、35 个扩权县(市) 和 23 个对外开放重点县(市) 之一。新密市地处嵩山低山丘岭区, 地势西北高、东南低, 西、北、南三面环山, 中部丘壑相间, 东部地势较为平坦。煤炭、耐材、造纸、建材是新密市四大支柱产业, 超化镇是闻名国内外的耐火材料专业镇, 大隗镇被誉为全国造纸第一镇。随着经济的发展, 新密市的生态环境问题也越来越突出, 主要河流双洎河水质功能类别为 IV 类, 综合评价水质类别为 V 类, 主要超标物质为溶解氧高锰酸盐指数、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮、挥发酚、铅。由此可知, 其已超出其水质功能类别, 严重影响了水资源利用和周边人民的身心健康。同时, 由于地下水超采, 地下水位下降, 形成大范围降落漏斗, 已被污染的地表水下渗很容易引起地下水污染。

本文选取新密市 1998- 2005 年的指标进行计算, 计算所得结果见表 2。

总体来看, 新密市农村生态环境状况中等, 生态化程度较高的乡镇是刘寨镇、袁庄乡、尖山乡(II 级), 可以重点发展旅游业、生态农业; 生态化程度一般的乡镇是城关镇、牛店镇、平陌镇、白寨镇、岳村镇、来集镇、米村镇、曲梁乡(III 级), 应调整产业结构, 减少环境污染; 生态化程度较低的乡镇是超化镇、苟堂镇、大隗镇(IV 级), 应限制污染行业的发展, 调整产业结构, 限制企业排污, 走集约化发展道路。

表 2 各级指标权重值

一级指标	二级指标	三级指标	权重	
空间 结构 B ₁ (0.100)	农村	污染控制 综合得分 D ₁	0.571	
	环境 C ₁ (0.667)	地表水与地下水水质指数 D ₂	0.286	
		空气质量(SO ₂) D3	0.143	
	经济结构	第二产业比例 D ₄	0.333	
	C ₂ (0.222)	第三产业比例 D ₅	0.667	
	社会 结构 C ₃ (0.111)	人口密度 D ₆	0.143	
			人均期望寿命 D ₇	0.571
			万人口中高等学历人数 D ₈	0.143
			外出务工人员比例 D9	0.143
生态 功能 B ₂ (0.600)	物质	秸秆回收利用率 D ₁₀	0.200	
	循环 C ₄ (0.073)	废水回收利用率 D ₁₁	0.400	
		固体废物回收利用率 D ₁₂	0.400	
	资源	人均水资源量 D ₁₃	0.400	
	配置 C ₅ (0.216)	人均生活用水量 D ₁₄	0.200	
			人均生活用电量 D ₁₅	0.200
			人均住房面积 D ₁₆	0.200
	生态	农村居民家庭人均纯收 D ₁₇	0.333	
	活力 C ₆ (0.711)	万元产值耗能 D ₁₈	0.333	
	土地产出率 D ₁₉	0.334		
协调 度 B ₃ (0.300)	社会保障	人均保险费 D ₂₀	0.333	
	C ₇ (0.088)	劳保福利 占收入的比重 D ₂₁	0.667	
	农村文明	万人拥有医疗病床数 D ₂₂	0.800	
	C ₈ (0.092)	万人藏书量 D ₂₃	0.200	
	可持续性	科教投入占GDP 的比例 D ₂₄	0.500	
	C ₉ (0.310)	农村内部收入比 D ₂₅	0.500	
	舒适度 C ₁₀ (0.510)	农村居住区绿地覆盖率 D ₂₆	1.000	

5 结论

(1) 农村生态环境系统是复杂的系统, 是一个多属性、多层次的子组织系统, 其指标体系的建立在科学上属于复杂系统的多属性评判问题。它的影响因素包括自然因素、经济因素和社会因素, 利用层次分析法, 从农村生态系统的空间结构、生态功能和协调度三个方面来构建指标体系; 构建了一个三层次的生态环境评价指标结构的框架, 一级指标有结构、功能和协调度三方面组成; 二级指标是根据前述评价指标选择原则, 选择若干因子所组成; 三级指标又是在二级指标下选择若干因子组成整个评价指标体系; 制定评价标准值, 其综合指标为生态环境综合指数, 设计了一个五级分级标准, 并给出相应的分级评语, 用以评价农村地区的生态化程度。

(2) 以新密市 1998- 2005 年为例, 采用主成分分析法确定指标的权重, 并计算各乡镇的生态环境综合指标等级; 14 个乡镇中 3 个为 II 级, 3 个为 IV 级, 8 个为 III 级; 新密市农村生态环境状况中等。利用评价结果, 探讨了各乡镇提高生态化程度的方向。

(下转第 244 页)

降; CAT 活性也表现出相似的趋势,但与对照相比无显著变化。机械损伤处理后,合作杨叶片中的 SOD 和 CAT 活性随着损伤时间的延长呈现先升高再降低的趋势,在处理末期其活性仍然显著高于对照;而 POD 活性随时间延长无明显变化,维持在一个相对稳定的水平。这些酶活性变化与昆虫取食和机械损伤后叶片内 MDA 和 H_2O_2 积累表现出一致性,从而有效清除 ROS,维持膜系统稳定。两种不同处理方法中,昆虫取食诱导的膜质过氧化和抗氧化酶活性变化与机械损伤诱导结果表现出明显差异,这是因为昆虫取食除了对合作杨叶片造成机械损伤,同时还有其口腔分泌物的参与。表明合作杨遭到伤害胁迫后体内 H_2O_2 短时间内快速积累可能与抗虫性之间存在着一定关联。

综上所述,机械损伤和昆虫取食均能引起合作杨叶片中活性氧迸发,同时又通过诱导抗氧化酶类活性提高,降低膜质过氧化水平,进一步诱导伤害防御反应产生,为探讨合作杨抗虫性机制从生理生化方面奠定了基础。

参考文献:

- [1] Baldwin I T. An ecologically motivated analysis of plant herbivore interactions in native tobacco[J]. *Plant Physiol.*, 2001, 127: 1449-1458.
- [2] León J, Rojo E, Sánchez Serrano J J. Wound signaling in plants[J]. *J. Exp. Bot.*, 2001, 52: 1-9.
- [3] Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress[J]. *Ann. Bot.*, 2003, 91: 179-194.
- [4] Mur L, Kenton P, Draper J. In planta measurements of oxidative bursts elicited by avirulent and virulent bacterial pathogens suggests that H_2O_2 is insufficient to elicit cell death in tobacco[J]. *Plant Cell Environ.*, 2005, 28:

548-561.

- [5] Slesak I, Slesak H, Libik M, et al. Antioxidant response system in the short term post wounding effect in *Mesembryanthemum crystallinum* leaves[J]. *J. Plant Physiol.*, 2008, 165: 127-137.
- [6] Maffei M E, Mithöfer A, Arimura G, et al. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves. III: Membrane depolarization and involvement of hydrogen peroxide[J]. *Plant Physiol.*, 2006, 140: 1022-1035.
- [7] Mithöfer A, Wanner G, Boland W. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves. II. Continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory-related volatile emission[J]. *Plant Physiol.*, 2005, 137: 1160-1168.
- [8] 刘俊,吕波,徐朗莱.植物叶片中过氧化氢含量测定方法的改进[J].*生物化学与生物物理进展*, 2000, 27(5): 548-551.
- [9] 赵世杰,许长成,邹琦,等.植物组织中丙二醛测定方法的改进[J].*植物生理学通讯*, 1994, 30(3): 207-210.
- [10] 邹琦.植物生理生化试验指导[M].北京:中国农业出版社,1998: 97-99.
- [11] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000: 164-169.
- [12] Fadzilla N M, Finch R P, Burdon R H. Salinity, oxidative stress and antioxidant responses in shoot culture of rice[J]. *J. Exp. Bot.*, 1997, 48: 325-331.
- [13] Bandoeglu E, Eyidogan F, Yucel M, et al. Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl salinity stress[J]. *Plant Growth Regul.*, 2004, 42: 69-77.
- [14] 陈少裕.膜质过氧化对植物细胞的伤害[J].*植物生理学通讯*, 1991, 27(2): 84-90.
- [15] Levine A, Tenhaken R, Dixon R, et al. H_2O_2 from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive disease resistance response[J]. *Cell*, 1994, 79: 583-593.

(上接第 240 页)

参考文献:

- [1] 翟浩辉.紧紧围绕提高农业综合生产能力 努力推进新时期的农村水利工作[N].<http://www.mwr.gov.cn>, 2004-12-24.
- [2] 魏薇.新农村示范地区土地利用变化及生态服务价值变化研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [3] 曲环.农业面源污染控制的补偿理论与途径研究[D].北

京:中国农业科学院,2007.

- [4] 胡习英,李海华,陈南祥.城市生态环境评价指标体系与评价模型研究[J].*河南农业大学学报*, 2006, 40(3): 207-210.
- [5] 金晓斌,张鸿辉,周寅康.农用地定级综合评价中权重系数确定方法探讨[J].*南京大学学报:自然科学版*, 2008, 44(4): 447-456.
- [6] 高向军,王志刚.农用地分等定级估价理论与实践[M].北京:地质出版社,2004: 82-88.