

# 黄土高原沟壑区小流域土地利用变化及其生态效应分析\*

李志<sup>1,2,3\*</sup> 刘文兆<sup>1,2</sup> 杨勤科<sup>1,2</sup> 梁伟<sup>1,2</sup> 李双江<sup>1,3</sup> 甘卓亭<sup>1,3</sup> 王兵<sup>1,3</sup> 王锐<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; <sup>3</sup>中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 基于王东沟流域 1994和 2004年两期土地利用图, 通过构建土地利用动态变化模型和区域生态环境指标, 定量分析了王东沟流域 1994) 2004年土地利用时空变化特征, 并以生态系统服务功能衡量了土地利用类型和土地利用变化类型的生态效应. 结果表明, 1994) 2004年王东沟流域农地大幅度减少, 草地和果园大量增加, 林地和非生产地变化不大; 变化速度依次为草地 > 果园 > 非生产地 > 农地 > 林地; 土地利用变化类型多样, 农地转出和林地转入是其主要类型; 土地利用的空间迁移方向为农地和果园向西北方向迁移(塬区), 林地和草地向东南方向(沟壑区)迁移. 1994) 2004年土地利用变化带来了良好的生态效益, 但不同土地类型和不同土地变化类型的生态效应不同, 提高和降低生态系统服务功能的作用并存. 农地减少对生态环境产生负面作用, 林草和果园的增加改善了生态环境, 提高了其生态服务价值; 土地利用变化类型中, 改善生态环境的主要是转为林地和果园的变化类型, 降低生态系统服务功能的主要是林地转出类型和农地转为非生产地类型.

**关键词** 黄土高原沟壑区 王东沟流域 土地利用变化 生态效应 生态系统服务  
**文章编号** 1001-9332(2007)06-1299-06 **中图分类号** TP79 **文献标识码** A

Land use/land cover change and their ecological effect in small watershed on gully region of the Loess Plateau LI Zhi<sup>1,2,3</sup>, LIU Wenzhao<sup>1,2</sup>, YANG Qinko<sup>1,2</sup>, LIANG Wei<sup>1,2</sup>, LI Shuangjiang<sup>1,3</sup>, GAN Zhuoting<sup>1,3</sup>, WANG Bing<sup>1,3</sup>, WANG Rui<sup>1,3</sup> (<sup>1</sup>Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>2</sup>College of Resources and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; <sup>3</sup>Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2007, 18(6): 1299-1304

**Abstract** Based on land use data of 1994 and 2004 in Wangdonggou watershed, through developing dynamic model of LUCC and indices of regional ecological environment, this paper quantified the characteristics of LUCC and its ecological effect. The results showed that from 1994 to 2004, farm land decreased while grassland and orchard increased greatly, forest and nonproductive land changed little. The speed of individual land use changes was in the order of grassland > orchard > nonproductive land > farm land > forest land. As to the spatial change, a total of 11 major land use change types were identified, among which the change from farm land to others and from others to forest were the most important land use change. The gravitational center of farm land and orchard moved to the northwest tableland, while those of forest land and grassland moved to the southeast gully land. From 1994 to 2004, owing to LUCC, the ecological environment was improved, but the type of land use and their change took effect differently with both improving and decreasing effect. The decrease of farm land affected ecological environment negatively, while the increase of forest and grassland and orchard improved the ecological environment and its ecosystem service values. Those

\* 中国科学院海外杰出学者基金项目(20052223)、国家自然科学基金重大项目(90202011)和中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX32SW2421).

\*\* 通讯作者. E-mail: lizhibo@126.com

2006204217收稿, 2007203216接受.

improving the ecological environment were from other types of land use to forest and orchard, while those worsening the ecological environment were from forest to others and from farm land to nonproductive land.

**Key words** gully region of Loess Plateau; Wangdonggou watershed; land use/land cover change; ecological effect; ecosystem service

## 1 引言

土地利用覆被变化 (LUCC) 是全球环境变化的重要组成部分和主要原因之一<sup>[1-2, 9-11]</sup>, 可以引起许多自然现象和生态过程的变化, 如土壤养分和水分的变化、地表径流与侵蚀、生物多样性的分布与地球化学循环等<sup>[4, 13, 16]</sup>。但是, 对 LUCC 生态环境效应的综合定量分析和评价仍处于探讨中<sup>[11]</sup>。王东沟流域是黄土高原沟壑区的典型代表, 开展流域综合治理以来, 土地利用发生重大变化, 有些专家学者曾对该流域的土地利用研究方法、变化状况及其水分效应进行过研究<sup>[5-6, 10, 12, 17]</sup>。宋桂琴等<sup>[10]</sup>就土地利用的人地关系进行了探讨; 杨勤科等<sup>[15]</sup>编制流域地块图并讨论了相关问题; 何福红等<sup>[4]</sup>、刘贤赵等<sup>[9]</sup>研究了土地利用变化对流域水分行为的影响; 韩书成等<sup>[3]</sup>对农户土地经营行为与土地利用的关系进行了分析; 李志等<sup>[8]</sup>对 1986) 2004 年的土地利用变化、驱动力和发展趋势进行了探讨。但是, 这些研究都没有从整体生态效应的角度研究土地利用变化状况。本文基于王东沟流域 1994 和 2004 年两期土地利用图, 利用空间分析技术和数理统计方法, 研究了 1994) 2004 年王东沟流域土地利用的空间变化, 并以生态系统服务功能来衡量土地利用类型和土地利用变化类型的生态环境效应, 旨在为该区的生态建设和土地利用规划提供科学依据。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然概况

王东沟流域位于黄土高原沟壑区陕西省长武县洪家乡王东沟村 (35b12c16d) 35b16c00dN, 107b40c30d) 107b42c30dE), 海拔 946~1 226m, 属暖温带半湿润大陆性季风气候, 年平均温度 9.12℃, 年平均降水量 582.13 mm, 其中 52.18% 分布在 7) 9 月, 属典型的雨养农业, 耕作是 3 年轮作的冬小麦) 冬小麦) 春玉米。该区是黄土高原沟壑区的典型代表, 塬区黄土层厚度超过 100 m, 地貌属典型的高原沟壑区, 塬面和沟壑各占 3% 和 6%。土壤属黑垆土, 母质是中壤质马兰黄土, 全剖面土质均匀疏松, 通透性好,

有利于植物生长。需要说明的是, 王东沟流域总面积 61.3 km<sup>2</sup>, 但是对土地利用的前期研究都是基于国家 / 七五 0、/ 八五 0 科技攻关项目 / 长武高塬沟壑区建立高效生态经济系统的综合技术研究 0 进行的, 调查和研究范围包括王东沟流域、回朝沟和白杨沟的一部分, 总土地面积达到 81.3 km<sup>2</sup>。为了能够对其土地利用变化进行比较, 本文中的王东沟流域也是相同的范围。

### 2.1.2 研究方法

**2.1.2.1 数据来源及处理** 采用王东沟流域 1994 年和 2004 年两期土地利用数据。1994 年数据来源于黄土高原水土保持数据库, 通过解译 1994 年航片建立 GIS 支撑下的空间数据库生成。在此基础上, 进行 2004 年土地利用现状图变更调查, 最后清绘成 2004 年土地利用现状图, 进而建立 GIS 支持的空间数据库。在土地利用类型的选取上, 参考陕西省土地利用分类系统和以前的文献<sup>[3-4, 8]</sup>划分 5 个 1 级地类: 农地、林地、果园、草地和非生产地, 其中非生产地包括居民地、道路和难利用地等。

**2.1.2.2 土地利用空间变化指标** 对土地利用空间变化的分析主要包括变化数量、速度、类型和迁移方向等几个方面。其中变化数量为研究期初、末的面积差值; 变化速度利用动态度进行定量描述, 包括单一土地利用动态度和综合土地利用动态度<sup>[7-8]</sup>; 迁移方向参考人口地理学中常用的人口重心计算方法, 可以从空间上反映主要土地利用类型的演变过程。变化数量和速度的计算方法在土地利用中经常出现, 本文不再给出。下面给出迁移方向的计算方法。以地图经纬度表示重心, 第 t 年某景观类型的重心坐标 (经纬度) 可表示如下:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} @ X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ti}}$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} @ Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad (1)$$

式中,  $X_t$ 、 $Y_t$  分别表示第 t 年某土地利用类型分布重心的经纬度坐标,  $X_i$ 、 $Y_i$  分别表示某景观类型第 i 个斑块分布重心的经纬度坐标,  $C_{ti}$  表示第 t 年某景观类型第 i 个斑块的面积。

21213 土地利用变化的生态效应指标 使用生态服务价值来衡量区域的生态环境状况, 具体采用生态服务总价值和土地利用变化类型的生态贡献率两个指标, 前者衡量区域的生态环境质量, 后者定量描述土地利用变化对区域生态环境的作用. 公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^n P_i @ A_i \quad (2)$$

$$r = [(C_{t+1} - C_t) @ P_i] / V_{t+1} \quad (3)$$

式中,  $V$ 为研究区生态服务总价值,  $P_i$ 为单位面积上土地利用类型  $i$ 的生态功能服务价值,  $A_i$ 为研究区内土地利用类型  $i$ 的分布面积,  $r$ 为某一土地利用变化类型对区域生态环境的贡献率,  $C_{t+1}$ 、 $C_t$ 分别是研究期末和期初某一土地利用类型的面积,  $V_{t+1}$ 是研究期末的生态服务总价值.

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用变化

利用 Arc/Info软件对王东沟流域两期(1994和2004年)土地利用数据进行叠加, 导出叠加后得到的土地利用变化图的属性数据, 再用数理统计方法将统计结果转换成不同土地利用类型在研究期内的转移矩阵(表 1). 在表 1中, 行表示研究期初(1994年)的土地利用类型面积, 列表示研究期末(2004年)的土地利用类型面积.

表 1 王东沟流域 1994) 2004年土地利用转移矩阵

Tab 1 Land use/cover change matrix in Wangdonggou watershed from 1994 to 2004 (hm<sup>2</sup>)

土地利用类型 Land use type	1994					合计 Total
	农地 Farmland	林地 Forest	草地 Grassland	果园 Orchard	非生产地 Nonproductive land	
2004农地 Farmland	1291.6	261.2	421.7	1171.9	211.7	3381.1
林地 Forest	61.1	1741.3	291.1	201.9	111.8	2421.2
草地 Grassland	21.9	12.1	161.9	31.3	21.2	371.3
果园 Orchard	31.5	131.6	71.0	871.5	61.9	1181.5
非生产地 Nonproductive land	51.3	281.6	51.0	101.9	441.3	941.1
合计 Total	1471.4	2541.7	1001.7	2401.5	861.9	8301.2

表 2 王东沟流域 1994) 2004年各土地利用类型动态变化指数

Tab 2 Indexes of land use dynamic in Wangdonggou watershed from 1994 to 2004

土地利用类型 Land use type	转出 Output (hm <sup>2</sup> )	转入 Input (hm <sup>2</sup> )	变化面积 Change (hm <sup>2</sup> )	转出率 Output rate (%)	转入率 Input rate (%)	年变化率 Change rate (%)	总动态度 Dynamics (%)
农地 Farmland	2081.4	171.8	- 1901.6	61.17	01.53	- 51.64	61.69
林地 Forest	671.9	801.4	121.5	21.80	31.32	01.51	61.12
草地 Grassland	201.4	831.7	631.3	51.48	221.44	161.97	271.92
果园 Orchard	311.0	1531.0	1221.0	21.61	121.92	101.30	151.53
非生产地 Nonproductive land	491.8	421.6	- 71.2	51.29	41.53	- 01.76	91.82

31111 数量和速度 按照相关计算公式<sup>[7-8 17]</sup>对表 1进行计算, 可得到王东沟流域土地利用变化的数量和速度(表 2). 10年间, 王东沟流域各土地利用类型有大量的转出和转入, 说明其土地利用结构和布局都发生了重大变化. 果园用地和草地大幅度增加, 分别达 141.70%和 71.63%; 农地大幅度减少, 减幅达到了 1901.6 hm<sup>2</sup>, 占 1994年农地面积的 221.96%; 非生产地和林地面积也有所变化. 1994) 2004年各土地利用类型面积变化大小依次为农地 > 果园 > 草地 > 林地 > 非生产地.

从 1994) 2004年王东沟流域土地利用年变化率来看, 农地的转出率较高, 草地和果园的转入率较高. 农地平均每年递减 51.64%, 而草地和果园的年平均递增率分别是 161.97%和 101.30%. 相对而言, 林地和非生产地的年变化率不大, 分别为 01.51%和 - 01.76%. 总动态度分析表明, 王东沟流域土地利用类型的变化速度依次为草地 > 果园 > 非生产地 > 农地 > 林地. 其中, 草地的动态度最大, 表明王东沟流域在生态建设方面的成绩还是非常显著的.

31112 主要类型 由土地利用变化转移矩阵可知, 10年来约占总面积 451.48%的土地发生了利用方式的变化, 各种土地利用类型之间的相互转化都有(表 5), 其中转化面积在 10 hm<sup>2</sup>以上的有 11种, 根据面积大小依次为: 农地转为果园、农地转为草地、林地转为草地、非生产地转为林地、农地转为林地、农地转为非生产地、林地转为果园、果园转为林地、草地转为林地、林地转为非生产地、非生产地转为果园(表 5). 整体而言, 该流域土地利用变化幅度大, 变化类型多样, 以农地转出和林地转入类型为主.

31113 迁移方向 在 Arc/Info中将各个斑块的重心标出来, 再根据式(1)分别计算出 1994年和 2004年各个土地利用类型的重心坐标和迁移方向(表 3). 结果表明, 王东沟流域土地利用类型的重心迁移整体存在 2个趋势: 农地和果园向西北方向(塬区)迁移; 林地、草地和非生产地向东南方向(沟壑区)迁移. 研究表明, 发生这种变迁的主要原因有 2个, 即

表 3 王东沟流域 1994) 2004年各土地利用类型的重心迁移情况

Tab 3 Centroid transfer of land use in Wangdonggou watershed from 1994 to 2004

土地利用类型 Land use type	1994X (b)	1994Y (b)	2004X (b)	2004Y (b)	迁移方向 Direction of translation
农地 Farm land	1071 6835	351 2368	1071 6897	351 2337	北偏西 North by west
林地 Forest	1071 6919	351 2262	1071 6912	351 2270	南偏东 South by east
草地 Grassland	1071 6932	351 2243	1071 6921	351 2250	东偏南 East by south
果园 Orchard	1071 6862	351 2320	1071 6875	351 2305	西偏北 West by north
非生产地 Nonproductive land	1071 6910	351 2314	1071 6892	351 2349	东偏南 East by south

生态建设和经济驱动<sup>[10]</sup>. 生态建设导致大量沟内农田弃耕, 从而使其转变成林草地; 经济驱动使果园大量增加, 并且侵占塬面农田. 相较于塬区, 沟壑区更容易发生水土流失, 生态环境脆弱, 是生态治理的关键. 10年间土地利用的迁移方向表明, 该区的土地利用变化正在向有利于生态建设的方向发展.

### 312 土地利用变化的生态效应

31211 生态服务价值测评因子 谢高地等<sup>[14]</sup>对我国 200位生态学者进行了为期 3年的问卷调查, 最后制定出我国生态系统/生态服务价值当量因子表 0(表 4). 他们首先定义: 1 hm<sup>2</sup> 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值为 1, 其他生态系统生态服务价值当量因子是指该生态系统服务相对于农田食物生产服务的贡献大小. 本文采用了该当量因子表, 但针对本研究区的具体情况对单位面积农田每年自然粮食产量的经济价值作了如下修改. 以王东沟流域 1986) 2004年平均粮食产量 3 147 kg# hm<sup>-2</sup>为该区基准单位产量, 粮食单价按 2004年陕西省的市场价格 (114元 # kg<sup>-1</sup>), 考虑到没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的食物生产服务经济价值的 1/7<sup>[13]</sup>, 得出王东沟流域农田自然粮食产量的经济价值为每年 629元 # hm<sup>-2</sup>.

31212 生态服务总价值 在计算生态服务价值时将 5个土地利用类型当量因子按以下原则归类计算: 耕地对应农地, 果园取森林和草地的平均值, 非生产地对应难利用地. 根据已构建的区域生态环境质量指标, 该区 1994和 2004年的生态服务价值分别为 566114和 630160万元(图 1). 整体上, 区域生态环境质量有所提高. 其中, 农地变化对区域生态环境质量的作用是负面的, 使生态服务价值减少了 82184万元; 而林地、草地和果园都起到了改善生态环境的作用, 果园的生态效应最大.

31213 土地利用变化类型对生态环境的贡献率 王东沟流域的土地利用变化类型及其对生态环境的贡献率见表 5. 土地利用变化对生态环境的作用有两

表 4 中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表<sup>[14]</sup>  
Tab 4 Equivalent weight factor of ecosystem services per hectare of terrestrial ecosystem in China

项目 Item	森林 Forest	草地 Grassland	农田 Farm land	湿地 Wetland	水域 Water area	难利用地 Unusable land
气体调节 Gas regulation	1131	0180	0150	1180	0	0
气候调节 Climatic regulation	2170	0190	0189	17110	0146	0
水源涵养 Headwater conservation	3120	0180	0160	15150	20140	0103
土壤形成与保护 Soil formation and protection	3190	1195	1146	1171	0101	0102
废物处理 Waste treatment	1131	1131	1164	18118	18120	0101
生物多样性保护 Biodiversity protection	3126	1109	0171	2150	2149	0134
食物生产 Food production	0110	0130	1100	0130	0110	0101
原材料 Raw material	2160	0105	0110	0107	0101	0
娱乐文化 Recreation and culture	1128	0104	0101	5155	4134	0101
合计 Total	19166	7124	6191	62171	46101	0142

种: 提高(贡献率为正)和降低(贡献率为负)生态系统服务功能. 其中, 改善生态环境的主要是转为林地和果园的类型, 对生态环境具有负面效应的主要是林地转出类型和农地转为非生产地. 需要注意的是: 贡献率与变化面积不是同步的, 如农地转为草地的面积是 4217 hm<sup>2</sup>, 是变化面积居于第 2的变化类型,

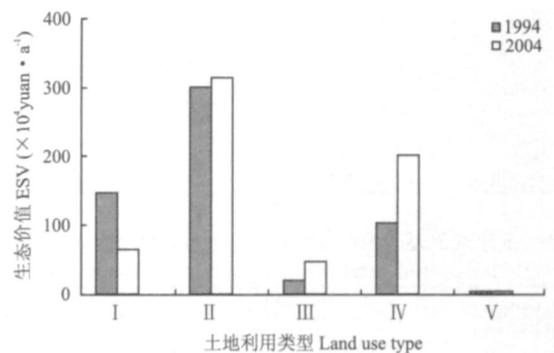


图 1 王东沟流域生态系统服务功能经济价值量

Fig 1 Economic values of ecological service function in Wangdonggou watershed

■: 农地 Farm land □: 林地 Forest ○: 草地 Grassland ○: 果园 Orchard ○: 非生产地 Nonproductive land

表 5 主要土地利用变化类型及其对生态环境变化的贡献率

Tab 5 Main land use change and their contribution to ecological environment change

变化类型 Change type	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	ESV 差值 Change of ESV	贡献率 CR	变化类型 Change type	面积 Area ( $\text{hm}^2$ )	ESV 差值 Change of ESV	贡献率 CR
农地转为果园 Farm land2orchard	1171.9	481.50	0.1077	非生产地转为果园 Nonproductive land2orchard	101.9	81.95	0.1014
农地转为草地 Farm land2grassland	421.7	0.89	0.1001	果园转为草地 Orchard2grassland	71.0	-21.73	-0.1004
林地转为草地 Forest2grassland	291.1	-221.73	-0.1036	果园转为非生产地 Orchard2nonproductive land	61.9	-51.66	-0.1009
非生产地转为林地 Nonproductive land2forest	281.6	341.58	0.1055	林地转为农地 Forest2farm land	61.1	-41.93	-0.1008
农地转为林地 Farm land2forest	261.2	201.98	0.1033	非生产地转为农地 Nonproductive land2farm land	51.3	21.17	0.1003
农地转为非生产地 Farm land2nonproductive land	211.7	-81.86	-0.1014	非生产地转为草地 Nonproductive land2grassland	51.0	21.13	0.1003
林地转为果园 Forest2orchard	201.9	-81.15	-0.1013	果园转为农地 Orchard2farm land	31.4	-11.42	-0.1002
果园转为林地 Orchard2forest	131.6	51.33	0.1008	草地转为果园 Grassland2orchard	31.3	11.31	0.1002
草地转为林地 Grassland2forest	121.0	91.40	0.1015	草地转为农地 Grassland2farm land	21.9	-0.106	0
林地转为非生产地 Forest2nonproductive land	111.8	-141.33	-0.1023	草地转为非生产地 Grassland2nonproductive land	21.2	-0.192	-0.1001

ESV: 生态系统服务价值 Ecosystem service value ( $\text{@}10^4 \text{ yuan} \cdot \text{a}^{-1}$ ); CR: Contribution rate

但其贡献率仅有 0.1001, 这主要是由于不同类型的生态服务价值不同造成的。

在改善生态环境方面, 农地转为果园的作用最大, 其贡献率最高为 0.1077, 使生态服务价值增加了 481.50 万元。其主要原因是: 经济利益的驱动使当地苹果面积大量增加, / 苹果上塬 0 导致农地面积大量减少, 而农地的生态服务价值低于果园。非生产地转为林地的作用次之, 贡献率为 0.1055, 其主要原因是: 居民从沟内向塬面迁移和生态环境建设。王东沟流域所在的行政村为王东村和丈六村, 王东村有 8 个组, 其中 2 个组在沟内生活, 随着思想观念的开放和道路的修建, 5 个组的居民逐渐迁往塬面上生活, 原来的居民地废弃, 逐渐成为草地或者林地。生态环境建设使大量的难利用地向良性方向发展, 从而部分转化为林地和草地。农地转化为林地是由沟内农地撂荒后转化而成的, 主要是政策导向的生态建设促进了不合理的农地退耕。

在降低生态系统服务功能方面, 林地转为草地和非生产地主要是由树木砍伐造成的, 面积虽然不大, 但是由于其生态服务功能差值较大, 导致其贡献率较大。农地转为非生产地主要是由居民地和道路建设侵吞农地造成的。

#### 4 讨 论

在经济利益驱动和政策导向作用下, 王东沟流域 10 年间土地利用发生较大变化, 果园用地和草地大幅度增加, 农地大量减少, 年均变化率分别为

10.130%、16.197% 和 - 5.164%。相对而言, 林地和非生产地的变化不大。各土地利用类型之间都有相互的转入和转出, 占总面积 45.148% 的土地发生了利用方式的变化, 表明土地利用的空间变迁较大, 其中农地转出和林地转入的类型占有较大的比重; 在变化方向上, 农地和果园向西北 (塬区), 林地和草地向东南 (沟壑区) 迁移, 表明在分布上土地利用向有利于生态建设的方向发展。

1994) 2004 年王东沟流域生态服务价值上升, 不同类型和不同土地利用变化类型的生态效应不同, 提高和降低生态系统服务功能的作用并存。农地变化对生态环境的作用是负面的, 林草和果园的变化改善了生态环境, 提高了其生态服务价值。不同土地利用变化类型有不同的作用, 改善生态环境的主要是转为林地和果园的类型, 对生态环境具有负面效应的主要是林地转出类型和农地转为非生产地。其中贡献率最大的是农地转为果园, 其变化面积也最大, 但变化面积与贡献率不是同步的; 农地转为草地的面积较大, 但其贡献率仅有 0.1001, 这主要是由于不同土地利用类型的生态服务价值不同造成的。

虽然对生态系统服务价值的估价已经进行了许多研究, 但由于生态系统功能与服务的复杂性, 目前对生态系统服务价值的评估仍有较多的争议。本文在研究土地利用变化的生态效应时, 采用谢高地等的 / 生态服务价值当量因子表 0, 以全国的生态系统服务价值为背景, 计算了王东沟流域土地利用的生态服务价值, 在标准的采用上可能不完全适用, 还需

要今后进一步进行深入研究. 尽管如此, 研究结果表明土地利用变化具有显著的生态效应, 因此, 在进行土地利用结构调整时, 应充分考虑其生态效应后再确定调整方向.

#### 参考文献

- [1] Chen JF (陈军锋), Li X2B (李秀彬). 2004 Simulation of hydrological response to land cover changes Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 15(5): 833- 836 (in Chinese)
- [2] Fu B2J (傅伯杰), Ma K2M (马克明), Zhou H2F (周华峰), et al 1998 The influence of land use structure on the distribution of soil nutrients in the hilly area of Loess Plateau Chinese Science Bulletin (科学通报), 43(22): 2444- 2447 (in Chinese)
- [3] Han S2C (韩书成), Xie Y2S (谢永生). 2004 Difference of land management behavior among farm households with different income in watershed of gully region of Loess Plateau Research of Agricultural Modernization (农业现代化研究), 25(1): 68- 71 (in Chinese)
- [4] He F2H (何福红), Huang M2B (黄明斌), Dang T2H (党廷辉). 2003 Effect of moisture environment of integrative controls in Wangdonggou Watershed in gully region of the Loess Plateau Research of Soil and Water Conservation (水土保持研究), 10(2): 33- 37 (in Chinese)
- [5] Lambin EF, Baulies X, Bockstael N, et al 1999 Land Use and Land Cover Change (LUCC): Implementation Strategy (IGBP Report 48/HDP Report 10). Stockholm: Royal Swedish Academy of Sciences
- [6] Li P (李平), Li X2B (李秀彬), Liu X2J (刘学军). 2001 Macroanalysis on the driving forces of the land use change in China Geographical Research (地理研究), 20(2): 129- 138 (in Chinese)
- [7] Li X2B (李秀彬). 1996 A review of the international researches on land use/land cover change Acta Geographica Sinica (地理学报), 51(6): 553- 558 (in Chinese)
- [8] Li Z (李志), Liu W2Z (刘文兆), Yang Q2K (杨勤科), et al 2006 Dynamic change of land use in Wangdonggou watershed in gully region of the Loess Plateau Journal of Mountain Science (山地学报), 24(1): 27- 32 (in Chinese)
- [9] Liu X2Z (刘贤赵), Su Q (宿庆), Song X2Y (宋孝玉), et al 2004 Impact of land use change on water yield of Changwu experimental area in Loess Plateau Research of Agricultural Modernization (农业现代化研究), 25(1): 59- 63 (in Chinese)
- [10] Song G2Q (宋桂琴), Wang L2Z (王丽芝), Yang Q2K (杨勤科), et al 1995 Analysis and prediction on human environment correlation in Wangdong Gully Watershed Bulletin of Soil and Water Conservation (水土保持通报), 15(6): 46- 50 (in Chinese)
- [11] Turner II BL, Skole D, Sanderson S, et al 1995 Land Use and Land Cover Change Science/Research Plan, IGBP Report No 35 and HDP Report No 7 Stockholm: IGBP.
- [12] Wang J (王军), Fu B2J (傅伯杰). 2000 The impact of land use on spatial and temporal distribution of soil moisture on the Loess Plateau Acta Geographica Sinica (地理学报), 55(1): 84- 91 (in Chinese)
- [13] Xiao Y (肖玉), Xie G2D (谢高地), An K (安凯). 2003 Economic value of ecosystem services in Mangcuo Lake drainage basin Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 14(5): 676- 680 (in Chinese)
- [14] Xie G2D (谢高地), Lu C2X (鲁春霞), Cheng S2K (成升魁). 2001 Progress in evaluating the global ecosystem services Resources Science (资源科学), 23(6): 5- 9 (in Chinese)
- [15] Yang Q2K (杨勤科), Song G2Q (宋桂琴), Li R (李锐), et al 1993 Land patch mapping and discussion Taking Changwu experimental area as an example Bulletin of Soil and Water Conservation (水土保持通报), 13(5): 34- 38 (in Chinese)
- [16] Zhang Y2M (张永民), Zhao S2D (赵士洞). 2004 Temporal and spatial change of land use in Horqin Desert and its outer area Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 15(3): 429- 435 (in Chinese)
- [17] Zhu H2Y (朱会义), Li X2B (李秀彬), He S2J (何书金), et al 2001 Spatial-temporal change of land use in Bohai Rim. Acta Geographica Sinica (地理学报), 56(3): 253- 260 (in Chinese)

作者简介 李志, 男, 1978年生, 博士研究生. 主要从事流域水文生态与气候变化影响评估方面的研究. Email: lizh2box@126.com

责任编辑 梁仁禄