

丹江口库区土壤侵蚀对土地利用变化的响应

章影^{1,2}, 廖畅^{1,2}, 姜庆虎¹, 刘峰¹

(1. 中国科学院 武汉植物园水生植物与流域生态重点实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: [目的] 探讨土壤侵蚀对土地利用变化的响应, 为库区土壤侵蚀的防治提供借鉴性意见, 从而为制定保障丹江口水质安全的措施提供科学支持。[方法] 利用遥感影像解译的土地利用类型(2002—2013 年), 分析丹江口库区土地利用变化, 同时利用修正的土壤流失模型 RUSLE 对土壤侵蚀量进行模拟分析, 探讨土壤侵蚀对土地利用变化的响应。[结果] 丹江口库区在 2002—2013 年期间主要的土地利用变化集中在林地、耕地、灌草地之间的转移以及建设用地的扩张, 具体表现为林地面积扩大了 13.72%, 耕地面积小幅增加了 5.76%, 而灌草地面积大幅减少了 37.61%, 建设用地增长了 2.40 倍。丹江口库区 2002, 2008, 2013 年均以微度侵蚀占主导。库区土壤的整体侵蚀强度减轻, 但土壤侵蚀在城市扩张地区增加明显。[结论] 丹江口库区的土地利用变化及土壤侵蚀强度的改变主要受退耕还林、天然林保护等政策措施和城市扩张的影响。库区的土壤侵蚀程度在总体上具有降低的趋势, 但在城镇化区域, 土壤侵蚀状况急剧恶化。

关键词: 土地利用; RUSLE 模型; 土壤侵蚀; 丹江口库区; 城镇化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)01-0104-08

中图分类号: S157.1

文献参数: 章影, 廖畅, 姜庆虎, 等. 丹江口库区土壤侵蚀对土地利用变化的响应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1):104-111. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.019; Zhang Ying, Liao Chang, Jiang Qinghu, et al. Response of soil erosion to land use change in Dangjiangkou reservoir area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1):104-111. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.019

Response of Soil Erosion to Land Use Change in Dangjiangkou Reservoir Area

ZHANG Ying^{1,2}, LIAO Chang^{1,2}, JIANG Qinghu¹, LIU Feng¹

(1. Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430074, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study is to explore the response of soil erosion to land use changes, and to provide reference for the prevention and control of soil erosion in the reservoir area, as well as to provide scientific support for the development of measures to ensure water quality security in Dangjiangkou reservoir area. [Methods] Using land use data interpreted from remote sensing images, we analyzed the land use changes in the Dangjiangkou reservoir area between 2002 and 2013. Additionally, using the revised universal soil loss equation(RUSLE), we simulated soil erosion to evaluate how it may response to land use change. [Results] During 2002—2013, the main land use changes resulted from conversions among forest, farmland and shrub-grassland, as well as expansion of construction area. Specifically, forest area expanded by 13.72%, the area of farmland only increased by 5.76%. Shrub-grass land area has decreased by 37.61%. The construction area increased twice. In 2002, 2008 and 2013, slight soil erosion dominated the most areas in the Dangjiangkou reservoir area. In spite of the increased soil erosion intensity in construction area, the overall soil erosion intensity was reduced. [Conclusion] Implementation of grain-for-green policy, closing hillsides to facilitate afforestation, and urbanization contributed to land use and soil erosion change in the Dangjiangkou reservoir area. The soil erosion in the reservoir area has a tendency to decrease in general, but

收稿日期:2016-04-22

修回日期:2016-07-23

资助项目:科技基础性工作专项“南水北调(中线)水源地生物群落环境调查”(2015FY110400); 中国科学院百人计划项目(2012148)

第一作者:章影(1991—),女(汉族),江苏省南通市人,硕士研究生,主要从事土地利用、土壤侵蚀方面研究。E-mail:zhangying88@bnu.edu.cn。

通讯作者:刘峰(1975—),男(汉族),山东省临沂市人,博士,研究员,主要从事全球变化生态学、景观生态学、生态系统生态学及生态模拟等领域的研究。E-mail:liufeng@wbgcas.cn。

in the area of urbanization, soil erosion has deteriorated sharply.

Keywords: land use; RUSLE model; soil erosion; Danjiangkou reservoir area; urbanization

当今人口—资源—环境之间的矛盾日益尖锐化,随着人类活动的影响,土壤侵蚀加剧,引起了一系列的环境效应,严重破坏了人类赖以生存的环境,制约着全球经济的可持续发展。土地利用变化是土壤侵蚀的催化剂,可改变局部地区的微环境,诸如气候、土壤、植被等,进而加剧/减缓土壤侵蚀。因此,探讨土地利用变化对土壤侵蚀的影响,对于了解影响土壤侵蚀的主要因素和机制,以及对合理的土地利用规划以及生态环境保护具有重要的意义。

南水北调中线工程是中国重大的跨流域调水工程,是中国为缓解华北地区缺水而建设的大型工程,它的兴建对于缓解京津冀地区水资源短缺的问题具有举足轻重的作用。作为南水北调中线工程水源的丹江口水库,其水质的好坏直接关系到南水北调中线工程的成败。近年来,丹江口库区实施天然林保护、退耕还林、还草等政策,部分地区植被覆盖度增加,但又因城市扩张,部分植被覆盖度减少,这些土地利用结构的调整,改变了局部微环境,干扰了库区的自然侵蚀循环过程,影响了生态系统的安全。目前对丹江口库区的土地利用^[1-2]、植被覆盖度^[3]、养分流失^[4]等单一现象的研究很多,也有部分土壤侵蚀对土地利用响应的研究,但主要集中在固定年份二者关系的探究,少有研究指明丹江口库区不同年份间土地利用变化对土壤侵蚀的影响。随着径流泥沙转移而流动的营养物和污染物对库区水质造成了很大的影响,因而要从根本上保证南水北调水质安全,须开展土地利用与土壤侵蚀关系的研究,才能更加合理的配置土地利用,从而减少丹江口库区的土壤侵蚀,保障水库水质。

2001 年丹江口市被列入全国退耕还林还草试点以及 2002,2010 年丹江口大坝加高,水位线上涨,库区 34.5 万移民政策实施以来,库区的土地利用发生了很大变化,对库区的土壤侵蚀也造成了一定影响。本研究拟利用遥感影像解译的土地利用类型,分析丹江口库区 2002,2008,2013 年的土地利用的空间动态变化过程;同时利用修正的土壤流失模型 RUSLE 对库区土壤侵蚀量进行模拟分析,探讨土壤侵蚀对土地利用变化的响应,以期为库区土壤侵蚀的防治提供借鉴性意见,从而为制定保障丹江口水质安全的措施提供科学支持。

1 研究方法

1.1 研究区概况

丹江口水库位于长江中游支流汉江的中上游,湖

北和河南省的交界处(北纬 32°14′—33°19′,东经 110°30′—111°43′)。库区范围包括湖北省十堰市、丹江口市、郧县、房县以及河南省的邓州市、淅川县、西峡县,总面积 7 545.42 km²。库区土壤类型主要有黄棕壤、黄褐土等。气候属典型的季风型大陆性半湿润气候,四季分明,年均气温为 15.7℃,极端最高气温为 42.7℃,极端最低气温为 -14.9℃,雨量充沛,年均降雨量 800~860 mm。库区内 7—9 月降雨量集中,多暴雨,易引发土壤侵蚀、山体滑坡等自然灾害。

1.2 数据来源

本研究所使用的数据包括:① 丹江口库区 2002,2008 年以及 2013 年 3 个年份的 TM/OLI 遥感影像(有云部分采用邻近年份的进行替补),来源于美国地质勘查局(<http://glovis.usgs.gov/>);② 库区内郧阳(1971—2013,2008 年缺失)、郧县(1953—2008 年)、丹江口(1963—2007 年)以及西峡(1957—2013 年)4 个水文气象站的日降雨数据;③ 库区 1:100 万土壤类型图、基于世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1),来源于寒区旱区科学数据中心;④ 库区数字高程图(DEM)30 m×30 m,来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

1.3 土地利用分类

利用 ENVI5.1 软件对 2002,2008,2013 年的遥感影像进行预处理(包括辐射校正、几何校正、配准、辐射增强、影像裁剪与大气校正)。基于中分辨率卫星影像的“国家级土地利用与覆被分类系统”,结合丹江口库区土地利用和植被特征,构建适用于该区域的分类系统,分为建设用地、林地、水体、耕地、灌草地以及裸地 6 大类。根据专家经验将分类系统中的土地利用类型与研究区的遥感影像进行对比分析,建立解译标志,利用监督分类的方法对丹江口库区的遥感影像进行解译分类。

利用 ArcGIS 软件对库区规则取点(共 469 个),通过 Google Earth 历史影像进行地物判断,利用 ENVI 软件对 3 个年份的影像分类结果进行精度验证。

1.4 土壤侵蚀量估算

考虑到丹江口库区前人研究中基本都采用修正的通用土壤流失模型(RUSLE)^[5]进行土壤侵蚀量估算,没有可以参考的工程、措施因子值,本研究也缺少对工程以及耕作措施的实地调查,为了更好地跟之前的研究对比,顾没有采用中国土壤流失方程(CSLE),而是同样采用 RUSLE 模型对 2002,2008,

2013 年的土壤侵蚀量进行评估。

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中: A ——土壤侵蚀量 $[(t)/(hm^2 \cdot a)]$; R ——降雨侵蚀力因子 $[(MJ \cdot mm)/(hm^2 \cdot h \cdot a)]$; K ——土壤可蚀性因子 $[(t \cdot hm^2 \cdot h)/(MJ \cdot mm \cdot hm^2)]$; L ——坡长因子; S ——坡度因子; C ——作物覆盖与管理因子; P ——水土保持措施因子。

1.4.1 降雨侵蚀力因子 R 估算 降雨侵蚀力因子是指降雨对土壤侵蚀的潜在能力,一般采用不同时间的降雨模型进行估算。本文利用上述搜集到的库区内 4 个气象站点的日降雨资料,通过前人总结的库区最优模型 Modified Yu 模型^[6]进行 R 因子的估算^[7]。

$$E_j = \alpha [1 + \eta \cos(2\pi f j + \omega)] \sum_{d=1}^N P_d^\beta \quad (2)$$

$(P_d > P_0)$

式中: E_j ——月降雨侵蚀力; P_d ——日降雨量 (mm); P_0 ——侵蚀性降雨标准(本研究取 12 mm); N ——某月中日雨量超过 P_0 的天数(d); f ——频率 ($f=1/12, \omega=5\pi/6$); α, β, η ——模型参数; j ——月份。

式中: α, β, η 具有以下经验关系式^[8]:

年降雨量大于 1 050 mm 时

$$\lg \alpha = 2.11 - 1.57\beta$$

年降雨量 500~1 050 mm

$$\alpha = 0.395 \{1 + 0.098^{[3.26(S/P)]}\}$$

$$\eta = 0.58 + 0.25P/1000$$

综合考虑前人的研究成果,本研究将 β 取值为 1.665。 S 为夏半年(5—10 月)降雨量, P 为年均降雨量。通过上述公式计算,最终得到 4 个气象站点多年平均降雨侵蚀力因子 R ,再利用 ArcGIS 中的 Kriging 插值做出 R 值的空间分布图。

1.4.2 土壤可蚀性因子 K 估算 土壤可蚀性因子是指标准小区内单位降雨侵蚀力引起的土壤流失率^[9]。本研究运用 EPIC 模型^[10]计算土壤可蚀性因子 K ,计算公式如下:

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 S_d (1 - \frac{S_i}{100})]\} \times (\frac{S_i}{C_i + S_i})^{0.3} \times [1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}] \times [1.0 - \frac{0.7S_N}{S_N + \exp(-5.51 + 22.9S_N)}]$$

式中: S_d ——砂粒含量(%); S_i ——粉砂含量(%); C_i ——黏粒含量(%); C ——有机碳含量(%); $S_N = 1 - S_d/100$,其中 K 值单位为 $[(t \cdot hm^2 \cdot h)/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)]$,需要进行单位转换。本研究中各土壤类型的理化性质指标(粉砂黏粒含量、有机碳

含量)均从世界土壤数据库(HWSD)的中国土壤数据集(v1.1)中提取获得,再通过上述公式进行计算,得到各土壤类型的 K 值,最后利用 ArcGIS 对 1:100 万土壤图中的各土壤类型进行 K 因子赋值,生成库区土壤侵蚀因子 K 分布图。

1.4.3 坡长坡度因子 LS 估算 地形因素是影响土壤侵蚀最重要的因素,主要包括坡度、坡长以及坡形。土壤侵蚀对坡度较为敏感,其通过重力作用影响地表径流以及土壤侵蚀的强度。

本研究是通过 30 m 分辨率的 DEM 利用 Hickey 和 van Remortel 根据 RUSLE 模型中计算 LS 因子^[11]方法开发的 AML 宏语言来实现坡长坡度因子的提取的。由于源代码中的坡度因子未考虑陡坡的情况,本研究加入了 1994 年刘宝元等^[12]提出的陡坡公式,对源代码中的坡度因子计算进行了修正,计算公式如下:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & (\theta < 5.1428^\circ) \\ 16.8 \sin \theta - 0.50 & (5.1428^\circ \leq \theta < 11^\circ) \\ 21.91 \sin \theta - 0.96 & (\theta \geq 11^\circ) \end{cases}$$

该语言中,坡长因子的计算公式如下:

$$L = (\lambda/22.13)^m$$

$$m = \beta/(1 + \beta)$$

$$\beta = (\sin \theta / 0.0896) / [3.0(\sin \theta)^{0.8} + 0.56]$$

式中: θ ——坡度角(%); λ ——坡长(m); m ——坡长指数; β ——细沟侵蚀与细沟间侵蚀的比值。

最终,将 AML 语言在 ArcInfo Workstation 环境下运行,得到坡长坡度因子 LS 分布图。

1.4.4 植被覆盖与管理因子 C 估算 植被对土壤侵蚀有着举足轻重的作用,其覆盖能够减弱土壤侵蚀。本研究对植被覆盖与管理因子 C 的估算主要分为 2 步:一是进行植被覆盖度的估算,利用对植被生物物理特征十分敏感的 NDVI 指标通过像元二分模型^[13]得出;二是对植被覆盖与管理因子估算,利用 ArcGIS 的栅格计算通过蔡崇法^[14]建立的植被覆盖度与 C 因子的关系式分别得出 3 个年份 C 因子的空间分布图。

主要计算公式如下:

$$\text{植被覆盖度: } f_c = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

植被覆盖与管理因子:

$$C = \begin{cases} 1 & (0 \leq f_c < 0.1\%) \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f_c & (0.1\% \leq f_c \leq 78.3\%) \\ 0 & (f_c > 78.3\%) \end{cases}$$

式中: f_c ——植被覆盖度; NDVI——像元归一化指数; $NDVI_{\min}$ ——无植被(裸土)像元的 NDVI 值;

$NDVI_{max}$ ——纯植被像元的 NDVI 值。

本研究为了避免大于 1 的值出现,对蔡崇法的公式稍做了修改;由于水体的 NDVI 近乎为 0,但究其无土壤侵蚀,因而本研究将其 C 值赋为 0。

1.4.5 水土保持因子 P 估算 水土保持因子 P 反映的是水土保持措施对土壤侵蚀的抑制作用,但由于缺乏实际的统计数据,又因其主要受坡度的影响,因而本研究采用 Wener 经验方程^[15]来对水土保持因子 P 进行估算。

$$P = 0.2 + 0.03 S$$

式中: S ——百分比坡度。利用 ArcGIS 在坡度图上通过栅格计算生成 P 因子分布图。

由于本研究是为了探讨土壤侵蚀与土地利用变化的关系,因而除了植被覆盖与管理因子作为变量外,模型中其他因子均作为不变量。最后,将上述所获得的 RUSLE 各因子值(R, K, LS, C, P)分布图利用 ArcGIS 软件的空间分析工具进行连乘,即可得到 2002, 2008, 2013 年库区土壤侵蚀量分布图。根据 2007 年颁布的土壤侵蚀分类分级标准划分土壤侵蚀强度等级 [$< 500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为微度侵蚀, $500 \sim 2500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为轻度侵蚀, $2500 \sim 5000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为中度侵蚀, $5000 \sim 8000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为强烈侵蚀, $8000 \sim 15000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为极强烈侵蚀, $> 15000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 为剧烈侵蚀], 制出 3 个年份土壤侵蚀强度等级分布图。

1.5 数据分析

土地利用变化、土壤侵蚀强度等级变化均利用基本的统计方法以及转移矩阵进行分析。土壤侵蚀对土地利用变化的响应分析是在 ArcGIS 环境下进行土地利用变化分区统计,得到土壤侵蚀变化区域土地利用变化分布情况,并利用 Excel 进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

2.1.1 土地利用结构变化 根据遥感影像解译得到 2002, 2008, 2013 年的土地利用类型图,分为建设用地、林地、水体、耕地、灌草地和裸地 6 大类(附图 2)。对分类精度进行验证发现,由于一些地区历史影像缺乏,人为判断又有一定误差,对精度验证造成了影响,主要集中在耕地与灌草地的错分上,城镇周围的菜地和园地,比较琐碎,易被分到灌草地当中,但精度都在 80% 以上,可进行下一步分析。

丹江口库区 2002, 2008, 2013 年均以林地分布面积最广, 占总面积的 50% 左右, 其次为灌草地、耕地、水体、建设用地以及裸地。林地主要分布在库区的南

部区域(神农架北坡)、汉库和丹库中间的部分及库区北部的部分区域。库区的林地面积由 2002 年的 3465.99 km^2 增加到了 2008 年的 3672.73 km^2 , 2013 年的 3941.43 km^2 , 分别增加了 5.96% 和 7.32%, 主要增加的区域在水域和城镇周围以及库区北部部分高海拔地区。库区的建设用地面积由 2002 年的 110.64 km^2 增加了 2.40 倍, 在 2013 年达到 376.35 km^2 。建设用地的增加主要位于库区内的十堰市到武当山沿线, 区内湖北省郧县和河南省淅川县城镇建设的扩张(图 1)。耕地面积稍有增加, 由 1020.41 km^2 (2002 年) 增加 5.76% 达 1079.22 km^2 (2013 年), 主要位于南阳盆地以及淅川、郧县水域附近, 但分布较为零散, 与灌草地的分类易为混淆。耕地增加的原因在于为了满足日益增长的人口带来的粮食需求。灌草地面积一直减少, 由 2382.00 km^2 (2002 年) 减少 37.61% 到 1486.15 km^2 (2013 年), 主要由于封山育林转变为林地、城镇化建设转变为建设用地以及分类混淆转变为耕地。总体上, 林地、建设用地、水体、耕地均随着时间而不断扩张, 灌草地却逐渐缩减, 未利用地几乎保持不变(图 1)。

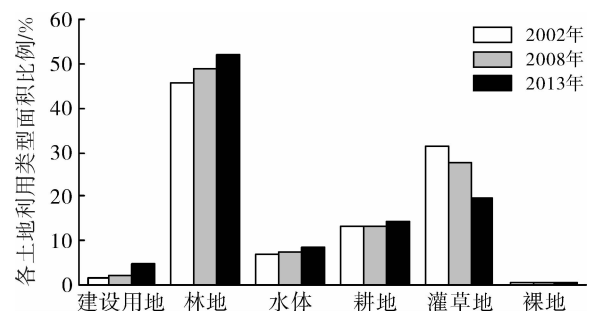


图 1 2002—2013 年丹江口库区土地利用类型面积比例变化

2.1.2 土地利用类型转移

(1) 2002—2008 年。2002—2008 年时段丹江口库区各地类转移面积占总面积的 21.65% (表 1)。除裸地之外, 其余 5 种土地利用类型绝大部分保持不变。该时段, 灌草地转变为耕地、部分地区退耕还林还草, 成为库区主要的土地利用过程。自 2001 年丹江口市被纳入全国退耕还林试点县市以来, 对 25° 以上的坡耕地逐步实施退耕还林, 并且实施荒山造林和封山育林政策, 效果显著。2002 年有 8.66% 的耕地 (88.37 km^2) 和 17.20% 的灌草地 (409.60 km^2) 转换为林地, 但林地的转出极少, 使其面积显著增加, 主要集中在十堰市、淅川县与西峡县周围、水域周围以及郧县北侧海拔较高的地区。耕地有 42.41% 的转出, 转出部分有 71.23% (308.00 km^2) 转为灌草地, 主要原因之一在于土地利用自身的转移, 之二在于耕地与

灌草地在分类时较易混淆,出现错分现象,导致结果存在误差。在此期间又有各类型的转入来维持耕地的总量不减,从而满足人口不断增长带来的粮食需求。虽然上述数据显示大量耕地转为灌草地,但灌草地又转换为林地和耕地(409.60,316.03 km²),导致灌草地大量流失,主要集中在水域周围以及城镇周边。57.95%和 12.87%裸地(19.64,4.36 km²)分别

转换为灌草地和耕地,但其总量极低,可以忽略。建设用地的增加主要由灌草地转入,位于城镇周边扩建区域。

以十堰市为例,据十堰市统计年鉴记载,十堰市城区建成面积由 53 km²(2003 年)增加到 67 km²(2008 年),人口由 50 万(2003 年)增加到 52.36 万(2008 年),都与本研究的结果基本相符。

表 1 2002—2008 年丹江口库区土地利用类型面积转移矩阵

km²

土地利用类型	建设用地	林地	水体	耕地	灌草地	裸地	2008 年
建设用地	96.39	16.45	1.43	15.47	39.44	1.30	170.48
林地	3.11	3164.19	7.17	88.37	409.60	0.29	3 672.73
水体	2.41	11.05	501.46	11.53	41.54	1.19	569.18
耕地	4.09	105.87	3.05	587.64	316.03	4.36	1 021.04
灌草地	4.39	167.76	20.25	308.00	1 556.24	19.64	2 076.27
裸地	0.26	0.67	0.30	9.40	19.16	7.11	36.90
期内减少	14.25	301.80	32.20	432.77	825.76	26.78	—
2002 年	110.64	3465.99	533.66	1 020.41	2 382.00	33.89	7 546.61

(2) 2008—2013 年。2008—2013 年时段丹江口库区各地类转移面积占总面积的 23.36%(表 2)。该时段的主要趋势同上一时间段,仍然是除裸地以外其余 5 种土地利用类型绝大部分均保持原状态。该时段,土地利用变化主要表现为灌草地、耕地和林地三者相互转换,建设用地以及水域扩张。

2008 年有 10.91%的耕地(111.38 km²)和 21.23%的灌草地(231.29 km²)转换为林地,但林地转为其他各类型的比例很小,林地面积显著增加,主要集中在水域和城镇周围。2010 年为保证南水北调工程顺利实施,丹江库区 6 个县市实行移民政策,很多零散的居住地、耕地集约化,使得耕地有 42.25%(431.41 km²)的转出,但仍有 3.47%的林

地(127.55 km²)和 16.62%的灌草地(345.00 km²)的补充,使其面积有小部分净增加,集中在浙川丹江一带和郧县水域附近。此外,灌草地的变化比较大,虽有 22.65%的耕地(231.29 km²)的转入,也弥补不了其 21.23%(440.80 km²)和 16.62%(345.00 km²)分别转换为林地和耕地,致其大量流失,集中在浙川、郧县周围以及水域周边。建设用地因有 4.56%(94.62 km²)和 6.03%(61.53 km²)的灌草地和耕地转入而扩张明显,分布在城镇扩建区域。自 2012 年大坝加高后,水域面积扩张 61.92 km²,导致库区内 6 个县市移民人口不断扩大,浙川县作为水源地、淹没区以及渠首所在地,浙川县的移民人数总量最大,移民 16.2 万人。

表 2 2008—2013 年丹江口库区土地利用类型面积转移矩阵

km²

土地利用类型	建设用地	林地	水体	耕地	灌草地	裸地	2013 年
建设用地	150.96	54.97	8.81	61.53	94.62	5.46	376.35
林地	3.76	3 373.61	11.53	111.38	440.80	0.34	3941.43
水体	2.93	18.26	538.97	19.28	50.41	1.25	631.11
耕地	5.24	127.55	4.55	589.63	345.00	7.25	1079.22
灌草地	6.69	96.37	5.07	231.29	1 127.48	19.26	1486.15
裸地	0.89	1.97	0.25	7.93	17.97	3.34	32.36
期内减少	19.52	299.12	30.21	431.41	948.79	33.56	—
2008 年	170.48	3672.73	569.18	1021.04	2 076.27	36.90	7546.61

2.2 土壤侵蚀变化

2.2.1 土壤侵蚀总体变化 2002,2008,2013 年的土壤侵蚀强度等级分布,主要分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀 6 个类别。土壤侵蚀强度等

级面积变化可以反映土壤侵蚀强度的总体态势。丹江口库区 3 a 来均以微度侵蚀占主导,均占总面积的 77%以上,而强烈、极强烈和剧烈侵蚀占比极其小,三者总占比不超过总面积的 1.30%(图 2)。

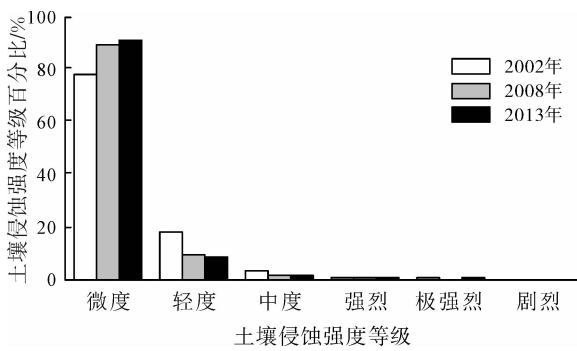


图 2 2002, 2008, 2013 年土壤侵蚀强度等级面积百分比变化

不同土壤侵蚀强度所占比重依次为:微度>轻度>中度>强烈>极强烈>剧烈,说明丹江口库区的水土保持状况较好,总体侵蚀强度不大。另外,2002—2013 年来,微度侵蚀的面积逐步增多,由 2002 年的 5 881.04 km²增加到 2008 年的 6 683.40 km²,2013 年总量可达 6 817.56 km²。轻度(2002 年 1 323.88 km²,2008 年 722.53 km²,2013 年 613.04 km²),中度(2002 年 247.59 km²,2008 年 104.94 km²,2013 年 78.98 km²),强烈(2002 年 65.17 km²,2008 年 23.29 km²,2013 年 19.44 km²)侵蚀的面积逐步减小,极强烈、剧烈侵蚀的面积先降后增,但所占比例极其微弱,可忽略。总的来说,随着人们环境保护意识的提高以及政府对水土保持工作的高度重视,使得丹

江口库区 2002—2013 年来的水土保持工作业绩显著,土壤侵蚀得到了很好的控制,为水库的水质进一步提供了保障。

2.2.2 土壤侵蚀强度等级转移变化

(1) 2002—2008 年。2002—2008 年时段丹江口库区土壤侵蚀强度等级发生变化的面积仅占总面积的 17.74%(表 3)。其中:轻度、中度、剧烈侵蚀均有部分减弱为微度侵蚀,转移面积分别为 883.61, 48.67,5.54 km²,但微度侵蚀转为其他侵蚀强度更高的等级极少(137.73 km²),致使其总量增加。轻度侵蚀主要由 2.08%的微度侵蚀(122.34 km²)和 62.89%的中度侵蚀(155.71 km²)转换而来,而其有一大部分转换为微度侵蚀(883.61 km²),最终使得轻度侵蚀的总量减小。中度侵蚀由其他侵蚀等级转入共 66.65 km²,但其共有 82.55%(204.38 km²)向侵蚀强度等级低的方向转换,且以转为轻度侵蚀最多(155.71 km²),15.47%(38.30 km²)保持侵蚀强度不变,使得中度侵蚀的总量减少。强烈、极强烈侵蚀均主要由比其侵蚀强度大的类型转换而来,但又有绝大部分转换为比其侵蚀强度低的类型,使得总量仍是减少。剧烈侵蚀转出为其他各类型,但其转入极少,因而总量也是降低。这一时段,土壤侵蚀强度等级增加量依次为:微度>轻度>中度>强烈>极强烈>剧烈,总体来说,水土保持良好,土壤侵蚀程度有所降低,但局部地区也存在土壤侵蚀强度增加的情况。

表 3 2002—2008 年丹江口库区土壤侵蚀强度等级转移矩阵

km²

侵蚀强度	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	2008 年
微度	5 743.32	883.61	48.67	5.54	1.50	0.78	6 683.40
轻度	122.34	416.50	155.71	23.80	3.79	0.41	722.53
中度	10.33	18.23	38.30	28.10	9.11	0.88	104.94
强烈	2.78	3.04	3.35	6.48	6.60	1.04	23.29
极强烈	1.54	1.63	1.06	0.95	2.63	1.18	8.99
剧烈	0.73	0.87	0.51	0.31	0.27	0.75	3.44
2002 年	5 881.04	1 323.87	247.59	65.17	23.89	5.03	7 546.61

(2) 2008—2013 年。2008—2013 年时段丹江口库区土壤侵蚀强度等级发生变化的土地占总面积的 9.88%,比上一时间段有所减少(表 4)。其中:微度侵蚀由其他各侵蚀强度类型转入(共 383.81 km²),转出较少(249.65 km²),使得总量增多。轻度侵蚀主要由微度(212.34 km²)、中度(58.99 km²)侵蚀转入,但轻度侵蚀自身总量大,又有 50.56%(365.33 km²)降低为微度侵蚀,使得总量减少。中度侵蚀和强烈侵蚀情况类似,变化主要是由于转出为侵蚀量较小的类型总量大于转入量,使得总量仍是减少。微度

(6.08 km²)和轻度(1.87 km²)是极强烈侵蚀转入的主要类型,其自身仍有 1.23 km²保持原状态不变,此外共有 8.84 km²转换为比其侵蚀强度低的类型。剧烈侵蚀总量极少,约 84.88%(2.92 km²)降低为其他类型,而又有 5.84 km²的侵蚀强度转入,使得剧烈侵蚀的总量增加。这一时段,土壤侵蚀强度等级增加量同上一阶段,仍为:微度>轻度>中度>强烈>极强烈>剧烈,总体来说,虽然库区部分侵蚀强度有所增加,但整体土壤侵蚀状况还是有所好转,当地水土保持措施实施得当。

表 4 2008—2013 年丹江口库区土壤侵蚀强度等级转移矩阵

km²

侵蚀强度	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈	2013 年
微度	6 433.75	365.33	14.54	2.59	1.01	0.34	6 817.56
轻度	212.34	333.86	58.99	5.71	1.69	0.44	613.04
中度	19.82	17.17	28.07	10.68	2.54	0.69	78.98
强烈	7.49	3.07	2.25	3.56	2.37	0.71	19.44
极强烈	6.08	1.87	0.75	0.55	1.23	0.75	11.23
剧烈	3.92	1.23	0.34	0.20	0.16	0.52	6.36
2008 年	6 683.40	722.53	104.94	23.29	8.99	3.44	7 546.61

2.3 土壤侵蚀对土地利用变化的响应

(1) 2002—2008 年。土壤侵蚀强度无变化区域占库区整体的绝大部分(82.26%),这部分区域主要是由土地利用类型不变的区域组成,而在土地利用类型发生了变化但土壤侵蚀强度无变化的区域主要集中在耕地与灌草地相互转换以及灌草地转换为林地。其中:由于灌草地和耕地存在错分的现象,导致结果不精确。这些土地利用变化没有改变土壤侵蚀主要是由于变化区域均集中在水域周围海拔较低的区域以及南阳盆地一块,由于降雨产生的地表径流较少,因而植被覆盖度的变化对侵蚀造成的影响很小。

土壤侵蚀强度降低一级的总量仅次于侵蚀无变化部分,占总面积的 14.25%。降低 2 和 3 级总量占总面积的 1.09%和 0.14%。土壤侵蚀程度降低的前 3 级对应的土地利用变化主要都是灌草地变为林地和耕地,二者所占比重分别达 70.16%(201.82 km²),76.43%(17.66 km²)和 69.57%(2.09 km²)。主要集中在水域与城镇之间以及淅川县东侧地势平坦的区域,稀疏的灌草地转变为林地和耕地,植被覆盖度增加,使得土壤侵蚀程度降低。土壤侵蚀强度降低 4 和 5 级总量极少,分别占总面积的 0.03%和 0.01%。这两者对应的土地利用变化仍主要为灌草地转变为林地和耕地,总量极低,分别为 0.32,0.03 km²,零星分布在整个区域,近乎可忽略。

土壤侵蚀强度增加一级总量占总面积的 1.92%,对应的土地利用变化主要为耕地、林地转换为灌草地以及灌草地、林地转换为建设用地,主要位于城镇周边,可能是由于城镇的扩建使得林地和耕地被占用转为灌草地,甚至变成建设用地。增加 2 级占比 0.20%,对应的土地利用变化主要是灌草地、林地转为建设用地,主要由城镇化建设引起。其次为林地、耕地转换为灌草地,变化区域集中在海拔高的区域,植被覆盖度降低,侵蚀增加。增加 3,4 级以及 5 级的总量极少,分别占总面积的 0.07%,0.03%和 0.01%。这三者对应的土地利用变化主要是林地、灌草地转变为建设用地,可见城市化进程加快,导致部

分地区土壤侵蚀程度加剧。

(2) 2008—2013 年。土壤侵蚀强度无变化区域占库区整体的 90.12%,对应的土地利用变化主要集中在灌草地转为林地以及灌草地与耕地的相互转换上,所占比重约 64.63%(880.32 km²)。由于发生类型转变的这些区域地势平坦,且植被覆盖度相对较高,其微量变化不足以改变土壤侵蚀的等级。

土壤侵蚀强度降低一级的总量同上一阶段,也是除无变化区域外分布最广的,占总面积的 5.81%,对应的土地利用变化主要为灌草地转变为林地和耕地,占比达 75.48%(88.78 km²)。降低 2 级总量占总面积的 0.31%,主要归功于灌草地转为林地、耕地以及裸地变为灌草地。原因其一在于部分稀疏的灌草地转为林地和耕地,使得植被覆盖度增加,侵蚀量减少;其二在于局部地区实行荒山造林政策,使得土壤侵蚀量降低。降低 3 级所占总面积 0.07%,对应的土地利用变化比较分散,主要是灌草地变为林地和裸地、建设用地变为灌草地,植被覆盖度增加,侵蚀减少。降低 4 级和 5 级总量占比极小,分别为 0.02%和 0.00%(0.004 5%)对应的土地利用变化也很分散,集中在低植被覆盖度的土地利用类型转变为较高植被覆盖度的类型,但总量极其少。

土壤侵蚀强度增加一级总量占总面积的 3.08%,对应的土地利用变化较为分散,包括耕地转变为灌草地、较高植被覆盖度类型转变为建设用地、林地转为灌草地上,植被覆盖度降低,侵蚀量增加。土壤侵蚀增加 2,3,4 以及 5 级总量占总面积的比例均很小,分别为 0.32%,0.13%,0.10%和 0.05%。这 4 个类别的土地利用变化均主要集中在林地、灌草地和耕地转为建设用地上,所占比重分别为 81.16%(152.12 km²),91.80%(7.64 km²),97.36%(6.40 km²)和 99.44%(3.51 km²)。由此可见城镇化建设加剧了土壤侵蚀。

3 结论与讨论

(1) 2002,2008,2013 年丹江口库区均以林地覆

盖面积最广,灌草地、耕地、水体、建设用地、裸地覆盖面积依次减少。随着时间的推移,土地利用转移情况在各个类型上均有发生,主要的土地利用过程是林地、耕地和灌草地的相互转换以及建设用地的扩张。由于丹江口大坝加高,水位上涨,库区移民政策实施,城乡建设集中发展,土地集约利用,使得部分地区耕地、灌草地减少,建设用地增多。基于水域周边这种得天独厚的地理条件,以及人类对粮食的需求增大,部分地区耕地增多。人们环保意识的不断提高,实施封山育林、植树造林政策,林地面积大大增多。基于上述原因,2002—2013 年林地、建设用地、水体、耕地均不断扩张,灌草地逐步缩减,未利用地近乎不变。

(2) 丹江口库区这 3 a 均以微度侵蚀占主导,侵蚀强度等级与其面积呈负相关,总体侵蚀强度不大。与朱明勇^[7]对库区土壤侵蚀量整体估算结果类似,研究区的土壤侵蚀位于低度侵蚀状态。但在有些类型上的结果却有出入,其中强度和剧烈侵蚀面积占研究区域(去除水体)的 9.14%,主要集中在库区南部地区,该区域植被覆盖度近 100%,且人为干扰少,但由于地形陡,地形因子 LS 值很高,导致侵蚀量模拟值偏高^[8]。而本研究中,强度以上的侵蚀面积却不足 1.00%,相对较少,且南部地区侵蚀量较低。主要原因在于,朱明勇采用的土地利用赋值法可能低估了植被覆盖度的贡献,而高估了地形因子的影响,与本研究采用像元二分模型法计算被覆盖与管理因子有差异。

随着退耕还林、荒山造林、封山育林等政策的实施,库区呈现较高强度土壤侵蚀不断向较低强度土壤侵蚀转移的现象,使得微度侵蚀面积逐步增多,轻度、中度、强烈、侵蚀面积逐步减小,而极强烈和剧烈侵蚀面积先降后增。总体而言,土壤侵蚀强度虽在部分地区有所增加,但整体还是得到了极好的控制,为水库的水质进一步提供了保障。

(3) 土地利用变化引起植被覆盖度的变化是短时间内引起土壤侵蚀变化的主要驱动因素,坡度起着催化剂的作用。库区 2002—2013 年来,土壤侵蚀未变化部分占比重最大,地势平坦地区,灌草地转变为林地和灌草地与耕地的互转,植被覆盖度微弱的改变,并未引起侵蚀等级的变化。土壤侵蚀强度减弱主要是由于灌草地变为林地和耕地,降低等级视植被覆盖度大小决定。土壤侵蚀强度增加主要是由于地势起伏较大的区域,林地、耕地转为灌草地以及较高植被覆盖类型转为建设用地。由此可见,在丹江口库区,土地利用变化是引起土壤侵蚀变化的必要条件,

因而必须要优化土地利用结构,为丹江口水库的水质提供保障。

[参 考 文 献]

- [1] 胡砚霞,黄进良,王立辉. 丹江口库区 1990—2010 年土地利用时空动态变化研究[J]. 地域研究与开发, 2013, 17(3):456-460.
- [2] 鄢铁平,廖炜,李璐,等. 丹江口库区土地利用结构与格局优化[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1):11-16.
- [3] 李洋洋. 丹江口库区植被覆盖变化研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学, 2014.
- [4] 李承力,杨特武,徐君驰,等. 丹江口库区坡耕地不同轮作模式作物生产力及农田养分流失比较[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4):83-87.
- [5] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE: Revised universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 46(1):30-33.
- [6] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales [J]. Soil Research, 1996, 34(1):139-152.
- [7] 朱明勇. 丹江口库区土壤侵蚀量模拟及土壤侵蚀过程分析[D]. 北京:中国科学院大学, 2007.
- [8] Yu B, Rosewell C J. A robust estimators of the R-reaction for the Universal Soil Loss Equation[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(2):559-61.
- [9] Parysow P, Wang G X, Gertner G, et al. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation[J]. Catena, 2003, 53(1):65-78.
- [10] Sharpley A N, Williams J R. EPIC-erosion/productivity impact calculator (1): Model documentation [J]. Technical Bulletin-United States Department of Agriculture, 1990, 1768:235.
- [11] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning[J]. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, 1978.
- [12] Liu Baoyuan, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6):1835-40.
- [13] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4):153-159.
- [14] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2):19-24.
- [15] Lufafa A, Tenywa M M, Isabirye M, et al. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based Universal Soil Loss model[J]. Agricultural systems, 2003, 76(3):883-894.