

农村聚落生态环境预警——以万州区茨竹乡茨竹五组为例

刘邵权, 陈国阶, 陈治谏

(中国科学院
水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要: 论述了农村聚落生态环境预警的概念, 提出农村聚落生态环境预警评价指标体系和指标分级, 运用加权平均模型进行环境评价, 确立不良状态预警、负向演化趋势预警、恶化速度预警的数学模式与参数。选择三峡库区中低山石灰岩山地典型聚落作实例研究, 对该聚落自然演替状态和必要调控状态的生态环境质量及演化趋势进行预测和预警分析。

关键词: 农村聚落; 生态环境预警; 环境评价; 指标体系

Ecological and environmental warning on rural habitat ecosystem ——A case study of group 5 of Cizhu Village in Wanxian City

LIU Shao-Quan, CHEN Guo-Jie, CHEN Zhi-Jian (Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract: The authors define the concept of ecological and environmental warning on rural habitat ecosystem, put forward the indexes system and the indexes classification of environmental evaluation on rural habitat ecosystem. The environmental evaluation was made with the weight analysis method and the mathematical models and parameters of the warnings of environmental negative evolution was established. Choosing a typical habitat in the limestone mountain of Three Gorges Area as a case study, the authors make environmental forecasting and ecological warnings on the rural habitat ecosystem in the natural evolution status and in the regulating evolution status.

Key words: rural habitat; ecological and environmental warning; environmental evaluation; evaluational indexes system

文章编号: 1000-0933(2001)02-0295-07 中图分类号: X171.1, X820.2 文献标识码: A

聚落, 也称住区、居住地, 是人类定居于地表, 并占领地表, 其中的一种占领样式^[1], 是一个以人类活动为主导的自然-社会-经济复合生态系统。聚落作为生态环境的一个特定空间层次, 聚落生态环境预警就是对人类活动导致的聚落生态系统和环境质量负向演替、退化、恶化的及时报警^[2]。其目的在于在聚落退化质变之前, 及时地提出预告、报警, 以便及时采取措施, 促使聚落生态环境变负向演替为正向演替, 对促进聚落社会经济发展、环境整治和生态建设, 使聚落实现可持续发展具有积极的作用和意义。

环境预警是在环境评价、环境预测基础上发展起来的, 并成为当代环境科学的一个研究热点。通过几年的发展, 对预警的基本概念、预警理论和方法作过一些初步探讨^[2~4]。农村聚落生态环境预警是环境预警研究的一个新领域, 是在不可持续的生产与生活消费方式对环境反作用日益加强状况下提出的, 由于农村聚落地域性较强及理论研究相对滞后, 有必要对农村聚落的预警评价指标体系、理论和方法作深入探讨。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号 49571067)

收稿日期: 1998-09-13; 修订日期: 1999-09-21

作者简介: 刘邵权(1968~), 男, 重庆梁平人, 博士, 副研究员。主要从事山地环境研究。

1 预警评价指标体系与指标分级

预警评价指标体系应满足农村聚落可持续发展要求。国际国内对可持续发展评价指标研究较多,有综合性指标如人类发展指数、人类活动强度指数^[5];也有单要素指标组成的指标体系,如经济合作与发展组织提出的环境指标^[6]以及从人口、资源、环境与经济协调发展研究设计的指标体系^[7,8]。这些指标主要针对大区域持续发展评价,而对预警评价特别是对农村聚落预警评价针对性不强,农村聚落应该有一套独特的预警评价指标体系。

1.1 指标体系

影响农村聚落演化的因素较多,是由其经济基础、生态条件和社会发展诸多因素综合作用的结果,决定其演化方向和过程。

1.1.1 经济环境指标 (1)人均纯收入。(2)光能利用率,为聚落初级生产者所利用光能与所接受光能的比值。(3)辅助能量产投比,为聚落内全部能量产出与辅助能量投入之比值。(4)产出稳定性,其表达式为^[9]:

$$T = (N(N-1)) / \left(\sum_{i=1}^k n_i(n_i-1) \right) \quad (1)$$

式中, N 为聚落总收入; n_i 为第 i 个子系统的收入; k 为子系统数量。为使 T 值具可比性,将农村聚落生产系统分为农业、畜牧业、林业、渔业、副业、工业、建筑业、运输业、商业服务业9个子系统, K 值为9。该指数是由群落生态学中多样性指数借用过来,反映聚落自我调控能力、生产网络复杂程度和能路指数高低, T 值变化范围趋近于 $[1,9]$, T 值愈大,生产系统多样性程度愈高,抗风险能力愈强,稳定性愈好。

1.1.2 社会环境指标 (1)人口饱和度,为聚落人口数量与其适宜土地人口承载容量之比。土地人口承载容量为在一定生产条件下的土地资源生产力与在一定生活水平下的人均消费标准之比^[10],适宜土地人口承载容量为土地资源具有可持续利用条件下的人口承载容量,由于不同时期土地资源生产力及人均消费标准变化,适宜土地人口承载容量为一变量。人口饱和度指标用于评价聚落人口密集程度,该指标 <1 时,愈接近于0表明聚落生长潜力愈大;该指标 >1 时,愈远离1表明人口过饱和程度愈严重,发生人口迁出可能性愈大。

(2)人均住房面积。

(3)薪柴供给能力,全国各地农村燃料使用种类不一,针对西南地区农村普遍使用薪柴作燃料,提出薪柴供给能力来间接反映农村居民生活燃料的丰缺状况。该指标为聚落每年薪柴最大可用数量与其年度燃料需求之比,薪柴最大可用量为其年净生长量的80%(扣除根系、叶及部分损耗)。其表达式为:

$$S = (0.8M \cdot N) / \left(\sum_{i=1}^k m_i \cdot n_i \right) \quad (2)$$

式中, M, N 分别为聚落薪柴年净生长量和热值; m_i, n_i 为第 i 种燃料数量和热值。

(4)生活用水保证率,其表达式为:

$$W = \left(\sum_{i=1}^k p_i \cdot d_i \right) / (365P) \quad (3)$$

式中, p_i, d_i 为第 i 类人口数量及保证用水日数; P 为聚落总人口。由于受降水年际变化影响较大,该指标定义为在50%降水频率下聚落内居民在其便利用水距离内,生活用水能稳定供给日数占全年的比率。

(5)劳动力平均受教育年限。

(6)对外交通状况,该指标为定性指标,以是否有公路及公路等级进行评价。

1.1.3 生态环境指标 (1)土壤侵蚀相对强度,其表达式为:

$$I_s = \left(\sum_{i=1}^k E_i \right) / \left(\sum_{i=1}^k E_{i\text{允}} \right) \quad (4)$$

式中, E_i 为第 i 种土地利用方式所产生侵蚀量; $E_{i\text{允}}$ 为聚落内第 i 类土壤允许侵蚀量。该指标是充分考虑各种土壤可蚀性和允许侵蚀量基础上的相对强度,可以更好地评价一个区域土壤侵蚀状况。

(2) 涵蓄水源能力, 为聚落各种用地方式的涵蓄水源总量与其潜在最大涵蓄量的比值。涵蓄水源量为植被层、枯枝落叶层及土壤层涵蓄量之和。潜在最大涵蓄量为假定聚落用地全为顶级群落的涵蓄水量。该指标表达为:

$$I_w = (\sum_{i=1}^n L_i \cdot w_i) / (L \cdot W_{\max}) \quad (5)$$

式中, L_i, w_i 为第 i 种用地面积和涵蓄水源量; L 为聚落总面积; $W_{\max}$ 为顶级植物群落涵蓄水源量。

(3) 单位耕地农药用量 (kg/hm^2), 当今农业生产普遍大量施用农药来维持农作物高产, 对生态环境和居民身体健康造成较大危害。因此, 该指标间接反映农药对农村聚落生态环境的危害程度。

1.2 指标分级

聚落生态环境质量及指标质量分为 5 个等级^[3,4], 在量化过程中, 用连续实数区间 $[0, 10]$ 表示质量变化范围, 质量处于最理想状态时, 其值为 10; 最恶劣状态时, 其值为 0。质量分级见表 1。

表 1 质量分级评价表

Table 1 The classification evaluation of quality

分级 Classification	理想状态 Very good	良好状态 Good	一般状态 Mean	较差状态 Bad	恶劣状态 Very bad
区间值 ^①	[10, 8)	[8, 6)	[6, 4)	[4, 2)	[2, 0]
代表值 ^②	9	7	5	3	1
人均纯收入 (yuan) ^③	>4000	[4000, 2000)	[2000, 1000)	[1000, 500)	[500, 0]
光能利用率 (%) ^④	>0.8	[0.8, 0.6)	[0.6, 0.4)	[0.4, 0.2)	[0.2, 0]
辅助能量产投比 ^⑤	>2.0	[2.0, 1.5)	[1.5, 1.0)	[1.0, 0.5)	[0.5, 0]
产出稳定性 ^⑥	>5.0	[5.0, 4.0)	[4.0, 3.0)	[3.0, 2.0)	[2.0, 1.0]
人口饱和度 ^⑦	[0, 0.4)	[0.4, 0.8)	[0.8, 1.2)	[1.2, 1.6)	≥ 1.6
人均住房面积 (m^2) ^⑧	>40	[40, 30)	[30, 20)	[20, 10)	[10, 0]
薪柴供给能力 ^⑨	>0.8	[0.8, 0.6)	[0.6, 0.4)	[0.4, 0.2)	[0.2, 0]
生活用水保证率 ^⑩	[1.00, 0.95)	[0.95, 0.9)	[0.9, 0.8)	[0.8, 0.6)	[0.6, 0]
劳动力平均受教育年限 (a) ^⑪	>12	[12, 9)	[9, 6)	[6, 3)	[3, 0]
对外交通状况 ^⑫	有二级公路	有三级公路	有四级公路	有等外级乡村公路	无公路
土壤侵蚀相对强度 ^⑬	[0, 1.0)	[1.0, 2.0)	[2.0, 4.0)	[4.0, 8.0)	≥ 8.0
涵蓄水源能力 ^⑭	[1.0, 0.8)	[0.8, 0.6)	[0.6, 0.4)	[0.4, 0.2)	[0.2, 0]
单位耕地农药用量 (kg/hm^2) ^⑮	[0, 3.75)	[3.75, 7.50)	[7.5, 15.0)	[15, 30)	≥ 30

① Inter-regional value; ② Representative value; ③ Per capita net income; ④ Photosynthesis efficiency; ⑤ O/I Ratio of supplementary energy; ⑥ Output stability; ⑦ Population saturation degree; ⑧ Per capita dwelling area; ⑨ Supply capacity of firewood; ⑩ Supply capacity of domestic water; ⑪ Education background of labourers; ⑫ Transportation condition; ⑬ Relative intensity of soil erosion; ⑭ Conservation capacity of water; ⑮ Pesticide in cultivated land

2 环境质量评价与预警模式

预警评价与环境质量评价、环境预测有着密切联系, 其关注核心都是生态系统和环境质量演化 and 变化, 三者有密切依存关系, 先有评价, 才有预测, 有预测才有预警, 前者是后者基础, 后者是前者深化和发展, 三者共同构成认识环境质量和生态系统结构、功能、演化的整体和系列^[2]。

2.1 环境质量评价与预测方法

聚落生态环境质量评价采用加权平均模型^[3], 其表达式为:

$$E(t) = \sum_{i=1}^n W_i(t) E_i(t) \quad (6)$$

式中, n 为评价因子或子系统数量; $W_i(t)$ 为第 i 个因子或子系统权重, 运用权重分析法计算; $E_i(t)$ 为第 i 个因子或子系统在 t 时刻质量评分值; $E(t)$ 为 t 时刻聚落生态环境质量综合评价分值。

聚落生态环境预测是以现实状态为前提, 依据过去各子系统发展状态、未来发展趋势研究和所在区域

社会经济发展规划,预测不同时段社会、经济、生态环境各评价指标和复合生态系统综合评价质量值。

2.2 预警模式与参数

预警标准的制定采用生态环境质量指标,其分级见表1,当聚落生态环境质量下降,达到某一质量变化限度时,就可预警。依据预警内涵,生态环境预警分为不良状态预警、负向演化预警和恶化速度预警^[3-4],其预警模式及参数为:

(1) 不良状态预警

$$E(t) < EP \quad (7)$$

式中, EP 为预警临界值,依据表1对生态环境质量的分级, $E(t)$ 值在 $[4, 2)$ 区间时,为较差状态预警, $EP=4$; $E(t)$ 值在 $[2, 0)$ 区间时,为恶劣状态预警, $EP=2$ 。

(2) 负向演化预警

$$E(t_2) < E(t_1), \frac{|E(t_2) - E(t_1)|}{(t_2 - t_1)} < \Delta EP \quad (8)$$

式中, $\Delta EP = 1/10(1/a)$

(3) 恶化速度预警

$$E(t_2) < E(t_1), \frac{|E(t_2) - E(t_1)|}{(t_2 - t_1)} \geq \Delta EP \quad (9)$$

3 农村聚落生态环境预警实例分析

万州区茨竹乡茨竹村5组地处三峡库区石灰岩山地,海拔950~1060m,年平均气温14.5℃,多年平均降水量1179.7mm,年平均日照时数1430.1h,日照率31%,年均太阳总辐射 $3.72 \times 10^3 \text{ J/m}^2$,土壤为矿质黄泥土、矿质黄泥田,养分和有机质含量低,自然植被为柏木、马桑、禾本科杂草群落,生物生产力低下。全组1997年总人口83人,土地总面积25.34 hm^2 (其中耕地7.69 hm^2),社会总收入224500元。

3.1 生态环境现状及演化特征

3.1.1 生态环境预测 依据该聚落历史发展状况,结合万州区社会经济发展规划,确定该聚落社会经济发展指标的增长速度。人口自然增长率为10%,人均粮食消费需求水平在1997年为400kg、2005年500kg、2010年550kg、2015年600kg,以此预测聚落人口增长、劳动力、适宜土地承载人口容量及人口饱和度。该聚落粮食耕地单产水平不高,以2010年前粮食增长率2%,2010~2015年增长率1%预测粮食产量和种植业收入;畜牧业收入主要为养猪收入,耕牛作为役畜在数量上基本无变化,依据可用于养殖粮食数量预测猪的出栏数和畜牧业收入;果树产量不高,但其幼林面积较大,发展潜力大,2010年前以5%年增长率、2010~2015年以3%年增长率预测果品产量和林业收入;工业主要为家具制造、酿酒、粮食加工,发展速度较快,以5%年增长率预测工业收入;商业、服务业(含劳务)收入90%来源于劳务收入,依据宏观经济环境预测农民劳务输出在预测期内增速将下降。以2%年增长率预测商业、服务业收入。该聚落基本无副业、渔业、建筑业、运输业收入,在预测期内也不会发生较大改变。预测结果见表2。

表2 聚落社会经济发展预测

Table 2 The forecast of social and economic development of habitat

		人口饱和度	粮食产量	种植业	畜牧业	林业	农村工业	商业服务业	人均纯收入
人口数量	Population	Population	Grain	Crops	Livestock	Forestry	Industry	Commerce	Per capita
Population		saturation	production	(yuan)	(yuan)	(yuan)	(yuan)	and service	net income
		degree	(kg)					(yuan)	(yuan)
2005	90	1.14	44300	55800	72000	9100	51700	113900	2030
2010	94	1.19	48900	61600	78000	11600	66000	125700	2200
2015	99	1.30	51400	64800	84000	13400	84200	138800	2340

聚落种植业能量产出主要为粮食等经济能量和秸秆等农副产品能量产出,依据粮食增长预测种植业能量产出;辅助能量投入主要为人畜力、农具、种子、有机肥、化肥和农药,依据历史发展特点,无机能投入数据

入增速较快,有机能投入增速较慢,确定不同增长速率,预测其能量投入。林业能量产出包含果品、薪柴和草的能量产出,依据果品增长、薪柴和草年净生长量预测林业能量产出;辅助能投入主要集中于果品生产、薪柴砍伐的人力投入。畜牧业能量产出主要包含增重能、粪尿和畜力,增长量主要为猪饲养量的增长,牛作为役畜数量基本不变,能量产出变化不大;能量投入包含秸秆、青饲料、粮食、人力、仔、燃料等,增加量主要取决于猪饲养量增长。工业能量产出依据历史发展资料分析与收入增长同步,但因技术力量薄弱,辅助能量投入增长快于能量产出增长,依据工业收入增长速率,确定其能量产出年增长率为5%,能量投入年增长率在2005年前为6%,2005~2010年5.5%,2010~2015年5%。预测结果见表3。

表3 聚落能量产出、投入预测

Table 3 The forecast of energy output and input of habitat

	能量产出					辅助能量投入				
	Energy output(10^5J/a)					Supplementary energy input(10^5J/a)				
	种植业	林业	畜牧业	工业	合计	种植业	林业	畜牧业	工业	合计
	Crops	Forestry	Livestock	Industry	Total	Crops	Forestry	Livestock	Industry	Total
2005	1550	840	470	890	3750	980	40	1890	1280	4190
2010	1710	830	500	1140	4180	1140	50	2020	1670	4880
2015	1790	830	530	1450	4600	1330	70	2140	2130	5670

表4 土地利用及生态环境预测

Table 4 The forecast of land use and eco-environment

耕地 Cultivated land (hm ²)	疏林草地		乔灌木蓄积量		薪柴年生长量		土壤侵蚀		涵养水源能力 Conservation capacity of water
	有林地	Scattered	果园	Biomass	Net primary	土壤侵蚀量	相对强度		
	Forest	wood and	Horticulture	of tree	productivity	Soil erosion	Relative		
	(hm ²)	grassland	(hm ²)	and shrub	of firewood	(t/a)	intensity of		
		(hm ²)		(t)	(t/a)		soil erosion		
2005	7.69	3.61	9.54	0.40	360	21.0	125	2.47	0.4084
2010	7.69	2.48	10.66	0.51	335	19.6	129	2.55	0.3957
2015	7.69	1.03	12.12	0.59	304	17.7	135	2.66	0.3792

聚落粮食产量增长在预测期内主要靠提高单产完成,耕地数量保持不变,土地利用变化的基本动力来自薪柴用量超过年生长量,使林地退化为疏林草地。依据石灰岩地区柏木群落乔灌木年生长量(即薪柴年生长量)、总生物量预测土地利用变化。依据土地利用变化及土壤侵蚀通用方程计算土壤侵蚀量和土壤侵蚀相对强度,并依据石灰岩地区各种用地方式的水源涵养量计算聚落水源涵养能力。预测结果见表4。

3.1.2 生态环境质量及演化特征 依据生态环境预测结果及各指标质量分级,将各指标预测值转为无量纲的指标质量预测值,并进行各子系统和复合生态系统环境质量综合评价,其结果见表5。

(1)经济环境、收入水平、产出稳定性现状质量一般,但系统生态效率较差,即聚落初级生产力和辅助能量转化能力较差。从经济环境演化趋势分析,综合质量、人均收入、光能利用率和产出稳定性呈正向演化,辅助能量利用转化能力呈负向演化趋势。

(2)社会环境综合质量、人口数量、人均住房、薪柴供给能力、生活用水和劳动力受教育状况处于一般状态,对外交通状况较差。社会环境质量在2010年前呈负向演化趋势,2010~2015年呈正向演化趋势,居住条件、劳动力素质和对外交通呈正向演化趋势,人口数量、薪柴供给能力和用水状况在预测期内呈负向演化趋势,并相继进入较差状态,成为影响社会环境质量提高的障碍因素。

(3)生态环境现状质量和聚落保水固土能力一般,无农药污染危害。在预测期内,生态环境与其3个指标质量值都呈负向演化趋势,涵养水源能力在2010年左右进入较差状态。

(4)聚落复合生态系统质量在预测期内处于一般状态,并呈缓慢负向演化趋势。

表 5 环境质量综合评价与预测

Table 5 The synthetical evaluation and forecast of environmental quality

评价因子 Evaluative elements	现状值 Present quality	自然演替状态 $E(t)$ Nature evolution status			采取调控措施 $E(t)$ Regulating evolution status		
		2005	2010	2015	2005	2010	2015
人均纯收入 ^①	5.36	6.03	6.20	6.34	6.04	6.32	6.64
光能利用率 ^②	2.17	2.53	2.69	2.78	2.63	2.96	3.31
辅助能产投比 ^③	3.98	3.58	3.43	3.25	3.94	3.86	3.76
产出稳定性 ^④	4.90	5.62	5.80	5.86	5.48	5.76	6.06
人口饱和度 ^⑤	5.05	4.30	4.05	3.50	4.70	4.75	4.80
人均住房面积 ^⑥	5.70	6.68	7.24	7.69	6.82	7.67	8.70
薪柴供给能力 ^⑦	4.54	3.91	3.49	2.99	0	0	6.28
生活用水保证率 ^⑧	5.82	4.43	3.87	3.47	7.80	7.80	7.80
劳动力平均受教育年限 ^⑨	4.86	5.16	5.32	5.47	5.16	5.32	5.47
对外交通状况 ^⑩	3	3	3	5	3	3	5
土壤侵蚀相对强度 ^⑪	5.61	5.53	5.45	5.34	6.44	7.01	7.42
涵养水源能力 ^⑫	4.22	4.08	3.96	3.79	4.86	5.25	5.41
单位耕地农药用量 ^⑬	8.61	7.43	6.23	5.23	7.95	7.39	6.66
经济环境 ^⑭	4.39	4.87	4.99	5.05	4.90	5.14	5.40
社会环境 ^⑮	4.84	4.59	4.52	4.69	4.70	4.87	6.20
生态环境 ^⑯	5.54	5.23	4.92	4.62	6.01	6.29	6.37
复合生态系统 ^⑰	5.00	4.91	4.80	4.75	5.26	5.50	6.06

①Per capita net income;②Photosynthesis efficiency;③O/I Ratio of supplementary energy;④Output stability;⑤Population stauration degree;⑥Per capita dwelling area;⑦Supply capacity of firewood;⑧Supply capacity of domestic water;⑨Education background of labourers;⑩Transportation condition;⑪Relative intensity of soil erosion;⑫Conservation capacity of water;⑬Pesticide in cultivated land;⑭Economic environment;⑮Social environment;⑯Ecologic environment;⑰Complex ecosystem

3.2 生态环境预警及调控战略

将表 5 评价因子或系统质量评分值代入(7)~(9)式作预警分析,为表达方便,用 A 表示恶劣状态预警,B 表示较差状态预警,C 表示负向演化趋势预警,D 表示恶化速度预警。预警结果见表 6。

针对聚落自然演替状态下生态环境演化特征和预警结论,提出如下调控战略措施:

(1)以农业新技术引进及农作物品种改良为突破口,优化耕作制度,构建农林、农牧、林牧、林药等复合农业生态系统,提高聚落对光能和辅助能的转化利用效率和保水固土能力。

(2)将>25°坡耕地退耕还林,在 2010 年前封山育林并在严重退化的蔬林草地补植造林,2010 年后可以控制性抚育砍伐薪柴,但不超过柏木群落乔灌木层年净生长量的 80%。

(3)因地制宜建造小型蓄水设施,建设人畜饮水工程和微型灌溉工程。

在采取以上措施后,该聚落生态环境质量演化及预警结论分别见表 5、表 6,绝大部分指标和子系统质量值均有所提高,生态环境子系统和复合生态系统由自然演替时的负向演化转为正向演化。各子系统或指标预警范围显著减小,预警等级有所降低。因生态农业实施是一个长期过程,在采取调控措施后聚落光能利用率和辅助能量产投比均有所提高,但在预测期内预警范围和等级没有改变。

4 结语

生态环境预警的基础在于系统识别、环境评价与环境预测。本文对农村聚落生态环境预警作了尝试性研究,初步提出农村聚落生态环境预警评价指标体系和指标分级。但是,预警指标体系有待进一步完善,指标分级合理性有待更深入研究,预警可靠性依赖于预测理论与方法的进一步完善,总之,农村聚落生态环

境预警与其它系统的环境预警一样尚处于在探索阶段,理论和方法有待逐步完善。

表 6 生态环境预警结论

Table 6 The outcome of ecological and environmental warning

预警因子或系统 Warning elements or system	自然演替状态 Nature evolution status			采取调控措施 Regulating evolution status		
	2005 年前	2005~2010	2010~2015	2005 年前	2005~2010	2010~2015
光能利用率 ^①	B	B	B	B	B	B
辅助能量产投比 ^②	B,C	B,C	B,C	B,C	B,C	B,C
人口饱和度 ^③	C	C	B,D			
薪柴供给能力 ^④	B,C	B,C	B,D	A,D	A	
生活用水保证率 ^⑤	C	B,C	B,C			
对外交通状况 ^⑥	B	B		B	B	
土壤侵蚀相对强度 ^⑦	C	C	C			
涵养水源能力 ^⑧	C	B,C	B,C			
单位耕地农药用量 ^⑨	D	D	D	C	D	D
社会环境 ^⑩	C	C		C		
生态环境 ^⑪	C	C	C			
复合生态系统 ^⑫	C	C	C			

①Photosynthesis efficiency;②O/I Ratio of supplementary energy;③Population saturation degree;④Supply capacity of firewood;⑤Supply capacity of domestic water;⑥Transportation condition;⑦Relative intensity of soil erosion;⑧Conservation capacity of water;⑨Pesticide in cultivated land;⑩Social environment;⑪Ecologic environment;⑫Complex ecosystem

参考文献

- [1] 能登志雄. 聚落地理. 东京:古今书院,1956. 37.
- [2] 陈国阶. 对环境预警的探讨. 重庆环境科学,1996,18(5):1~4.
- [3] 陈治谏,陈国阶. 环境影响评价的预警系统研究. 环境科学,1992,13:(4):20~25.
- [4] 陈国阶,陈治谏. 三峡工程对生态与环境影响的综合评价. 北京:科学出版社,1993. 13~17.
- [5] 牛文元. 持续发展导论. 北京:科学出版社,1994. 149~154.
- [6] 经济合作与发展组织. 王 强译. 环境指标. 地理译报,1995,14(3):1~17.
- [7] 毛汉英. 山东省可持续发展指标体系初步研究. 地理研究,1996,15(4):16~23.
- [8] 赵景柱. 社会-经济-自然复合生态系统持续发展评价指标的理论研究. 生态学报,1995,15(3):327~329.
- [9] 程忠炎. 生态农业体系结构效应的评价指标系列. 见:郭书田主编. 中国生态农业. 北京:中国展望出版社,1988. 319~320.
- [10] 封志明. 区域土地资源承载力研究模式议——以甘肃省定西县为例. 自然资源学报,1990,5(3):271~283.