

# 黄土高原流域土地利用/覆被动态演变及驱动力分析

余新晓<sup>1</sup>, 张晓明<sup>2</sup>, 牛丽丽<sup>1</sup>, 岳永杰<sup>1</sup>, 武思宏<sup>3</sup>, 张满良<sup>4</sup>

(1. 北京林业大学水土保持与荒漠化教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院泥沙研究所, 北京 100044;  
3. Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, SE-100 44, Sweden;  
4. 水利部黄河水利委员会天水水土保持试验站, 天水 741000)

**摘要:** 该文采用土地资源数量变化模型和土地利用/覆被状态指数, 研究了甘肃天水罗玉沟流域近 20 多年来土地利用/覆被的演变及驱动机制。研究结果表明: 1986—2004 年间, 流域内坡耕地急剧减少、梯田迅速增加, 林地和果园面积稳步提升。从土地利用类型转移变化看, 梯田的转入速度略小于转出速度, 为双向高速转换下的平衡状态; 而灌木林转入速度小于转出速度, 有规模减少的趋势。该地区土地利用类型在前期(1986—1995 年)变化程度比后期(1995—2004 年)更为剧烈。除特殊的地形地貌和气候因素外, 政策、人口增长和经济发展等因素共同驱动土地利用类型的演变, 特别实施天然林保护工程和退耕还林工程后, 该地区土地利用状况有所好转。

**关键词:** 土地利用/覆被变化, 动态演变, 驱动力, 黄土丘陵沟壑区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.07.040

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-7-0219-07

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.

Yu Xinxiao, Zhang Xiaoming, Niu Lili. Dynamic evolution and driving force analysis of land use/cover change on loess plateau watershed[J]. Transactions of the CSAE, 2009,25(7): 219—225.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

土地利用/覆被变化(LUCC)是陆地生态系统变化的主要表现,也是造成全球环境变化的重要原因。人类的不合理活动已经给人类生存环境造成诸如水热条件失衡、自然灾害频发等严重的环境问题,土地利用是人类活动最直接的一种表现形式,人类可规范自身行为,并通过改变土地利用/覆被状况来逐步改善环境问题。因此,与人类社会可持续发展密切相关的 LUCC 正成为地球系统新的研究重点<sup>[1]</sup>。LUCC 的环境效应,如:土地利用强度与水资源利用率的关系<sup>[2-3]</sup>,土地利用变化引起的沉积物运移规律<sup>[3-4]</sup>以及土地利用格局与水文过程响应关系<sup>[5-8]</sup>等已成为全球变化研究领域的前沿和热点。

近年来中国对 LUCC 的研究取得了很大进展,不仅在宏观尺度上对全国性主要热点问题进行了研究,在一些生态类型区和典型经济发展地区的土地利用现状、演变过程、发展趋势及驱动机制方面也进行了探讨<sup>[9-12]</sup>。但针对黄土高原水土流失严重、水资源短缺的区域,土地利用结构调整是解决该区域的重要手段。而此方面的研究还尚未见到报道。天水市天水区位于甘肃省东南

部,地处黄土高原的腹地,属于暖温带向北亚热带的过渡地带,特殊的地理位置和气候、土地利用格局,决定了这一地区的土地利用/覆被在影响区域水循环,维护流域生态平衡方面具有不可替代的作用。本研究以天水罗玉沟流域为研究对象,探讨流域近 20 多年来的土地利用/覆被的动态演变过程,分析在自然力和人类活动(退耕还林、天然林保护等生态环境建设工程)影响下,土地利用方式的转移与演变,为黄土丘陵沟壑区典型生态建设区的环境保护工程建设和规划提供科学指导。

## 1 研究区概况

天水市是中国西部生态系统的关键区和敏感区,位于甘肃省东南部,地处陕、甘、川三省交界,东经 104°35'~106°44',北纬 34°05'~35°10'之间,正好处于中国的几何中心。该区地跨长江、黄河两流域,以西秦岭为分水岭,北部地区为黄河水系的渭河流域,属于黄土高原黄土丘陵沟壑区第三副区。

罗玉沟流域是渭河支流藉河左岸的一级支流,位于天水市北郊,面积 72.79 km<sup>2</sup>,呈狭长形,羽状沟系,平均宽度 3.37 km,主沟长 21.63 km。流域内有大小支沟 138 条,其中下游已具有冲沟形态的支沟 37 条,支沟长度除茹家沟超过 3.5 km 外,其余均小于 3 km。流域内沟壑密度为 3.54 km/km<sup>2</sup>。流域形状系数 0.16。流域沟坡面积比值是 0.153。流域直线长 20.5 km,流域不对称系数 0.103,分水岭发展系数 1.49。流域由五级沟道组成树枝状水网,四级干沟比降一般大于 25%, 1<B/H(宽深比)<10。五级溪沟比降 3.35%, 1<B/H<50。

收稿日期: 2008-01-19 修订日期: 2009-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871136); 国家林业局林业公益性行业科研专项(200804022)“十一五”国家科技支撑项目(2006BAD09B02); 中国水科院科研专项(泥集 QN0707)

作者简介: 余新晓(1961—),男,甘肃人,教授,博士,博士生导师,主要从事水土保持、生态水文和景观生态等研究。北京 北京林业大学水土保持与荒漠化教育部重点实验室,100083。Email: yuxinxiao@bjfu.edu.cn

根据流域地形、地貌、生物结构的相似性和土壤侵蚀及人类生产活动特点将罗玉沟流域分为土石山区、杂色土区、黄土区 3 个类型区。流域多年平均降水量 548.9 mm, 6~9 月降水量占年降水量的 60% 以上, 年蒸发量 1 293.3 mm。流域内土壤有 11 种, 山地灰褐土是典型地带性土壤, 占全流域 91.7%。流域内乔木均为人工植被, 主要有旱柳 (*Salix malsuclama* Roidz)、白榆 (*Uemus Pumila*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platyclusus orientalis*) 等, 灌木为天然生长, 主要有狼牙刺 (*Sophora viciifolia* Honce)、紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*)、花椒 (*Zanthoxyhum bungeanum* Maxim) 等。经济林以苹果、杏、梨、核桃为主。

## 2 研究方法

### 2.1 图像处理

根据 1986 年和 1995 年的 Landsat TM 和 2001 年的 Landsat ETM+ 影像数据, 以 1:10 000 地形图为依据, 按标准分幅应用二次多项式分别进行几何校正, 控制点中误差在 1 个像元以内。再根据所获得的统计资料、地形图及各种专题图件, 结合野外调查资料, 建立该区域解译标志; 应用图像处理软件, 采用人机交互的监督分类方法进行解译, 并通过野外验证对其精度进行评价。在 Arc-GIS 软件的支持下, 统计生成不同时期的土地利用/覆被数据; 通过空间叠加分析, 得到该区域的土地利用与覆被变化的动态变化信息, 生成相关专题图。

### 2.2 数据分析

为了能够说明土地利用/覆被状态在时间轴上的动态演变过程, 引入土地资源数量变化模型和土地利用/覆被状态指数, 分别从土地利用的数量、结构、方式、强度和趋势等方面说明土地利用过程变化。

#### 1) 单一土地利用类型动态度和空间动态度

单一土地利用类型动态度是指某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况<sup>[13]</sup>, 其表达式为

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $K$ ——研究时段内某一土地利用类型动态度;  $U_a$ ——研究初期某一种土地利用类型的数量;  $U_b$ ——研究期末某一种土地利用类型的数量;  $T$ ——研究时段长, 当  $T$  的时段设定为年时,  $K$  的值就是该研究区某种土地利用类型年变化率。

空间动态度模型可以更加精细、准确地刻画和测算土地利用动态变化的空间过程和强烈程度<sup>[14]</sup>, 可表示为

$$CCL_i = \{(LA_{(i,t2)} - ULA_i) + (LA_{(i,t1)} - ULA_i)\} / LA_{(i,t1)} / (T_2 - T_1) \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $(LA_{(i,t1)} - ULA_i)$ ——在监测期间转移部分面积, 即第  $i$  种土地利用类型转化为其他非  $i$  类土地利用类型的面积总和;  $LA_{(i,t1)}$ ——监测初期第  $i$  种土地利用类型的面积;  $(LA_{(i,t2)} - ULA_i)$ ——在监测期内新增部分面积, 即由其他非  $i$  类转变为第  $i$  种土地利用类型面积的总和;

$ULA_i$ ——监测期间第  $i$  种土地利用类型未变化的面积。

#### 2) 综合土地利用动态度

综合土地利用动态度反映的是某一研究区内土地利用类型变化的剧烈程度<sup>[15]</sup>, 可表示为

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (LA_{(i,t1)} - ULA_i)}{\sum_{i=1}^n LA_{(i,t1)}} / (T_2 - T_1) \times 100\% \quad (3)$$

式中  $S$ ——综合土地利用动态度。

#### 3) 土地利用/覆被状态指数

状态指数  $D_i$  反映土地利用/覆被类型变化的趋势和状态<sup>[16]</sup>。

$$D_i = \frac{V_{in} - V_{out}}{V_{out} + V_{in}} \quad \text{其中 } (-1 \leq D \leq 1) \quad (4)$$

式中  $V_{in}$ 、 $V_{out}$ ——第  $i$  类土地利用类型在  $T_1 \sim T_2$  过程中的转入速度和转出速度。

## 3 结果与分析

### 3.1 流域土地利用特征

天水地区土地利用方式一直以耕地、林地和荒草地为主, 通过对罗玉沟 1986、1995 和 2001 年 3 期遥感影像解译及 2004 年流域土地利用现状的实际调绘, 获得 1986、1995 和 2004 年 (2001 年和 2004 年土地利用现状差异较小, 分析以 2004 年的为准) 的土地利用状况 (表 1)。罗玉沟 3 期土地利用均以草地、林地、坡耕地和梯田为主, 各期占流域面积 80% 以上, 其中 1986 年至 2004 年林地和梯田的面积均有显著增加, 坡耕地面积则显著减少, 其余土地类型面积变化不大。1986—1995 年 (前期) 土地利用变化程度比 1995—2004 年 (后期) 变化更为剧烈, 如林地在前期面积增加 749.11  $\text{hm}^2$ , 在后期面积仅增加 182.54  $\text{hm}^2$ 。

表 1 罗玉沟 3 期不同土地利用类型面积变化

Table 1 Area changes with different landuse types in 1986, 1995 and 2004 in Luoyugou watershed

	面积/ $\text{hm}^2$			变化百分比/%		
	1986	1995	2004	1986—1995	1995—2004	1986—2004
裸地	85.64	85.63	85.64	-0.01	0.01	0
林地	696.87	1 445.98	1 628.52	51.81	11.21	57.21
草地	712.81	699.04	695.12	-1.97	-0.56	-2.54
居民点	276.36	284.53	288.32	2.87	1.31	4.15
灌木	231.55	231.55	209.64	0	-10.45	-10.45
坡耕地	4 358.25	1 024.47	895.05	-325.42	-14.46	-386.93
梯田	941.97	3 532.26	3 501.15	73.33	-0.89	73.1

#### 3.1.1 流域土地利用/覆被转移变化过程分析

在研究时段内, 流域土地利用发生了很大变化, 通过土地利用转移矩阵描述各土地利用类型之间的转换情况。在表 2、3 和 4 中, 行表示的是  $T_1$  时期的  $i$  种土地利用类型, 列表示  $T_2$  时期的  $j$  种土地利用类型。表中数值

表示  $T_1$  时期土地利用类型转变为  $T_2$  时期各种类型的面积。黑体字表示未变化的土地利用类型面积，其余为流域内部各地类之间的变化值，可以直观地看出其转移量。

表 2 1986—1995 年罗玉沟土地利用变化转移矩阵

Table 2 Transition matrix of land use changes from 1986 to 1995 in Luoyugou watershed  $hm^2$

1986 \ 1995	裸地	林地	草地	居民点	灌木	坡耕地	梯田	全流域
裸地	85.64							
林地	0	674.06						
草地	0	17.09	695.12					
居民点	0	3.74	0	272.60				
灌木	0	0	0	0	231.55			
坡耕地	0	748.31	0	11.90	0	990.44		
梯田	0	2.78	0	0.04	0	17.30	921.85	
全流域	85.63	1 445.98	699.04	284.53	231.55	1 024.47	3 532.26	7 303.45

表 3 1995—2004 年罗玉沟土地利用变化转移矩阵

Table 3 Transition matrix of land use changes from 1995 to 2004 in Luoyugou watershed  $hm^2$

1995 \ 2004	裸地	林地	草地	居民点	灌木	坡耕地	梯田	全流域
裸地	85.64							
林地	0	1440.66						
草地	0	3.92	695.12					
居民点	0	0	0	284.53				
灌木	0	21.91	0	0	209.64			
坡耕地	0	0	0	0	0	854.06		
梯田	0.01	162.03	0	0	0	40.96	3329.25	
全流域	85.64	1 628.52	695.12	288.32	209.64	895.05	3 501.15	7 303.45

表 4 1986—2004 年罗玉沟土地利用变化转移矩阵

Table 4 Transition matrix of land use changes from 1986 to 2004 in Luoyugou watershed  $hm^2$

1986 \ 2004	裸地	林地	草地	居民点	灌木	坡耕地	梯田	全流域
裸地	85.64							
林地	0	680.25						
草地	0	17.09	695.12					
居民点	0	0	0	276.34				
灌木	0	21.91	0	0	209.64			
坡耕地	0	906.52	0	11.90	0	878.27		
梯田	0	2.76	0	0.09	0	0.05	939.07	
全流域	85.64	1 628.52	695.12	288.32	209.64	895.05	3 501.15	7 303.45

1986—1995 年间，罗玉沟各种用地类型的转化方向（见表 2）：1）裸地未发生转化；2）林地主要转化为坡耕地，转化面积  $16.62 \text{ hm}^2$ ，转化比例为 2.39%，其次为草地和梯田，转化比例分别为 0.56%，0.33%；3）草地主要转化为林地，其次为坡耕地和梯田，转化比例依次为 2.40%，0.02%和 0.07%；4）居民点主要转化为林地和梯田，转化比例分别为 1.35%和 0.01%；5）灌木未发

生转化；6）坡耕地主要转化为梯田和林地，转化面积  $2 607.61 \text{ hm}^2$  和  $748.31 \text{ hm}^2$ ，转化比例很大分别为 59.80%和 17.16%；7）梯田主要转化为林地和坡耕地，转化比例很小分别为 0.30%和 1.84%。

1995—2004 年间，罗玉沟各种用地类型的转化方向为（见表 3）：1）裸地未发生转化；2）林地主要转化为居民点和梯田，转化面积很小分别为  $3.79 \text{ hm}^2$  和  $1.49 \text{ hm}^2$ ，转化比例分别为 0.26%和 0.10%；3）草地主要转化为林地，转化比例为 0.56%；4）居民点未发生转化；5）灌木主要转化为林地，转化比例为 9.46%；6）坡耕地主要转化为梯田，转化面积  $170.41 \text{ hm}^2$ ，转化比例为 16.63%；7）梯田主要转化为林地和坡耕地，转化比例较小分别为 4.59%和 1.16%。

从表 4、图 1 可以看出，1986—2004 年间，罗玉沟各用地类型中林地主要转化方向为坡耕地，而草地和灌木林地主要转化为林地，部分坡耕地转化成梯田和林地。图 1 为罗玉沟流域主要土地利用类型林地、坡耕地和梯田在 1986~2004 年时段内的空间转移变化图。

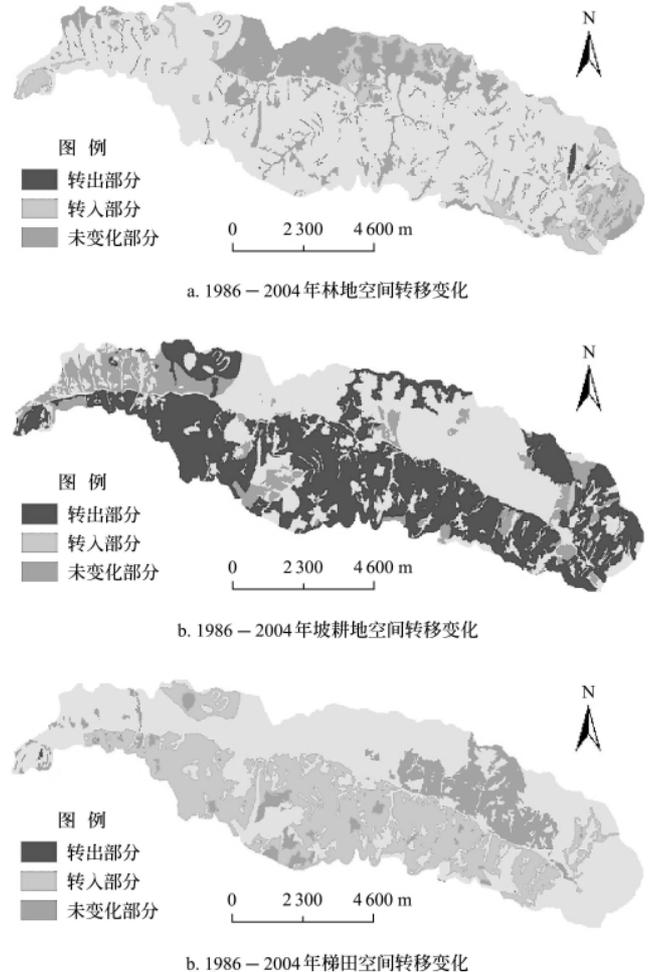
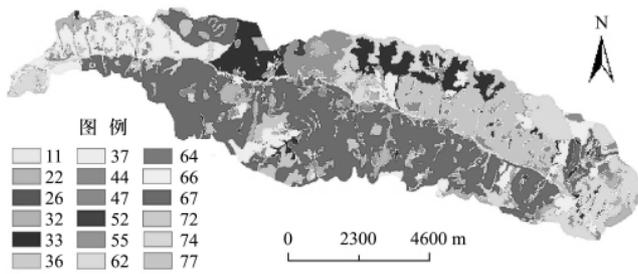


图 1 3 个研究时段内罗玉沟流域林地、坡耕地和梯田空间转移图

Fig.1 Spatial transition of forest, slope land, terrace land in Luoyugou watershed during three study periods

为更加清晰显示土地利用类型转移，通过空间叠加分析，生成土地利用类型空间转移图，如图 2。



注：图例中 1、2、3、4、5、6、7 分别对应裸地、林地、草地、居民点、灌木、坡耕地和梯田 7 种土地利用类型，11、22、33、44、55、66、77 代表 1986~2004 期间未变化的土地。26 代表林地转为坡耕地，其他代表含义理解方法与 26 一致。

图 2 1986-2004 年罗玉沟流域土地利用空间转移图

Fig.2 Landuse spatial transition in Luoyugou watershed from 1985 to 2004

3.1.2 流域土地资源数量变化

不同利用类型土地资源数量变化用土地利用动态度来表示，土地利用动态度可定量描述区域土地利用变化的速度<sup>[17]</sup>，也可真实反映区域土地利用/土地覆盖中土地利用类型的变化剧烈程度<sup>[18]</sup>。根据式 (1)、(2) 和 (3) 计算得单一动态度、空间动态度和综合动态度值，见表 5。

表 5 罗玉沟 3 个时段土地利用动态度

Table 5 Dynamic degrees of land use for three periods in Luoyugou watershed %

年份	裸地	林地	草地	居民点	灌木	坡耕地	梯田	
1986	单一动态度	-0.001	11.944	-0.215	0.329	0	-8.499	30.554
~	空间动态度	0.002	12.672	0.337	0.631	0	8.673	31.029
1995	综合动态度	1.374						
1995	单一动态度	0.001	1.403	-0.062	0.148	-1.051	-1.404	-0.098
~	空间动态度	0.002	1.484	0.062	0.148	1.051	2.293	1.179
2004	综合动态度	0.520						
1986	单一动态度	0	7.427	-0.138	0.240	-0.526	-4.415	15.094
~	空间动态度	0	15.385	0.276	0.483	1.051	8.915	30.255
2004	综合动态度	1.500						

单一土地利用动态度值越低，转移变化为其他类型数量越小，表明该类土地在研究期内相对稳定<sup>[19]</sup>。依据表 5，罗玉沟 1986—1995 年期间灌木的单一动态度值最低，平均每年转移率分别为 0；在 1995—2004 年期间裸地的单一动态度值最低；平均每年转移率为 0.001%。说明上述土地利用类型在研究时段内基本没有发生向其他类型的转移或转移量很小，是最稳定的土地利用类型。而梯田在 1986—1995 年期间其单一动态度值最高，说明该种土地利用类型在研究时段内是转移最活跃的土地利用类型。

从单一土地利用动态度即土地利用的年变化率还可以看出，1986—2004 年的 19 a 间，罗玉沟的林地和梯田的年变化率最显著，梯田的年变化最大，变化面积最多，平均年变化率达到了 15.09%。此外，土地利用变化前期的年变化率均高于其后期的年变化率，说明土地利用变化主要发生在前期。根据刘纪元划分的中国 4 种

土地利用时间动态特征：急剧变化型，快速变化型，慢速变化型，极缓慢变化型，1986—1995 年，罗玉沟梯田属于急剧变化型；1986—1995 年的林地与坡耕地，1995—2004 年的林地与坡耕地，均属于土地利用慢速变化型；其余各时段的其他地类均属于土地利用极缓慢变化型。

土地利用空间动态度考虑了某种土地利用类型在研究期间向其他类型的转移变化和由其他类型向该类土地的转变两个方向的变化动态，空间动态度相对单一动态度值越大，表明该类土地扩张趋势越明显。罗玉沟 1986—1995 年梯田空间动态度值最大，林地次之，表明在研究期内其他土地类型向梯田和林地的转移幅度较大，在空间上呈现扩张的趋势。对比土地利用变化前、后期的空间动态度和综合动态度，可以发现不论是单一类型变化速度还是综合变化速度均是前期比后期快。

3.1.3 流域土地利用/覆被变化趋势

为了比较土地利用类型  $i$  的转出和转入速度，反映土地利用与土地覆被类型变化的趋势和状态，引入状态指数  $D_i$ <sup>[16]</sup>，表 6 列出状态指数所代表的含义和趋势。根据式 (4) 计算见表 7。

表 6 状态指数含义趋势对照表

Table 6 Meaning and its trend of statement indices

$D_i$ 的范围	含 义	趋 势
$0 \leq D_i \leq 1$	转入速度大于转出速度	规模增大的趋势
$D_i$ 接近 1	转入速度远大于转出速度	面积大量增大
$D_i$ 接近 0	转入速度略大于转出速度，都很小	土地类型不明显增大，平衡状态
	转入速度略大于转出速度，都很大	双向高速转换下的平衡状态
$-1 \leq D_i \leq 0$	转入速度小于转出速度	规模减小的趋势
	转入速度略小于转出速度，都很小	土地类型不明显减小，平衡状态
$D_i$ 接近 0	转入速度略小于转出速度，都很大	双向高速转换下的平衡状态
$D_i$ 接近 -1	转入速度远小于转出速度	面积大量减小

表 7 罗玉沟流域不同时段土地利用状态指数

Table 7 Statement indices of land use for three periods in Luoyugou watershed

土地类型	裸地	林地	草地	居民点	灌木	坡耕地	梯田
$D_{1986-1995}$	-1	0.943	0	0.520	0	-0.9800	0.985
$D_{1995-2004}$	0	0.945	0	1.000	-1	-0.6122	-0.083
$D_{1986-2004}$	0	0.966	0	0.996	-1	-0.9904	0.998

从表 7 可明显看出，1986—1995 年，居民点的转入速度大于转出速度，有规模增大的趋势；林地和梯田的转入速度远大于转出速度，面积大量增大；坡耕地和裸地的转入速度远小于转出速度，面积大量减小。1995—2004 年，林地和居民点的转入速度远大于转出速度，面积大量增大；灌木的转入速度远小于转出速度，面积大量减小；坡耕地的转入速度小于转出速度，有规模减少的趋势；梯田的转入速度略小于转出速度，且都很大，为双向高速转换下的平衡状态。1986—2004 年，林地、居民点和梯田的转入速度远大于转出速度，面积增大；灌木和坡耕地的转入速度远小于转出速度，面积大量减

小。

### 3.2 流域土地利用/覆被动态变化驱动力分析

土地利用动态变化是自然、社会和生态复合系统演变的直接表现, 是人地系统耦合作用的产物, 其变化的驱动因素主要包括自然因素和人为因素。目前大多数的研究表明短期内(几年或十几年)发生的土地利用结构的大幅度变化, 其关键的驱动因素是人为因素。本研究从自然因素、人口因素、政策因素和经济发展等方面分析天水地区 20 年来土地利用结构变化的驱动因素。

#### 3.2.1 自然因素

气候条件对土地利用具有制约作用, 主要表现在对农作物、牧草和林木种类选择及其分布、组合、耕作制度和产量的影响上。对研究区而言, 气温与降水状况是主要限制因子。研究区内的耕地以旱地为主体, 降水支撑农业生产和植被覆盖的主要水源, 在过去 20 a 降水量中呈波动性变化, 但总体呈下降趋势, 导致粮食产量低而不稳。严重的植被破坏导致水土流失和风蚀加剧, 风蚀水蚀交互作用, 相互促进, 一方面使耕地面积减少, 另一方面使土壤肥力下降, 进一步导致农民贫困, 农业发展受到限制。农民又不得不借助于扩大耕地和轮荒来稳定粮食生产水平。这种不断的开垦、轮荒, 使植被反复破坏, 形成了恶性循环。

#### 3.2.2 人口因素

人口作为一个独特的因素, 是土地利用变化中最具活力的驱动力之一, 它一方面影响农产品需求量的变化间接地影响土地利用及空间布局的变化, 另一方面还会在一定程度上对土地利用变化产生直接的影响, 如人口数量的增加会产生对居住用地及基础设施用地等需求的增长, 进而导致整个土地利用类型结构及其空间分布的变化。以罗玉沟流域为例, 1986 年该流域的人口为 16 066 人, 到 2004 年达到 19 019 人, 年增长率为 0.83%, 耕地从 1986 年的 5 300.22  $\text{hm}^2$ , 减少到 2004 年的 4 696.20  $\text{hm}^2$ , 人均耕地从 1986 年的 0.33  $\text{hm}^2$ , 减少到 2002 年的 0.24  $\text{hm}^2$ 。而随着人口的增加, 流域内居民地的面积由 1986 年的 276.36  $\text{hm}^2$  增加到 2004 年的 288.32  $\text{hm}^2$ 。

#### 3.2.3 政策因素

研究区是典型的黄土丘陵沟壑区, 存在着严重的水土流失现象。治理前土地利用基本上属于掠夺式经营, 部分陡坡地也成了广种薄收的农耕地, 经过近 20 a 的治理, 总结出一套适合本地的土地利用与开发治理经验。在 20 世纪 80 年代末期, 研究区小流域开展了以梯田建设为突破口的山、水、田、林、路综合治理示范工程, 对土地进行“两化”, 即: 坡耕地梯田化、宜林耕地绿化。通过不断治理, 使流域内坡耕地的面积急剧减少, 梯田面积大量增加, 林地面积也有较大幅度的增加。截止 2004 年年底, 罗玉沟流域治理面积 3 705.5  $\text{hm}^2$ , 占流域总面积的 51.0%。

此外, 近年来中央提出的退耕还林还草政策的实施及经济林的种植, 也使一部分坡耕地和梯田转化为林地。退耕还林还草政策的实施不但能够增加农户的经济

收入, 减少他们的劳动量, 对当地妇女社会地位的提高也起到一定的作用, 同时有助于当地农村产业结构的调整, 在提高基本农田的粮食生产率的同时, 逐步向种植经济林和养殖牲畜方向转变, 提高农民的经济收入。

#### 3.2.4 经济发展

在市场经济条件下, 由于受比较经济利用的影响, 土地总是低产值向高值产业转移, 由低值的林业、草业向高值的农业转移, 再由农业向更高值的果园、菜地转移。以上罗玉沟为例, 通过对该流域的产业调查, 果园和菜地的经济效益为 15 000 元/ $\text{hm}^2$ , 耕地为 3 000 元/ $\text{hm}^2$ , 果园和菜地的经济效益是耕地的 5 倍。土地利用受经济利益驱动主要表现耕地向果园和菜地转移, 1986 年, 流域的果园和菜地面积仅有 13.2  $\text{hm}^2$ , 到 2004 年达到 109.2  $\text{hm}^2$ , 经济效益成倍增长。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本研究根据研究区试验流域 1986~2004 年间 3 期土地利用变化资料, 对土地利用/森林植被格局时空演变、土地类型转移和土地资源数量变化及驱动因子等进行了分析。黄土高原丘陵沟壑区天水地区主要土地利用类型在近 20 a 内发生较为深刻的变化: 20 世纪 80 年代, 以坡耕地占绝大多数(约 60%), 梯田(13%)、草地(10%)、林地(10%)各占部分; 20 世纪 90 年代, 梯田占较大比例(48%), 林地次之(20%), 而坡耕地急剧减少(14%); 2000 年后, 林地的比例逐渐提升, 坡耕地仍在减少, 而梯田也有部分向林地转化。

受政策引导及经济增长、人口和户数变化等主要因素驱动, 该地区土地利用类型在前期变化程度比后期更为剧烈, 根据土地利用类型转移变化, 坡耕地的转出量、转出速度最大, 坡耕地面积减少最多; 梯田的转入量、转入速度最大, 梯田面积增加最快。从单一土地利用类型动态度和空间动态度以及综合土地利用动态度三方面分析, 梯田在研究时段内是转移最活跃的土地利用类型, 林地次之, 梯田和林地这两种土地利用类型在空间上呈现扩张的趋势。从土地利用类型的转移变化看, 灌木林地和坡耕地的转入速度小于转出速度, 有规模减少的趋势; 梯田的转入速度略小于转出速度, 且都很大, 为双向高速转换下的平衡状态。研究区土地利用类型演变除受自然因素和人口增长影响外, 国家政策起了重要推动作用。

### 4.2 讨论

对于黄土高原地区, 从坡耕地整治工程到天然林保护工程和退耕还林工程的开展, 土地利用类型发生系列深刻变化。研究区林地、果园的面积在增加, 但面对人口增长及国家“粮食安全”战略, 在耕地利用中必须强化科技因素, 挖掘耕地的潜力, 提高耕地的生产力和经济效益。在灌木林地和果园地的土地利用结构调整上, 也需科学规划, 只有灌木林及其林下草可增加坡地近地面有效覆盖度, 控制降雨水土流失。因此, 研究区在发展经济的同时, 要注重生态环境的保护, 努力发展生态

农业,使经济效益和生态效益共同发展,为构建生态和谐和社会和谐奠定基础。

#### 参 考 文 献

- [1] 摆万奇,赵士洞.土地利用和土地覆盖变化研究模型综述[J].自然资源学报,1997,12(2):169-175.  
Bai Wanqi, Zhao Shidong. A comprehensive description of the models of land use and land cover change study[J]. Journal of nature resources, 1997, 12(2): 169-17524. (in Chinese with English abstract)
- [2] Bernt M, Robin L K, Iris A G, et al. Effects of land cover change on streamflow in the interior Columbia River Basin (USA and Canada)[J]. Hydrological Processes, 2000, 14(5): 867-885.
- [3] Schlesinger W H, Reynolds J F, Gunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247: 1043-1048.
- [4] Bormann H, Dieck Ruger B, Hauschild M. Impacts of landscape management on the hydrological behavior of small agricultural catchments[J]. Physics and chemistry of the earth, 1999, 24(4): 291-296.
- [5] Doerra S H, Shakesby R A, Blakeb W H, et al. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response[J]. Journal of Hydrology, 2006, 319: 295-311.
- [6] Sandra van der Linden, Ming-ko Woo. Application of hydrological models with increasing complexity to subarctic catchments[J]. Journal of Hydrology, 2003, 270: 145-157.
- [7] Bronstert A, Niehoff D, Burger G. Effects of climate and land use change on storm runoff generation: present knowledge and modeling capabilities[J]. Hydrological process, 2002, 16: 509-529.
- [8] Klocking B, Haberlandt U. Impact of land use changes on water dynamics-a case study in temperate meso and macroscale river basins[J]. Physics and chemistry of the earth, 2002, 27: 619-629.
- [9] 郭砾,余世孝.泰山景区景观格局时空变化研究[J].应用生态学报,2005,16(4):641-646.  
Guo Luo, Yu Shixiao. Spatial-temporal changes of Taishan Mountains scenery area landscape patterns[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4): 641-646. (in Chinese with English abstract)
- [10] 宋冬梅,肖笃宁,张志诚,等.甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析[J].应用生态学报,2003,14(4):535-539.  
Song Dongmei, Xiao Duning, Zhang Zhicheng, et al. Landscape changes of Minqin oasis in Gansu Province and its driving force[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(4): 535-539. (in Chinese with English abstract)
- [11] 赵永华,何兴元,胡远满,等.岷江上游汶川县耕地变化及驱动力研究[J].农业工程学报,2006,22(2):94-97.  
Zhao Yonghua, He Xingyuan, Hu Yuanman, et al. Variation of cultivated land and the driving forces in Wenchuan County in the upstream of Min River[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(2): 94-97. (in Chinese with English abstract)
- [12] 赵文智,程国栋.人类土地利用的主要生态后果及其缓解对策[J].中国沙漠,2000,20(4):369-374.  
Zhao Wen|zhi, Cheng Guodong. The impacts of land utilization on earth land ecosystem and the strategies[J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(4): 369-374. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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].第四季研究,2000,20(3):229-239.  
Liu Jiyuan; Buheaosier. Study on spatial-temporal feature of modern land-use change in China: Using remote sensing techniques[J]. Quaternary Sciences, 2000, 20(3): 229-239. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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.  
Liu Shenghe, He Shujin. A spatial analysis model for measuring the rate of land use change[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(5): 533-540. (in Chinese with English abstract)
- [15] 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.  
Liu Jiyuan. Dynamic Research on Resource Remote Sensing in China[M]. China Technology Press, 1996: 158-188. (in Chinese)
- [16] 仙巍. 嘉陵江中下游地区近 30 年土地利用与覆被变化过程研究[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 114-121.  
Xian Wei. Process of land use/land cover change in the area of middle and lower reach of Jialingjiang River[J]. Progress In Geography, 2005, 24(2): 114-121. (in Chinese with English abstract)
- [17] 任志远,张艳芳.土地利用变化与生态安全评价[M].北京:科学出版社,2003:42-66.  
Ren Zhiyuan, Zhang Yanfang. Land use change and eco-security assessment[M]. Beijing: Science Press, 2003: 42-66. (in Chinese)
- [18] 王思远,刘纪远,张增祥,等.中国土地利用时空特征分析[J].地理学报,2001,56(6):631-639.  
Wang Siyuan, Liu Jiyuan, Zhang Zengxiang, et al. Analysis on spatial-temporal features of land use in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(6): 631-639. (in Chinese with English abstract)
- [19] 张钰,刘桂民,马海燕,等.黑河流域土地利用与覆被变化特征[J].冰川冻土,2004,26(6):740-746.  
Zhang Yu, Liu Guimin, Ma Haiyan, et al. Changing characteristics of land-use and land-cover in the Heihe River basin, China during 1987-2000[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, (26)6: 740-746. (in Chinese with English abstract)

## Dynamic evolution and driving force analysis of land use/cover change on loess plateau watershed

Yu Xinxiao<sup>1</sup>, Zhang Xiaoming<sup>2</sup>, Niu Lili<sup>1</sup>, Yue Yongjie<sup>1</sup>, Wu Sihong<sup>3</sup>, Zhang Manliang<sup>4</sup>

(1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Sediment Research Institute, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

3. Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, SE-100 44, Sweden;

4. Scientific Trial Station of Soil and Water Conservation in Tianshui City, Water Conservancy Committee of Yellow River, Tianshui 741000, China)

**Abstract:** Using land resources quantity change model and land use/cover change index, dynamic changes and driving forces of land use/cover change were discussed in Tianshui, Gansu Province during the recent twenty years. The results showed that slope farmland area declined sharply, terrace area increased rapidly, forestland area and orchard area increased steadily from 1986 to 2004. According to the change of land-use type transfer, the entering speed of terrace was slightly less than the exiting speed, which was in a state of equilibrium for two-way high-speed conversion, while the entering speed of shrub land was less than the exiting speed, and presented a scale reduced trend. The change degrees of the land use types in the previous period (1986—1995) was much more obvious than that in the later period (1995—2004). Besides special topography and climate factors, national policies, population growth and economic development are driving forces of land use types change. After the implementation of the natural forest protection project and returning farmland to forest projects, land use situation in the region has been improved.

**Key words:** land use/cover change, dynamic changes, driving force, loess hilly and gully region