

基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价

钟晓娟, 孙保平*, 赵岩, 李锦荣, 周湘山, 王引乾, 邱一丹, 冯磊

北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

摘要: 人口资源环境矛盾造成了脆弱生态环境问题突出。以典型生态脆弱区云南省为研究区, 根据导致该省生态环境脆弱的自然-结果表现因素, 构建科学客观地评价指标体系, 运用主成分分析法进行生态脆弱性分析评价。以生态脆弱度大小为依据, 对云南省 16 个地(州)、市生态脆弱性进行了分区, 划分为极强度、强度、中度、轻度脆弱区 4 个区。评价结果显示, 极强度、强度、中度、轻度生态脆弱区分别占全省面积的 5.84%、27.84%、43.08%、23.24%。为生态脆弱性评价提供了一个可行的方法, 同时应用生态脆弱性分区结果可为后续的生态环境恢复重建工作、制定综合治理策略及区域可持续发展规划提供依据。

关键词: 主成分分析; 生态环境脆弱性; 脆弱度

中图分类号: X171.1

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2011) 01-0109-05

随着人口不断增加以及资源不合理利用, 生态环境脆弱问题逐渐显现, 对人类生存构成严重威胁。因而, 对生态环境脆弱问题的研究引起了诸多专家学者的广泛关注。生态环境脆弱性研究不仅能为脆弱生态环境恢复重建工作提供科学依据, 进行生态脆弱性评价同时也是制定区域可持续发展规划的重要前提。

生态环境脆弱性是指生态环境受到外界干扰作用超出自身的调节范围, 而表现出对干扰的敏感程度^[1]。目前, 诸多学者对脆弱生态环境评价理论与方法应用进行了大量的研究, 生态脆弱性预测性评价方法主要有情景分析法和生态模型模拟法, 生态脆弱性现状评价方法主要包括 Delphi 法、模糊评价法、生态脆弱性指数评价法、层次分析评价法、主成分分析法、关联评价法、综合评价法、基于遥感及 GIS 评价法等^[2-5]。Brooks 应用蒙特卡罗方法 (MC) 计算出各个指标与自然灾害死亡率的相关系数作为因子筛选的依据, 并应用 Delphi 法建立多个专家评价权重赋值参考体系, 最终得到客观的脆弱性评价结果^[3]。Metzger 运用情景分析法进行了土地利用变化对生态脆弱性的影响的预测性评价^[5]。冉圣宏等应用模糊评价理论、灰色预测和趋势函数法、非线性理论分别对脆弱生态区(敖汉旗、翁牛特旗)的现状、发展趋势、稳定性进行了评价^[6]。王经民等运用关联度分析法进行评价因子选择, 对黄土高原 105 个水土流失重点县进行了生态环境脆弱性评价, 并按脆弱度大小划分了 3 个脆弱区^[7]。王让会等通过建立适合流域特点的生态脆弱性评

价指标体系, 应用算术对数插值方法对敏感因子实际值标准化, 对塔里木河流域生态的敏感性及其恢复力进行分析并构建了该流域的生态胁迫度^[8]。本文以典型生态脆弱区西南山地河谷地区^[9]的云南省为研究区, 通过对该区生态环境系统地调查研究分析, 试图建立完善的评价指标体系, 构建科学的评价分析模型, 客观地评价该区的生态环境脆弱性, 为该区可持续发展提供参考。

1 研究区概况

云南省地处云贵高原, 地形复杂, 地形以元江谷地和云岭山脉南段的宽谷为界, 分为东西两大地形区, 整个地势从西北向东南倾斜, 东部为滇东、滇中高原, 地形波状起伏, 平均海拔 2 000 m 左右, 发育着各种类型的岩溶地形, 西部为横断山脉纵谷区, 高山深谷相间, 相对高差较大, 地势险峻, 海拔最高 6 740 m, 最低 76.4 m; 亚热带气候, 年平均气温 15~16 °C, 无霜期 210~330 d; 年降水量 800~1 200 mm, 降雨充沛, 但时空分布不均。由于地形、地貌和地理环境的复杂性和多样性, 形成了光、热、水、气等自然资源的时空分布不均, 差异极大, 加上人为干扰(毁林开荒、陡坡耕作、采矿伐薪等不合理利用资源)等多种原因, 生态退化问题严重, 导致系统的生产力、恢复能力下降, 生态环境十分脆弱。

在全省 $39.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 土地面积中, 山地占 94%, 仅有 6% 为山间盆地, 属于低纬度高海拔地区。陡峭沟壑纵横的山地景观及干湿分明的气候条件使云南生态环境具有巨大的脆弱性和不稳定性, 表现

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项经费项目 (201004018)

作者简介: 钟晓娟 (1986 年生), 女, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。E-mail: zhongxiaojuan1@163.com

*通信作者: 孙保平 (1956 年出生), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为荒漠化防治, 工程绿化。E-mail: sunbp2008@sina.com

收稿日期: 2010-12-31

为春季的干旱少雨和雨季的洪涝灾害,水土流失与滑坡泥石流等自然灾害频繁发生。因此,研究该区的生态环境脆弱性意义重大,不仅能为生态环境恢复重建工作指引方向,同时可为区域可持续发展提供依据。

2 研究方法

由于生态环境脆弱性评价指标涉及脆弱生态环境成因和表现特征等方面,评价指标数量较多且相关性较大,应用其它评价方法往往无法突出主要指标,而主成分分析法能够设法将原来的指标重新组合成一组新的互相无关的较少的综合指标,尽可能多地反映原来指标的信息,并且能够客观地确定评价指标的权重,从而避免主观随意性^[10]。基于基础数据的易获得性、评价结果应用性强及区域完整性便于行政管理等方面的考虑,以云南省市级行政区为基本单元进行评价。

2.1 评价指标体系的建立

指标体系的建立是评价的关键^[11]评价指标体系的科学性强弱决定着评价结果的准确性和可行性。本研究本着综合性、科学性、主导性、可操作性、可比性原则,既考虑到脆弱生态区内部结构的不稳定性也将其对外界干扰的敏感性考虑在内,选取能准确反映生态脆弱性且容易获取的评价因子。运用国内广泛应用的综合评价指标体系—“成因及结果表现”指标体系,因为在这种指标体系下进行的生态环境脆弱度评价不仅体现出导致环境脆弱的主要因素,而且其结果表现指标可以修正成因指标之间的地区性差异,使评价结果更具有地区、区域间的可对比性^[12]已有的研究基础上^[6,11,13],结合对云

南省生态环境脆弱性成因机制及结果表现进行分析,查取 2007—2008 年统计资料(云南省统计年鉴)及对气象资料(中国气象科学数据共享服务网,中国农业科学院农业自然资源与农业区划研究所 1999 年完成的全国多年平均干燥度分布图(500 m)、气温分布图(500 m)、降雨量分布图(1 km)、积温分布图(500 m)处理,选取以下 13 个具有代表性的评价指标建立生态环境脆弱性评价指标体系(如图 1)。

其中,干燥度= $0.16 \times \geq 10^\circ\text{C}$ 年积温/同期降雨量;降雨侵蚀力= $E_{60} \times I_{30}$ ^[14];农业依赖度为农业总产值占国内总产值的比例;利用 ArcGIS 软件将全国多年平均气温、降雨、干燥度、积温分布图与全国电子地图中云南省各市级行政单元进行掩膜提取,使用提取各气象指标的平均值;森林覆盖率来自中国林业统计年鉴(2007—2008 年)和中国林业产业与林产品年鉴(2007);人均可用水量、人口密度、人均 GDP、农民人均纯收入、恩格尔系数、高中文化农民比例均来自云南省统计年鉴。

2.2 数据处理

运用 min-max 标准化方法将原始数据进行标准化,以消除可能存在的指标量纲、数量级不统一造成评价结果不准确性的问题。

(1)正向指标标准化方法

$$X'_i = (X_i - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min})$$

(2)反向指标标准化方法

$$X'_i = (X_{i\max} - X_i) / (X_{i\max} - X_{i\min})$$

式中, X'_i 为第 i 个指标的标准化值, X_i 为第

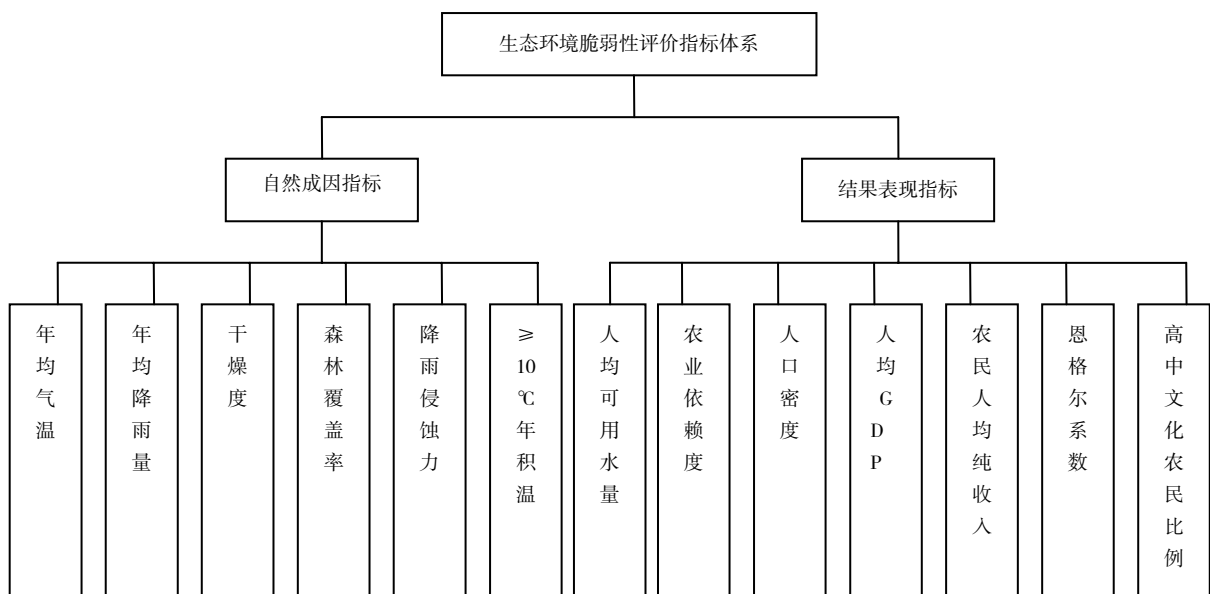


图 1 云南省生态环境脆弱性评价指标体系

Fig.1 Indicator frame of eco-environmental vulnerability in Yunnan province

i 个指标的原始值, $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ 为第 i 个指标的最大值和最小值。 X'_i 在 $(0, 1)$ 之间, X'_i 愈大, 表明生态系统越脆弱, 越容易受外界干扰而遭到破坏。

2.3 评价因子权重赋值

评价指标权重的准确性直接影响着评价结果的真实性和科学性, 目前广泛应用的权重赋值方法有经验权数法、专家咨询法、统计平均值法、指标值法、相邻指标比较法、灵活偏好矩阵法、抽样权数法、比重权数法、逐步回归法、灰色关联法、主成分分析法、层次分析法、模糊逆方程法等等^[11]。为了减少指标权重赋值的主观随意性, 本研究选用主成分分析法确定评价指标权重。

应用 SPSS 18 统计分析软件对评价指标进行主成分分析, 结果见表 1。前 3 个主成分的累积贡献

表1 云南省脆弱生态系统特征值、贡献率、累计贡献率计算结果
Table 1 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	5.343	41.100	41.100
2	3.45	26.536	67.636
3	2.012	15.48	83.116
4	0.915	7.039	90.155
5	0.499	3.837	93.992
6	0.335	2.578	96.569
7	0.26	1.998	98.567
8	0.064	0.494	99.061
9	0.045	0.344	99.405
10	0.036	0.278	99.683
11	0.028	0.217	99.899
12	0.007	0.051	99.951
13	0.006	0.049	100

率已达到 83.116%, 概括了原始评价因子的主要信息, 在降低了因子数量的前提下, 保留了生态脆弱性评价主要信息, 因此选择前 3 个主成分进行分析。

根据主成分载荷矩阵 (λ_{jk}), 由以下公式计算评价指标体系中各因子的公因子方差 H_j 及指标权重 W_j :

$$H_j = \sum_{k=1}^m \lambda_{jk}^2 \quad (j=1,2,\dots,13; k=1,2,\dots,m)$$

$$W_j = H_j / \sum_{j=1}^{13} H_j \quad (j=1,2,\dots,13)$$

式中, j 为评价指标的原始个数; k 为主成分数; m 为主成分总个数 ($m=3$)。

评价指标赋值结果如表 2 所示。

2.4 生态环境脆弱度

生态环境脆弱度是用于研究区域生态脆弱水平和表征生态环境脆弱性程度的重要指标^[15], 本研究根据脆弱生态环境的主要成因及结果指标来计

表2 评价指标权重

Table 2 Relative importance of the indexes

指标代码	评价指标	指标权重
X_1	年均气温	0.059
X_2	年均降雨量	0.033
X_3	人均可用水量	0.131
X_4	干燥度	0.099
X_5	森林覆盖率	0.197
X_6	农业依赖度	0.025
X_7	降雨侵蚀力	0.038
X_8	$\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温	0.06
X_9	人口密度	0.123
X_{10}	人均 GDP	0.065
X_{11}	农民人均纯收入	0.073
X_{12}	恩格尔系数	0.045
X_{13}	高中文化农民比例	0.052

算生态环境脆弱度, 采用以下公式^[11]计算:

$$G = 1 - \sum_{i=1}^n X_i W_i / \left(\max \sum_{i=1}^n X_i W_i + \min \sum_{i=1}^n X_i W_i \right)$$

式中: X_i —各指标初始值; W_i —各指标权重; G —灾区生态脆弱度。

生态环境脆弱度 (G) 愈大, 表明生态环境愈脆弱, 系统稳定性越差; 反之, 生态环境脆弱度 (G) 愈小, 生态环境脆弱程度越低。

3 研究结果

为了评价区域的完整性, 以市级行政区域为评价单元, 研究分析得出云南省各地区生态环境脆弱度如表 3。

表3 云南省各地区脆弱度值

Table 3 Numerical value of fragility

研究地区	脆弱度 (G)	研究地区	脆弱度 (G)
昆明	0.446 5	大理	0.463 7
曲靖	0.571 8	保山	0.478 2
玉溪	0.360 3	德宏	0.378 3
昭通	0.674 7	丽江	0.395 1
楚雄	0.405 2	怒江	0.528 1
红河	0.551 4	迪庆	0.342 4
文山	0.629 3	临沧	0.495 8
普洱	0.458 6	西双版纳	0.325 3

根据研究区独特的地理环境及脆弱性特点, 应用赵跃龙^[11]脆弱度分级方法将研究区划为 4 个等级 (图 2), 即脆弱度 G 大于 0.65 的定义为极强度脆弱区; G 小于 0.65 而大于 0.50 的为强度脆弱区; G 小于 0.50 而大于 0.40 的为中度脆弱区; G 小于 0.40 的为轻度脆弱区。

研究结果显示 (图 2), 滇东北昭通地区生态环境脆弱程度最大, 占全省总面积的 5.84%, 由于该地区部分县位于金沙江干热河谷地带, 气候干旱、水热极度不平衡, 且人口密度大, 森林覆盖率



图 2 各地区生态环境脆弱性等级
 Fig. 2 Classifying map of eco-environment vulnerability

低，加之人们对其造成的生态破坏严重，植被恢复难度较大；强度脆弱区主要分布在滇东曲靖、滇东南红河、文山及滇西北地势最高的怒江地区，占全省总面积的27.84%，该类型区地质环境极其复杂，大部分地区属于强烈的地质活动带，滑坡、泥石流等地质灾害频繁发生，同时，该类型区森林覆盖率普遍较低，人们生活水平不高，对生态环境的干扰较大，这也是生态脆弱的重要原因；中度脆弱区主要分布在滇中部地区，面积 $16.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占全省总面积的43.08%，该类型区降雨量较少，人口密度较大，对生态环境具有一定的压力；轻度脆弱区主要分布在地表植被丰富或是经济发展较快（玉溪）地区，生态环境虽有破坏但具有很好的恢复能力，占全省总面积的23.24%。轻度、中度脆弱区总面积 $26.14 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，生态环境恢复能力较好，要根据区域地理位置和特点因地制宜进行植被恢复建设工作， 25° 及以上的陡坡耕地实施退耕还林，荒山造林、封山育林育草，增加植被覆盖率，减少水土流失，降低该类型区的脆弱度；对于强度、极强度脆弱区，

在控制该类型区不向更加脆弱的方向发展的同时，要采取适宜地区气候环境的措施逐渐恢复其健康的生态功能。

4 结论与讨论

云南省位于西南山地河谷典型生态脆弱区，对其进行科学的生态环境脆弱性评价对地区可持续发展具有深远的意义。本研究运用主成分分析法对云南省生态环境脆弱性进行了评价，根据研究区的地理位置及其生态环境特征，建立了科学具体的评价指标体系并对各项指标因子赋值，最终做出了脆弱度分区评价，按照市级行政区域为评价单元将云南省分为轻度、中度、强度和极强度脆弱区，以期为生态环境恢复重建工作及区域可持续发展提供参考。

(1) 运用主成分分析法对云南省进行生态脆弱性评价，根据脆弱度大小划分为4个区，评价结果与各地区的生态环境特点及社会经济等表现一致，证明了该评价方法的可行性，可以应用此法对其他地区进行生态脆弱性评价。

(2) 将云南省划分为4个等级的生态脆弱区, 将能够为生态恢复建设工作提供治理方向。重点治理极强度脆弱区、强度脆弱区, 中度脆弱区加强监督和治理, 轻度脆弱区要重点设防并采取相应的生态环境恢复措施。

鉴于仅仅是静态的生态脆弱性评价, 在接下来的研究工作中, 还需要建立完善的生态环境脆弱性监测机制, 对生态环境的演变、发展趋势进行进一步深入的探讨研究。

参考文献:

- [1] 王小丹, 钟祥浩. 生态环境脆弱性概念的若干问题探讨[J]. 山地学报, 2003, 21(增刊): 21-25.
WANG Xiaodan, ZHONG Xianghao. Approaches to concept of vulnerability of ecology and environment[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(S): 21-25.
- [2] 周嘉惠, 黄晓霞. 生态脆弱性评价方法评述[J]. 云南地理环境研究, 2008, 20(1): 55-71.
ZHOU Jiahui, HUANG Xiaoxia. A review on the assessment methods of ecological vulnerability[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2008, 20(1): 55-71.
- [3] BROOKS N, ADGER W N, KELLY P M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 2005, 15(2): 151-163.
- [4] 徐广才, 康慕谊, 贺丽娜, 等. 生态脆弱性及其研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 2578-2588.
XU Guangcai, KANG MUYI, HE Lina, et al. Advances in research on ecological vulnerability[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 2578-2588.
- [5] METZGER M J, ROUNSEVELL M D A, ACOSTA-MICHLIK L, et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 114(1): 69-85.
- [6] 冉圣宏, 金建君, 薛纪渝. 脆弱生态区评价的理论与方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(1): 117-122.
RAN Shenghong, JIN Jianjun, XUE Jiyu. Assessment of vulnerable ecological regions: theory and methodology[J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(1): 117-122.
- [7] 王经民, 汪有科. 黄土高原生态环境脆弱性计算方法探讨[J]. 水土保持通报, 1996, 16(3): 32-43.
WANG Jingmin, WANG Youke. On the calculation of eco-environment fragility in Loess Plateau Region[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, 16(3): 32-43.
- [8] 王让会, 樊自立. 塔里木河流域生态脆弱性评价研究[J]. 干旱环境监测, 1998, 12(4): 218-253.
WANG Ranghui, FAN Zili. Study on ecological vulnerability assessment in Tarim River basin[J]. *Arid Environmental Monitoring*, 1998, 12(4): 218-253.
- [9] 冷疏影, 刘燕华. 中国脆弱生态区可持续发展指标体系框架设计[J]. 中国人口·资源与环境, 1999, 9(2): 40-45.
LENG Shuying, LIU Yanhua. A conceptual framework of sustainable developmental indicators of fragile environment of China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 1999, 9(2): 40-45.
- [10] 冯利华, 黄亦君. 生态环境脆弱度的综合评价[J]. 热带地理, 2003, 23(2): 102-114.
FENG Lihua, HUANG Yijun. Comprehensive evaluation of fragility of ecological environment[J]. *Tropical Geography*, 2003, 23(2): 102-114.
- [11] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究[J]. 地理科学, 1998, 18(1): 73-79.
ZHAO Yuelong, ZHANG Lingjuan. Study on method of quantitative assessment of fragile environment[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, 18(1): 73-79.
- [12] 王介勇, 赵庚星, 王祥峰, 等. 论我国生态环境脆弱性及其评估[J]. 山东农业科学, 2004(2): 9-11.
WANG Jieyong, ZHAO Gengxing, WANG Xiangfeng, et al. Statement in Eco-environmental vulnerability evaluation of China[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2004(2): 9-11.
- [13] 乔青. 川滇农牧交错带景观格局与生态脆弱性评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2007: 86-91.
QIAO Qing. Research on landscape pattern and ecological fragility assessment of Chuan-Dian farming-pastoral zone[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007: 86-91.
- [14] 杨子生. 滇东北山区坡耕地降雨侵蚀力研究[J]. 地理科学, 1999, 19(3): 265-270.
YANG Zisheng. A study on erosive force of rainfall on sloping cultivated land in the northeast mountain region of Yunnan province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 19(3): 265-270.
- [15] 赵冰, 张杰, 孙希华. 基于 GIS 的淮河流域桐柏—大别山区生态脆弱性评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 135-138.
ZHAO Bing, ZHANG Jie, SUN Xihua. Eco-environmental vulnerability evaluation based on GIS in Tongbai-Dabie Mountain area of Huai River basin[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16(3): 135-138.

Ecological vulnerability evaluation based on principal component analysis in Yunnan province

ZHONG Xiaojuan, SUN Baoping*, ZHAO Yan, LI Jinrong,
ZHOU Xiangshan, WANG Yinqian, QIU Yidan, FENG Lei

College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The contradictions among population, resources and the environment have highlighted the issue of ecological environment vulnerability. Based on the research at Yunnan province, one of the most typical ecological area of fragility, a scientific and objective evaluation index system was set up to analyze and evaluate the ecological vulnerability by adopting a method of principal component analysis. In terms of the ecological vulnerability of different degrees, this study divided the sixteen cities of Yunnan province into four regions which include the extremely vulnerable region, intensively vulnerable region, moderately vulnerable region, and slightly vulnerable region. The results showed that vulnerable areas from extreme to mild vulnerability account for 5.84%, 27.84%, 43.08% and 23.24% respectively. The significance of this study was that it provided a feasible way to evaluate the ecological vulnerability, meanwhile, the evaluation results can be the basis for subsequent restoration and reconstruction of the eco-environment, and for the further formulation of comprehensive treatment strategies and regional planning of sustainable development.

Key words: principal component analysis; eco-environment vulnerability; index of vulnerability