

# 喀斯特高原山地水土流失影响因素及生态效益评价 ——以贵州毕节石桥小流域为例\*

张芳挺, 熊康宁, 陈 许, 杨正怀, 樊云龙

(贵州师范大学 中国南方喀斯特研究院, 贵阳 550001)

**摘 要:**为进一步认识喀斯特地区的水土流失影响因素及其生态效益,以喀斯特高原山地石漠化典型区贵州毕节石桥小流域为研究对象,通过对小流域的土壤物理特性和植被因子进行分析,结果表明:土壤机械组成直接影响径流区土壤的渗透能力,不同的土地利用类型水稳性能相差较显著;土壤容重、持水率对水土流失的影响表现在土壤容重均较低,土壤结构较为疏松,依次是灌草丛地 < (陡坡地)退耕还林地 < 缓坡耕地;植被覆盖的多少与水土流失的变化表现出很强的相关性,土壤侵蚀量与植被覆盖度在  $\alpha=0.05$  水平显著相关,相关系数  $r=0.779, 0.853$ ,植被覆盖度愈大,侵蚀愈弱。喀斯特高原山地水土流失因素与土壤物理性质有着最直接、最敏感的相关性,以植被恢复及控制人为干扰来减少水土流失效果最佳,生态效益能实现最大化。该研究成果必将对同类喀斯特地区的水土流失治理起到积极作用,为喀斯特山区水土保持工作提供科学依据。

**关键词:**喀斯特;高原山地;水土流失;生态效益;贵州

中图分类号:S157;P642.25

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0088-05

## Soil Erosion Factors and Eco-benefit Evaluation in the Karst Plateau Mountain Region

—with a Special Reference to Shiqiao Catchment of Bijie in Guizhou

ZHANG Fang-ting, XIONG Kang-ning, CHEN Hu, YANG Zheng-huai, FAN Yur-long

(Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** To further understand influencing factors of soil erosion and its ecological benefits in Karst region, we took Shiqiao catchment of Bijie city in Guizhou as a study area, which was a representative rocky desertification area in Karst plateau. Meanwhile, the soil physical properties and vegetation cover factors were researched in the area. And the results showed as following: Firstly, soil mechanical composition had a direct impact on soil infiltration capacity in the run-off area, and water stability displayed distinct differences in various land-use types. Secondly, soil erosion caused that soil bulk density value was low and soil structure was relatively loose. And the increasing sequence of which was: shrub and grasslands land, (slopes land), returning farmland, forest land, gentle slope land. Thirdly, it showed a strong correlation between the number of vegetation cover and the changes in soil erosion. And when an equivalent reached 0.05, correlation coefficient  $r$  equivalent was 0.779 and 0.853 respectively. That was to say, the higher the vegetation cover showed, the weaker soil erosion was. In conclusion, the factors on soil erosion in Karst plateau had a direct and sensitive correlative association with the soil physical characteristics. And the best way to reduce soil erosion was vegetation restoration under human disturbance controlled, which can make the eco-efficiency maximized. In a word, the research was bound to play a positive role in the governance of soil erosion in the other similar Karst regions, besides, it can provide a scientific basis for the work of soil and water conservation in Karst mountainous areas.

**Key words:** Karst; Plateau-Mountain region; soil erosion; eco-benefit; Guizhou

\* 收稿日期:2009-04-25

基金项目:水利部科技创新项目(SCX2004-07);国家“十一五”科技支撑计划(2006BAC01A09-07)

作者简介:张芳挺(1978-),男,贵州黎平人,硕士研究生,主要研究方向:喀斯特环境治理。E-mail:zhangfangting2006@126.com

通信作者:熊康宁(1958-),男,教授,主要研究方向:喀斯特环境治理、喀斯特地貌与洞穴、喀斯特旅游。E-mail:xiongkn@163.com

中国喀斯特地区水土流失的研究开始于 20 世纪 90 年代,尤其以贵州喀斯特地区开展的水土流失研究较多,对喀斯特水土流失影响因素的研究主要有地质、地貌、植被、土壤、气候等<sup>[1]</sup>。西南喀斯特各地已采取了多种多样的水土流失措施,既有封山育林、植树造林等生物措施,也有坡改梯等工程措施,在局部地区取得了一定成效,但相当大部分治理措施并未达到预期效果<sup>[2]</sup>。当前喀斯特生态治理区的水土流失研究,主要以性质描述的多,定量研究的少,选择的研究因子很少;在石漠化严重的小流域尺度上水土流失的研究也不深入;而且对喀斯特高原山地水土流失与土壤理化性质、土地利用类型联系的研究就更少。本研究以小流域喀斯特高原山地典型区——贵州毕节石桥示范区为例,对 2006 - 2008 年小流域的水土流失动态变化规律进行定位监测与研究,通过土壤物理特性、降雨、植被因子等几方面对水土流失影响因素作深入分析,进一步认识喀斯特土壤物理性质的差异以及影响水土流失的内在机制,并对其生态环境治理期间的生态效益进行评价。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

石桥小流域示范区位于贵州毕节市东南部的鸭池镇境内,距市区 13 km,总面积为 35.93 km<sup>2</sup>。属山坡谷地地貌类型区,地势起伏大,最高海拔 1 742.3 m,最低海拔 1 400 m,相对高差 342.3 m。石桥小流域核心区,面积 8.19 km<sup>2</sup>,位于 27°18'30" - 27°16'30" N,105°19'30" - 105°22'20" E。属亚热带湿润季风气候区,流域内年均气温 14.03℃,极端最高温度 33.8℃,极端最低温度 - 3.4℃。10 月的积温 4 166℃,平均日照时数 1 377.7 h,无霜期 258 d。该流域年均降雨量 863 mm,年最大降水量 995.5 mm,年最小降水量 618.2 mm。降雨量主要分布在 7 - 9 月,占全年总降雨的 52.4%。

流域内受新华夏系及华夏构造对整个流域的地质控制作用较大,出露地层主要为二、三叠系茅口组。岩石以碳酸盐类的石灰岩及侏罗纪紫色砂页岩为主。受成土母质影响,一般分布黄壤土及紫砂土,在岩溶洼地和山间平地有水源的地方分布少量水稻土,坡耕地一般分布黄色石灰土属的岩泥土、大土泥土,林地、灌草丛为黑灰色石灰土。流域内喀斯特发育广泛,洼地内多落水洞、裂隙、溶隙、溶洞,地下岩溶水是以碳酸盐岩夹碎屑岩裂隙溶洞水为主要地下水通道;地表水下渗强烈,地表旱灾较严重。

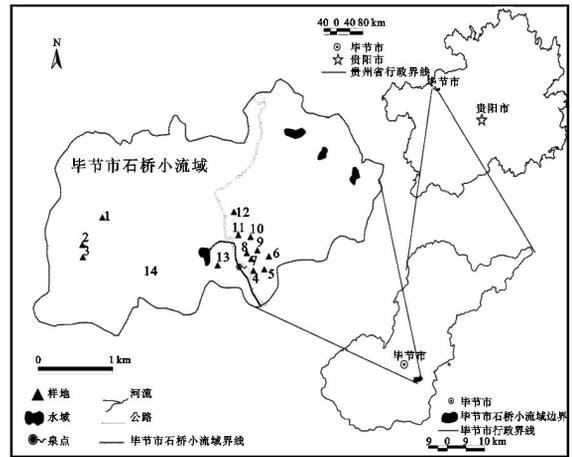


图 1 毕节石桥小流域核心区及多样地位置示意图

### 1.2 研究设计与方法

1.2.1 研究设计 在毕节石桥小流域不同的坡地上,按不同的坡度、微地貌、水土流失严重程度等的样地,选择 13 个 10 m × 10 m 和 20 m × 10 m 大小具有代表性的样地为研究对象,其中 4 - 12 号属于水土流失径流场。主要对影响水土流失的影响因子(土壤、降雨、植被)进行调查、监测和对土壤的理化特性分析,研究各因素与水土流失的关系。选取数据的时间是从 2006 年 4 月至 2008 年 4 月,每年 4 月、8 月和 12 月对示范区样地定时定点进行监测。采用野外采集和实验法相结合。

1.2.2 方法介绍 野外采集法包括水土流失量监测、测量方法和生境要素的监测与调查。

水土流失监测、测量方法主要有:野外采集法主要采用径流小区法、混合土壤样品采集法、环刀法、侵蚀线法等 3 种方法。径流小区法是坡面水蚀测验的基本方法,也称为径流场观测,根据喀斯特山区的环境特征,规划布设小区时,首先要选择能代表区域环境的地段;混合土壤样品采集法是在样地选择有代表性的采样点 3 ~ 5 个,分别采 0 - 20 cm 深度的土样混合,每块样地采集约 1 kg 左右的土壤,取回实验室后均匀摊开风干以备用。环刀法是将土表面杂物及生长的植物清除干净,用环刀垂直压入土内,使环刀内的土壤体积等于环刀容积,然后取出环刀,在每个样地选择 3 个点取土。侵蚀线法是在岩石上画侵蚀线的方法对土壤侵蚀量进行测量,定期观测侵蚀线距土面高度,计算土壤侵蚀厚度和总的土壤侵蚀量,每个样地内布 6 ~ 9 个侵蚀线。

生境要素的监测与调查主要包括土壤温度、湿度监测、植被调查与监测、气温、干湿度监测。土壤温度、湿度监测:使用地温计测定,每次分早中晚(8:00、14:00、18:00)3 次来进行观测,观测土层分别为 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 处土壤温度;植被调

查与监测是利用测绳进行植被样方调查,利用卷尺、游标卡尺等工具对植被类型、物种丰富度、覆盖度等调查;气温、干湿度监测:对每天的温度和干湿度进行定时(时间分别是早 8:00,中午 12:00,晚 18:00)

记录;降雨量监测方法是采用标准人工雨量计进行人工雨量测定,每次白天降雨停止后 10 min 内进行测量,对晚上有降雨的情况必须第二天早上 7:00 点前进行测量。

表 1 毕节石桥小流域各样地基本情况

样地号	坡度/ (°)	植被覆 盖度/ %	裸岩率/ %	海拔/ m	地貌	植被 类型	土层厚度/ cm	土壤侵 蚀程度
BS1	21	95	5	1527	陡坡边坡	灌草丛	15	轻
BS2	29	0	30	1545	侵蚀陡坡	农作物	35	强
BS3	13	95	7	1553	陡坡山顶	灌草丛	12	轻
BS4(径 1)	0	0	0	1420	山地槽谷	农作物	70	微
BS5(径 2)	24	45	0	1464	山地侵蚀陡坡耕地	幼经果林、农作物	50	极强
BS6(径 3)	40/ 30	5	0	1465	山地侵蚀陡坡耕地	荒地	40	剧烈
BS7(径 4)	5// 25	0	0	1430	山缓坡边坡	农作物	60	-
BS8(径 5)	15	10	0	1425	中山地缓坡边坡	农作物	60	轻
BS9(径 6)	27	30	0	1475	山腰陡坡	幼水保林、荒草	23	中度
BS10(径 7)	15	20	0	1460	中山地缓坡	荒地	50	-
BS11(径 8)	23/ 15	30	0	1425	山地缓坡	农作物	60	强
BS12(径 9)	23/ 15	30	5	1428	山地缓坡边坡	荒草/ 农作物	30	轻
BS13	20	10	35	1445	山地缓坡	农作物	18	中度

注:BS 表示毕节示范区,径 1,2,3,... 分别表示径流池。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤物理性质对土壤侵蚀的影响

#### 2.1.1 土壤机械组成、团粒结构对水土流失的影响

<0.5 mm 的团粒结构的比例越大,土壤的可蚀性越大<sup>[3]</sup>。对研究区样地土壤进行机械组成分析

(表 2)可知,土壤 > 0.05 mm 的砂粒含量变化的趋势是灌草丛地 > 水保幼林荒草地 > 耕地,土壤侵蚀程度是耕地 > 水保幼林荒草地 > 灌草丛地。表明灌草丛地土壤侵蚀程度最弱,疏松的砂粒被侵蚀带走的较少;耕地的土壤侵蚀程度较强,被侵蚀带走的砂粒量多,土壤黏质化比较严重。

表 2 石桥小流域不同土地利用类型的土壤机械组成

土地利用 类型/样地数	不同粒径/ mm							土壤 侵蚀度
	>0.25	0.01~0.05	0.005~0.01	0.001~0.005	<0.001	<0.01	>0.05	
灌草丛地/3	7.03	28.33	6.67	13.67	21.53	41.87	35.36	弱
水保幼林草地/3	4.23	18.00	12.00	15.60	22.60	50.20	22.23	轻
耕地/5	4.95	16.25	12.75	16.13	23.58	52.46	21.2	强

表 3 石桥小流域不同径流小区土壤颗粒组成

径流小区	不同粒径/ mm						
	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	<0.001	<0.01
径 1	7.62	12.7	28.1	14.0	14.6	31.2	59.2
径 2	7.88	28.3	10.3	6.3	8.1	31.2	45.2
径 3	5.91	22.4	14.5	14.1	18.0	31.2	63.2
径 4	5.12	10.8	32.2	10.2	10.8	37.2	57.2
径 5	3.21	12.6	18.4	12.4	17.6	39.6	69.2
径 6	8.78	36.5	8.2	12.7	9.3	22.2	43.2
径 7	3.11	36.9	16.1	12.0	15.0	20.2	47.2
径 8	7.78	11.8	45.5	6.1	12.4	25.2	43.2

不同颗粒组成的土壤微结构提供了土壤抗冲蚀性的重要指标,由调查表的数据可知,各类土壤的粒径差异最大的为 < 0.01 mm 颗粒,相差达 26%。总体看来,黏粒 (< 0.001 mm) 含量较大,都在 20% 以上。不同粒径的土壤颗粒由于质量与含量随土壤类型差异性很大,将直接影响径流携带泥沙的颗粒组成,这将直接使得该区土壤的渗透能力下降,见表 3。

通过对干、湿筛分析土壤的团粒结构组成,对实验结果表 4 分析可知,各土地利用类型干稳性团粒

在 1~0.25 mm 粒径含量比重较大,说明耕地土壤团聚度性能较差;土壤 > 0.25 mm 水稳性团粒总量比 > 0.25 mm 的干稳性团粒量减少了约 10% 左右;其中,灌草丛地的土壤水稳性团粒结构变化不显著,耕地水稳性团粒结构变化显著,结构破坏率为 38.58%,表明各土地利用类型的水稳性能相差较显著,坡耕地的水稳性团粒结构破坏率最大,其土壤侵蚀程度也是最强,说明水稳性团粒含量及土壤结构破坏率反映了土壤抗蚀能力的强弱。

表 4 石桥小流域表层水稳性团粒结构状况

样地号	不同粒径/mm							%	
	>5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	<0.1	>0.25 mm 水稳性团聚体	>0.25 mm 干稳性团聚体
1	46.41/39.2	16.65/14	12.98/12.6	5.85/9.2	8.32/7.6	2.11	0.99	90.21	82.6
2	25.77/23.0	23.05/18.0	9.86/13.0	17.96/15.6	12.86/12.0	2.76	2.68	89.49	81.6
3	70.20/63.0	10.81/6.4	4.15/5.20	2.51/3.6	5.13/4.6	1.86	1.09	92.79	82.8
4	29.75/16.6	25.37/23.2	12.51/12.8	10.65/8.4	9.71/13.0	3.92	2.07	87.99	74.0
5	51.21/27.04	16.78/23.2	9.27/3.6	8.06/4.0	9.27/6.0	2.21	1.21	94.59	81.6
6	26.75/2.46	24.76/41	12.49/5.2	15.1/17.88	14.50/24.0	2.85	1.38	93.60	57.9
7	43.53/3.0	20.43/8.4	10.55/8.0	11.06/9.4	7.13/23.0	1.52	0.86	92.70	56.4
8	36.43/3.0	22.24/13.0	18.91/8.0	6.49/9.4	7.77/23.0	2.74	1.82	91.83	56.4
9	30.19/7.0	20.53/35.2	18.98/10.4	15.09/12.4	10.50/13.2	2.03	0.88	95.29	78.2
10	34.18/2.60	25.00/9.0	16.95/7.0	8.20/19.0	4.50/24.0	2.68	1.92	88.82	61.6
11	36.80/2.84	18.16/27.0	11.79/23.0	11.20/7.0	12.45/18.0	3.18	1.32	90.40	77.8
12	48.62/33.42	16.18/16.8	10.93/15.0	9.26/10.6	8.60/6.4	1.92	0.33	93.58	82.2
13	46.05/2.72	17.96/11.6	9.49/24.6	9.81/13.0	9.24/28.0	1.34	0.76	92.55	79.9

2.1.2 土壤容重、持水率等性质对水土流失的影响  
通过对比土壤初始含水量与土壤持水量可知(表 5):样地灌草丛地土壤自然含水量较大、田间持水量也大,田间持水量与土壤自然含水量的差值为 18.67%;陡坡退耕地与耕地的土壤田间持水量较小,田间持水量与土壤自然含水量的差值也较小。因此,说明土壤田间持水量高,其土壤保土保水能力

强,土壤抗旱、抗侵蚀能力强。研究发现灌草丛地土壤总孔隙度最大(66.32%),非毛管孔隙度也最大(25.08%),灌草丛地的土壤侵蚀程度最弱;耕地土壤总孔隙度最小(44.31%),非毛管孔隙度也最小(14.64%),土壤侵蚀程度最严重。还可知,研究区土壤容重值均较低,土壤结构较为疏松,依次是灌草丛地 < 陡坡地退耕还林地 < 缓坡耕地。

表 5 石桥小流域土壤结构、持水能力与土壤饱和渗透率

土地利用类型/样地数	土壤毛管持水量/%	土壤田间持水量/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	土壤容重/%	上层饱和渗透率/(mm·min <sup>-1</sup> )	下层饱和渗透率/(mm·min <sup>-1</sup> )	土壤自然含水量/%	土壤侵蚀程度
陡坡退耕还林地/4	42.60	25.60	36.01	18.78	0.92	12.15	5.65	19.00	中
灌草丛/3	46.31	40.02	41.24	25.08	0.90	15.30	10.79	21.32	弱
坡耕地/6	40.40	29.00	29.67	14.64	0.94	10.20	5.30	15.70	强

2.1.3 植被对土壤侵蚀的影响 植被是很重要的抗蚀因素,提高植被覆盖率是水土保持、生态重建的关键<sup>[4]</sup>。通过对植被覆盖度进行研究分析可知(土壤侵蚀量见表 6),植被覆盖度越高,单位面积土壤侵蚀量越小。对它们作相关性分析,得到土壤侵蚀量与植被覆盖度在  $\alpha = 0.05$  水平显著相关,相关

系数  $r = 0.779, 0.853$ 。植被是水土流失动态变化最重要的指示因子,是控制或加速土壤侵蚀最敏感的因素。植被覆盖度愈大,侵蚀愈弱。植被覆盖的变化与水土流失的相应变化表现出很强的相关性。

运用统计软件分析它们之间的相关性,分析认为:土壤自然含水量的大小随植被类型而差异显著,

分别为灌草丛(26.38%) > 经果林草(21.63%) > 草(19.52%) > 农耕地(18.95%)。

表 6 石桥小流域不同植被覆盖度与土壤侵蚀量

土地利用类型	植被覆盖度/ (%)	单位面积土壤侵蚀量/ (g · m <sup>-2</sup> )
耕地	65	700.23
耕地	50	746.51
耕地	45	2987.20
耕地	40	3055.81
荒草地	30	3165.56
荒草地	12	3051.50
荒草地	8	3174.30
灌草丛	92	1103.55

表 8 石桥小流域降雨量、径流量对水土流失的影响

年份	指标	径流 1	径流 2	径流 3	径流 4	径流 5	径流 6	径流 7	径流 8	径流 9	合计
2006	降雨量/ mm	2.4	2.6	2.3	2.1	2.9	1.1	1.8	2.1	3	20.3
	土壤流失总量/ g	76613	74367	75150	70368	69361	70590	76154	79553	54547	576337
2007	降雨量/ mm	6.09	11.3	31.7	55.6	21.7	38.7	20.8	19.7	16.6	222.19
	土壤流失总量/ g	3522.2	3825.0	3621.0	1050	1817.5	1540.4	675.5	2915.4	3403.5	22370.5

### 3 结论

#### 3.1 水土流失影响因素分析

(1) 研究表明贵州喀斯特高原山地土壤机械组成在不同的土地利用类型上有不同的表现,土壤颗粒组成直接使得土壤的渗透能力下降,携带土壤颗粒能力加强,表层水稳性团粒结构在土地利用类型上的差异很大,土壤团粒结构团聚度差,在水中容易受到破坏而分散为大量的更细小土粒,为径流汇集发生侵蚀创造条件。

(2) 土壤自然含水量在高原山地区与植被的生长状况关系密切,植被盖度与土壤自然含水量的相关性较强,而与土壤毛管持水量、土壤田间持水量相关性相对较小,说明土壤田间持水量高,土壤抗侵蚀能力强,其土壤保土保水能力也强。同样,植被的配置方式、覆盖率、物种多样性影响水土流失的强度是组合型配置模式明显比单一植被的水保效果好,覆盖率愈大,侵蚀愈弱,物种组成越来越丰富,植物分布趋于均匀,水土保持效果相应增强。

(3) 从降水因子对水土流失的影响来看,最终产生侵蚀作用的是降水产生的径流;但在该地区降雨总量的大小不是决定水土流失量的主要因子,还要受到不同微型地貌坡度、坡长、坡向等几方面的影响;受稳定因子的制约,水土流失在土壤、植被动态因子的不同环境结构中表现出空间差异性,小流域水土流失地下一部分的动态监测应该是以后的工作重点。

表 7 石桥不同植被类型的土壤含水量与植被盖度的关系

植被类型	土壤平均厚度/cm	土壤含水量/ %	土壤田间持水量/ %	植被覆盖度/ %
灌草丛	18.60	26.38	34.75	74.60
农作物(耕地)	65.00	18.95	35.74	55.00
经果林草	75.00	21.63	38.23	82.50
草	46.67	19.52	27.38	78.33

2.1.4 降雨量、径流量对水土流失的影响 分别选取 2006 年 8 月和 2007 年 7 月的不同时段对示范区 9 个径流池的降雨进行监测及数据采集,通过整理分析得出(表 8):在不同坡度下的降雨与径流量、输沙量及雨强相关性不同,降雨总量的大小不是决定水土流失量的主要因子。

#### 3.2 生态效益评价

(1) 喀斯特地区水土流失是生态环境退化的一个重要因素<sup>[5]</sup>,从小流域评价指标选择研究来看,以恢复多种适宜于喀斯特经济植被种植、丰产配套技术措施是控制水土流失及生态环境治理的最佳途径,其主要应以快速、有效恢复裸岩石山植被的途径及速生、经济、高效树种的选择与促进植被恢复的封禁保护措施为主。

(2) 不合理的人为干扰也是其水土流失的不利因素。这些不合理的营林措施主要有:清光式除草、施肥不当,易造成土壤肥力下降,水土流失严重;尽管种植经济林木的模式比以前的旱粮作物种植模式有优越性,但因当地农民过分注重经济效益,忽视生态效益,造成的水土流失还是相当严重。只有加快植被恢复,才能加快增加生态效益。

(3) 小流域年平均土壤侵蚀模数达 3 982 t/km<sup>2</sup>,年水土流失主要源于旱地坡耕地,占 80% 以上。原生样地和封山育林区的土壤养分相对减少,这说明小流域在治理上效果相对明显,但在生态恢复及生态平衡方面仍然难以实现生态、经济和社会的和谐发展。

(4) 该示范区在西南喀斯特石漠化地区具有普遍的代表性<sup>[6]</sup>,水土流失治理和水土流失加剧时在相互消长,只有积极开展生物措施治理水土流失模式和生态修复措施,建立多个效益评价指标因子,才能实现其生态效益的最优化。

(下转第 97 页)

常熟有着众多的江堤河滩,后备资源比较丰富<sup>[13]</sup>。要充分发挥资源潜力,保护湿地,合理开发利用。同时要注意保护生态环境,尽量将挖掘鱼塘带来的水土流失以及改建鱼塘带来的负面环境效应降到最低,促进资源和环境的可持续发展。

(2) 加强宏观调控,确保耕地面积。随着社会经济不断发展,常熟的城市面积和人口数量显著增加,城镇建设日新月异,用地面积也随之激增,这些是导致耕地面积不断下降的直接原因,近年来还有不断加速的趋势。耕地是重要的不可再生资源,必须对土地利用进行有效的宏观调控。强化经济手段,加强行政管理,利用法律来约束耕地的占用,健全土地管理机构,对耕地实行保护政策,综合运用经济、行政、法律手段,最大限度控制耕地不合理占用<sup>[14]</sup>。同时,加强农田基本建设,减少自然灾害对农业的影响,走集约化生产的道路,提高复种指数。科学规划、合理布局,提高土地利用效率。

本研究采用的是谢高地等人制定的生态服务价值表,该表虽然对 Costanza 的研究成果进行了改进,更适于我国的生态资产价值的评价。但是我国幅员辽阔,生态类型复杂多样,气候条件各不相同,因此该表中的单位面积的生态服务价值在运用到各个不同的地区时会产生误差。此外,本文仅对常熟市当前社会经济和技术条件下主要生态系统的主要服务功能进行了生态服务价值的估算,没有包括生态系统的所有服务功能。因此,研究得出的总服务价值是一个偏低的保守值。要对区域生态服务价值进行更准确、更全面的评价还有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.
- [2] 黄青,孙洪波,王让会,等.干旱区典型山地-绿洲-荒漠系统中绿洲土地利用/覆盖变化对生态系统服务价值的影响[J].中国沙漠,2007,27(1):76-80.
- [3] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [4] 梁欣,臧淑英,张思冲.基于土地利用变化的生态服务价值损益估算:以大庆市为例[J].自然灾害学报,2006,15(2):68-72.
- [5] 高清竹,何立环,黄晓霞,等.海河上游农牧交错地区生态系统服务价值的变化[J].自然资源报,2002,17(6):706-712.
- [6] 张志强,徐中民,王建,等.黑河流域生态系统服务的价值[J].冰川冻土,2001,23(4):360-366.
- [7] 王宗明,张柏,张树清.吉林省生态系统服务价值变化研究[J].自然资源学报,2004,19(1):55-61.
- [8] 张文广,胡远满,刘森,等.基于土地利用变化的生态服务价值损益估算:以岷江上游地区为例[J].长江流域资源与环境,2007,16(6):228-428.
- [9] 李加林,童亿勤,许继琴,等.杭州湾南岸生态服务功能及其经济价值研究[J].地理与地理信息科学,2004,20(6):104-108.
- [10] 吴后建,王学雷,宁龙梅,等.土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以武汉市为例[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):186-189.
- [11] 张爱华,张华.北方农牧交错带土地利用变化对生态服务价值的影响:以内蒙古赤峰市为例[J].内蒙古民族大学学报:自然科学版,2007,22(5):527-532.
- [12] 张定祥,李宪文,刘顺喜,等.基于遥感数据的常熟市耕地资源数量动态变化分析[J].地理与地理信息科学,2003,19(3):38-41.
- [13] 肖靖,李秉柏,李泽琴,等.基于地理信息系统的常熟市土地利用动态变化[J].江苏农业科学,2006(6):429-431.
- [14] 袁林旺.江苏耕地变化的数量经济分析[J].南京师大学报:自然科学版,1997,20(4):78-83.

(上接第 92 页)

#### 参考文献:

- [1] 胡顺光.贵州喀斯特地区小流域尺度生态治理的水土流失机制研究[D].贵阳:贵州师范大学,2007.
- [2] 杨小青,胡宝清,曹少英.喀斯特山区石漠化生态治理效益模:以广西都安瑶族自治县为例[J].生态与农村环境学报,2008,24(2):22-26.
- [3] 王礼先,吴斌.土壤侵蚀[M].洪惜英,译.北京:水利电力出版社,1985.
- [4] 安裕伦,蔡广鹏,熊书益.贵州高原水土流失及其影响因素研究[J].水土保持通报,1999,9(3):48-52.
- [5] 梅再美,熊康宁.喀斯特地区水土流失动态特征及生态效益评价:以贵州清镇退耕还林(草)示范区为例[J].中国岩溶,2003,22(2):136-143.
- [6] 宁茂岐,付宇文,方启彬,等.西南喀斯特地区小流域水土流失生态修复监测系统设计:以贵州毕节市石桥小流域为例[J].亚热带水土保持,2008,3(1):55-58.