

湖北省山区小流域生态清洁评价指标体系研究

周颖^{1,2}, 杨伟^{1,2}, 李璐^{1,2}, 聂斌斌^{1,2}

¹湖北省水利水电科学研究院, 湖北 武汉

²湖北省水土保持工程技术研究中心, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年5月31日; 录用日期: 2022年6月23日; 发布日期: 2022年8月31日

摘要

生态清洁小流域建设围绕“生态”“清洁”两个重点,是对传统小流域治理模式的创新和提升,是保护水资源、减少水土流失、控制面源污染、建设美丽乡村的重要举措。本文通过查阅前人研究成果和相关法规、标准,从土壤环境、水环境、生态环境、人居环境4个方面选择了10个指标构建了湖北省山区小流域生态清洁评价指标体系。采用生态清洁指数计算水源涵养型、生态旅游型、生态农业型、宜居环境型小流域的生态清洁程度,最终将小流域生态清洁程度划分为很清洁、清洁、不清洁三个等级,为推进湖北省生态清洁小流域建设工作提供支撑。

关键词

湖北省, 生态清洁小流域, 指标体系

Study on Ecological Cleanliness Evaluation Index System of Small Watershed in Mountainous Area of Hubei Province

Ying Zhou^{1,2}, Wei Yang^{1,2}, Lu Li^{1,2}, Binbin Nie^{1,2}

¹Hubei Water Resources Research Institute, Wuhan Hubei

²Hubei Soil and Water Conservation Engineering Research Center, Wuhan Hubei

Received: May 31st, 2022; accepted: Jun. 23rd, 2022; published: Aug. 31st, 2022

Abstract

The construction of ecologically clean small watershed focuses on “ecology” and “cleanliness”, which is an innovation and improvement of traditional small watershed governance. It is an important measure to protect water resources, reduce soil erosion, control non-point source pollution and build beautiful

作者简介: 周颖(1990-), 女, 湖北武汉人, 博士, 工程师, 主要从事水土保持、生态治理工作, Email: 601310443@qq.com

countryside. Based on previous research results and relevant regulations and standards, we chose ten indexes related soil environment, water environment, ecological environment and living environment for the ecological cleanliness evaluation index system of small watershed in mountainous area of Hubei province. The ecological cleanliness index was used to calculate the ecological cleanliness degree of water conservation type, eco-tourism type, eco-agriculture type and livable type small watershed. The ecological cleanliness degree of small watershed was divided into three grades: very clean, clean and not clean, which provides support for promoting the construction of small watershed in Hubei Province.

Keywords

Hubei Province, Eco-Clean Small Watershed, Index System

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

生态清洁小流域建设是以控制水土流失和面源污染为重点, 统筹农村生活垃圾、污水处理、美丽乡村建设的小流域治理新阶段重要举措[1]。对生态清洁小流域建设成果开展客观评价, 反映流域内土壤、水环境、生态等的现状, 对于保护流域生态系统良性循环具有重要意义[2]。

北京早在 2003 年以水源保护区为重点开展生态清洁小流域建设, 构筑“三道防线”的思路[3], 发布地方标准《生态清洁小流域技术规范》(DB11/T 548-2008), 列举 13 个生态清洁小流域评价指标。此后谢磊等[4]在北京山区小流域开展生态清洁程度评价, 按照坡面、沟道和村庄 3 个部分, 筛选出土壤侵蚀强度、流域出口断面水质等 10 项关键指标, 对小流域的局部和整体生态清洁程度进行排序, 判断小流域间的相对生态清洁状况。水利部印发的《生态清洁小流域建设技术导则》(SL 534-2013)监测与评价中提出了 10 项生态清洁小流域建设应符合的评价指标[5]。张磊等[6]在江西省按照土壤状况、生态系统、水环境、人类社会与经济发展 4 个方面筛选出 14 个指标构建小流域生态清洁评价指标体系, 提出了生态清洁小流域模糊综合评价方法。江西省于 2020 年发布地方标准《小流域水土流失综合治理第 2 部分生态清洁小流域评级规范》(DB36/T 1344.2-2020)。

湖北省近十年在丹江口库区、三峡库区、大别山区、武陵山区、幕阜山区等陆续开展生态清洁流域建设 100 多条, 结合生态清洁小流域建设的需求重点、功能定位以及发展目标, 湖北省山区生态清洁小流域建设大致可分为水源涵养型、生态旅游型、生态农业型、宜居环境型等 4 种模式。构建湖北省山区小流域生态清洁评价指标, 评价不同建设模式小流域生态清洁程度, 为科学度量小流域建设实现的生态效益、经济效益和社会效益提供了技术支撑。

2. 小流域生态清洁评价指标选取

2.1. 指标选取原则

- 1) 代表性: 选取的指标能反映小流域某一方面的特征。
- 2) 系统性: 评价体系能系统表征小流域土壤环境、水环境、生态环境、人居环境的生态清洁状况, 反映小流域生态清洁的内涵。
- 3) 差异性: 选取的指标间具有明显的差异性, 既简明扼要, 又能涵盖流域生态清洁的主要方面。
- 4) 可获取性: 指标测度方法应简单易行, 计算指标所需数据容易获得且比较可靠, 便于计算、比较和分析。

2.2. 指标选取方法

查阅国内前人研究成果和相关法规、标准,小流域生态清洁评价指标大致从土壤资源保护与配置、水资源保护与利用、河流沟道自然环境、人类活动影响几个方面进行筛选。因此本研究拟定从“土壤环境、水环境、生态环境、人居环境”4个准则层上初拟出各准则层中前人使用较多的指标,根据指标选取原则,对初选指标进行相关性分析,对差异性不大的指标进行合并、归类,对代表性不强、不具有可获取性的指标予以剔除,最终形成生态清洁小流域的主要评价指标。

3. 小流域生态清洁评价指标体系构建

3.1. 土壤环境指标

反映土壤环境指标主要包括水土流失、土壤肥力、人为活动影响等3类。水土流失方面的指标包括土壤侵蚀强度、土壤侵蚀模数、水土流失率、水土流失治理度等。其中,水土流失治理率和水土流失治理度内涵相同,水土流失率与土壤侵蚀模数相关性较好,且比水土流失治理率获取简单、易操作,故从差异性和获取性上确定水土流失率为主要评价指标。土壤肥力方面的指标包括土壤有机质含量、土壤厚度等,考虑到这两个指标反映的是土壤自身的理化性质,不能直接反映土壤清洁状况,可剔除。人为活动影响方面的指标包括化肥施用强度、农药施用强度,两者均表征农业面源污染可能对流域的影响,且没有相关性,故确定为主评指标。

综上,土壤环境方面确定水土流失率、化肥施用强度、农药施用强度为主评指标。

3.2. 水环境指标

反映水环境的指标主要包括水文、水质、水生态等3类。水文方面的指标主要包括水域面积、输沙模数、年径流深、径流系数等,径流系数与年径流深都反映了河流径流量;输沙模数与年径流量之间存在一定的关系,可剔除;水域面积受径流量、泥沙淤积、水利工程等人类活动影响,不予考虑。水质方面的指标主要包括水质状况、河流断面水质、小流域出口地表水环境质量、饮用水源水质达标率等,水质状况定义较为笼统,断面水质需设置断面开展监测,可选择小流域出口地表水环境质量作为评价小流域水质的重要指标。水生态方面的指标包括水源涵养功能指数等,但水源涵养功能指数与植被覆盖、土壤物理性质等因素相关,可在生态环境或土壤指标中考虑,因此剔除。

综上,水环境方面确定径流系数、小流域出口地表水环境质量为主评指标。

3.3. 生态环境指标

反映生态环境的指标主要包括植被覆盖、生态功能、生物多样性等3类。植被覆盖方面的指标包括植被覆盖度、林草覆盖率、林草面积占宜林宜草面积比等,植被覆盖度常用于流域生态健康评价,生态清洁小流域较多采用林草覆盖率或林草面积占宜林宜草面积比,从水土保持的角度来讲林草覆盖率数据获取更简单,故选择。生物多样性指数是包括陆生和水生生物的综合指标,评价有一定难度,故剔除。

综上,生态环境方面确定林草覆盖率为主评指标。

3.4. 人居环境指标

人居环境指标可分为人口、经济、污染等3类。人口密度反映人口活动密集程度,可列入人居环境的主评指标;经济方面的指标包括人均生产总值、恩格尔系数等,但小流域生态清洁情况与经济发展水平没有直接的必然联系,可剔除;污染方面的指标包括工业污水达标排放率、规模养殖污水处理率、生活污水处理率、生活垃圾无害化处理率等,通常山区小流域较少涉及工业,因此选择规模养殖污水处理率、生活污水处理率、生活垃圾无害化处理率等指标。

综上, 人居环境方面确定为人口密度、规模养殖污水处理率、生活污水处理率、生活垃圾无害化处理率为主评指标。

3.5. 指标体系构建

从湖北省山区实际情况出发, 按照土壤环境、水环境、生态环境、人居环境四个部分构建指标体系, 共包括 10 项指标, 具体含义见表 1。

Table 1. The ecological cleanness evaluation index system of small watershed in mountainous area of Hubei province

表 1. 湖北省山区小流域生态清洁评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标含义
山区小流域生态清洁程度	土壤环境	水土流失率	水土流失率 = 水土流失面积/土地总面积 × 100%
		化肥施用强度	指 1 年内单位耕地面积的化肥施用量, 化肥施用量按折纯量计算
		农药施用强度	包括农地、果园等施用农药的种类、强度和等方法
	水环境	径流系数	一定汇水面积内总径流量与降水量的比值
		出口地表水环境质量	评价小流域出口水质的重要指标, 按照《地面水环境质量标准》(GB3838-2002)进行监测
	生态环境	林草覆盖率	林草覆盖率 = 流域内乔木林、灌木林与草地等林草植被面积之和/流域土地面积 × 100%
		人口密度	人口密度 = 人口数/土地面积
	人居环境	生活污水处理率	规范 SL 534-2013 要求生活污水处理率大于等于 80%, 以此作为小流域生态清洁分级的底限
		规模化养殖污水处理率	规范 SL 534-2013 要求养殖污水处理率达到 100%, 以此作为小流域生态清洁分级的底限
		生活垃圾无害处理率	规范 SL 534-2013 要求处理率大于等于 80%, 以此作为小流域生态清洁分级的底限

4. 生态清洁评价方法

4.1. 小流域生态清洁指数

根据评价体系结构, 参考对流域健康指数的计算方法, 采用多层次的方式开展小流域生态清洁评价, 使用小流域生态清洁指数(C)表征, 计算方法如下:

$$C = \sum_{i=1}^m A_i \sum_{j=1}^n B_j P_{ij} \quad (1)$$

式中: A_i 为准则层内第 i 个准则层的权重; B_j 为某准则层下第 j 个指标在该准则层所占权重; P_{ij} 为准则层内第 i 个准则层下选取的第 j 个指标无量纲化后的分值; m 为准则层内准则层的个数; n 为准则层内指标的个数。

4.2. 小流域生态清洁评价指标分级

采用专家打分法[7]并参照已有规划、标准等, 将各评价指标按阈值范围对应小流域生态清洁无量纲分值, 分级标准见表 2。湖北省山区小流域生态清洁程度分为很清洁、清洁、不清洁三个等级。

Table 2. Grading standard of ecological cleanness evaluation index for small watersheds**表 2.** 小流域生态清洁评价指标分级标准

指标	单位	划分等级及标准		
		很清洁(10~8分)	清洁(7~5分)	不清洁(4~0分)
水土流失率(C1)	%	<15	15~30	≥30
化肥施用强度(C2)	kg/hm ²	≤225	225~250	>250
农药施用强度(C3)	kg/hm ²	<10	10~25	≥25
径流系数(C4)		≥0.8	0.8~0.6	<0.6
出口地表水环境质量(C5)	类	II类	III类	劣于III类
林草覆盖率(C6)	%	≥75%	75%~45%	<45%
人口密度(C7)	人/km ²	≤100	100~500	>500
生活污水处理率(C8)	%	≥90	90~80	<80
规模化养殖污水处理率(C9)	%	100	100	<100
生活垃圾无害处理率(C10)	%	≥90	90~80	<80

4.3. 小流域生态清洁评价指标权重

针对小流域的建设模式,分别确定土壤环境、水环境、生态环境、人居环境相对于山区小流域生态清洁程度的权重值(表 3),以及各准则层内各指标相对于该准则层的权重值(表 4),最终获得湖北省山区小流域生态清洁评价指标权重值。

Table 3. Weights of criteria layer for ecological cleanness evaluation of different construction models**表 3.** 不同建设模式生态清洁评价各准则层权重表

目标层(A)	准则层(B)	B层指标相对于A层的权重			
		水源涵养型	生态旅游型	生态农业型	宜居环境型
山区小流域生态清洁程度(A)	土壤环境(B1)	0.3	0.2	0.3	0.2
	水环境(B2)	0.2	0.3	0.3	0.3
	生态环境(B3)	0.4	0.3	0.2	0.2
	人居环境(B4)	0.1	0.2	0.2	0.3

Table 4. Weight table of ecological cleanness evaluation index in small watershed in Mountainous area of Hubei Province**表 4.** 湖北省山区小流域生态清洁评价指标权重表

准则层(B)	指标层(C)	C层指标相对于B层的权重
土壤环境(B1)	水土流失率(C1)	0.6
	化肥施用强度(C2)	0.2
	农药施用强度(C3)	0.2
水环境(B2)	径流系数(C4)	0.3
	出口地表水环境质量(C5)	0.7
生态环境(B3)	林草覆盖率(C6)	1
	人口密度(C7)	0.25
人居环境(B4)	生活污水处理率(C8)	0.25
	规模化养殖污水处理率(C9)	0.25
	生活垃圾无害处理率(C10)	0.25
		0.25

5. 典型小流域生态清洁程度评价

由于目前湖北省生态清洁小流域建设尚处于持续推进阶段,对于污染源、水土流失、水质水量等方面的监测未能在每个建设的小流域内系统性开展,因此选择建设时间较早、投入力度较大、数据收集较全的胡家山小流域开展生态清洁程度评价。胡家山小流域位于汉江以北丹江口市习家店镇和嵩坪镇,介于东经 111°12'22"至 111°15'20.5"和北纬 32°44'17.8"至 32°49'15.6"之间,属于汉江二级小支流,面积 22.57 km²,距南水北调核心水源区约 6 km。2007 年,胡家山小流域被列入“丹治”工程后,全面开展了生态清洁小流域建设。

胡家山小流域治理的主要方向是治理流域内农业面源污染,保护丹江口水库支流水源。治理围绕“远山生态修复防线、农地综合治理防线、库周生态缓冲防线”三道防线,实施“荒坡地径流控制、农田径流控制、村庄面源污染控制、传输途中控制、流域出口控制”五级防护,突出农田整治和农村污染防治,通过营造水源涵养林,修建坡面工程、人工湿地、沼气池,整治溪沟、塘堰,集中处理村落污水和垃圾,建成了较为完整的水土流失和点源、面源污染控制体系,形成有水则清、无水则绿的生态清洁小流域水土保持生态系统。

综合考虑胡家山小流域的功能定位,将其划定为水源涵养型与生态农业型兼顾的建设模式,在生态清洁程度评价中土壤环境(B1)、水环境(B2)、生态环境(B3)、人居环境(B4)各准则层相对于目标层(A)的权重取水源涵养型、生态农业型各准则层相对于目标层(A)的权重的平均值,即 0.3, 0.25, 0.3, 0.15。胡家山小流域各指标值及各指标(C)相对于目标层(A)的权重值见表 5。由式(1)计算得到胡家山小流域生态清洁指数值为 5.4225,属于清洁等级。

Table 5. Values and weights of ecological cleanness evaluation indexes of the Hujiaoshan watershed

表 5. 胡家山小流域生态清洁评价各指标取值与权重

指标	单位	值	得分	C 层指标相对于 A 层的权重
水土流失率(C1)	%	36.03	4	0.18
化肥施用强度(C2)	kg/hm ²	300	4	0.06
农药施用强度(C3)	kg/hm ²	1.5	10	0.06
径流系数(C4)		0.35	3	0.075
出口地表水环境质量(C5)	类	V	3	0.175
林草覆盖率(C6)	%	57.8	6	0.3
人口密度(C7)	人/km ²	190.65	7	0.0375
生活污水处理率(C8)	%	95	9	0.0375
规模化养殖污水处理率(C9)	%	100	10	0.0375
生活垃圾无害处理率(C10)	%	95	9	0.0375

6. 结论与建议

本文从土壤环境、水环境、生态环境、人居环境 4 个方面选择了 10 个指标构建了湖北省山区小流域生态清洁评价指标体系。采用生态清洁指数计算水源涵养型、生态旅游型、生态农业型、宜居环境型小流域的生态清洁程度,最终将小流域生态清洁程度划分为很清洁、清洁、不清洁三个等级。由于目前湖北省山区生态清洁小流域数据资料有限,仅对典型小流域——胡家山小流域开展生态清洁程度评价,生态清洁指数值为 5.4225,属于清洁等级。

建议后期加强对已建设和规划建设的生态清洁小流域在污染源、水土流失、水质水量方面的定点长期观测,可选择典型小流域开展对选取指标相关性的定量分析。此外,各指标对应各准则层,各准则层对应目标层的权

重赋值主要依靠前人研究、相关标准及专家经验,后期建议基于大量数据资料在权重赋值方面开展进一步研讨与论证,为定量评估小流域生态清洁程度、掌握生态清洁小流域建设成效及水土保持高质量发展提供科学依据。

基金项目

湖北省水利重点科研项目“湖北省山区小流域生态清洁评价指标体系研究”(HBSLKY202006)。

参考文献

- [1] 蒲朝勇,高媛.生态清洁小流域建设现状与展望[J].中国水土保持,2015(6):26-29.
PU Chaoyong, GAO Yuan. Present construction situation and prospect of ecological clean small watershed. *Soil and Water Conservation in China*, 2015(6): 26-29. (in Chinese)
- [2] 张磊,郑委,谢颂华,等.小流域生态清洁评价分级标准研究[J].江西水利科技,2017,47(5):342-347.
ZHANG Lei, ZHENG Wei, Xie Songhua, et al. Study on evaluation and grading standard of ecological cleanness in small watershed. *Jiangxi Hydraulic Science & Technology*, 2017, 47(5): 342-347. (in Chinese)
- [3] 毕小刚,杨进怀,李永贵,等.北京市建设生态清洁型小流域的思路与实践[J].中国水土保持,2005(1):22-24.
BI Xiaogang, YANG Jinhui, LI Yonggui, et al. Thoughts and practice of constructing ecological clean small watershed in Beijing. *Soil and Water Conservation in China*, 2005(1): 22-24. (in Chinese)
- [4] 谢磊,武晓峰,段淑怀.北京市山区小流域生态清洁程度评价指标体系研究[J].中国水土保持,2012(10):1-2,35.
XIE Lei, WU Xiaofeng and DUAN Shuhuai. Study on evaluation index system of ecological cleanness of small watershed in mountainous area of Beijing. *Soil and Water Conservation in China*, 2012(10): 1-2, 35. (in Chinese)
- [5] 中华人民共和国水利部. SL 534-2013.生态清洁小流域建设技术导则[S].北京:中国水利水电出版社,2013.
Ministry of Water Resource of the People's Republic of China. SL 534-2013. Technical guidelines construction of the ecological-clean small watersheds. Beijing: China Water & Power Press, 2013. (in Chinese)
- [6] 张磊,郑委.生态清洁小流域主要评价指标研究[J].中国水土保持,2017(12):23-26.
ZHANG Lei, ZHENG Wei. Study on main evaluation index of ecological clean small watershed. *Soil and Water Conservation in China*, 2017(12): 23-26. (in Chinese)
- [7] 马丰丰,田育新,罗佳,等.生态清洁小流域评价指标体系的构建[J].湖南林业科技,2010,37(3):82-84.
MA Fengfeng, TIAN Yuxin, LUO Jia, et al. Construction of evaluation index system of ecological clean small watershed. *Hunan Forestry Science Technology*, 2010, 37(3): 82-84. (in Chinese)