

# 基于 GIS 的陕北黄土高原土地生态系统水土保持价值评价

李 晶, 任志远

(陕西师范大学旅游与环境学院, 西安 710062)

**摘要:** 【目的】土壤侵蚀是导致人类赖以生存且日趋紧缺的土地资源退化和损失的主要原因, 这种损失正在全球悄然进行。定量计算区域土地生态系统水土保持的价值量, 为区域土地的持续利用与生态环境和社会经济协调发展提供科学决策依据。【方法】本文根据陕北黄土高原的特点, 采用无植被覆盖的潜在土壤侵蚀量来估算各生态系统土壤保持量, 然后利用估算的土壤保持量, 采用市场价值法、机会成本法和影子工程法从保护土壤肥力、减少表土损失和减轻泥沙淤积 3 个方面来评价水土保持的经济效益。【结果】而从整个时间段上来看, 2000 年比 1978 年的土壤保持量增长 94.18%, 接近一倍。1978~2000 年期间陕北黄土高原水土保持价值是逐渐增加的, 1978~1990 年期间比 1990~2000 年期间增加的要快。1978 年的陕北黄土高原的水土保持价值为 18.503 亿元; 1990 年比 1978 年陕北黄土高原水土保持价值增加了近 8 亿元; 而 2000 年比 1990 年增加了 2.414 亿元。【结论】近 20 多年的时间里, 1978~1990 年时间段增长幅度比 1990~2000 年的增长幅度要大, 这与植被覆盖度有着密切的关系。针对陕北黄土高原所进行的一系列水土保持治理工作, 已经取得了巨大的成绩。从空间分布上来看, 通过对研究区三类不同地貌类型区进行水土保持价值评价, 其结果为, 南部低山丘陵区 > 北部风沙过渡区 > 中部黄土丘陵区。

**关键词:** 水土保持; 土地生态系统; 土壤保持量; 水土保持价值量; 陕北黄土高原

## Research on the Value of Soil and Water Conservation in Loess Plateau in Northern Shaanxi Province

LI Jing, REN Zhi-yuan

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062)

**Abstract:** 【Objective】 Soil erosion is the first cause for the degeneration and losses of land resources which is essential for human beings, and this kind of loss gradually becomes a global phenomenon. The purpose of this paper is to quantitatively calculate the value of ecosystem soil and water conservation and provide a scientific decision-making basis for sustainable usage of land and the harmonious development of regional socio-economic development. 【Method】 Based on the characteristics of North Shaanxi Loess Plateau, this paper used potential soil erosion quantity without vegetation cover to evaluate the soil conservation quantity of each ecological system, and then used the estimated soil conservation quantity to evaluate the economic benefit of water and soil conservation from the three aspects of protecting soil fertility, reducing surface soil loss and sediment accumulation with the market value method, opportunity cost method and shadow project approach. 【Result】 During the entire time, the maintenance of soil increased by 94.18%, nearly doubled from 1978 to 2000. The conservation value from 1978 to 2000 increased gradually, and the increasing speed between 1978-1990 was higher than that of 1990-2000. The water and soil conservation value of North Shaanxi Loess Plateau in 1978 is ¥1.8503 billion; and that in 1990 was almost ¥0.8 billion higher; while the value of 2000 was ¥0.2414 billion higher than that of 1990. 【Conclusion】 The increase in the period from 1978-1990 is larger than that of 1990 to 2000, this is closely related to the vegetation cover degree, this also shows that in nearly 20 years, a series of water and soil conservation projects in North Shaanxi Loess Plateau has gained huge success. From the special distribution, water and soil conservation values of the three different landscapes were studied, and the result was that the south hill areas > north wind drift sand region > middle loess hills.

收稿日期: 2007-04-04; 接受日期: 2007-05-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40371003), 教育部重点项目 (01158)

作者简介: 李 晶 (1977-), 女, 吉林省吉林市人, 讲师, 博士, 研究方向为城乡国土资源评价与地理信息系统。E-mail: lijing@snnu.edu.cn

**Key words:** Soil and water conservation; Land ecosystem; Soil conservation quantity; Value of soil conservation quantity; North Shaanxi Loess Plateau

## 0 引言

【研究意义】土壤侵蚀是导致人类赖以生存且日趋紧缺的土地资源退化和损失的主要原因。中国每年流失到江河的泥沙量多达 50 多亿吨,由此引发了河流淤积,河床抬高,水库淤积,库容减少,严重危及到中国的水利建设和防洪能力。土壤侵蚀不仅造成大量的水土资源流失,而且导致三方面环境危害:土地退化,洪水隐患,水质污染。到目前为止,国内外土壤流失预报及其水土保持价值研究已取得了丰硕的成果,随着可持续发展战略的提出,生态系统服务功能价值研究成为近几年的热点,而土壤保护正是生态系统的基本服务功能。因此,防止水土流失,对水土流失进行预报和水土流失损失进行评估成为中国生态建设的重要内容<sup>[1-3]</sup>。【前人研究进展】在土壤侵蚀与土地利用变化的交叉研究上,传统的径流小区法最早被用于研究不同土地利用类型的水土流失特征(如地表径流系数、土壤侵蚀模数、有机质流失量等,并以此来决定土壤侵蚀模型各侵蚀因子在不同土地利用类型下的赋值<sup>[4,8-10]</sup>。如阮伏水<sup>[5]</sup>在福建花岗岩坡地的土壤侵蚀试验结果表明,香根草带间作和牧草覆盖等土地利用方式相比于松耕具有良好的水土保持效益,而在利用水土流失方程 USLE 进行土壤侵蚀预测时未扰动自然裸露坡地的地表覆盖因子取值应在 0.1~0.3 之间。王本贤等<sup>[6]</sup>通过野外径流观测和有机质流失测定研究了苏南丘陵区不同土地利用状况的蓄水保土功能。傅伯杰等<sup>[7]</sup>则采用在流域出口建坝观测和样地实测的方法,在校正 LISEM (limburg soil erosion model) 模型的基础上模拟了不同土地利用方案的水土流失效应。【本研究切入点】本文利用环境经济学原理和方法对陕北黄土高原区水土保持物质量和价值量进行了量化评价,为实现本地区绿色核算提供了科学定量的政策依据。【拟解决的关键问题】确定区域土壤侵蚀价值评价指标体系,测评不同时期土地利用/土地覆盖结构特征下,各类型生态土壤保持服务功能的经济价值,采用市场价值法、机会成本法和影子工程法从保护土壤肥力、减少表土损失和减轻泥沙淤积 3 个方面来评价水土保持的经济效益。

## 1 材料与方法

### 1.1 区域概况

陕北黄土高原,主要包括榆林、延安及铜川 3 个地级市,共 25 个县 4 个市辖区,9 689 个行政村。位于东经 107.3°~111.4°和北纬 34.8°~39.59°之间。北与内蒙古自治区、西与甘肃省、东与山西省毗邻,南与渭南市、咸阳市相连接(图 1)。土地面积 83 990.067 km<sup>2</sup>,占陕西省土地总面积的 40.81%,人口 605.9 万人,占陕西省总人口的 17.31%。陕北黄土高原地貌形态复杂多样,陡坡沟多,土地利用类型多种多样,农牧、农林交错性特征明显,长期以来水土流失和风沙危害尤为严重。

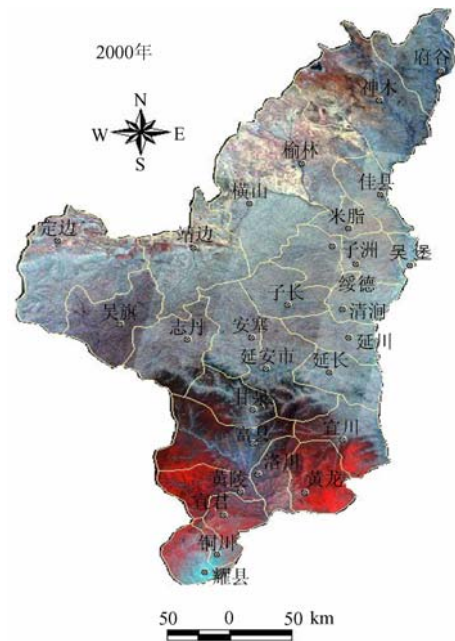


图 1 陕北黄土高原影像图

Fig. 1 The image in Loess Plateau in Northern Shaanxi Province

### 1.2 数据来源与分析方法

本研究选用数据源为 1978、1990、2000 年 landsat-7ETM 影像,辅以陕北黄土高原地区土地利用类型图、土壤植被分布图、自然地理基础资料和野外样点调查资料(榆林、安塞、延长等实测气象、水土调查资料)。数据处理平台包括 Erdas8.7、Arcgis9.0 及 Arcview3.3。首先用 Erdas8.7 对研究区域 2000 年的遥感影像进行景观分类,而后导入 Arcgis9.0 中,实现

影像的空间分析。为了反映土地利用/土地覆盖变化的空间特征，同时消除比例尺造成的面积误差以及在进行空间叠加过程中避免边界不完全一致而出现的细小图斑问题，按照 1 km 栅格成分图的设计思想，以 300 m×300 m 栅格数据作为数据综合的平台，获取和表现陕北黄土高原 20 年来的耕地、城镇和森林等土地利用类型的变化。栅格图的生成是利用 Arc/info 中的

fishnet 命令，生成的栅格图中每个网格具有唯一的标示号（ID 值）。

### 1.3 测评模型

1.3.1 水土保持价值估算的技术体系 水土保持价值遥感测量的技术体系如图 2 所示。模型的数据来源主要有四条途径：气象数据、遥感数据、地面观测与统计资料和地形图。

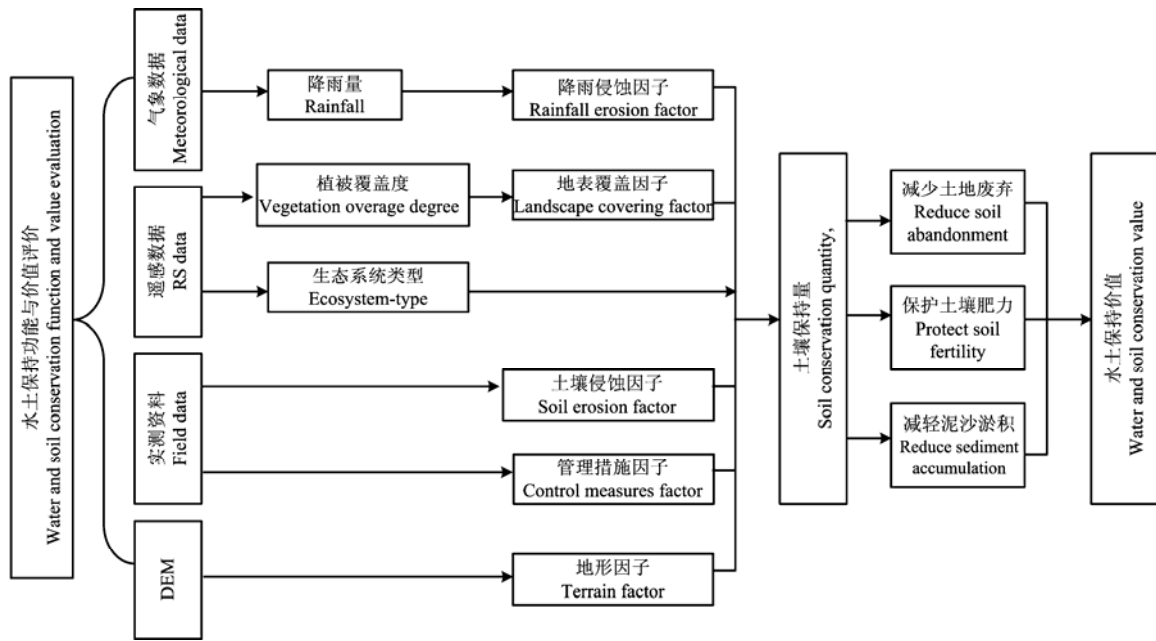


图 2 陕北黄土高原水土保持价值计算技术路线图

Fig. 2 The route of soil and fertilization conservation value in Loess Plateau in Northern Shaanxi Province

遥感影像数据一方面用于生态系统类型的划分和面积估算，另一方面用于生态系统净初级生产力、植被覆盖度等生态参数的反演。

生态系统保护土壤主要通过减少表土损失量，保护土壤肥力，减轻泥沙淤积等灾害 3 个相互联系的生态过程来实现其经济价值<sup>[11,12]</sup>。在估算过程中，首先采用无植被覆盖的潜在土壤侵蚀量来估算各生态系统土壤保持量，然后利用估算的土壤保持量，采用市场价值法、机会成本法和影子工程法从保护土壤肥力、减少表土损失和减轻泥沙淤积 3 个方面<sup>[17,18]</sup>来评价水土保持的经济效益，最后得到水土保持价值空间分布图。

1.3.2 土壤侵蚀量和保持量的估算方法 包括现实土壤侵蚀量和潜在土壤侵蚀量，潜在土壤侵蚀量不考虑地表覆盖类型和土地管理因素，即 C=1, P=1, 此

时，USLE<sup>[15]</sup>的形式为：

$$A_p = R \times K \times LS$$

式中， $A_p$  为潜在土壤侵蚀量 ( $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ )； $R$  为降雨侵蚀力指标； $K$  为土壤可侵蚀因子； $LS$  为坡长坡度因子。

现实土壤侵蚀量考虑了地表覆盖类型和土地管理因素，其计算式为：

$$A_r = R \times K \times LS \times C \times P$$

式中， $A_r$  为现实土壤侵蚀量 ( $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ )； $C$  为地表覆盖因子； $P$  为土壤保持措施因子；其它同上。

从而，得到土壤保持量：

$$A_c = A_p - A_r$$

式中， $A_c$  为土壤保持量 ( $t \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ )；其它同上。

#### (1) $R$ 值的估算

根据实测数据提出的  $R$ <sup>[16,17]</sup>值计算式。

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-1.5527 + 0.1792P_i)$$

式中， $R$  为年降雨及径流因子； $P_i$  为月降雨量 (mm)。

利用陕北 1951~2003 年的月降水量和年降水量实测资料计算出陕北各年及研究期 15 年内平均  $R$  值。再运用地理信息系统将陕北各气象站经纬度叠加在陕北气候图上，将点数据空间化（进行点内插，得到栅格图），得到陕北各地的  $R$  值分布特征。

#### (2) $K$ 值的估算

游松财等<sup>[10]</sup>采用 Wischmeier 等提出的土壤可蚀性因子  $K$  值的计算关系式。

$K=10^{-3} (160.80-2.31X_1+0.38X_2+2.26X_3+1.31X_4+14.67X_5)$   
式中， $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$  分别表示细砾 (1~3 mm) 百分含量 (%)、细砂 (0.05~0.25 mm) 百分含量 (%)、粗粉粒 (0.01~0.05 mm) 百分含量 (%)、细粉粒 (0.005~0.01 mm) 百分含量 (%) 和有机质含量 (10 g·kg<sup>-1</sup>)。

#### (3) $LS$ 值的估算

本文利用 DEM 数据，采用 RUSLE 中提出的栅格单元坡长因子计算公式，即：

$$L = (\lambda/22.1)^m$$

式中， $L$  为坡长因子，无量纲， $\lambda$  为栅格单元水平投影长度 (m)，不是坡面长度； $m$  为坡长指数，与细沟侵蚀（由水流引起）和细沟间侵蚀（主要由雨滴打击引起）的比率有关，可以用以下公式计算：

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

式中， $\beta$  为细沟侵蚀和细沟间侵蚀的比率，由下式计算：

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

在 USLE 以及中国黄土高原地区相关研究基础上建立了研究区黄土坡度因子 ( $S$ ) 计算公式<sup>[16]</sup>，即：

$$S = (\theta/6)^{1.3} = 0.0974\theta^{1.3}$$

其它类型坡地  $S$  因子的计算采用了 USLE 的  $S$  因子计算公式，即：

$$S = 65.41 \sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.065$$

以上公式中的  $\theta$  均为坡度。

#### (4) $C$ 值的估算

一般认为归一化植被指数比较真实地反映了植被的分布，根据实地测量结果，因而选择求取的植被丰度图与归一化植被指数进行对比统计分析。二者的相关性达到 0.77，线性回归方程为：

$$fc = 108.49NDVI + 0.717$$

式中， $fc$  为植被覆盖度 (%)； $NDVI$  为归一化植被指数。

地表覆盖因子是根据地面植被覆盖状况不同而反映植被对土壤侵蚀影响的因素，与土地利用类型、覆盖度密切相关。 $C$  值的估算采用如下公式：

$$c = \begin{cases} c = 1, fC = 0 \\ c = 0.6508 - 0.3436 \lg fC, 0 < fC < 78.3\% \\ c = 0, fC > 78.3\% \end{cases}$$

式中， $fc$  表示植被覆盖度。

#### (5) $P$ 值的估算

$P$  为土壤保持措施因子。陕北黄土高原农作物耕作方式为等高耕作，经过实地验证，人工植被的  $P$  值为 0.15，其余植被类型基本上没有采取水土保持措施，因此取值为 1.00。

**1.3.3 水土保持价值评估方法** 植被的保土功能，对维持生态平衡，保证国民经济持续快速健康的发展有重要意义。因此，人们对植被保土功能价值的计量，历来给予高度重视。植被的保土功能价值主要包括 3 个方面<sup>[10,16,17]</sup>：一是减少表土损失的价值，二是减少养分损失的价值，三是减少淤积损失的价值。本文采用市场价值法、机会成本法和影子工程法来评价水土保持的经济效益。

##### (1) 保护土壤肥力

土壤侵蚀使大量土壤营养物质流失，主要表现在氮、磷、钾等营养物质和有机质的流失。然后采用市场价值法，该方法是利用因环境质量变化引起的产值和利润的变化来计量环境质量变化的经济效益或经济损失。具体是利用氮、磷、钾的市场价格来计算其价值。

$$E_f = \sum_i A_c \cdot C_i \cdot P_i / 10000 (i = N, P, K)$$

式中， $E_f$  为保护土壤肥力的经济效益 (元/(m<sup>2</sup>·a))； $A_c$  为土壤保持量 (t·ha<sup>-1</sup>·a<sup>-1</sup>)； $C_i$  为土壤中氮、磷、钾的纯含量； $P_i$  为氮、磷、钾的价格。

##### (2) 减少土地废弃

根据土壤保持量和土壤表土平均厚度 (0.6 m) 来推算因土壤侵蚀而造成的废弃土地面积，再根据机会成本法计算因土地废弃而失去的年经济价值。机会成本法指在决定环境资源的某一特定用途时，不直接计算从该种用途可能获得的收益或损失，而是从被放弃的其它用途的损益间接求得。

$$E_s = A_c \times B \div P \div 0.6 \div 10\,000$$

式中,  $E_s$  为减少土地废弃的经济效益(元/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ));  $A_c$  为土壤保持量 ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ );  $P$  为土壤的容重 ( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $B$  为林业年均收益 (元/ha)。

### (3) 减轻泥沙淤积的经济效益

按照中国主要流域的泥沙运动规律, 全国土壤侵蚀流失的泥沙有 24% 淤积于水库、江河、湖泊, 这部分泥沙直接造成了水库江河、湖泊蓄水量的下降, 在一定程度上增加了干旱、洪涝灾害发生的机会, 因此可根据蓄水成本计算损失价值。该方法指在环境破坏后, 人工建造一个工程来代替原来的环境功能, 以该工程的投资成本作为环境污染的损失。

$$E_n = A_c \times 24\% \times C \div P \div 10\,000$$

式中,  $E_n$  为减轻泥沙淤积的经济效益 (元/( $\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ));  $A_c$  为土壤保持量 ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ );  $P$  为土壤的容重 ( $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ );  $C$  为水库工程费用 (元/ $\text{m}^3$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤侵蚀量

在地理信息系统支持下, 按照通用土壤流失方程 (USLE) 及其修改式计算了 1978、1990 和 2000 年陕北黄土高原潜在土壤侵蚀量和现实土壤侵蚀量 (表 1)。

从 1978~2000 年陕北黄土高原潜在土壤侵蚀量是不断增加的。1978 年陕北黄土高原潜在土壤侵蚀量平均为  $237.94 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 1990 年潜在土壤侵蚀量平均

为  $326.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 1990 年比 1978 年增长近 48%; 2000 年潜在土壤侵蚀量平均为  $448.04 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 2000 年比 1990 年增长 37.46%。2000 年比 1990 年增长的幅度小于 1978 年比 1990 年的增长速度。1978 年陕北黄土高原土壤保持量平均为  $149.46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 从保持总量上, 林地最高, 为  $83.61 \times 10^8 \text{ t}$ , 占整个陕北黄土高原土壤保持总量的 63.47%, 草地次之, 占总量的 30.22%; 平均量上, 林地为  $320.17 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 牧草地和园地次之, 分别为  $221.28$  和  $217.24 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ , 水域等其它类型土壤保持量都非常少, 这与植被覆盖度和植被净第一性生产力的分布是一致的, 说明高植被覆盖类型分布区的植被能有效可防止和控制土壤流失。1990 年陕北黄土高原土壤保持总量为  $267.17 \times 10^8 \text{ t}$ , 其中林地最高, 占总量的 42.78%; 其次是牧草地, 占总量的 34.27%; 再次是耕地, 占总量的 20.64%。2000 年陕北黄土高原土壤保持总量  $357.27 \times 10^8 \text{ t}$ 。各土地利用类型保持土壤的排序依然是林地 > 牧草地 > 耕地, 所占总量的比例分别为 51.58%、31.33%、11.89%。1990 年陕北黄土高原的土壤保持总量比 1978 年增长了 45.2%, 2000 年的土壤保持总量比 1990 年增长了 33.72%。而从整个时间段上来看, 2000 年比 1978 年的土壤保持量增长 94.18%, 接近一倍。1978~1990 年时间段增长幅度比 1990~2000 年的增长幅度要大, 这与植被覆盖度有着密切的关系, 同时也表明近 20 多年的时间里, 针对陕北黄土高原所进行的一系列水土保持治理工作, 已经取得了巨大的成绩。

表 1 1978、1990、2000 年陕北黄土高原土壤保持量

Table 1 The matter amount of soil and fertilization conservation in Loess Plateau in northern Shaanxi Province ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ )

土地利用类型 Land utilization type	1978 年潜在土壤侵蚀量 Potential soil erosion quantity	1978 年现实土壤侵蚀量 Actual soil erosion quantity	1978 年土壤保持量 Soil conservation quantity	1990 年潜在土壤侵蚀量 Potential soil erosion quantity	1990 年现实土壤侵蚀量 Actual soil erosion quantity	1990 年土壤保持量 Soil conservation quantity	2000 年潜在土壤侵蚀量 Potential soil erosion quantity	2000 年现实土壤侵蚀量 Actual soil erosion quantity	2000 年土壤保持量 Soil conservation quantity
耕地 Cultivated land	206.61	43.31	163.30	366.43	133.21	233.22	411.10	175.87	235.23
园地 Garden	289.43	72.19	217.24	402.65	93.25	309.40	431.28	86.27	345.01
林地 Forest	345.95	25.78	320.17	498.81	66.60	432.20	599.54	97.70	501.83
牧草地 Grass land	296.84	75.56	221.28	380.30	39.96	340.33	397.40	58.62	338.78
沙地 Sand	313.99	231.01	82.98	344.00	213.13	130.86	587.09	312.65	274.44
水域 Water	186.48	158.82	27.66	251.71	173.17	78.54	371.65	254.03	117.62
未利用地 Nulanduse	26.27	12.69	13.58	39.50	13.32	26.18	58.75	19.54	39.21
平均值 Average value	237.94	88.48	149.46	326.20	104.66	221.53	408.11	143.53	264.59



从空间分布上来看(图 3)，在 1978~2000 年的 22 年时间里，陕北风沙过渡区如榆林、横山等土壤保持量比较小，土壤保持量平均值只有  $62.03 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ ，而且逐年增大。中部是丘陵沟壑区，1978~2000 年期间，呈现先增加后减少的趋势，土壤保持量平均为  $80.36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ 。南部的陕北黄土丘陵沟壑区，分布着地带性的温带森林草原，是森林向草原的过渡地带。由于植被覆盖较好，土壤保持量平均值较大，都在  $200 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$  以上。但是从 1978 年到 2000 年的土壤保持量平均值的分布图上可以看出，平均值较大的地区明显南移，这主要与近年的气候条件有着密切关系。

### 2.2 水土保持价值

根据公式计算得出 1978 年到 2000 年陕北黄土高原不同土地类型因防止土壤侵蚀而减少土地废弃，保持营养物质和减轻泥沙淤积 3 方面的价值。1978~2000 年陕北黄土高原水土保持价值是逐渐增加的，1978~1990 年期间比 1990~2000 年期间增加的要快。1978 年的陕北黄土高原的水土保持价值为 18.503 亿元；1990 年比 1978 年陕北黄土高原水土保持价值增加了近 8 亿元；而 2000 年比 1990 年增加了 2.414 亿元(表 2)。

从空间分布来看，陕北黄土高原的南部即子五岭和黄龙等地，水土保持价值最高，而陕北黄土高原的

北部和中部的部分黄土丘陵地区，水土保持价值相对较低，这与当地的土地利用类型的分布一致，说明了植被分布与水土保持经济效益呈正相关。

从土地利用类型来看，如图 3 所示，从 1978~2000 年里，林地土壤保持价值最高，为 11.286 亿元，占水土保持总价值的 29.33%；其次为牧草地，水土保持总价值 7.226 亿元，占 18.77%；水域土壤保持价值最低，对土壤流失基本没有任何抑制作用，水土保持价值仅为 0.027 亿元。

表 2 1978、1990、2000 年陕北黄土高原水土保持价值量  
Table 2 The value of soil and fertilization conservation in Loess Plateau in northern Shaanxi Province

土地利用类型 Land utilization type	1978 总价值 (亿元) Total value	1990 总价值 (亿元) Total value	2000 总价值 (亿元) Total value
耕地 Cultivated land	4.048	5.633	4.68
园地 Garden	0.151	0.271	1.041
林地 Forest	8.428	11.899	13.531
牧草地 Grass land	5.122	7.834	8.72
沙地 Sand	0.069	0.094	0.099
水域 Water	0.297	0.293	0.272
未利用地 Nulanduse	0.386	0.383	0.473
合计 Total	18.503	26.409	28.815

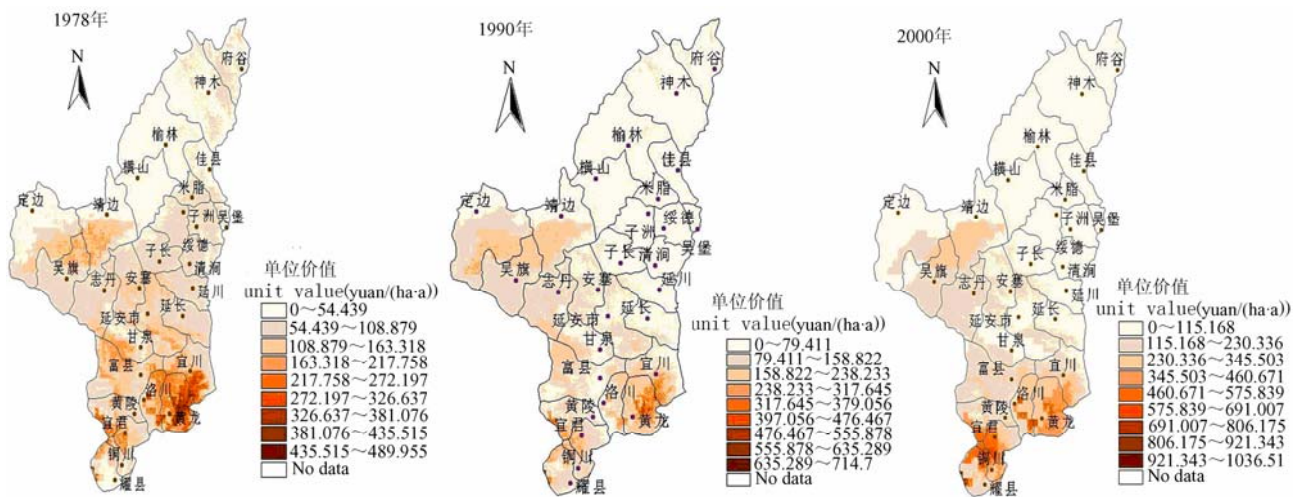


图 3 1978、1990、2000 年陕北黄土高原水土保持价值量分布图

Fig. 3 The value distrubution of soil and fertilization conservation in Loess Plateau in Northern Shaanxi Province

## 3 讨论

土地生态系统是人类赖以生息、生活和发展的物

质基础，也是地表环境变化最主要的调节反馈器，其强大的保土、保肥、保水功能是农业生产赖以维持的自然基础，也是这种生态调节功能及生态服务保证了

农业的持续健康发展。根据对陕北黄土高原保土、保肥物质质量及价值量的测评研究,可以发现对于陕北黄土高原水土流失极为严重的区域,植被的保土、保肥生态功能十分巨大。

在 1978~2000 年的 22 年时间里,陕北风沙过渡区如榆林、横山等地土壤保持量比较小,而且逐年增大。这与当地的地貌景观有关系,当地地势相对平坦,而且地广人稀,农田所占比例较小,天然植被和次生植被多呈连片成块分布,就是在沙漠地区,由于多年来“三北”防护林体系的建设及沙化土地的综合治理,人工植被已随处可见。中部是丘陵沟壑区,1978~2000 年期间,呈现先增加后减少的趋势。2000 年,由于梁峁交错,沟壑纵横,人稠地狭,土地垦殖指数高,稍微连片的地块,包括大量陡坡地都被辟为农田,天然植被主要分布在地楞、崖畔及沟梁等一些难以利用的地段,呈残存状态。人工植被也大多分布在崩缘线以下的塌地上,十分零碎分散,在农田作物收割后,到处可见裸露的荒山秃岭,一片黄土景观,几乎看不到什么植被。因此,土壤保持量减少,几乎接近风沙过渡区平均量的地区面积占到丘陵沟壑区的一半左右。南部的陕北黄土丘陵沟壑区,分布着地带性的温带森林草原,是森林向草原的过渡地带。由于植被覆盖较好,土壤保持平均量较大。

土地生态系统的保土保肥功能及生态服务不仅具有直接的生态价值,而且具有长期的生态功效。它不仅保证了本区农、林、牧等产业的持续发展,而且节约了巨大而复杂的人工保土、保肥开支,有利于将大量物力、人力、财力用于有关产业发展,同时也是最为经济、最方便和最长效的保土保肥措施。

## 4 结论

本文选择中国陕北黄土高原作为研究对象,对研究区存在的实际生态问题,通过野外实地调查与测定,利用遥感和地理信息系统手段与多元统计分析等方法,从分析区域现状主要生态过程入手,研究了区域土壤保土功能及价值的时空分布。

4.1 而从整个时间段上来看,2000 年比 1978 年的土壤保持量增长 94.18%,接近一倍。1978~1990 年时间段增长幅度比 1990~2000 年的增长幅度要大。1978 年到 2000 年陕北黄土高原水土保持价值是逐渐增加的,1978~1990 年期间比 1990~2000 年期间增加的要快。1978 年的陕北黄土高原的水土保持价值为 18.503 亿元;1990 年比 1978 年陕北黄土高原水土保

持价值增加了近 8 亿元;而 2000 年比 1990 年增加了 2.414 亿元。

4.2 通过 3S 技术,对陕北黄土高原土地利用的保土功能价值做时空动态研究,揭示了其变化特征并分析了造就时空差异的原因。陕北黄土高原的南部即子五岭和黄龙等地,水土保持价值最高,而陕北黄土高原的北部和中部的部分黄土丘陵地区,水土保持价值相对较低,这与当地的土地利用类型的分布一致,说明了土地生态系统分布与水土保持经济效益呈正相关。

## References

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [2] Ren Z Y, Zhang Y F, Li J. The value of vegetation ecosystem service: a case of Qingling-Daba Mountains. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13(2): 195-200.
- [3] 史培军, 宫 鹏, 李晓兵. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践. 北京: 科学出版社, 2000: 1-3.  
Shi P J, Gong P, Li X B. *Methodology and Application of Study on Land Use/Cover Change*. Beijing: Science Press, 2000: 1-3. (in Chinese)
- [4] 胡克林, 余 艳, 张凤荣, 王 茹. 北京郊区土壤有机质含量的时空变质及其影响因素. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 764-771.  
Hu K L, Yu Y, Zhang F R, Wang R. The spatial-temporal variability of soil organic matter and its influencing factors in suburban area of Beijing. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(4): 764-771. (in Chinese)
- [5] 阮伏水. 花岗岩不同土地利用类型坡地水土流失特征. *地理研究*, 1995, 14(2): 64-72.  
Ruan F S. A preliminary study on the characteristics of soil and water losses on various sloping land in granite area. *Geographical Research*, 1995, 14(2): 64-72. (in Chinese)
- [6] 王本贤, 张金池, 徐 亮, 王久林, 谈太年. 苏南丘陵区不同土地利用状况的蓄水保土功能研究. *水土保持研究*, 1997, 4(1): 145-154.  
Wang B X, Zhang J C, Xu L, Wang J L, Tan T N. Study on the function of soil and water conservation for different land use in hilly region of south Jiangsu. *Research of Soil and Water Conservation*, 1997, 4(1): 145-154. (in Chinese)
- [7] 傅伯杰, 邱 扬, 王 军, 陈利顶. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响. *地理学报*, 2002, 57(6): 717-722.

- Fu B J, Qiu Y, Wang J, Chen L D. Effect simulation of land use change on the runoff and erosion for a gully catchment of the Loess Plateau, China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(6): 717-722. (in Chinese)
- [8] 王思远, 张增祥, 赵晓丽. GIS 支持下的土壤侵蚀遥感研究——以湖北省为例. *水土保持学报*, 2001, 8(3): 154-157.
- Wang S Y, Zhang Z X, Zhao X L. Remote Sensing Study on Soil Erosion Backed by GIS——Take Soil Erosion in Hubei Province for Example *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 8(3): 154-157. (in Chinese)
- [9] 刘 权, 王忠静. GIS 支持下辽河中下游流域不同土地利用的土壤侵蚀变化分析. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 105-107.
- Liu Q, Wang Z J. Study on changes of soil erosion under different land use patterns in Liao River Basin based on GIS. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(4): 105-107. (in Chinese)
- [10] 游松财, 李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县灌溪乡为例. *自然资源学报*, 1999, 14(1): 62-68.
- You S C, Li W Q. Estimation of soil erosion supported by GIS — A case study in Guanji township, Taihe, Jiangxi. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(1): 62-68. (in Chinese)
- [11] 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价. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.
- Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic evaluation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635-640. (in Chinese)
- [12] 肖 寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例. *应用生态学报*, 2000, 11(4): 481-484.
- Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, Wang X K. Forest ecosystem services and their ecological evaluation——A case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan island. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11(4): 481-484. (in Chinese)
- [13] Yansui Liu, Jay Gao, Wei Deng. Land Use/Cover Changes, the Environment and Water Resources in Northeast China. *Environmental Management* 2005, 36(5):691-701.
- [14] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, 45(1): 17-22.
- Chen Z X, Zhang X S. The value of ecosystems services in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 17-22. (in Chinese)
- [15] 李金昌. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- Li J C. *The Value of Ecosystems*. Chongqing: Chongqing University Press, 1999. (in Chinese)
- [16] 赵景柱, 肖 寒, 吴 刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析. *应用生态学报*, 2002, 11(2): 290-292.
- Zhao J Z, Xiao H, Wu G. Comparison analysis on physical and assessment methods for ecosystems services. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 11(2): 290-292. (in Chinese)
- [17] 任志远, 李 晶. 陕西秦巴山区植被生态功能的价值测评. *地理学报*, 2003, 58(4): 503-511.
- Ren Z Y, Li J. The evaluation of ecological services from the vegetation ecosystems in the Qinling-Daba Mountains. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 503-511. (in Chinese)
- [18] 李 晶, 任志远. 陕北黄土高原土地利用生态服务价值时空研究. *中国农业科学*, 2006, 39(12): 2538-2544.
- Li J, Ren Z Y. The spatial analysis of land use ecological services value in Loess Plateau in northern Shaanxi province. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(12): 2538-2544. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)