

# 基于GIS的黄土高原生态系统服务价值 对土地利用变化的响应及生态补偿

王飞<sup>1</sup>, 高建恩<sup>1,2,3†</sup>, 邵辉<sup>1</sup>, 张通<sup>2</sup>, 张元星<sup>1</sup>, 许秀泉<sup>3</sup>, 赵春红<sup>1</sup>, 王宏杰<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 712100 陕西杨凌; 2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 712100 陕西杨凌;  
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100 陕西杨凌)

**摘要:** 以黄土高原为研究对象, 基于GIS技术, 采用土地利用转移矩阵、土地利用动态度方法, 研究1985—2005年黄土高原地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响以及相应的生态补偿标准。结果表明: 1) 1985—2005年, 黄土高原地区土地利用类型主要为草地和农地, 占土地利用方式的75%以上, 但农地面积总体在减少, 林地面积在不断增加; 2) 聚落为最活跃的土地利用类型, 聚落和湿地+水体呈扩张的发展趋势; 3) 土地利用变化引起区域生态环境效应, 20年间黄土高原地区生态系统服务总价值上涨约0.01%, 其中森林增加最多, 约为0.09%, 农地的生态服务价值下降最多, 约为-0.02%, 而生态服务功能中, 除了与农地和荒漠相关的废物处理和食物生产服务功能下降外, 其他生态服务功能均表现为增加; 4) 根据黄土高原生态系统服务价值, 确定该地区的生态补偿标准约为4亿2732万元。

**关键词:** 土地利用变化; 生态系统服务价值; 生态补偿机制; 黄土高原

**中图分类号:** F301; Q149 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3007(2013)01-0025-07

## Response of ecosystem service values to land use change based on GIS and ecological compensation in Loess Plateau

Wang Fei<sup>1</sup>, Gao Jian'en<sup>1,2,3</sup>, Shao Hui<sup>1</sup>, Zhang Tong<sup>2</sup>, Zhang Yuanxing<sup>1</sup>, Xu Xiuquan<sup>3</sup>,  
Zhao Chunhong<sup>1</sup>, Wang Hongjie<sup>2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi;

2. College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest A&F University, 712100, Yangling, Shaanxi;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi; China)

**Abstract:** The Loess Plateau is the most serious soil erosion areas in China, where the land use changes would lead to the various ecological and environmental problems, which has been one of the hot issues around the world. By taking the whole Loess Plateau region as the research object, the land use changes between 1985 and 2005 was studied and the reasons of the changes were analyzed based on GIS technology. The effect of land use changes on the ecosystem service was evaluated quantitatively and an appropriate eco-compensation standard was preliminarily developed. The results show that: 1) the main type of land use was grassland and farmland, accounting for over 75% of total land use. Among them, the area of farmland was reducing, and the area of woodland was increasing; 2) Settlement was the most

收稿日期: 2012-07-30 修回日期: 2012-10-08

项目名称: 国家科技支撑计划项目“黄土丘陵沟壑区水土保持与高效农业关键技术集成与示范”(2011BAD31B05); 水体污染控制与治理科技重大专项“保障渭河生态基流的关中地区农业节水及调控技术研究”(2009ZX07212-002-003-02)

第一作者简介: 王飞(1987—), 男, 硕士研究生。主要研究方向: 水土保持与流域管理。E-mail: wangfei\_brave@yahoo.com.cn

†通信作者简介: 高建恩(1962—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师。主要研究方向: 径流调控与河流治理。E-mail: gaojianen@126.com

active land use type. Settlement and waterland were expanding between 1985 and 2005; 3) Land use changes impacted the regional eco-environmental effects. The total value of ecosystem services rose 0.01%, in which woodland had the biggest increase about 0.09% and the largest decline occurred in farmland about 0.02%. The total ecosystem services of the Loess Plateau were increasing, except the values of waste treatment and food production relating with farmland and wilderness; 4) According to the values of ecosystem services of Loess Plateau, the eco-compensation standard was 427.32 million yuan.

**Key words:** land use change; ecosystem service values; ecological compensation; Loess Plateau

黄土高原作为中国乃至世界上水土流失最为严重的地区,其日益恶化的生态环境成为世界研究的焦点问题。生态系统服务是利用生态系统的结构、功能和过程,得到生命支持产品和服务,而这些服务和产品是人类生存和发展的必需品和生活质量的保证<sup>[1]</sup>。通过对生态系统服务价值的定量评估来探索地区生态环境变化,进行环境质量评价,合理规划生态发展方向等研究,已成为国际生态学和生态经济学的热点和前沿领域<sup>[2-4]</sup>。土地利用变化作为《国际地圈与生物圈计划》(IGBP)和《全球变化的人文领域计划》(IHDP)的重大研究计划之一<sup>[5]</sup>,通过对生态系统的结构和功能的改变,对生态系统维持其服务功能起决定性作用<sup>[1]</sup>;然而,目前的研究多是某一局部地区的土地利用变化或景观格局变化对生态系统服务价值的影响<sup>[6-10]</sup>,而对整个黄土高原的土地利用/覆被变化及其造成生态系统服务价值变化的研究很少,对生态补偿标准和机制的研究更是少之又少。笔者以整个黄土高原地区为研究对象,根据 DEM 数据、土地利用数据等,基于 GIS 技术,结合土地利用动态理论,研究黄土高原地区土地利用变化对生态系统服务价值造成的影响,并依据黄土高原实际情况,制定出符合当地生态环境健康发展的生态补偿标准,从而为黄土高原植被恢复重建、土地利用调整、生态环境评价和可持续发展提供科学依据。

## 1 研究区概况

黄土高原东起太行山,西至青海日月山,南达秦岭,北抵阴山,跨山西、陕西、甘肃、青海、宁夏、内蒙古及河南 7 个省区<sup>[11]</sup>。该地区土地总面积约 64 万 km<sup>2</sup>,约占全国土地总面积的 1/15。黄土高原属季风气候区,因距海洋较远(东距海洋 600~1 400 km),大陆性气候明显,四季分明,冬季在强盛的极低干冷气团控制下,雨雪稀少,夏季蒙古高压北移,受西太平洋副热带高压和印度洋低压影响,盛行东南、西南季风,雨水增多,干湿差异大,温度变化剧烈,年平均气温为

6~14℃。该区域多年平均降雨量 300~700 mm,由东南向西北递减,7—9 月降雨量占年降雨总量的 60%~70%,降雨集中且多暴雨,导致土壤侵蚀强烈。黄土高原的植被与气候区域变化相适应,由东南向西北大体可划分为森林带、森林草原带、草原带和荒漠草原带。自然植被破坏比较严重。森林仅在山地向次生林为主,多山杨(*Populus davidiana*)、桦木(*Betula* spp)林,个别保存较好的天然林有油松(*Pinus tabulaeformis*)林或华山松(*Pinus armandi* Franch)林、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林及桦木(*Betula* spp)林。草原植被分布广泛,主要植物群系有芨芨蒿(*Artemisia giraldii* Pamp)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb)、冷蒿(*Artemisia frigida* Willd. Sp. Pl.)、百里香(*Thymus mongolicus*)等<sup>[12-13]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

使用空间分辨率为 30 m 的数字高程数据(DEM),该数据源自中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站。土地利用数据源自中国 1:25 万土地覆盖遥感调查与监测数据库,分别为 1985 和 2005 年 2 期土地利用数据。在此基础上,结合陆地生态系统特点的遥感土地覆盖分类系统,将土地利用类型分为森林、草地、农田、荒漠、聚落和湿地+水体 6 种一级类型<sup>[14]</sup>。

### 2.2 空间分析

由于所获得的数字高程数据包括研究区域且大于研究区域覆盖面积,因此,先将得到的数字高程数据在 GIS 技术的支持下,进行拼接,再以黄土高原边界图为基础进行裁切。利用遥感图像分析得到的 1985 和 2005 年的土地利用/覆被数据,运用空间叠加分析的方法,得到黄土高原地区土地利用变化的变化信息,并生成专题图<sup>[15]</sup>。

### 2.3 数据分析

#### 2.3.1 单一土地利用类型动态度和空间动态度

1) 单一土地利用类型动态度是对区域在一定

的研究时段内某一种土地利用类型数量的变化情况进行分析的方法<sup>[16]</sup>,其表达式为

$$K_i = \frac{A_{(i,t_2)} - A_{(i,t_1)}}{tA_{(i,t_1)}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $K_i$  为研究时段内第  $i$  类土地利用类型的单一土地利用动态度;  $A_{(i,t_1)}$  为研究初期阶段第  $i$  类土地利用类型的面积,  $\text{hm}^2$ ;  $A_{(i,t_2)}$  为研究期末第  $i$  类土地利用类型的面积,  $\text{hm}^2$ ;  $t$  为研究时段长, 即  $t_2 - t_1$ 。

2) 空间动态度表示测算土地利用动态变化的空间过程和强烈程度<sup>[17]</sup>,可表示为

$$K'_i = \{ (A_{(i,t_2)} - A_{1i}) + (A_{(i,t_1)} - A_{1i}) \} / A_{(i,t_1)} / t \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $K'_i$  为第  $i$  类土地利用类型的空间动态度;  $A_{1i}$  为研究时段内第  $i$  类土地利用类型未变化的面积,  $\text{hm}^2$ ;  $A_{(i,t_1)} - A_{1i}$  为在研究时段内转移部分面积, 即第  $i$  类土地利用类型转化为其他非第  $i$  类土地利用类型的面积总和;  $A_{(i,t_2)} - A_{1i}$  为在研究时段内新增部分面积, 即由其他非第  $i$  类土地利用类型转变为第  $i$  类土地利用类型面积的总和<sup>[18]</sup>。

2.3.2 综合土地利用动态度 综合土地利用动态度是研究区内土地利用类型变化剧烈程度的综合表达<sup>[19]</sup>,可表示为

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{(i,t_2)} - A_{1i})}{t \sum_{i=1}^n A_{(i,t_1)}} \times 100\% \quad (3)$$

式中  $K$  为综合土地利用动态度。

### 2.3.3 生态系统服务价值评价方法

1997 年 R. Costanza 等的研究成果科学地明确了生态系统服务价值评估的原理与方法<sup>[20]</sup>,但在研究中,某些数据与实际还存在较大偏差,引发了国内外学者广泛的讨论<sup>[21-22]</sup>。谢高地等<sup>[23]</sup>根据中国陆地生态系统的实际情况,制定出中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表。笔者根据谢高地等<sup>[24]</sup>的生态系统服务价值的区域修正系数,结合黄土高原地区的实际情况,确定了整个黄土高原的区域修正系数为 0.60,制定了整个黄土高原土地利用方式的生态服务价值当量表(表 1);同时,运用 Costanza 的生态系统服务价值公式,计算黄土高原地区生态系统服务价值。其公式为

$$V = \sum_{i=1}^n (A_{2i} V_{Ci}) \quad (4)$$

式中:  $V$  为研究区年生态系统服务总价值,元/a;  $V_{Ci}$  为第  $i$  类土地利用类型的生态系统服务价值当量,元/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ );  $A_{2i}$  为第  $i$  类土地利用类型的面积。

各种土地利用类型贡献率为

$$R_i = V_i / V \quad (5)$$

式中:  $R_i$  为第  $i$  类土地利用类型在生态系统服务总价值中的贡献率;  $V_i$  为第  $i$  类土地利用类型的年生态服务价值,元/a。

表 1 黄土高原单位面积生态系统服务价值表

Tab. 1 Ecosystem services value per unit area of different ecosystem types in the Loess Plateau yuan/( $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ )

生态系统服务 Ecosystem service	森林 Woodland	草地 Grassland	农地 Farmland	聚落 Construction	湿地 + 水体 Waterland	荒漠 Wilderness
气体调节 Gas regulation	1 858.2	424.7	265.4	0	512.1	0
气候调节 Climate regulation	1 433.5	477.8	472.5	0	4 978.8	0
水源涵养 Water conservation	1 698.9	424.7	318.5	0	9 431.4	15.9
土壤形成与保护 Soil formation and control	2 070.5	1035.3	775.1	0	489.0	10.6
废物处理 Waste treatment	695.5	695.5	870.7	-1 304.5	9 652.0	5.3
生物多样性保护 Biodiversity protection	1 730.8	578.7	376.9	0	1 324.8	180.5
食物生产 Food production	53.1	159.3	530.9	0	110.0	5.3
原材料 Raw materials	1 380.4	26.5	53.1	0	22.4	0
娱乐文化 Recreation and culture	679.6	21.2	5.3	0	2 648.4	5.3

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用/覆被转移变化过程分析

利用 ArcGIS 软件对 1985 和 2005 年土地利用

图进行叠加计算,得出研究时段内土地利用类型之间的面积转移矩阵(表 2)。黄土高原地区 1985 和 2005 年土地利用见图 1。

从表 2 和图 2 可以看出:研究时段内,森林、聚

落和湿地 + 水体的面积在增加,其他 3 个土地利用类型的面积不同程度地在减少。这 6 种土地利用类型各自流失的面积由大到小的顺序依次为草地 > 农地 > 荒漠 > 森林 > 湿地 + 水体 > 聚落,6 种土地利用类型各自流入的面积由大到小的顺序依次为草

地 > 农地 > 森林 > 聚落 > 荒漠 > 湿地 + 水体。森林和草地的转入面积为 9 690.02 km<sup>2</sup>,转出面积为 9 310.33 km<sup>2</sup>,农地的转入面积为 5 637.18 km<sup>2</sup>,转出面积为 7 651.22 km<sup>2</sup>;因此,林草地面积总体在增加,而农地面积总体在减少。

表 2 黄土高原土地利用面积转移矩阵

Tab.2 Cross tabulation matrix of land use area of Loess Plateau

km<sup>2</sup>

		2005 年					合计	
		森林	草地	农地	聚落	湿地 + 水体	荒漠	
		Woodland	Grassland	Farmland	Construction	Waterland	Wilderness	
1985 年	森林 Woodland	85 708.74	996.27	292.01	65.91	32.63	61.18	87 156.74
	草地 Grassland	1 655.35	256 176.99	4 351.20	223.70	312.75	1 319.34	264 039.32
	农地 Farmland	1 220.29	3 708.90	198 540.39	1 787.24	443.04	491.75	206 191.61
	聚落 Construction	4.20	6.69	22.82	8 178.13	2.04	0.26	8 214.14
	湿地 + 水体 Waterland	14.46	113.36	585.17	20.17	8 352.27	75.60	9 161.04
	荒漠 Wilderness	153.06	1 817.42	385.98	39.56	64.44	38 787.15	41 247.62
	合计 Total area	88 756.12	262 819.63	204 177.57	10 314.71	9 207.17	40 735.29	616 010.48

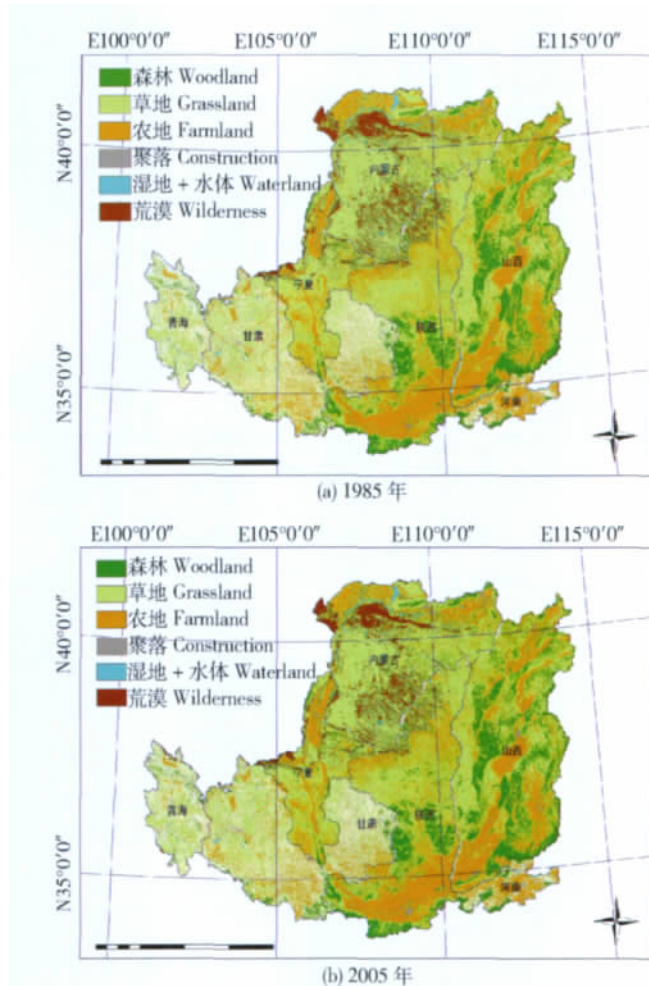


图 1 黄土高原地区 1985 和 2005 年土地利用图

Fig.1 Land use map of Loess Plateau in 1985 and 2005

3.2 土地资源数量变化

根据式 (1)、(2) 和 (3) 计算得到黄土高原地区

单一土地利用类型动态度、空间动态度和综合动态度值(表 3)。

表 3 黄土高原 1985—2005 土地利用动态度

Tab. 3 Dynamic degrees of land use in Loess Plateau between 1985 and 2005

%

动态度 Dynamic degree	森林 Woodland	草地 Grassland	农地 Farmland	聚落 Construction	湿地 + 水体 Waterland	荒漠 Wilderness
单一土地利用动态度 Dynamic degrees of one type of land use	0.092	-0.023	-0.049	1.279	0.025	-0.062
空间动态度 Spatial dynamic degrees of land use	0.258	0.275	0.322	1.322	0.908	0.534
综合土地利用动态度 Comprehensive dynamic degrees of land use				0.165		

依据表 3 可知,黄土高原地区 1985—2005 年,土地利用类型中草地的单一动态度值最小,平均每年的转移率为 -0.023%。说明在研究时段内草地向其他类型的转移量很小,是最稳定的土地利用类型。而最活跃的土地利用类型为聚落,平均年变化率为 1.279%。

黄土高原地区 1985—2005 年的土地利用类型变化中,聚落的空间动态度值最大,湿地 + 水体次之,表明在研究时段内,其他土地类型向聚落和湿地 + 水体的转移程度剧烈,幅度很大,空间上呈现扩张的发展趋势。

3.3 黄土高原土地利用变化引起生态系统服务价值变化

如表 4 所示,1985 年黄土高原地区生态系统服务总价值为 3 048 亿 1 187 万元,2005 年为 3 053 亿 863 万元,20 年间增加 4 亿 9 676 万元,约 0.01%。1985—2005 年,草地、农地、聚落和荒漠的生态系统服务价值均在减少,其中,农地的生态系统服务价值减少量最大,而森林和湿地 + 水体的生态系统服务

价值在增加,其中森林的服务价值增加更多。森林和湿地 + 水体生态系统服务价值的增加值不仅抵消了其他土地利用类型生态系统服务价值的减少值,还使总的生态系统服务价值增加。

在生态系统服务价值组成中,森林的生态系统服务价值最大,2005 年为 1 029 亿 6 065 万元,其次是草地;但是,比较 2005 年森林生态系统服务价值占总价值的比例和森林面积占总区域面积的比例可以看出,森林的生态系统服务价值约为总价值的 34%,而森林的面积约占总面积的 14%。虽然草地面积比例最大,约为 43%,但其生态系统服务价值占总价值的比例仅约为 33%。造成这种现象的原因在于不同土地利用类型的生态系统服务价值系数存在差异。虽然草地、农地等利用类型的面积在减少;但由于森林、湿地 + 水体的生态价值系数较高,如湿地 + 水体生态价值系数是草地的近 8 倍(表 2),因此,森林和湿地 + 水体生态系统服务价值的增加值抵消了草地、农地等减少的生态系统服务价值,使得总价值增加了。

表 4 1985—2005 年各土地利用类型的生态系统服务价值总量及其贡献率

Tab. 4 Ecosystem service values and contribution rates of land use types from 1985 to 2005

土地利用类型 Type of land use	1985 年		2005 年		1985—2005 年	
	生态系统服务价值总量 Total value of ecosystem service function / (10 <sup>8</sup> yuan·a <sup>-1</sup> )	贡献率 Contribution rate / %	生态系统服务价值总量 Total value of ecosystem service function / (10 <sup>8</sup> yuan·a <sup>-1</sup> )	贡献率 Contribution rate / %	变化量 Amount of change / 10 <sup>8</sup> yuan	年变化率 Rate of change per year / %
森林 Woodland	1 011.053 0	33.17	1 029.606 5	33.72	18.553 5	0.09
草地 Grassland	1 014.940 8	33.30	1 010.252 4	33.09	-4.688 4	-0.02
农地 Farmland	756.430 4	24.82	749.041 8	24.53	-7.388 7	-0.05
聚落 Construction	-10.715 0	-0.36	-13.455 1	-0.44	-0.080 0	0.91
湿地 + 水体 Waterland	267.217 9	8.77	268.563 3	8.80	1.345 5	0.03
荒漠 Wilderness	9.191 6	0.30	9.077 5	0.30	-0.114 2	-0.06
总价值 Total value	3 048.118 7	100	3 053.086 3	100	4.967 6	0.01

黄土高原地区生态系统服务功能变化情况见表 5。可以看出,1985—2005 年,黄土高原地区除了在废物处理和食物生产方面生态服务功能有所减少外,其余生态服务功能都有所增加,其中原材料增加最大,其次是水源涵养和气体调节,分别占总变化量的 41.66%、39.95% 和 39.11%。这是由于原材料、水源涵养和气体调节功能的实现主要是由森林、草地和湿地+水体来提供的,虽然草地面积所占比例最大,且在减少;但由于其生态服务价值系数远小于森林和湿地+水体,从而抵消了草地减少造成原材

料、气体调节和水源涵养服务功能的下降,并且使这些类型的服务功能价值总体上呈现增加。土壤形成与保护、气候调节、娱乐文化和生物多样性保护的生态系统服务功能均与森林和湿地+水体相关,因此,森林和湿地+水体面积的增加使其相关的生态系统服务功能值增加,进而使生态系统服务功能增加;然而,由于聚落面积的剧烈增加使废物处理生态系统服务功能大量减少,食物生产主要是由农地提供的,研究时段内,农地面积在减少,因此,食物生产功能是减少的。

表 5 1985—2005 年黄土高原地区生态系统服务功能变化情况  
Tab. 5 Changes of ecosystem service function values in Loess Plateau from 1985 to 2005

10<sup>8</sup> yuan

年份 Year	气体调节 Gas regulation	气候调节 Climate regulation	水源涵养 Water conservation	土壤形成 与保护 Soil formation and control	废物处理 Waste treatment	生物多 样性保护 Biodiversity protection	食物生产 Food production	原材料 Raw materials	娱乐文化 Recreation and culture	合计 Total
1985	333.526 0	394.140 6	412.956 5	618.566 6	501.723 8	400.946 0	157.390 5	138.463 6	90.405 1	3 048.118 6
2005	335.468 9	395.128 4	414.941 0	619.071 4	497.936 6	402.217 8	156.214 2	140.533 0	91.574 9	3 053.086 3
变化量 Amount of change	1.942 9	0.987 8	1.984 5	0.504 8	-3.787 2	1.271 8	-1.176 3	2.069 4	1.169 8	4.967 7

### 3.4 黄土高原生态补偿标准和机制探讨

生态系统服务价值化是确定生态补偿标准的基础和依据<sup>[25]</sup>。基于以上对生态系统服务价值的分析,结合黄土高原实际情况,确定生态补偿标准。

由于国家在黄土高原地区施行退耕还林(草)等环境保护政策,该地区 20 年间,森林面积增加 1 557.12 km<sup>2</sup>,引起生态服务价值增加 18 亿 5 535 万元,农地面积减少 2 258.64 km<sup>2</sup>,生态服务价值减少 7 亿 3 887 万元,总的生态服务价值增加了约 5 亿元。

退耕还林(草)使研究区的生态发展和经济建设得到了巨大的效益;因此,在进行生态补偿时需要依据“谁污染谁治理,谁受益谁补偿”的原则,从国家保护生态环境和促进生态健康发展的角度进行生态补偿标准分析。粮食产量按 15 000 kg/hm<sup>2</sup> 计算,价格按每 50 kg 为 102 元<sup>[26]</sup> 计算,黄土高原地区农地面积减少 2 258.64 km<sup>2</sup>,导致农民损失 69 亿 1 144 万元;因此,经济效益转移引起农民直接经济效益减少,国家在确保粮食安全的前提下,为鼓励农民进行退耕还林(草),应对农民进行一定的补偿。按照 20 年计算,每年应补偿农民 3 亿 4 557 万元。同时,为了使森林的生态效益功能得到保障,国家还需要给农民进行管护成本的补偿,按照人工费为 7 500 元/hm<sup>2</sup>,药品费为 200 元/hm<sup>2</sup> 计算,得出 20 年增加的

林地面积需要管护费 16 亿 3 498 万元;因此,国家每年应支付农民生态补偿费 8 175 万元。

## 4 结论与讨论

1) 1985—2005 年,黄土高原地区的土地利用类型主要为草地和农地,占土地利用方式的 75% 以上。在国家退耕还林(草)政策的指导下,该地区农地面积总体在减少,森林面积在不断增加。

2) 草地是黄土高原地区最稳定的土地利用类型,而聚落是最活跃的土地利用类型;聚落和湿地+水体这 2 种土地利用类型在空间上呈现扩张的发展趋势。

3) 研究时段内,黄土高原地区土地利用变化较快,森林和湿地+水体的生态系统服务价值在增加,草地、农地、聚落和荒漠的生态系统服务价值均在减少,但生态系统服务价值总量在增加。除了与聚落、农地和荒漠相关的废物处理和食物生产服务功能下降外,其他生态系统服务价值均表现为增加。

4) 以生态系统服务价值为依据,初步确定黄土高原的生态补偿标准。国家对农地减少造成的经济效益转移,每年应给农民补偿 3 亿 4 557 万元,同时,应支付农民对林地的管护费用为 8 175 万元/年。

在进行生态补偿标准的制定中,只考虑了土地

利用中的主要利用方式,即对农地减少和管护林地进行生态补偿标准的计算,而对于其他土地利用变化带来的生态效益影响的补偿还有待进一步完善。

## 5 参考文献

- [1] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评估[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 607-613
- [2] 蔡邦成,陆根法,宋莉娟,等. 土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(9): 3005-3010
- [3] 张志强,徐中民,程国栋,等. 生态系统服务与自然资源价值评估[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1918-1926
- [4] 肖玉,谢高地,安凯. 莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 676-680
- [5] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land use and land cover change science/research plan [R]. Stockholm: IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7, 1995
- [6] 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
- [7] 闵捷,高魏,李晓云. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 170-174
- [8] 王成,魏朝富,邵景安,等. 区域生态服务价值对土地利用变化的响应:以重庆市沙坪坝区为例[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1485-1489
- [9] 余新晓,泰永胜,陈而华,等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 783-786
- [10] Shao Hui, Gao Jian'en, Wang Fei, et al. The GIS assessment of changes in land use covers and hillslope conversion potential in the Loess Plateau [J]. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(18): 4199-4209
- [11] 幸定武,高建恩. WEPP 在黄土高原坡面径流调控中的适用性研究[J]. 人民黄河, 2008, 30(4): 66-68
- [12] 田均良,彭祥林. 黄土高原土壤地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994: 110-115
- [13] 刘东生,丁梦麟. 黄土高原·农业起源·水土保持[M]. 北京:地震出版社, 2004: 56-60
- [14] 邵辉,高建恩,张元星,等. 基于 GIS 的黄土高原流域坡地资源分析评价[C]//现代节水高效农业与生态灌区建设, 2010: 36-44
- [15] 张路路. 基于 RS 和 GIS 的土地利用变化及生态效应研究[D]. 保定:河北农业大学, 2011: 15-20
- [16] 刘纪元,布和敖斯尔. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究:基于卫星遥感数据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(3): 229-239
- [17] 刘盛和,何书金. 土地利用动态变化的空间分析测算模型[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 533-540
- [18] 刘纪远. 国土资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1996: 158-188
- [19] 余新晓,张晓明,牛丽丽,等. 黄土高原流域土地利用/覆被动态演变及驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 219-225
- [20] 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
- [21] Howarth R B, Farber S. Accounting for the value of ecosystem services [J]. Ecol Econ, 2002, 41: 421-429
- [22] 许奠勤,吴世新,刘朝霞,等. 塔里木河下游垦区绿洲生态系统服务的价值[J]. 干旱区地理, 2003, 26(3): 208-216
- [23] 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): 189-195
- [24] 谢高地,肖玉,甄霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13
- [25] 王坤. 基于 GIS 的吉林省生态系统服务功能价值与生态补偿研究[D]. 长春:东北师范大学, 2009: 13326-13327
- [26] 国家发展和改革委员会. 关于提高 2012 年小麦最低收购价格的通知[EB/OL]. [2012-01-23]. [http://jgs.ndrc.gov.cn/jggs/lsgj/t20110929\\_436492.htm](http://jgs.ndrc.gov.cn/jggs/lsgj/t20110929_436492.htm)

(责任编辑:宋如华)