

# 云蒙湖流域不同土地利用类型的土壤侵蚀特征分析

泮雪芹<sup>1,2</sup>, 刘占仁<sup>1</sup>, 孟晓云<sup>1,2</sup>, 于兴修<sup>1</sup>

(1. 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 山东 临沂 276000; 2. 临沂大学 资源环境学院, 山东 临沂 276000)

**摘要:**在RS与GIS支持下,获取云蒙湖流域土地利用空间数据,选用RUSLE模型估算土壤侵蚀量,对云蒙湖流域不同土地利用类型的土壤侵蚀特征进行分析。结果表明:1986—2010年间,土壤年总侵蚀量由647万t降至630万t,水土保持生态恢复工程取得了一定的成效;云蒙湖流域耕地土壤侵蚀最为严重,1986年和2010年土壤侵蚀模数高达5 325 t/(km<sup>2</sup>·a)和5 504 t/(km<sup>2</sup>·a),分别占土壤侵蚀总量的85.8%和84.7%;草地是重点治理的另一对象,强度以上等级侵蚀都分别占总侵蚀面积的40%和44%;随着耕地和草地类型的转入,居民用地侵蚀面积由1986年的1 010 hm<sup>2</sup>增至2010年的2 608 hm<sup>2</sup>,土壤侵蚀总量由5.4万t增至14.2万t,是变化较为明显的土地利用类型。

**关键词:**土地利用; 土壤侵蚀; 云蒙湖流域

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0006-04

## Analysis on Features of Soil Erosion with Different Land Uses in the Yunmeng Lake Watershed

PAN Xue-qin<sup>1,2</sup>, LIU Zhan-ren<sup>1</sup>, MENG Xiao-yun<sup>1,2</sup>, YU Xing-xiu<sup>1</sup>

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Environmental Protection, Linyi, Shandong 276000, China; 2. College of Resources Environment, Linyi University, Linyi, Shandong 276000, China)

**Abstract:** The effects of land use structure on soil loss are very important for territory protection. In order to investigate the influence of land uses on soil erosion over the watershed, RS and GIS techniques were utilized and RUSLE model were selected to acquire the spatial data of the land uses and the soil erosion of the Yunmeng Lake watershed. The results showed that during the period of 1986—2010, soil erosion situation had improved with the soil and water conservation and ecological restoration project, but the soil erosion was still serious with the total annual erosion amounting to 6.3 million tons from 6.47 million tons. In all types of land uses, farmland showed the most serious erosion with high soil erosion modulus 5 325 t/(km<sup>2</sup>·a) and 5 504 t/(km<sup>2</sup>·a), respectively, accounting for 85.8% and 84.7% of total soil erosion. Additionally, the grassland was another main object to be protected with the total proportion of strong, extremely strong and severe erosion zones of 40% and 44%, respectively. As farmland and grassland types in turn, the erosion area of residential land increased from 1 010 hm<sup>2</sup> to 2 608 hm<sup>2</sup>, and soil erosion amount increased from 54 000 t to 142 000 t.

**Key words:** land use; soil erosion; Yunmeng Lake watershed

土壤侵蚀作为地质、地貌、气候、土壤、植被等自然因素和人为因素共同作用下的一种动态过程,有着其特殊的背景。在诸多影响因素中,土地利用变化明显且是可控的主要因素之一<sup>[1]</sup>。土地利用变化可以引起一系列自然现象和生态过程的变化,如土壤性质、地表径流、水土流失、生物多样性分布等<sup>[2]</sup>,不同

的土地利用类型对径流产流产沙过程影响有明显不同<sup>[3]</sup>,探讨土地利用变化对土壤侵蚀的影响越来越受到国内外研究的关注。目前,土地利用对土壤侵蚀的影响研究主要从坡面、小流域/流域、区域等不同尺度上进行。在坡面尺度上,往往是在模拟降雨或者自然降雨条件下,通过建立实验小区研究不同土地利用类

收稿日期:2011-12-13

修回日期:2012-02-09

资助项目:山东省科技攻关项目(2009GG10006015, 2011GGH21704);临沂市重大科技创新项目(201011019)

作者简介:泮雪芹(1977—),女,山东烟台人,硕士,讲师,主要从事资源环境遥感应用研究。E-mail:panxueqin165@sina.com

通信作者:刘占仁(1967—),男,山东乳山人,副教授,主要从事资源利用研究。E-mail:liuzhanren@lyu.edu.cn

型和土壤侵蚀的关系,侧重于土壤侵蚀机理方面的研究;在小流域/流域尺度以及更大尺度上的研究主要是在分析土地利用变化的基础上定性分析不同土地利用类型对水土流失的影响程度,也有学者通过土壤侵蚀强度指数<sup>[4]</sup>来分析研究区的土地利用变化所引起的土壤侵蚀效应。通过土壤流失预报方程(Reversed Universal Soil Loss Equation,简称 RU-SLE)<sup>[5]</sup>,定量计算不同土地利用类型的土壤侵蚀模数和土壤侵蚀总量等土壤侵蚀特征,结合云蒙湖流域 1986—2010 年间不同土地利用类型的变化情况能较好地反映小流域/流域尺度上不同土地利用类型对土壤侵蚀的影响,以期为云蒙湖流域土地利用结构优化以及防治水土流失控制提供参考。

1 研究区和数据

云蒙湖地处山东省中南部沂蒙山腹地,属淮河流域沂沭泗河水系;其地形复杂,土壤侵蚀较为严重。流域内控制面积 1 693 km<sup>2</sup>,人口约为 56.3 万人,海拔范围 120~1 108.3 m,以丘陵山地为主。土壤类型以棕壤与褐土为主;气候为暖温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,降雨集中于 6—8 月,占全年总降雨量的 65%,多年平均年降雨量 822.2 mm。

主要数据来源有:山东省水土保持与环境保育重点实验室提供的 1986 年和 2010 年两期 TM 影像资料以及由此解译的两期土地利用类型图、植被覆盖图,沂蒙山区土壤环境数据库,基于 1:10 万地形图获得的 DEM。其中,根据《全国土地分类(试行)》的分类体系,结合研究内容和云蒙湖流域实际状况,将土地利用类型划分为:旱地、林地、草地、水体和居民地。

2 研究方法

2.1 土壤侵蚀量估算

本文选用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)<sup>[5]</sup>估算云蒙湖流域 1986 年和 2010 年两期年均土壤流失量,其模型为: $A=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$   
式中: $A$ ——土壤侵蚀量[t/(hm<sup>2</sup>·a)]; $R$ ——降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm<sup>2</sup>·h·a)]; $K$ ——土壤可侵蚀性因子[(t·hm<sup>2</sup>·h/(MJ·mm·hm<sup>2</sup>))]; $LS$ ——坡长、坡度因子(无量纲); $C$ ——覆盖与管理因子(无量纲); $P$ ——水土保持措施因子(无量纲)。各因子计算方法如下:

(1)  $R$  值的估算。为对土壤侵蚀可控的主要因素之一土地利用变化的影响进行探讨,降雨量采取多年平均值, $R$  值引用马良对临沂降雨侵蚀力的简易方

程来计算<sup>[6]</sup>,公式为:

$$R=0.279P_a^{1.466}$$

式中: $R$ ——年降雨侵蚀力(MJ·mm·hm<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>); $P_a$ ——多年平均降雨量(mm)。

(2) 土壤  $K$  值估算。采用 Williams 等<sup>[7]</sup>在 EPIC(Erosion—Productivity Impact Calculator)模型中公式计算,利用沂蒙山区土壤环境数据库提供的土壤颗粒组成、粒级含量和有机碳含量推算不同土壤类型的可蚀性因子  $K$  值。参考中国土壤可蚀性值研究成果采用公式修正<sup>[8]</sup>,结果见表 1。

表 1 土壤  $K$  取值 (t·h)/(MJ·mm)

土壤类型	$K$ 值	土壤类型	$K$ 值
石灰性始成土	0.0186	潜育淋溶土	0.0196
石灰性风积土	0.0175	钙淋溶土	0.0239
石灰性冲积土	0.0245	饱和始成土	0.0193
典型淋溶土	0.0780	饱和粗骨土	0.0285

(3)  $LS$  因子估算。在 GIS 软件支持下基于 30 m×30 m DEM 模型提取坡度数据,并采用 Yang 等<sup>[9]</sup>提出的方法对所提取的坡度数据进行修正,然后提取坡度坡长栅格图,计算公式<sup>[10]</sup>如下:

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

$$S=(0.43+0.30s+0.043s^2)/6.613$$

式中: $L$ ——坡长因子; $\lambda$ ——坡长(m); $S$ ——坡度因子; $s$ ——坡度百分比; $m$ ——坡长指数,依据坡度分级<1%,1%~3%,3%~4.5%,≥4.5%,相应的  $m$  值分别为 0.2,0.3,0.4,0.5。

(4)  $C, P$  因子赋值。 $C, P$  是侵蚀动力的抑制因子。考虑到云蒙湖流域耕地多为坡耕地,参考蔡崇法的  $C$  因子值与植被覆盖度之间的数学关系<sup>[11]</sup>及坡耕地植被覆盖与因子  $C$  值的研究成果<sup>[12]</sup>,结合云蒙湖流域土地利用现状及植被覆盖度的调查结果,对  $C$  因子赋值, $P$  因子参考王晓峰<sup>[13]</sup>的研究结果获取, $C$  和  $P$  值见表 2。

表 2 云蒙湖流域  $C$  和  $P$  因子取值

土地利用类型	耕地	林地	荒草地	居民用地	水体
$C$	0.40	0.04	0.1	0.2	0
$P$	0.69	1.00	1.0	0.4	0

2.2 不同土地利用类型的土壤侵蚀特征

利用转移矩阵分析 1986 年和 2010 年土地利用结构变化。在获得该区栅格土壤侵蚀图的基础上,根据中国水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—96),得到 1986 年和 2010 年的土壤侵蚀强度分级图。将 1986 年和 2010 年土地利用图与相应年份的土壤侵蚀强度分级图叠加,统计分析不同土地利用类型的土壤侵蚀特征。

3 结果与分析

3.1 土地利用结构变化特征

(1) 从总体上看,1986 年和 2010 年土地利用类型以耕地为主,且呈减少趋势,由 1986 年的 63%减少到 2010 年的 59%,林地面积有所增加(1 258.54 hm<sup>2</sup>),草地面积减少了 3 327.78 hm<sup>2</sup>,居民用地呈大幅度增加,增长率为 164%,水体面积增加了 2 004.16 hm<sup>2</sup>;  
(2) 土地利用类型变化率均较高,居民用地和草地为

81.81%和 80.47%,林地和草地变化率为 66.95%和 52.67%,变化率最小的耕地变为 37.11%;(3) 耕地面积减少,主要向草地(15 665.42 hm<sup>2</sup>)、林地(10 972.29 hm<sup>2</sup>)和居民用地(7 806.93 hm<sup>2</sup>)转出;草地面积减少,主要向耕地(17 401.73 hm<sup>2</sup>)和林地(2 650.71 hm<sup>2</sup>)转出;林地面积增加,主要由耕地(10 972.29 hm<sup>2</sup>)和草地(2 650.71 hm<sup>2</sup>)转入;居民用地增加,主要由耕地(7 806.93 hm<sup>2</sup>)和草地(2 027.97 hm<sup>2</sup>)转入;水体面积增加,主要由耕地(7 806.93 hm<sup>2</sup>)转入(表 3)。

表 3 云蒙湖流域 1986—2010 年土地利用转移矩阵

土地利用 类型	面积/hm <sup>2</sup>					1986 年合计	变化量	变化率/%
	耕地	林地	草地	水体	居民用地			
耕地	65563.70	10972.29	15665.42	4236.51	7806.93	104244.84	-7338.63	37.11
林地	9143.73	6577.76	3035.19	322.87	823.53	19903.08	1258.54	66.95
草地	17401.73	2650.71	5552.04	796.95	2027.97	28429.39	-3327.78	80.47
水体	2379.28	384.02	369.46	3211.25	440.67	6784.68	2004.16	52.67
居民用地	2417.77	576.84	479.51	221.26	821.45	4516.84	7403.72	81.81
2010 年合计	96906.21	21161.62	25101.62	8788.84	11920.56	163878.84	—	—

注:变化量为 2010 年某一类型土地利用面积与 1986 年该类型土地利用面积的差值,变化率为各土地利用类型变化总量与 1986 年相应土地利用类型面积的百分比。

3.2 不同土地利用类型的土壤侵蚀特征

3.2.1 基本特征 由表 4 可以看出,1986 年的总侵蚀量为 647 万 t,2010 年总侵蚀量为 630 万 t。由此可见,近 25 a 来的水土保持生态恢复工程取得了一定成效,但该研究区复杂的地形和较薄的土层使得水土流失依然严重。1986年和 2010 年耕地土壤侵蚀面

积最大、年侵蚀总量最高、土壤侵蚀模数最大;其次是草地;林地土壤侵蚀模数最低,1986 年和 2010 年分别为 1 196,1 088 t/(km<sup>2</sup>·a),但也有相当量的侵蚀,年侵蚀总量分别为 23.8 万 t 和 23 万 t;居民用地年侵蚀总量变化明显,由 1986 年的 5.4 万 t 增至 2012 年的 14.2 万 t。

表 4 1986 年和 2010 年不同土地利用类型的土壤侵蚀特征

类型	耕地/%		林地/%		草地/%		居民用地/%	
	1986 年	2010 年	1986 年	2010 年	1986 年	2010 年	1986 年	2010 年
微度	55.69	54.42	64.99	68.79	63.97	62.85	78.82	78.11
轻度	19.20	19.66	17.28	14.93	15.21	13.96	9.58	9.44
中度	4.57	4.81	9.55	8.71	6.18	6.68	3.81	4.01
强度	2.86	3.01	6.46	6.02	4.34	5.26	2.24	3.10
极强度	5.04	5.15	1.72	1.55	5.92	6.68	3.17	4.08
剧烈	12.64	12.95	0	0	4.39	4.57	2.39	1.26
侵蚀面积/hm <sup>2</sup>	46199	44172	6968	6610	10244	9329	1010	2608
侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	5325	5504	1196	1088	2191	2353	1206	1190
总侵蚀量/万 t	555.1	533.2	23.8	23	62.3	59.1	5.4	14.2

3.2.2 耕地土壤侵蚀特征 1986 年和 2010 年耕地类型的年侵蚀总量分别占 85.8%和 84.7%;从不同土壤侵蚀强度的百分比来看,强度以上侵蚀占总侵蚀面积的 46%左右,其侵蚀的发生不仅与本地区的复杂地形和土质有关,显然也与人类不合理的耕作活动密切相关。随着耕地类型向草地、林地的转出,总侵蚀面积由 46 199 hm<sup>2</sup> 降到 44 172 hm<sup>2</sup>,总侵蚀量比 1986 年降低 21.9 万 t;随着人类对耕地的开垦程度

日益加剧,2010 年侵蚀模数的 5 504 t/(km<sup>2</sup>·a)高于 1986 年的 5 325 t/(km<sup>2</sup>·a)。云蒙湖流域耕地多为坡耕地和梯田,土壤侵蚀较严重,是治理的主要对象。  
3.2.3 草地土壤侵蚀特征 1986 年和 2010 年草地的年侵蚀总量分别占 9.6%和 9.4%;强度以上等级侵蚀分别占总侵蚀面积的 40%和 44%左右,也是土壤侵蚀较严重的地类。随着草地类型向林地和居民用地的转出,总侵蚀面积由 10 244 hm<sup>2</sup> 降到 9 329

$\text{hm}^2$ ,总侵蚀量由 62.3 万 t 降到 59.1 万 t;随着人类陡坡开垦后又有大量撂荒成为裸地或沙地活动,2010 年侵蚀模数  $2\,353\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  略高于 1986 年的  $2\,191\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

3.2.4 林地土壤侵蚀特征 1986 年和 2010 年林地的年侵蚀总量分别占 3.68% 和 3.65%;强度以上等级侵蚀均占总侵蚀面积的 23% 左右,是云梦湖流域侵蚀较轻的土地利用类型。随着耕地和草地类型的转入,林地开始发挥水土保持作用,2010 年侵蚀模数  $1\,088\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  低于 1986 年的  $1\,196\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,侵蚀面积由  $6\,968\text{ hm}^2$  降至  $6\,610\text{ hm}^2$ 。云蒙湖流域除了天然松树林覆盖率较高,结构立体性好,水土保持能力高,其他林地由于地形复杂、层次结构单一、生长覆盖率低等原因导致水土保持能力稍低。

3.2.5 居民用地土壤侵蚀特征 1986 年和 2010 年居民用地年侵蚀总量占土壤侵蚀面积的百分比分别为 21.18% 和 21.89%,是云梦湖流域侵蚀较轻的土地利用类型。随着耕地和草地类型的转入,居民用地侵蚀面积由 1986 年的  $1\,010\text{ hm}^2$  增至 2010 年的  $2\,608\text{ hm}^2$ ,土壤侵蚀总量由 5.4 万 t 增至 14.2 万 t,是变化较为明显的土地利用类型。

## 4 结论

(1) 云蒙湖流域在 1986—2010 年的土地利用变化明显,土地利用以耕地为主且呈减少的趋势,由 63% 减少到 59%,土地利用类型变化主要由耕地向草地( $15\,665.42\text{ hm}^2$ )、林地( $10\,972.29\text{ hm}^2$ )以及居民用地( $7\,806.93\text{ hm}^2$ )转出,由草地向耕地( $17\,401.73\text{ hm}^2$ )、林地( $2\,650.71\text{ hm}^2$ )和居民用地( $2\,027.97\text{ hm}^2$ )转出为主,居民用地变化率最大为 81.81%。

(2) 水土保持生态恢复工程取得了一定成效,土壤总侵蚀量由 647 万 t 减少到 630 万 t,水土流失依然严重;云蒙湖流域耕地土地利用类型土壤侵蚀最为严重,1986 年和 2010 年的年侵蚀总量分别占 85.8% 和 84.7%,土壤侵蚀模数分别高达  $5\,325\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  和  $5\,504\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ;草地是云蒙湖流域治理的另一主要对象,强度以上等级侵蚀都分别占总侵蚀面积的 40% 和 44%;随着耕地和草地类型的转入,居民用地

面积的大量增加导致土壤侵蚀量增加显著,由 5.4 万 t 增至 14.2 万 t。

## 参考文献:

- [1] 李广,黄高宝.雨强和土地利用方式对黄土丘陵区水土流失的影响[J].农业工程学报,2009,25(11):85-90.
- [2] Chen L D, Wang J, Fu B J, et al. Land-use change in a small catchment of northern Loess Plateau, China[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2001, 86(2): 163-172.
- [3] 黄麟,邵全琴,刘纪远.近 30 年来青海省三江源区草地的土壤侵蚀时空分析[J].地球信息科学学报,2011,13(1):12-20.
- [4] 王思远,王光谦,陈志祥.黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系[J].自然灾害学报,2005,14(1):32-34.
- [5] Sivertun A, Prange L. Non-point source critical area analysis in Gisselö watershed using GIS[J]. Environmental Modelling & Software, 2003, 18(10): 887-898.
- [6] 马良,左长清,孙勤,等.山东省降雨侵蚀力空间分布特征及简易方程的研究[J].水土保持研究,2010,17(17): 28-31.
- [7] Wischmeier W H, Johnson C B, Cross B V. A soil erodibility nomograph for farm land and construction sites [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971, 26: 189-193.
- [8] 张科利,彭文英,杨红丽.中国土壤可蚀性值及其估算[J].土壤学报,2007,44(1):7-12.
- [9] Yang Q K, David J, Li R, et al. Re-scaling lower resolution slopes by histogram matching[C]//Zhou Q M, Lees B, Tang G A. Advances in Digital Terrain Analysis. Berlin; Springer Berlin Heidelberg, 2008:193-210.
- [10] 杨娟,葛剑平,李庆斌.基于 GIS 和 USLE 的卧龙地区小流域土壤侵蚀预报[J].清华大学学报,2006,46(9): 1526-1529.
- [11] 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.
- [12] 唐寅,代数,蒋光毅,等.重庆市坡耕地植被覆盖与管理因子 C 值计算与分析[J].水土保持学报,2010,24(6): 53-59.
- [13] 王晓峰,常俊杰,余正军,等.基于 RUSLE 的土壤侵蚀量研究:以南水北调中线陕西水源区为例[J].西北大学学报,2010,40(3):545-549.