

楚纯洁, 鲁迪, 吕珍珍. 豫西山地丘陵区生态脆弱性动态变化——以河南省新安县为例[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 352–355.

# 豫西山地丘陵区生态脆弱性动态变化 ——以河南省新安县为例

楚纯洁<sup>1,2</sup>, 鲁迪<sup>1</sup>, 吕珍珍<sup>1</sup>

(1. 平顶山学院资源与环境科学学院, 河南平顶山 467000; 2. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西西安 710119)

**摘要:**以河南省新安县为例, 通过筛选环境脆弱因子, 从成因与结果表现 2 个方面建立评价指标体系, 通过集对分析法分析了 1998—2009 年豫西山地丘陵区的生态脆弱性。结果发现, 1998—2009 年, 新安县生态脆弱性呈下降趋势, 由 2003 年之前的高度脆弱降低为之后的轻—中度脆弱, 生态环境质量趋于改善。豫西山地丘陵区的特殊气候条件和灾害性天气、不利的地质地貌因素等自然因素以及森林植被破坏等人为活动因素是增大地区生态脆弱性的主要原因, 而 2001 年以来实施的一系列林业生态工程建设以及生态治理与修复则是促进生态系统趋于稳定的重要原因。

**关键词:**生态脆弱性; 集对分析; 山地丘陵区; 新安县

**中图分类号:** X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0352-04

随着全球环境变化影响研究的加强, 有关生态脆弱性及其脆弱性评估、脆弱生态环境的可持续性管理、受损生态环境的恢复重建等研究逐渐成为全球性研究热点, 且其研究内容不断扩展, 应用领域日趋广泛并呈现学科综合化的趋势<sup>[1-2]</sup>。近年来, 生态脆弱性评价在满足自然资源开发利用、土地资源评价、社会经济可持续发展等方面发挥了积极作用, 但我国的生态脆弱性研究实证区域主要集中于西北干旱区、北方农牧交错带、南方丘陵区、西南喀斯特地区和青藏高原寒区等 5 个区域<sup>[2-7]</sup>。河南山地丘陵主要分布于豫北、豫西和豫南地区, 其中山地 4.4 万 km<sup>2</sup>, 占全省土地面积的 26.6%, 丘陵 3 万 km<sup>2</sup>, 占 17.7%, 且大多数低山丘陵区是林、矿、水力资源丰富集的区域, 开发强度大, 对生态环境破坏较重。近年来, 许

多学者从不同角度对我国山地丘陵区的生态环境问题进行了研究, 但主要集中在低山丘陵区土地利用景观格局变化及驱动力<sup>[8-9]</sup>、低山丘陵森林植被次生演替模式与生态恢复重建<sup>[10]</sup>、低山丘陵地区的土壤侵蚀及水土保持研究<sup>[11-12]</sup>等方面, 而针对河南省低山丘陵区生态脆弱性的评价尚不多见<sup>[13]</sup>。新安县地处豫西典型的低山丘陵区, 本研究拟采用集对分析法对该区域生态脆弱性进行评估, 以期对低山丘陵区的生态治理规划与可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

新安县位于河南省西部, 地理坐标介于 111°53′~112°19′E、34°36′~35°05′N 之间, 总面积 1 160.3 km<sup>2</sup>。境内地形复杂, 地势自西北向东南降低, 山地、丘陵分别占全县总面积的 19.2%、71.8%。气候属北暖温带大陆性季风气候, 年均降水量 646.3 mm, 气温 14.2℃, 日照时数 2 186.9 h, 无霜期 216 d。截至 2009 年底, 全县总人口 53 万余人, 其中农业人口 41 万人, 城镇人口 12 万人。新安县近年经济发展迅速, 基本上形成了以能源、铝业、建材、化工和机械加工制造为

收稿日期: 2014-03-04

基金项目: 河南省科技计划项目(编号: 122102310652); 河南省教育厅科技研究重点项目(编号: 12B210020)。

作者简介: 楚纯洁(1978—), 男, 河南叶县人, 博士, 副教授, 主要从事自然地理、生态环境演变及质量评价研究。E-mail: zcfecj@163.com。

分地区划分保护小区, 进行有效的就地保护, 不仅如此, 这些地区也是迁地保护的适宜地区<sup>[1,6-8]</sup>。我们需要扩大其保护区的面积, 使南方红豆杉的各个种群连接起来, 促进其种间交流, 避免生境破碎化对南方红豆杉种群造成的不利影响, 增加其种群的稳定性<sup>[7-8]</sup>。对于迁地保护来说, 基本可以运用本研究的方法, 利用 Google Earth 对潜在地理分布进行初步评估, 将迁地保护的区域划分到适宜区域(图 3)。由于 Maxent 模拟出来的结果是针对大尺度的我国地区, 如果单纯从图层中进行划分, 未免过于草率。本研究改进了过去我国对于潜在分布的研究成果, 利用 GIS 和 Google Earth 相结合的方法对潜在地理分布地区进行进一步的评估。

## 参考文献:

[1] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 濒危植物南方红豆杉濒危原因分析

[J]. 植物研究, 2006, 26(5): 624–628.

[2] 徐晓婷, 杨永, 王利松. 白豆杉的地理分布及潜在分布区估计[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1134–1145.

[3] 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 等. 辽东栎林潜在地理分布及其主导因子[J]. 林业科学, 2013, 49(8): 10–14.

[4] 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 等. 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 103–109.

[5] 许志东, 丁国华, 刘保东, 等. 假苍耳的地理分布及潜在适生区预测[J]. 草业学报, 2012, 21(3): 75–83.

[6] 李先琨, 黄玉清, 苏宗明. 南方红豆杉群落主要树木种群间联结关系初步研究[J]. 生态学杂志, 1999, 18(3): 11–15.

[7] 王利松, 陈彬, 纪力强, 等. 生物多样性信息学研究进展[J]. 生物多样性, 2010, 18(5): 429–443.

[8] 杨相甫, 李景原, 王太霞, 等. 河南红豆杉属植物地理分布初探[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2000, 28(1): 72–74.

主的工业产业和特色经济突出的农村产业。自 2001 年摆脱“国家级贫困县”以来,在全省县域经济排名中,一直稳定在全省前 16 名。

2 研究方法

2.1 评价指标体系的确定

生态脆弱性是诸多因素相互作用或相互叠加的结果,既

要考虑自然环境因素的影响,又要考虑人为作用的影响,坚持综合性、主导性、区域完整性原则,兼顾可操作性和可比性。综合前人研究<sup>[3,5,12-13]</sup>,结合豫西山地丘陵区的特点,从生态脆弱性的成因与结果表现 2 个方面选取指标,包括自然成因指标、社会成因指标、经济发展指标、社会发展指标与生态环境指标,每项二级指标又分别包含若干三级指标,其评价指标体系及指标的计算方法见表 1。

表 1 生态脆弱性评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标项	计算方法	与脆弱度关系
成因指标 (A <sub>1</sub> )	自然成因指标 (B <sub>1</sub> )	每平方公里水资源量(C <sub>1</sub> )	C <sub>1</sub> = 水资源总量/总面积	负相关
		年均降水量(C <sub>2</sub> )		负相关
		干燥度(C <sub>3</sub> )	C <sub>3</sub> = 0.16 ∑ T/R(T≥10 ℃)	正相关
		年均气温(C <sub>4</sub> )		正相关
		地表植被覆盖度(C <sub>5</sub> )	C <sub>5</sub> = 植被面积/土地总面积 × 100%	负相关
	社会成因指标 (B <sub>2</sub> )	地表起伏度(C <sub>6</sub> )	C <sub>6</sub> = { [ max(h) - min(h) ] / [ max(H) - min(H) ] } × [ 1 - P(A)/A ]	正相关
		水土流失率(C <sub>7</sub> )	C <sub>7</sub> = 土地流失总面积/土地总面积 × 100%	正相关
		人均耕地面积(C <sub>8</sub> )	C <sub>8</sub> = 耕地总面积/总人口	正相关
		垦殖率(C <sub>9</sub> )	C <sub>9</sub> = 土地垦殖面积/总土地面积 × 100%	正相关
		人口密度(C <sub>10</sub> )	C <sub>10</sub> = 居住人口数量/区域面积	正相关
结果表现指标 (A <sub>2</sub> )	经济发展指标 (B <sub>3</sub> )	人口自然增长率(C <sub>11</sub> )	C <sub>11</sub> = 人口出生率 - 人口死亡率	正相关
		人均 GDP(C <sub>12</sub> )	C <sub>12</sub> = 该地区 GDP 总值/该地区总人口数	负相关
		人均工业产值(C <sub>13</sub> )	C <sub>13</sub> = 总工业产值/工业人口	负相关
		人均粮食产量(C <sub>14</sub> )	C <sub>14</sub> = 该地区总粮食产量/总人口	负相关
		农民人均纯收入(C <sub>15</sub> )	C <sub>15</sub> = (农民的收入 - 支出)/农业人口	负相关
	社会发展指标 (B <sub>4</sub> )	城镇化率(C <sub>16</sub> )	C <sub>16</sub> = 城镇人口/总人口数 × 100%	负相关
		人口素质(C <sub>17</sub> )	C <sub>17</sub> = 15 岁以上人口高中入学率	负相关
		贫困率(C <sub>18</sub> )	C <sub>18</sub> = 地区贫困人口数/总人口数 × 100%	正相关
	生态环境指标 (B <sub>5</sub> )	造林面积(C <sub>19</sub> )	C <sub>19</sub> = 区域内年造林面积	正相关
		工业三废处理率(C <sub>20</sub> )	C <sub>20</sub> = 工业废水、废渣、废气处理率分别乘以权重 0.5、0.2、0.2 所得综合值	负相关

注: C<sub>3</sub> 计算式中, C<sub>3</sub> 为干燥度指数, ∑ T 为大于等于 10 ℃ 的积温, R 为多年平均降水量; C<sub>6</sub> 计算式中, max(h)、min(h) 分别为地区最高海拔(m)、最低海拔(m), max(H)、min(H) 分别为全省最高海拔(m)、最低海拔(m), P(A) 为平地面积(km<sup>2</sup>), A 为地区总面积(km<sup>2</sup>)。

2.2 数据来源

为反映新安县“经济跨越发展”前后生态脆弱性的动态变化,并保证所获取资料的完整性,选取 1998、2000、2003、2008、2009 年 5 个年份的资料。数据主要来源于《新安县统计年鉴》,其中部分数据来自新安县教育委员会和扶贫开发办公室。

2.3 集对分析法

集对分析法是赵克勤等于 1989 年提出的一种解决不确定问题的系统分析方法<sup>[14]</sup>。其核心思想是将不确定性系统的 2 个有关联的集合构造为集对(具有一定联系度的 2 个集合所组成的对子),对不确定性的描述从确定和不确定两方面进行,并对集对的某特性做同一性、差异性、对立性分析,然后建立集对的同异反联系度。该理论能够统一描述和处理由随机性、模糊性、不完整性等不确定因素引起的确定 - 不确定系统。

由集合 A(x<sub>1</sub>, x<sub>2</sub>, ..., x<sub>N</sub>) 和集合 B(y<sub>1</sub>, y<sub>2</sub>, ..., y<sub>N</sub>) 组成集对 H = (A, B)。该集对有 N 个特性,假设 S 个特性为 A、B 所共有, P 个特性相互对立,其余 F = N - S - P 个相异。称 S/N 为集合 A 与 B 在所讨论问题下的同一度,记为 a; F/N 为集合

A 与 B 在所讨论问题下的差异度,记为 b; P/N 为集合 A 与 B 在所讨论问题下的对立度,记为 c。可以用联系度 μ(A, B) 来描述集合 A 与 B 的联系状况,如下式:

μ(A, B) = S/N + F/N i + P/N j = a + bi + cj。 (1)

式中: a + b + c = 1; i 为差异度系数,在 [-1, 1] 上取值,具有不确定性,其中 i 取 -1 和 1 时是确定的,但取值在 (-1, 1) 之间时,随着 i 趋近于 0, 不确定性增加; j 为对立度系数,其值为 -1<sup>[14]</sup>。

由于目前尚无统一的生态脆弱性及相关指标的评价标准,结合文献<sup>[15]</sup>,参考新安县规划及专家咨询意见,将生态脆弱性划分为 3 类,其中 I 类为高度脆弱, II 类为中度脆弱, III 类为低度脆弱,取值范围见表 2。

在进行生态脆弱性评价时,将拟评价区域的评价指标(表 1)组成集合 A,将评价标准(表 2)中的相应指标作为集合 B,构成一个集对。其中集合 B 根据脆弱性等级分别组成 3 个集合,即 B<sub>I</sub>、B<sub>II</sub>、B<sub>III</sub>,则联系度 μ(A, B<sub>I</sub>)、μ(A, B<sub>II</sub>)、μ(A, B<sub>III</sub>) 分别表示拟评价区域生态脆弱指标分别与 I、II、III 级评价标准的关系,以此为基础进行生态脆弱程度的判定,

判定依据为:比较联系度 $\mu(A,B_I)$ 、 $\mu(A,B_{II})$ 和 $\mu(A,B_{III})$ 之间的大小,若 $\mu(A,B_I) > \mu(A,B_{II})$ 且 $\mu(A,B_I) > \mu(A,B_{III})$ ,则 A 就评价为接近  $B_I$  集合,说明评价区域生态脆弱度为 I 级。

表 2 生态脆弱性指标评价标准

类别	$C_1$ (万 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	$C_2$ (mm)	$C_3$	$C_4$ (℃)	$C_5$ (%)	$C_6$ (%)	$C_7$ (%)	$C_8$ (hm <sup>2</sup> /人)	$C_9$ (%)	$C_{10}$ (人/km <sup>2</sup> )
I 类	<4	<400	>4	>14	<35	>2	>70	<0.5	>15	>400
II 类	4~10	400~600	1.5~4	10~14	35~50	1~2	40~70	0.5~0.8	10~15	200~400
III 类	>10	>600	<1.5	<10	>50	<1	<40	>0.8	<10	<200

类别	$C_{11}$ (‰)	$C_{12}$ (元)	$C_{13}$ (元)	$C_{14}$ (kg/人)	$C_{15}$ (元)	$C_{16}$ (%)	$C_{17}$ (%)	$C_{18}$ (%)	$C_{19}$ (hm <sup>2</sup> )	$C_{20}$
I 类	>10	<2500	<2500	<400	<2 000	<16	<70	>80	<2000	<0.85
II 类	6~10	2 500~3 500	2 500~5 000	400~500	2 000~3 500	16~25	70~80	20~80	2 000~3 500	0.85~0.92
III 类	<6	>3 500	>5 000	>500	>3 500	>25	>80	<20	>3500	>0.92

3 结果与分析

3.1 评价结果

联系度的确定在实际运算中要考虑同异反的判别标准。本研究采取的判别标准是:当评价因子处于同一级别范围内时,认为是同一(S);当评价因子处于相隔的标准级别时,认为是反(P);当评价因子处于相邻的标准级别时,认为是异(F)。新安县生态脆弱性评价指标值见表 3。

表 3 新安县生态脆弱性评价指标值

年份	$C_1$ (万 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	$C_2$ (mm)	$C_3$	$C_4$ (℃)	$C_5$ (%)	$C_6$ (%)	$C_7$ (%)	$C_8$ (hm <sup>2</sup> /人)	$C_9$ (%)	$C_{10}$ (人/km <sup>2</sup> )
1998	6.89	720.0	1.14	15.0	37.95	3.99	47.46	0.074	31.17	408.62
2000	6.89	480.0	1.14	14.4	78.86	3.99	80.58	0.077	63.64	416.30
2003	6.89	1 280.0	1.14	14.2	70.59	3.99	35.32	0.058	50.12	422.96
2008	6.89	642.4	1.14	14.2	65.25	3.99	80.58	0.627	56.18	452.22
2009	6.89	642.4	1.14	14.2	66.50	3.99	80.58	0.611	56.07	452.58

年份	$C_{11}$ (‰)	$C_{12}$ (元)	$C_{13}$ (元)	$C_{14}$ (kg/人)	$C_{15}$ (元)	$C_{16}$ (%)	$C_{17}$ (%)	$C_{18}$ (%)	$C_{19}$ (hm <sup>2</sup> )	$C_{20}$
1998	4.92	3 134.72	1 649.07	475.36	1 641	12.86	35	30.56	3 533.33	0.71
2000	13.06	7 297.00	1 195.87	391.3	1 916	13.15	40	7.13	12 600.00	0.76
2003	6.75	12 579.71	8 017.50	385.67	2 326	20.10	50	8.49	3 573.33	0.59
2008	7.69	38 371.12	176 029.00	395.42	4 701	21.83	65	4.35	3 053.30	0.94
2009	12.54	43 835.4	200 161.70	4.88	5 112	19.17	80	3.62	2 186.67	0.97

根据集对分析原理,联系度 $\mu$ 的计算主要取决于*i*的取值。虽然理论上*i*的取值在[−1,1],但实际上很多因素会影响其取值。本研究采用比例法<sup>[15]</sup>取值,可分 2 种情况,第一种为*i* = 0(记为*i*<sub>0</sub>),此时不考虑相异部分,主要计算起关键作用的“同(S)”和“反(P)”部分;第二种情况*i* = (*a* − *c*)/(*a* + *c*)(记为*i*<sub>ac</sub>),将相异部分按“同”与“反”所占的比例分配到“同”和“异”的部分,计算结果见表 4。

表 4 新安县联系度与生态脆弱等级

年份	<i>i</i> 值	$\mu(A,B_I)$	$\mu(A,B_{II})$	$\mu(A,B_{III})$	脆弱等级
1998	<i>i</i> <sub>0</sub>	0.35	0.35	−0.25	I
	<i>i</i> <sub>ac</sub>	0.47	1.00	−0.38	I
2000	<i>i</i> <sub>0</sub>	0.45	0.10	−0.40	I
	<i>i</i> <sub>ac</sub>	0.37	1.00	−0.44	I
2003	<i>i</i> <sub>0</sub>	−0.05	0.20	−0.05	II
	<i>i</i> <sub>ac</sub>	−0.059	1.000	−0.067	I
2008	<i>i</i> <sub>0</sub>	−0.050	0.250	0.050	II
	<i>i</i> <sub>ac</sub>	−0.200	1.000	0.033	III
2009	<i>i</i> <sub>0</sub>	−0.05	0.30	0	II
	<i>i</i> <sub>ac</sub>	−0.20	1.00	0	III

依据上述生态脆弱度判定原则,通过比较 $\mu(A,B_I)$ 、 $\mu(A,B_{II})$ 、 $\mu(A,B_{III})$ 的值,脆弱性等级取值范围接近于其中的最大值。根据表 4,对 2 种情况进行分析:(1)*i* = 0 时,1998、2000 年新安县生态脆弱性为 I 级,达到高度脆弱,2003、2008、2009 年生态脆弱性均为 II 级,为中度脆弱。(2)*i* = (*a* − *c*)/(*a* + *c*)时,无论*a*、*c*取何值, $\mu(A,B_{II})$ 均为 1,因此采用级间比较进行评价。进行脆弱等级判断时,若 $\mu(A,B_I) > \mu(A,B_{III})$ ,则处于高度(I级)脆弱等级,若 $\mu(A,B_I) < \mu(A,B_{III})$ ,则处于低度(III级)脆弱等级。由此可知,新安县生态脆弱性分别在 1998、2000、2003 年为 I 级,达到高度脆弱,而在 2008、2009 年则降至 III 级,为低度脆弱。由此可见,在 2 种情况下,*i* 的取值对新安县生态脆弱程度的评价结果的影响没有明显差异,新安县生态脆弱程度均由 2003 年之前的高度脆弱性转为近年来的低—中度脆弱性,说明新安县生态系统稳定性逐渐增强,向良性方向演替。

3.2 新安县生态脆弱性变化成因

3.2.1 自然原因 新安县地处北暖温带大陆性季风气候,降水集中且多暴雨,63.4%的降水集中于 6—9 月,导致旱涝灾害频发,加剧了水土流失,1998 年时水土流失面积超过全县

总面积的 2/3。而且,水土流失形式多样,以水力侵蚀形成的沟蚀和面蚀为主,其次为采矿、建厂形成的人为水土流失,平均侵蚀模数达到  $4\ 765\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{年})$ 。境内荒山坡面积大,山高谷深,地表多上覆厚度不同的黄土,经流水侵蚀切割成塬、梁和黄土丘陵等地貌形态,沟谷发育,坡陡易水土流失,植被稀少,加之森林破坏较严重,气候条件恶化,使山洪灾害较重,进而影响到大范围的生态平衡。例如,2003 年河南省发生了 1950 年以来罕见的严重水灾,受灾面积达  $482.81\ \text{万}\ \text{hm}^2$ ,新安县当年降水量就高达  $1\ 280\ \text{mm}$ ,几乎是多年平均降水量的 2 倍。

3.2.2 人为原因 不合理的人为活动是加速豫西山地丘陵区生态退化的重要因素。新安县开发历史悠久,但长期经济发展落后,人地关系相对紧张,乱砍滥伐、大量樵采一度是当地居民生活的一个来源。尤其在一些落后的贫困山地丘陵区,在山区人口不断增加的情况下,经常出现有树就砍、有草就割的局面,这也是增大该地区生态系统脆弱程度的原因之一。洛阳市在 1990 年代实施的林业生态防护林体系建设以及 2001 年以来实施的国家重点生态工程项目县建设,对降低生态脆弱程度产生了重要作用。1998 年新安县被列入国家黄河中上游生态环境治理工程项目重点县,1999 年新安县等洛阳市 7 个县(区)又被列入国家黄河中上游天然林保护工程实施区域。据研究,1996—1999 年,伊洛河中部地区由林地转变而来的草地增加面积为  $2.7\ \text{km}^2$  (主要由砍伐森林形成),而由草地转变而来的林地增加面积为  $8.0\ \text{km}^2$  (主要由植树造林形成)<sup>[16]</sup>。自 2001 年以来,洛阳市根据不同区域地形地貌及生态类型的多样性特点,实施了分区生态治理,山区以天然林保护为主,构筑生态安全防护屏障,丘陵区重点营造水源涵养林和水土保持林,以恢复和增加森林植被。如在 2001 年启动实施的新安县黄河流域重点支流治理项目,治理区面积占全县面积的 17%,8 年内共治理水土流失面积  $7\ 908\ \text{hm}^2$ ,水土流失面积由治理前的  $178.09\ \text{km}^2$  减少到  $99.01\ \text{km}^2$ ,保土效率为 64.52%,保水效率为 30.10%,年土壤侵蚀总量由治理前的 67.1 万 t 减少到 2008 年的 23.81 万 t,土壤侵蚀模数由治理前的  $4\ 765\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{年})$  下降到  $1\ 337\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{年})$ ,治理程度由以前的 21.41% 提高到 65.81%,治理区植被覆盖率达到 80%<sup>[17]</sup>。洛阳市还于 2013 年获批为全国第一个“国家水土保持生态文明城市”。同时,2003 年以来,随着新安县经济水平的迅速增加,政府着力对生态环境进行整治和修复,工业三废处理率也有较大提高。

## 4 结论

本研究以河南省新安县为例,通过筛选环境脆弱因子,从成因与结果表现 2 个方面建立评价指标体系,通过集对分析法分析了 1998—2009 年豫西山地丘陵区的生态脆弱性。结果发现,1998—2009 年,新安县生态脆弱性呈下降趋势,由 2003 年之前的高度脆弱降低为之后的轻—中度脆弱,生态环

境质量趋于不断改善。豫西山地丘陵区的特殊气候条件和灾害性天气、不利的地质地貌因素等自然因素以及森林植被破坏等人为活动因素是增大地区生态系统脆弱性的主要原因,而 2001 年以来实施的一系列林业生态工程建设以及在经济发展中实施的生态治理与修复则是促进生态系统趋于稳定的重要原因。

## 参考文献:

- [1] 靳毅,蒙古军. 生态脆弱性评价与预测研究进展[J]. 生态学杂志,2011,30(11):2646–2652.
- [2] 田亚平,常昊. 中国生态脆弱性研究进展的文献计量分析[J]. 地理学报,2012,67(11):1515–1525.
- [3] 雷波,焦峰,王志杰,等. 黄土丘陵区不同植被带典型小流域生态脆弱性评价[J]. 自然灾害学报,2013,22(5):149–159.
- [4] 靳毅,蒙古军,黄姣. 近 50 年来毛乌素沙地草地生态脆弱性评价——以内蒙古乌审旗为例[J]. 北京大学学报:自然科学版,2011,47(5):909–915.
- [5] 于法展,陈龙乾,沈正平,等. 苏北低山丘陵区典型森林生态脆弱性评价[J]. 水土保持研究,2012,19(6):188–192.
- [6] 全占军,李远,李俊生,等. 采煤矿区的生态脆弱性——以内蒙古锡林郭勒草原胜利煤田为例[J]. 应用生态学报,2013,24(6):1729–1738.
- [7] 时卉,杨兆萍,韩芳,等. 自然遗产地生态脆弱性分析与评价——以托木尔区域为例[J]. 干旱区地理,2013,36(2):318–328.
- [8] 陈俊华,向成华,骆宗诗. 四川盆地低山丘陵区土地利用景观格局变化研究[J]. 四川林勘设计,2005(1):7–11.
- [9] 钟来元,郝晋珉. 粤西低山丘陵区景观演变及其驱动力研究——以高州市新垌镇为例[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2005,28(2):84–89.
- [10] 阎传海,徐科峰. 徐连过渡带低山丘陵森林植被次生演替模式与生态恢复重建策略[J]. 地理科学,2005,25(1):94–101.
- [11] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等. 低山丘陵区土地利用方式对土壤质量的影响——以河北省遵化市为例[J]. 地理学报,2001,56(4):447–454.
- [12] 张理华,周秉根,万荣荣,等. 皖南低山丘陵区水土保持综合评价[J]. 水土保持学报,2001,15(6):20–23,77.
- [13] 黄黎,沈连峰,吴明作,等. 河南省生态环境脆弱性评价与分析[J]. 河南科学,2006,24(4):596–599.
- [14] 赵克勤,宣爱理. 集对论——一种新的不确定性理论与应用[J]. 系统工程,1996,14(1):18–23,72.
- [15] 张鑫,杜朝阳,蔡焕杰. 黄土高原典型流域生态环境脆弱性的集对分析[J]. 水土保持研究,2010,17(4):96–99.
- [16] 李小建,刘钢军,钱乐祥,等. 中尺度流域土地利用/土地覆盖变化评估——以伊洛河中部地区为例[J]. 地理科学,2001,21(4):289–296.
- [17] 赵华,高利朋,林向利. 新安县水土保持项目区治理成效[J]. 河南水利与南水北调,2008(9):26–27.