

北京山区石匣小流域生态可持续发展评价

赵云杰¹, 徐伟², 朱国平², 齐实^{2*}, 王宁³

(1. 北京林业大学成人教育学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083;

3. 新疆农业大学, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 以石匣小流域为研究对象, 选取植被覆盖度、水土流失强度、土地利用效率、治理度、人均收入与当地平均水平的比值等 5 个指标, 采用模糊综合评价计算评价指标值, 根据可持续发展指标临界值所确定的不同阶段的划分标准, 得出评价结果。结果表明: 1991 年石匣小流域属于不可持续发展阶段; 1999 年该流域属于一般可持续发展阶段。

关键词: 小流域; 可持续发展; 评价指标 北京山区。

中图分类号: S728 文献标识码: A

Assessment on Ecological Sustainable Development of Shixian Small Watershed in the Mountainous Area of Beijing

ZHAO Yurjie¹, XU Wei², ZHU Guo-ping², QI Shi², WANG Ning³

(1. School of Adult Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Xinjiang Agriculture University, Urumqi, 830052, Xinjiang, China)

Abstract: Taking Shixian watershed as the research object, the vegetation coverage, intensity of soil and water erosion, land use ratio, control degree, the ratio of income per capita and local average were used to calculate the evaluation index value by fuzzy comprehensive evaluation method. Base on the standards established according to critical value of sustainable development index, some conclusions were got. The results showed that Shixian watershed belonged to unsustainable development stage in 1991 and sustainable development stage in 1999.

Key words: small watershed; sustainable development; evaluation index mountainous area of Beijing

当前我国面临着水土流失愈趋加剧、水土资源愈趋短缺、生态环境恶化、人口增长的态势, 要实现现代化的宏伟目标, 有必要从可持续发展的高度对水土保持重新认识, 进行水土保持可持续发展研究, 谋求具有中国特色的可持续发展的水土保持道路^[1]。石匣小流域位于密云水库东北, 地貌类型为土石浅山丘陵区, 座落在密云水库一级保护区范围内, 其水土保持治理的成效除对该保护区在涵养水源、保持水土、调洪削峰、减少淤积和泥沙入库等方面具有重要意义外, 还将为同类型区的治理提供理

论依据和实际样板。因此, 结合石匣小流域几年来取得的治理成果, 运用科学的方法对该流域从水土流失治理效益角度进行的可持续发展评价也就具有很重要的意义。

1 研究区概况

石匣小流域位于北京市密云县密云水库的东北方向, 地理坐标为 117°01' ~ 117°07' E 和 42°32' ~ 42°38' N, 按水系划分属潮河下游。该流域为暖温带季风气候, 多年平均降水量为 661.8 mm, 80% 集中在

收稿日期: 2003-11-12

基金项目: 北京市科委“北京市山区小流域治理及可持续发展示范研究”项目资助(952650100)

作者简介: 赵云杰(1968-), 男, 山东潍坊人, 讲师。

* 通讯作者: 齐实(1964-), 男, 陕西西安人, 副教授, 主要研究方向: 水土保持、森林水文、生态设计。

6—9 月份。冬天干燥寒冷,夏天炎热,雨量集中,春季多风干旱,秋季天高气爽。流域 1 月份平均气温 $-6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 7 月份平均气温 $25.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年日照时数 2 813 h, 无霜期为 176 d, 年蒸发量为 1 840 mm, 最大冻土深为 65 cm。地形属燕山山脉, 为土石浅山丘陵区, 地势北高南低, 沟壑密度为 $0.2\text{ km}\cdot\text{km}^{-2}$ 。土壤类型为洪积冲积物母质上发育的褐土, 质地为轻壤, 土层深厚。该流域北部的植被以杂草灌木丛为主, 覆盖度为 80%。丘陵地带存在的植被多为人工的刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.) 林及经济林等。

该流域行政隶属于密云县高岭乡, 包括白河涧、瑶亭、芹菜岭、东关、石匣、四合、栗榛寨、大屯 8 个行政村。据 1991 年统计: 全流域有人口 9 987 人, 劳动力 4 790 个, 耕地 565.07 hm^2 , 人均耕地 0.057 hm^2 , 粮食平均每公顷产量为 5 985 kg, 人均占有粮食 344.7 kg。1991 年全流域农业总产值 864.6 万元, 其中农业为 419.2 万元, 林业为 112.3 万元, 牧业为 333.1 万元, 人均纯收入为 358 元。

该流域总面积为 33 km^2 , 其中水土流失面积 32.22 km^2 , 占总面积的 97.7%, 侵蚀模数 $2\ 500\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (1991 年)。其中, 微度侵蚀 1 241.3 hm^2 , 轻度侵蚀 394.0 hm^2 , 中度侵蚀 420.7 hm^2 , 强度侵蚀 704.6 hm^2 , 极强度侵蚀 432.5 hm^2 , 剧烈侵蚀 28.9 hm^2 。水土流失类型主要为面蚀和沟蚀两种。流域内共有流域面积为 0.05 km^2 以上的沟道 164 条, 沟道总面积为 691 hm^2 。从 1991 年开始, 石匣小流域综合治理在概念上提出了“建设小生态单元”的基本观点, 采用了以保护水资源为主的土地资源开发模式和以高效利用水资源为主的节水工程模式。到 1999 年为止, 基本完成了小流域的综合治理, 形成了由沟坡防治体系、分水岭防治体系和沟谷防治体系组成的小流域土地资源开发综合治理体系, 其技术体系包括沟坡道路建设工程、人畜饮水与果园节水灌溉工程、土地整治工程、沟坡果园建设工程、粮经丰产工程和沟坡林业建设工程, 石匣小流域综合治理前后土地利用结构变化见表 1。

表 1 石匣小流域综合治理前后土地利用结构变化

土地利用	治理前(1991 年)		治理后(1999 年)	
	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%
农业用地	763.80	23.16	378.60	11.48
林业用地	1 450.93	44.00	2 665.13	80.82
牧业用地	780.53	23.67	98.67	2.99
水域	36.80	1.12	30.53	0.93
居民点及交通用地	265.67	8.06	124.67	3.78
(合计)	3 297.73	100.00	3 297.73	100.00

2 评价原则

主要有以下原则^[2~4]

(1) 层次性原则。可持续发展指标体系主要是为各级政府的决策提供可靠的信息, 衡量社会的发展行为与发展状况是否具有可持续发展, 应在不同层次上有不同的指标体系。

(2) 相关性原则。可持续发展实质上要求在任何一个时期, 人群的生活质量或福利水平、经济的发展水平或自然资源的消耗水平、环境质量和环境承载状况以及人类的社会组织形式之间具有协调状态, 因此, 可持续发展指标体系中的任何指标必须建立起与其它指标之间的内在联系。

(3) 简明性原则。指标必须经过加工和处理使之能够简单、明了和明确地反映问题。

(4) 科学性原则。指标体系的设置、构成、层次要建立在客观、合理、科学的基础上, 有利于对可持续发展进行动态监测与分析研究, 使信息输出系统能客观真实地反映其发展过程变化与系统输出功能。

(5) 系统性原则。能综合反映可持续发展各个方面和变化趋势。

(6) 可操作性原则。指标应简明、准确、代表性强, 既要容易获取, 又要有可比性。

3 评价方法

3.1 指标原则与量纲化

3.1.1 评价指标的选择 石匣小流域地处北京市山区密云水库东北, 经过多年的水土流失治理, 已取得了一定的效果, 现就依据现有的资料和小流域治理验收标准来选取适当的指标来对其进行生态可持续发展评价^[1,4,5], 主要指标有: 植被覆盖度(%), 水土流失(土壤侵蚀)强度($\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), 土地利用效率(%), 治理度(%), 人均收入与当地平均水平的比值(%).

3.1.2 指标的量纲化 采用极差正规化法。对于第 i 个评价指标进行极差正规化处理, 就是将 X_j 变换成为:

$$X_j = \frac{X_j - \min X_j}{\max X_j - \min X_j}$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m$ 。通过变换以后, $0 \leq X_j \leq 1$, 消除了量纲的影响。

3.2 指标分析与处理

3.2.1 植被覆盖度(%) 随着水土流失区林草覆

盖率的提高, 林草保持水土的功能增强, 而且林草覆盖率与土壤侵蚀量或侵蚀模数的关系是一个连续、动态的相反关系。当林草覆盖率达到 90 % 以上时, 土壤流失非常轻微, 此时的土壤侵蚀量一般远小于土壤允许流失量。根据王秋生的研究成果^[6], 林草覆盖率 (F) 与水土流失量(或土壤侵蚀模数) M 之间的关系可以表示为:

$$M = M_m e^{-(\ln \frac{M_m}{M}) \cdot F}$$

根据高成德的研究成果^[7], 在密云水库北京集水区, 当 F 值超过 62.18 % 以上时, 植被拦沙作用的增加已经不明显了。因此植被覆盖度应该控制在 62.18 % 以上, 此时量纲化应该在 0.44 以上。

植被覆盖度 (%) 隶属模型:

$$r_p = \begin{cases} 0, & p \leq 40\% \\ (p - 40\%) / 50\%, & 40\% < p < 80\% \\ 1, & p \geq 90\% \end{cases}$$

3.2.2 水土流失(土壤侵蚀)强度($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$) 衡量水土流失最主要的指标。对于北方土石山区, 国家标准规定土壤侵蚀强度的允许值为 $200 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ^[8]。

水土流失(土壤侵蚀)强度($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$) 隶属模型:

$$r_e = \begin{cases} 1, & e \leq 200 \\ 1 - (e - 200) / 1500, & 200 < e < 1700 \\ 0, & e \geq 1700 \end{cases}$$

3.2.3 土地利用效率 (%) 土地利用不合理是造成水土流失的主要因素。因此通过调整土地利用结构, 提高土地利用效率, 使土地发挥合理效益, 减小水土流失危害。

土地利用效率 (%) 隶属模型:

$$r_l = \begin{cases} 0, & l \leq 60\% \\ (l - 60\%) / 30\%, & 60\% < l < 90\% \\ 1, & l \geq 90\% \end{cases}$$

3.2.4 治理度 (%) 治理度是衡量水土保持效益的重要指标。一般情况下治理度达到 60 % 时治理

区域环境会发生明显的改善, 治理度达到 80 % 以上水土流失基本得到控制。

治理度 (%) 隶属模型:

$$r_s = \begin{cases} 0, & s \leq 10\% \\ (s - 10\%) / 60\%, & 10\% < s < 70\% \\ 1, & s \geq 70\% \end{cases}$$

3.2.5 人均收入与当地的平均水平的比值 (%)

考虑到地区间的差异性, 利用流域内的人均收入与所在直辖市农民的收入比值反映这一指标。当低于当地平均值的 45 % 时, 或高于当地平均值的 45 % 时差异性比较明显。

人均收入与当地的平均水平的比值 (%) 隶属模型:

$$r_i = \begin{cases} 0, & i \leq 45\% \\ (i - 45\%) / 100\%, & 45\% < i < 145\% \\ 1, & i \geq 145\% \end{cases}$$

3.3 评价模型

采用模糊综合评价^[9]。模糊综合评价是根据给出的评价标准和实测值经过模糊变换后对事件作出评价的一种数学方法, 其原理可表示为 $B = A \times R$, 其中, R 为模糊转换矩阵, A 为权重分配集。

评价的第一步是通过各种指标隶属函数, 把原指标值转换为 [0, 1] 区间的数, 并组成模糊转换矩阵; 第二步是通过各种使用的方法评价所涉及的各个指标的权重; 第三步是权重分配集与模糊转换矩阵相结合, 得出评价结果。

4 结果与分析

4.1 指标权重的确定

采用专家评分法确定评价指标的权重。首先, 由对水土保持可持续发展比较熟悉的专家, 根据自己的认识, 对各指标进行评判, 给出分值, 取值范围在 1~10 之间, 然后, 将专家的评分值汇总后, 去掉最高分和最低分, 作平均化处理, 再归一化, 即可得到各参评指标的权重值, 见表 2。再依次对各指标进行分级, 见表 3。

表 2 评价指标权重

指标名称	植被覆盖度	水土流失强度	土地利用效率	治理度	人均收入与当地平均水平的比值
权重	0.2105	0.2105	0.2237	0.1842	0.1711

表 3 指标分级

指标名称	指标分级				权重	
植被覆盖度	分级数值(%)	45	62	70	85	0.210 5
	正规数值	1.100 0	0.440 0	0.600 0	0.900 0	
水土流失强度	分级数值(%)	1 000	500	400	200	0.210 5
	正规数值	0.466 7	0.800 0	0.866 7	1.000 0	
土地利用度	分级数值(%)	60	70	80	90	0.223 7
	正规数值	0	0.333 3	0.666 7	1.000 0	
治理度	分级数值(%)	30	50	60	80	0.184 2
	正规数值	0.333 3	0.666 7	0.833 3	1.000 0	
人均收入与当地平均水平的比值	分级数值(%)	60	100	130	150	0.171 1
	正规数值	0.150 0	0.550 0	0.850 0	1.000 0	
加权后的正规数值		0.206 4	0.552 5	0.758 5	0.979 0	

4.2 临界值确定

将结果分为 3 个等级^[1,10,11]: (1) 不可持续发展阶段; (2) 可持续发展临界平衡阶段; (3) 可持续发展

阶段(可进一步分为 3 个等级: 一般; 中等; 高级)。

根据可持续发展指标的临界划分, 确定不同阶段的划分标准, 见表 4。

表 4 不同阶段划分值

指标名称	不可持续发展	可持续发展 临界平衡	可持续发展阶段		
			一般可持续	中等可持续	高级可持续
植被覆盖度	0.021 1	0.092 6	0.126 3	0.189 5	0.189 5
水土流失强度	0.098 2	0.168 4	0.184 2	0.210 5	0.210 5
土地利用度	0.000 0	0.074 6	0.149 1	0.223 7	0.223 7
治理度	0.061 4	0.122 8	0.153 5	0.184 2	0.184 2
人均收入与当地平均水平的 比值	0.025 7	0.094 1	0.145 4	0.171 1	0.171 1
生态可持续临界值	0.206 4	0.522 5	0.758 5	0.979 0	0.979 0

4.3 评价结果

石匣小流域 1991 年与 1999 年两个不同发展阶段评价指标值见表 5。

各阶段评价指标计算值和评价结果分别见表 6、表 7。

表 5 1991、1999 年两个不同发展阶段评价指标值

指标名称	1991 年	1999 年
植被覆盖度 / %	55	82.3
水土流失强度 / ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	2 500	422
土地利用度 / %	67.3	71.3
治理度 / %	11.1	100
人均收入与当地平均水平的比值 / %	47.12	63.33

表 6 各阶段指标计算值

指标名称	1991 年	1999 年	权重
植被覆盖度	0.300 0	0.846 0	0.210 5
水土流失强度	0.000 0	0.852 0	0.210 5
土地利用度	0.243 3	0.376 7	0.223 7
治理度	0.018 3	1.000 0	0.184 2
人均收入与当地平均水平的比值	0.021 2	0.183 3	0.171 1
年综合评分值	0.124 6	0.657 3	1

表 7 1991 年与 1999 年两个不同发展阶段评价结果

指标名称	1991 年		1999 年	
	分值	结果	分值	结果
植被覆盖度	0.063 2	可持续临界平衡	0.178 1	中级可持续
水土流失强度	0.000 0	不可持续	0.179 3	一般可持续
土地利用度	0.054 4	可持续临界平衡	0.084 3	一般可持续
治理度	0.003 4	不可持续	0.184 2	高级可持续
人均收入与当地的平均水平的比值	0.003 6	不可持续	0.031 4	可持续临界平衡
综合评价	0.124 6	不可持续	0.657 2	一般可持续

4.4 结果分析

从评价的结果中可以看出石匣小流域从1991年到1999年经过8a的治理工作,成果显著,各项指标可持续发展状况良好,其中:(1)植被覆盖度和土地利用率在1991年就已经进入可持续发展临界平衡阶段,到1999年其已经分别处于中等可持续发展状态和一般可持续发展状态,所以在以后的治理中仍需继续保持;(2)水土流失强度也得到有效的控制,到1999年进入一般可持续发展阶段,同1991年相比水土流失强度降低了近6倍,达到 $422 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,但还未达到国家标准规定的允许值 $200 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,在以后的治理工作中还应该继续加强控制水土流失,向高级可持续发展阶段迈进;(3)治理度非常显著,1999年达到100%,比1991年增长了10倍,达到高级可持续发展阶段;(4)人均收入与当地平均水平之间的差距还是较大,人们的收入水平较低,为了获得更高的收入,必然会向生态环境索取,易造成该地区的水土流失、植被破坏和环境恶化,因此在以后的治理工作中,除提高生态效益、社会效益的同时还必须注重经济效益,使群众脱贫致富。

总之,石匣小流域经过8a的综合治理,其生态效益已经取得显著的成绩,已达到生态良性循环、正逐步实现生态可持续发展的目的。

参考文献:

- [1] 齐实. 水土保持可持续发展研究[D]. 北京林业大学博士论文, 1999
- [2] 叶文虎, 全川. 联合国可持续发展指标体系述评[J]. 中国人口、资源与环境, 1997, 7(3): 83~ 87
- [3] 姚永玲. 国际可持续发展指标及评估系统研究的进展[J]. 中国人口、资源与环境, 1998, 8(2): 90~ 93
- [4] 叶文虎. 可持续发展的衡量方法及衡量指标初探[A]. 见: 北京大学中国可持续发展研究中心. 可持续发展之路[M]. 北京: 北京大学出版社, 1995
- [5] 孙立达, 孙保平, 齐实. 小流域综合治理理论与实践[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992
- [6] 王秋生. 植被控制土壤侵蚀的数字模型及其应用[J]. 水土保持学报, 1999, 5(4): 68~ 72
- [7] 高成德. 密云水库北京集水区水源保护林高效空间配置与稳定林分结构设计研究[D]. 北京林业大学博士论文, 2001
- [8] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999
- [9] 陈晓剑. 系统评价方法及应用[M]. 北京: 中国科学技术大学出版社, 1993
- [10] 冯长春, 汪柏林. 城镇可持续发展条件的评价——以南宁市市城镇为例[A]. 见: 北京大学中国可持续发展研究中心. 可持续发展之路[M]. 北京: 北京大学出版社, 1995
- [11] 潘存德. 区域可持续发展的理论与区域可持续发展的研究[D]. 北京林业大学博士论文, 1994