

# 延河流域土壤侵蚀经济损失评估

周涛, 李天宏

(北京大学 环境科学与工程学院/水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 利用环境经济学原理方法, 借助 ArcGIS 9.3 和统计分析工具, 对延河流域土壤侵蚀主要经济损失进行定量评价, 旨在为当地生态补偿和绿色 GDP 核算提供依据。结果表明: 延河流域年土壤侵蚀经济损失总量达到 38.52 亿元, 其中养分流失经济损失最多, 占到总损失的 94.73%, 说明土壤侵蚀最直接、最严重的危害是导致土地生产力下降。延河流域的土壤侵蚀模数和单位面积土壤侵蚀经济损失大体均呈现从上游向下游递减的趋势。土地利用情况对土壤侵蚀经济损失的影响十分明显, 主要表现为生态系统服务功能越完善, 植被覆盖情况越好, 土壤侵蚀经济损失越小。延河流域土壤侵蚀经济损失总量占到其 GDP 总量的 17.49%, 明显高于全国及陕西省平均水平, 说明土壤侵蚀损失对该区域经济可持续发展的影响巨大。

**关键词:** 土壤侵蚀; 经济损失; 价值估算; 延河

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)05-0115-05

## Estimation on Economic Loss of Soil Erosion in Yanhe River Basin

ZHOU Tao, LI Tian-hong

(College of Environmental Sciences of Peking University/Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Based on the principles and methods of environmental economics, the economic losses of soil erosion in the Yanhe River basin were estimated with ArcGIS 9.3. The results provided a basis for the green GDP accounting and ecological compensation policy for soil erosion. The total economic loss of soil erosion in the Yanhe River basin was 3.852 billion Yuan per year. And the economic loss of nutrient losses was the biggest part of the total economic loss, which accounted for 94.73% of the total. So the most direct and the most serious harm of soil erosion was the land productivity decline. The intensity of economic losses of soil erosion per unit area and soil erosion modules showed a decreasing trend from the upper reaches to the lower reaches of the Yanhe River. The land use influenced the economic loss of soil erosion obviously. The better the ecosystem service function and the vegetation coverage were, the smaller the economic loss of soil erosion was. The ratio of economic losses of soil erosion to GDP was 17.49% in the Yanhe River basin, which was much higher than that in China and Shaanxi Province, therefore, soil erosion is the big challenge for local sustainable development of the Yanhe River basin.

**Key words:** soil erosion; economic loss; value estimate; Yanhe River

土壤侵蚀是造成生态破坏的重要原因之一。土壤侵蚀不仅能直接导致土地生产力下降、泥沙淤积等问题, 还可能引发生态环境恶化、自然灾害加剧、人民生活贫困等诸多严重问题, 因此土壤侵蚀已成为一个全球性环境问题, 引起各国政府的密切关注<sup>[1]</sup>。如何

评价土壤侵蚀经济损失是水土保持科学的基本问题和难题之一, 而以货币形式定量表示土壤侵蚀造成的各项经济损失是政府制定水土保持政策、生态补偿政策以及绿色 GDP 核算的重要依据。因此, 国内外专家一直致力于土壤侵蚀经济损失的研究, 并取得了一

收稿日期: 2012-03-13

修回日期: 2012-04-13

资助项目: 国家自然科学基金项目(50979003)

作者简介: 周涛(1985—), 男, 山东省临沂市人, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持生态效益、水资源与水沙环境。E-mail: zt8183738@gmail.com

通信作者: 李天宏(1970—), 男, 副教授, 主要研究方向为 3S 技术在水土资源/环境方面的应用、LUCC 及其生态环境效应等。E-mail: litianhong@iee.pku.edu.cn

些成果,例如美国通过农业损失和非农业损失对水土流失进行估算,成为世界上最早对土壤侵蚀损失进行估算的国家<sup>[2-5]</sup>。随着环境经济学的发展,新的生态服务价值和环境破坏损失评估方法和理论不断出现,如市场价值法、机会成本法、恢复防护费用法、影子工程法、人力资本法、调查评价法等,极大地促进了学术界对土壤侵蚀经济损失的研究。虽然我国在这方面起步较晚,但从上世纪 90 年代开始,国内学者也对本国的土壤侵蚀经济损失问题进行了大量研究<sup>[6-8]</sup>。但目前土壤侵蚀经济损失的界定、数据选取、计算方法、参数认证和结果表达等诸方面,尚未形成一套普遍认可的评估程序和方法。此外,现有研究中缺乏对土壤侵蚀经济损失与其他因素相互关系的研究,且很少考虑到在国民经济核算和政策制定中的应用问题。针对以上不足,本文在借鉴前人研究成果的基础上,利用环境经济学原理和方法,借助 GIS 对延河流域土壤侵蚀各项经济损失进行量化评价,并初步探求土壤侵蚀经济损失与土壤侵蚀状况、土地利用和区域经济发展水平的关系,以期对延河流域水土保持生态补偿政策制定和绿色 GDP 核算提供参考。

## 1 研究区概况

延河是黄河的一级支流,发源于靖边县天赐湾乡周山,流域地处东经 108°41′—110°28′,北纬 36°27′—37°59′之间。其主干部分位于延安市中部,流域范围涉及安塞县、宝塔区、延长县大部,志丹县、子长县、延川县小部分,为延安市第二大河。延河流域属华北陆台的鄂尔多斯地带,是陕北构造盆地的一部分,第四季黄土岩系深厚广泛地覆盖在中生代沉积成的基岩之上。延河流域的土壤分 7 个土类,71 个土种,但主要土类为黄性土,包括黄绵土、绵沙土、质绵土三个亚类,占总面积的 88.4%,广泛分布于梁峁、沟谷、山坡和湾塌地上,伴有少量零星分布的黑垆土、红土、淤土等。由于历史上大规模毁林开荒和对自然资源的掠夺性开发等原因,延河流域的原始森林草原基本破坏殆尽,现有植被主要是作物、经济林、生态林、一般林地和草地等。另外,延河流域属黄河中游的多沙粗沙区,土壤侵蚀严重,据延安市水土保持工作队报告,延河流域多年平均年输沙量达 4 776.36 万 t。

## 2 资料来源与研究方法

### 2.1 数据来源及处理

土壤侵蚀数据来源于全国第二次土壤侵蚀遥感普查结果,并参照中华人民共和国水利部颁布实施的《土壤侵蚀分类分级标准》。延河流域土壤类型图(附

图 9)是基于中国科学院南京土壤研究所编制的全国 1:100 万土壤图,使用延河流域边界图裁剪得到。土壤有机质、N、P、K 含量及含水量等数据(表 1)参考了中国科学院土壤数据库中黄绵土、黑垆土、红黏土等延河流域主要土种理化性质、陕西省土壤普查结果及韩仕峰等<sup>[9]</sup>对黄土高原土壤水分资源的研究结果,在 ArcGIS 9.3 下对延河流域土壤类型图进行图层赋值。本研究中所用的土壤养分单价、农业平均收益、替代成本等其他数据均来源于水利部、中国科学院和中国工程院共同编写的《中国水土流失防治与安全——水土流失影响评价卷》和其他相关文献资料。

表 1 延河流域土壤理化参数 %

土壤类型	全氮	全磷	全钾	有机质含量	含水率
黄绵土	0.07	0.07	2.02	0.84	11.43
黑垆土	0.05	0.08	1.97	0.65	12.26
红黏土	0.03	0.04	1.88	0.31	17.50
新积土	0.01	0.05	1.72	0.19	11.16

### 2.2 计算方法

土壤发生侵蚀后不仅仅会在当地造成损失,也会随着泥沙的迁移和沉积,造成场外损失。如图 1 所示,土壤侵蚀所造成的经济损失可分为直接经济损失、间接经济损失和被破坏生态资源的恢复费用三部分。直接经济损失包括土地废弃损失、养分损失(主要为 N、P、K 和有机质)、水分损失等;间接经济损失包括水资源破坏、土地生产力下降及生态破坏等其它损失;被破坏生态资源的恢复费用则可以理解为治理土壤侵蚀和采取必要的水土保持措施的费用等<sup>[10]</sup>。

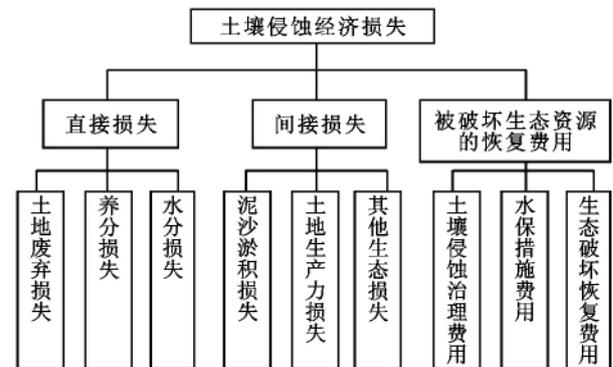


图 1 土壤侵蚀经济损失评估指标

目前国内学者计算土壤侵蚀经济损失普遍采用的方法是,先计算土壤侵蚀的实物损失,再利用市场价值法、影子工程法等将实物损失换算为经济损失<sup>[6-8]</sup>。本文采用上述方法,分别计算土地废弃经济损失、养分和有机质流失经济损失、泥沙滞留淤积经济损失和水分流失经济损失这 4 项由实物损失带来的经济损失。由于资料难以获取或暂无可靠的量化方法,本文未计算除以上 4 项损失之外的其他经济损

失项目。

2.2.1 土地废弃损失价值的计算方法 利用土壤侵蚀量和土壤肥力层平均厚度(取全国平均值 0.6 m)推算因土壤侵蚀而造成的废弃土地面积<sup>[11]</sup>,然后用机会成本法计算因土地废弃而失去的年经济价值。

$$E_s = A_r \cdot B_i / (0.6 \times 10000\rho) \quad (1)$$

式中: $E_s$ ——土地废弃造成的价值损失(元/a); $A_r$ ——土壤年侵蚀量(t/a); $B_i$ ——农业年均收益(元/hm<sup>2</sup>),取 5 017.9 元/hm<sup>2</sup><sup>[10]</sup>; $\rho$ ——土壤容重(t/m<sup>3</sup>),取 1.18 t/m<sup>3</sup>。

2.2.2 泥沙滞留淤积损失价值计算方法 延河下游甘谷驿水文站多年平均输沙模数高达 8 100 t/(km<sup>2</sup>·a),另据陕西省水文局统计,黄河流域自产总沙量中有 8%左右来源于延河流域自产输沙量,来自延河流域的大量泥沙进入黄河,并在中下游河道及库塘内大量淤积,部分泥沙入海<sup>[12]</sup>。由于来源于延河流域后滞留淤积于黄河中下游的泥沙量无法区分衡量,故本文根据我国主要流域泥沙运动规律进行泥沙滞留淤积量计算。据国内相关研究成果,土壤侵蚀流失的泥沙有 24%淤积于水库和湖泊,33%滞留淤积于河道,另有 37%入海,此处仅考虑淤积量和滞留量<sup>[13]</sup>。本研究中利用两种不同的方法计算淤积和滞留的损失,其中泥沙滞留于河道造成的损失用清淤成本进行替代计算,泥沙淤积于水库、湖泊中造成的损失用影子工程法计算,即建设同等容积的水库成本,计算通式为:

$$E_{n1} = A_r \cdot C_1 / \rho \times 33\% \quad (2)$$

$$E_{n2} = A_r \cdot C_2 / \rho \times 24\% \quad (3)$$

式中: $E_{n1}$ , $E_{n2}$ ——河道清淤成本以及水库、江河、湖泊的淤积损失(元/a); $C_1$ , $C_2$ ——清淤单价(元/m<sup>3</sup>),

取 6.5 元/m<sup>3</sup> 和水库工程费用(元/m<sup>3</sup>),取 1.2 元/m<sup>3</sup><sup>[14]</sup>; $\rho$ ——土壤容重(t/m<sup>3</sup>),取 1.18 t/m<sup>3</sup>。

2.2.3 养分和有机质流失损失的计算方法 土壤养分流失经济损失的计算方法选用替代价格法。计算通式为:

$$E_n = A_r \cdot C_i \cdot P_i \quad (4)$$

式中: $E_n$ ——N、P、K 养分流失所损失的价值(元/t); $i$ ——N、P、K 这 3 种元素; $C_i$ ——N、P、K 在土壤中的平均含量(%); $P_i$ ——纯氮、磷、钾肥料的价格(元/t)。

土壤侵蚀所带走有机质的经济损失计算根据下式:

$$E_o = A_r \cdot C_o \cdot P_o \quad (5)$$

式中: $E_o$ ——有机质流失损失价值(元/a); $C_o$ ——土壤有机质含量(%); $P_o$ ——有机质价格(元/t)。根据新材转换成有机质的比例为 2:1 和新材的机会成本价格为 51.3 元/t 来换算有机质的价格<sup>[15]</sup>,取 102.6 元/t。

2.2.3 水分流失损失价值的计算方法 由于土壤侵蚀所流失的土壤水分带来的经济损失利用影子工程法来计算,计算公式如下:

$$E_w = A_r \cdot W \cdot P \quad (6)$$

式中: $E_w$ ——水分流失的损失价值(元/a); $W$ ——土壤含水量(%); $P$ ——修建每 1 m<sup>3</sup> 水库所需的投资费用,取 1.2 元/m<sup>3</sup>。

### 3 结果与分析

#### 3.1 延河流域土壤侵蚀经济损失量及构成分析

在 ArcGIS 9.3 下,将搜集到的资料数据全部转为 30 m 栅格图,按照公式(1)~(6)分别进行栅格运算,得到延河流域土壤侵蚀各项经济损失,列于表 2。

表 2 延河流域土壤侵蚀经济损失构成

项目	土地废弃损失	泥沙滞留淤积损失	养分损失	有机质损失	水分损失	合计
土壤侵蚀经济损失/(亿元·a <sup>-1</sup> )	0.41	1.18	36.49	0.34	0.10	38.52
比例/%	1.06	3.06	94.73	0.88	0.26	100

从表 2 可以看出,延河流域土壤侵蚀经济损失高达 38.52 亿元/a。其中,养分损失最大,占到总经济损失的 94.73%,其次是泥沙滞留淤积损失,占 3.06%,土地废弃损失、有机质损失、水分损失分别占总损失的 1.06%、0.88%和 0.26%。说明土壤侵蚀最直接、最严重的经济损失是降低土地生产力,这意味着如果不对其加以控制,土壤侵蚀会逐渐导致土壤肥力下降,理化性质变劣,土壤利用率降低,生态环境恶化,并直接危害农业生产和农民生活水平的提高,进而阻碍当地经济的可持续发展。

#### 3.2 土壤侵蚀经济损失的分布特征

在 ArcGIS 9.3 中对各项经济损失进行栅格运算,求和得到图 2。由图 2 可知,延河流域单位面积土壤侵蚀经济损失总体呈现出西北高东南低,从上游到下游逐渐降低的趋势。

利用 ArcGIS 分区统计功能,汇总出延河流域各市县土壤侵蚀经济损失情况,如表 3 所示。

由表 3 可知,延河流域土壤侵蚀情况不容乐观,除延长县外,其余各县土壤侵蚀模数大多处于 7 000~13 000 t/(km<sup>2</sup>·a),远高于水利部规定的西北黄土高原区 1 000 t/(km<sup>2</sup>·a)的侵蚀强度标准,属于土壤

侵蚀强烈、极强烈地区。从土壤侵蚀经济损失总量上看,安塞县、宝塔区、延长县土壤侵蚀经济损失居于流域内各县前三位,主要是由于这 3 个县大部分辖区处于延河流域之内,土壤侵蚀面积较大。而从单位面积土壤侵蚀经济损失上看,其大小顺序为延川县、靖边县、志丹县、安塞县、子长县、宝塔区、延长县,与土壤侵蚀模数的大小顺序一致,整体表现出土壤侵蚀模数和单位面积土壤侵蚀经济损失自西北向东南,从上游到下游逐渐降低的趋势。

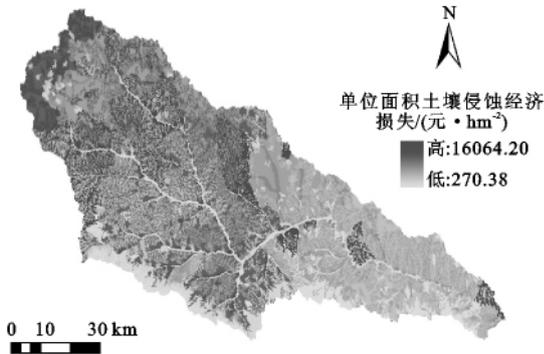


图 2 延河流域单位面积土壤侵蚀经济损失分布

表 3 延河流域各市县土壤侵蚀经济损失

地区	流域内面积/ km <sup>2</sup>	土壤侵蚀模数/ (t · km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	土壤侵蚀经济损失/ 亿元	单位面积土壤侵蚀经济损失/ (元 · hm <sup>-2</sup> )
靖边县	352.46	12848.70	3.01	8530.78
子长县	8.67	7642.74	0.04	5017.85
安塞县	2664.47	7920.58	14.24	5344.40
延川县	18.58	12569.00	0.16	8902.23
宝塔区	2217.68	7372.80	11.10	5005.23
志丹县	780.54	9313.22	4.84	6193.45
延长县	1641.39	4630.64	5.13	3123.19

### 3.3 土壤侵蚀经济损失与土地利用

对延河流域 2005 年土地利用图和图 2 进行分区统计,结果如表 4 所示。流域内的土地利用类型分为森林、草地、农田、水体、城镇、未利用地 6 类。

表 4 延河流域土壤侵蚀经济损失与土地利用

土地利用类型	流域内面积/km <sup>2</sup>	土壤侵蚀经济损失/亿元	单位面积土壤侵蚀经济损失/(元 · hm <sup>-2</sup> )
森林	936.59	3.09	3302.43
草地	3484.69	12.96	3719.12
农田	3220.59	22.41	6958.35
水体	23.27	0.02	648.66
城镇	17.04	0.03	1556.90
未利用地	2.50	0.01	3949.80

从表 4 可见,延河流域内各土地利用类型的土壤侵蚀经济损失主要取决于其在流域内的面积。草地和农田两种土地利用类型在流域内面积最大,分别占流域总面积的 45.34%和 41.91%,其土壤侵蚀经济

损失也相应地位居前两位,分别达到流域内总损失的 33.64%和 58.18%。水体、城镇、未利用地在流域内的面积较小,总和尚不足流域总面积的 1%,其土壤侵蚀经济损失也相应较小,仅占流域内总损失的 0.2%左右。

若论单位面积土壤侵蚀经济损失,各土地利用类型从大到小顺序依次是:农田、未利用地、草地、森林、城镇、水体,且各土地利用类型之间差异较大。这说明在延河流域,土地利用情况对土壤侵蚀经济损失的影响十分明显,并与所处土地利用类型自身生态服务功能强弱、植被覆盖情况好坏有密切关系。生态系统服务功能越完善,植被覆盖情况越好,土壤侵蚀造成的经济损失就越小,表现出农田、未利用地单位面积土壤侵蚀经济损失高于草地、森林的情况。而城镇用地由于硬化地面较多,很大程度上遏制了土壤侵蚀的发生,其单位面积土壤侵蚀经济损失较小。

### 3.4 土壤侵蚀经济损失与区域经济发展

将延河流域各县区土壤侵蚀经济损失与其 GDP 进行比较,以反映各县区土壤侵蚀损失量对地区经济发展的影响程度(表 5)。考虑到各县流域内面积与总面积之间的差距,在比较时已将各县区 GDP 按其流域内面积与总面积之比进行折算。

表 5 说明,延河流域土壤侵蚀经济损失占 GDP 的 17.49%,远高于马国霞等<sup>[16]</sup>得出的 6.6%的陕西省平均水平,更是远远高于全国 1.45%的平均水平。这说明延河流域生态环境质量与全省和全国水平都有较大差距,土壤侵蚀损失对该地区的影响较大。从流域内各县来看,土壤侵蚀经济损失占 GDP 的比例大多在 20%上下,经济发展水平较高的宝塔区这一比例最低,为 12.16%,延长县虽然土壤侵蚀经济损失的绝对量不高,但由于经济极度落后导致此比例高达 29.05%,区域经济可持续发展能力较差。

表 5 延河流域土壤侵蚀经济损失与 GDP

地区	土壤侵蚀经济损失/亿元	GDP/亿元	比例/%
靖边县	3.01	16.65	18.08
子长县	0.04	0.20	20.18
安塞县	14.24	65.25	21.82
延川县	0.16	0.62	25.70
宝塔区	11.10	91.29	12.16
志丹县	4.84	28.62	16.91
延长县	5.13	17.66	29.05
合计	38.52	220.29	17.49

## 4 结论

本研究借助 ArcGIS 技术,利用环境经济学的原

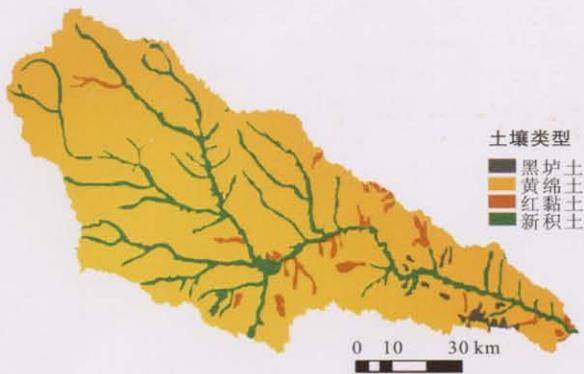
理和方法,对延河流域土壤侵蚀经济损失进行了估算,主要结论如下:(1)延河流域土壤侵蚀严重,并造成了巨大的经济损失,年土壤侵蚀经济损失高达38.52亿元。其中,各单项经济损失中最主要的是土壤养分损失,占到总经济损失的94.73%。(2)流域内土壤侵蚀模数和单位土壤侵蚀经济损失的空间分布规律基本一致,均表现出从西北向东南,从上游到下游逐渐降低的趋势。(3)土壤侵蚀经济损失程度与生态系统服务功能完善程度和植被覆盖状况息息相关,具体表现为生态系统服务功能越完善,植被覆盖情况越好,土壤侵蚀经济损失越轻。(4)延河流域土壤侵蚀经济损失占GDP比例远高于陕西省和全国平均水平,说明该流域生态环境质量明显低于全省和全国平均水平,土壤侵蚀损失对该流域经济可持续发展的影响较大。

另外,由于土壤侵蚀所造成的环境影响十分复杂,许多损失由于数据难以获取或缺少量化方法而暂时无法用经济价值体现出来,因此本研究仅估算了延河流域土壤侵蚀产生的主要经济损失,未考虑其他场内损失(如土壤侵蚀造成景观的破坏所引起美学价值的减少、土壤生物多样性减少或丧失的损失)和场外损失(如土壤侵蚀造成水质污染,继而对人体健康、渔业、旅游业等产生的危害)。

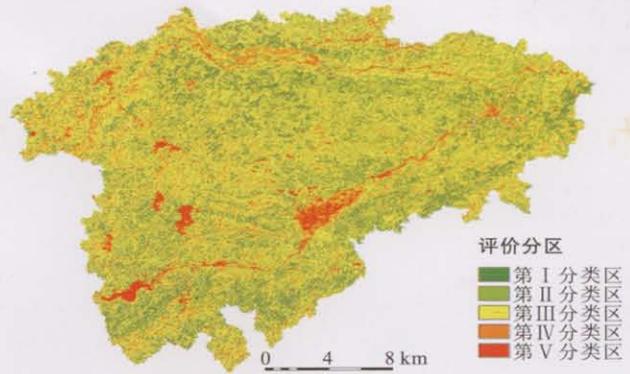
#### 参考文献:

- [1] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.
- [2] Lfsen K H. The cost of soil erosion in Nicaragua[J]. Ecological Economics, 1996, 16(2): 129-145.
- [3] Colaciuo D, Osborn T, Alt K. Economic damage from soil erosion[J]. Journal of Soil and Water Conversation, 1989, 44(1): 35-39.
- [4] David P, Harvey C, Resosudarmo P, et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits[J]. Science, 1995, 267(5201): 1117-1123.
- [5] Paterson R, Luger M, Burby R, et al. Costs and benefits of urban erosion and sediment control—the North Carolina experience [J]. Environmental Management, 1993, 17(2): 167-178.
- [6] 许月卿, 蔡运龙. 土壤侵蚀经济损失分析及价值估算: 以贵州省猫跳河流域为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4): 470-474.
- [7] 贾忠华, 赵恩辉. 南水北调中线陕西水源区土壤侵蚀损失估算[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 673-676.
- [8] 王星, 李占斌, 李鹏, 等. 陕西省丹汉江流域土壤侵蚀经济损失分析[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1): 36-43.
- [9] 韩仕峰, 李玉山, 石玉洁, 等. 黄土高原土壤水分资源特征[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 647-654.
- [10] 赵善伦, 尹民, 孙希华. 山东省水土流失经济损失与生态价值损失评估[J]. 经济地理, 2002, 22(5): 160-169.
- [11] 水利部, 中国科学院, 中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 141-142.
- [12] 王飞, 穆兴民, 焦菊英, 等. 基于含沙量分段的人类活动对延河水沙变化的影响分析[J]. 泥沙研究, 2007(4): 8-13.
- [13] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [14] 鲁绍伟, 靳芳. 中国森林生态系统保护土壤的价值评价[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 16-21.
- [15] 杨志新, 郑大玮, 李永贵. 北京市土壤侵蚀经济损失分析及价值估算[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 175-178.
- [16] 马国霞, 石敏俊, 李玫. 中国水土流失经济损失的货币化评价[J]. 中国人口·资源环境, 2009, 19(1): 162-168.
- [3] 梁芳, 郭晋平. 林下植物多样性影响因素研究进展[J]. 山西林业科技, 2008(2): 33-35.
- [4] 陈文文. 森林: 哈尼梯田的水塔[J]. 人与自然, 2010(10): 7.
- [5] 红河州林业调查规划队. 云南省元阳县森林资源二类调查报告[R]. 元阳县林业局, 2011.
- [6] 罗德胤, 孙娜, 霍晓卫. 一个哈尼族村寨的建成史: 以云南省元阳县全福庄中寨的形成和发展为例[J]. 住区, 2011, 43(3): 70-77.
- [7] 马克平, 钱迎倩, 王晨. 生物多样性研究的现状与发展趋势[J]. 科技导报, 1995(1): 27-30.
- [8] 师楠, 郎南军, 李晋, 等. 金沙江头塘小流域5种类型人工林林下植物多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6): 3429-3435.
- [9] 林清山, 洪伟. 中国森林碳储量研究综述[J]. 中国农学通报, 2009, 25(6): 220-224.
- [10] 牛翠娟, 娄安如, 孙儒泳, 等. 基础生态学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [11] Bazzaz F A. Plants in Changing Environment: Linking Physiological, Population, and Community Ecology [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [12] 太立坤, 余雪标, 杨曾奖, 等. 三种类型森林林下植物多样性及生物量比较[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 229-234.

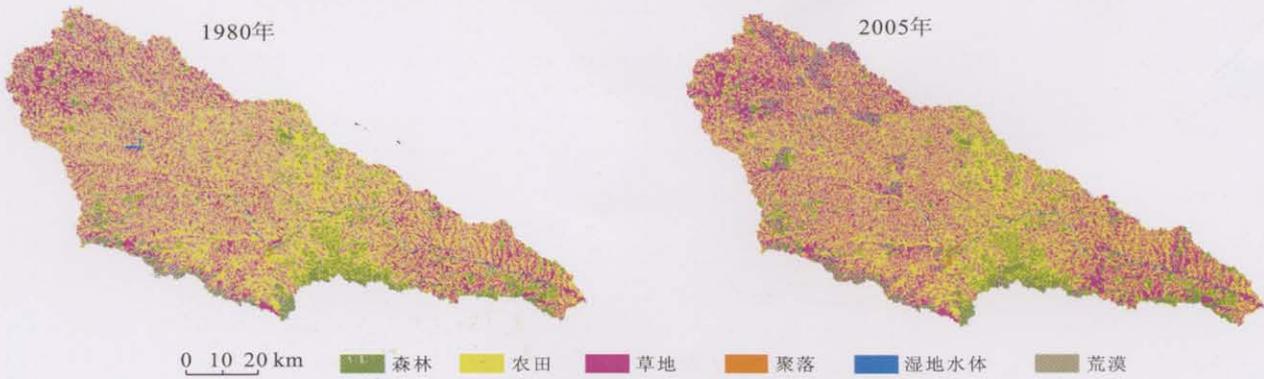
(上接第114页)



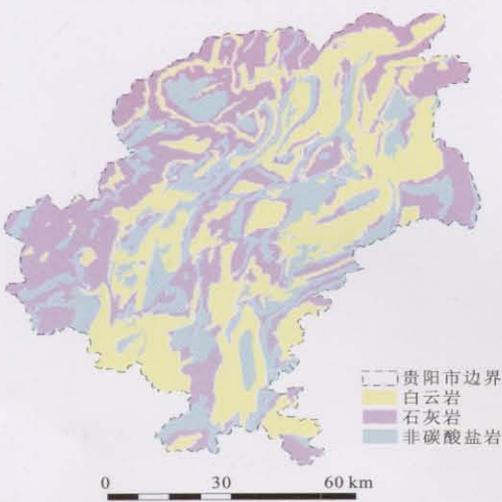
附图9 延河流域土壤类型



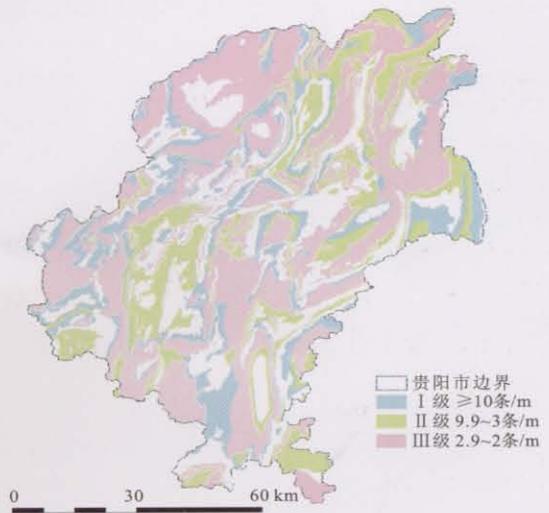
附图10 蒲江县生态环境综合评价



附图11 1980年和2005年延河流域土地利用现状



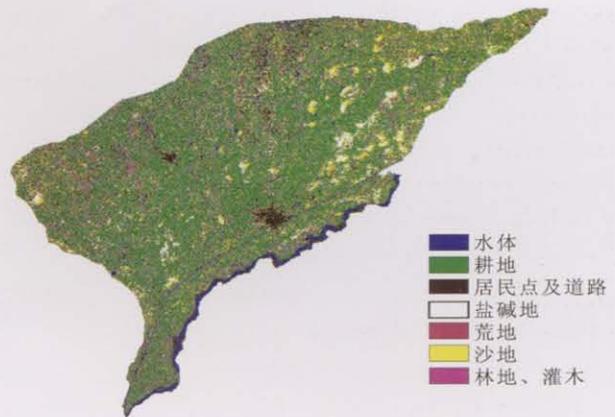
附图12 贵阳市碳酸盐岩分布



附图13 贵阳市层间节理频度分布



附图14 内蒙古河套灌区TM影像波段534波段叠加结果



附图15 内蒙古河套灌区土地利用分类