

洮河流域土地利用/土地覆被变化 及其驱动机制研究

李常斌, 杨林山, 杨文瑾, 王帅兵

(兰州大学西部环境与气候变化研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 系统收集和整理 1970s 后期至 2000s 洮河流域土地利用/土地覆被、水文气象和经济社会发展数据, 采用综合利用指数、转移矩阵、动态度、相关性和主成分分析方法及多元线性回归方法, 得到结果表明, 过去 30 a, 洮河流域总体表现为林、草面积减少、耕地面积增加、土地开发利用程度进一步提升。驱动因子相关性主成分分析表明, 洮河流域 LULCC 受“区域经济+农耕因素+城镇化和气候”3 个主成分大类的交互影响和驱动; 基于此构建的 LULCC 多元回归驱动模式, 在率定期和验证期精度良好, 能够反映洮河流域经济社会发展及区域气候对 LULCC 的驱动和影响。

关键词: 土地利用/土地覆被变化; 驱动机制; 洮河流域

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1000-0690(2014)07-0848-08

土地利用/土地覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LULCC)是陆地表层多种过程相互制约和影响的综合反映,是特定人-地关系下多种驱动力因素共同作用的结果^[1]。LULCC 在各种尺度对陆地水文生态、陆表辐射平衡、痕量气体排放和碳氮循环、人类生产和生活方式产生影响^[2-5];而人类系统则通过不断地规划和调整土地利用方式,协调经济社会与环境生态系统的关系,并对土地覆被产生影响^[6-8]。LULCC 研究涉及到人-地和谐及区域可持续发展等关键问题,一直以来是地理学、生态学和环境科学领域重点关注的内容^[9,10]。20 世纪 90 年代初国际地圈生物圈计划(IGBP)和全球环境变化人文因素计划(IHDP)联合发起“LULCC 科学研究计划”^[11,12],强调从自然到人类,从全球到区域(From natural to human, from global to regional)的总体目标和实施战略^[13],经过 20 a 的发展,在 LULCC 驱动机制、趋势、环境效应和模型方法等方面,取得一系列重要成果^[14-17]。

LULCC 具有明显的时空异质性,地理位置、生态状况和社会条件的不同,导致 LULCC 的表现形式和程度迥异^[18]。著名的 IPAT 公式[Impact (on en-

vironment or resource) = Population × Affluence × Technology]^[19]针对资源环境变化和人口、经济状况以及技术应用之间的数量关系进行了顶层设计,为土地利用变化的人文因素研究指明了方向。由于人口、经济和技术革新之间相互关联,它们对环境胁迫的各自贡献并不易区分^[20];同时,土地覆被的外围环境变化对土地利用竞争也存在影响,如干旱所致的农业弃耕等;再者,地理-生态的区间差异决定着土地覆被的本底和主要生产方式,生产方式的改变致使土地利用发生变化,造成 LULCC 的区域分异。因此,LULCC 研究需考虑自然和人文因素的驱动及影响,且基于地域特征的多样案例研究十分必要^[21,22]。

1 研究区与数据

1.1 研究区概况

洮河发源于青海省西倾山北麓,由西向东经碌曲、临潭、卓尼至岷县受阻,急转北流穿九甸峡和海甸峡,经东乡、临洮等地,在永靖注入黄河。洮河多年平均径流量 46.9 亿 m³,是黄河上游右岸最大一级支流。流域总面积 25 527 km²,介于 101°

收稿日期: 2013-04-19; 修订日期: 2013-06-20

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41001014)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110211110011)资助。

作者简介: 李常斌(1976-),男,甘肃靖远人,博士,副教授,主要从事旱区流域科学与水资源方面的研究。E-mail: licb@lzu.edu.cn

36°~104°20'E, 34°06'~36°01'N之间, 主要位于甘肃省西南部。地貌上, 洮河流域大致以白石山、太子山一线为界, 分属甘南高原和陇西黄土高原两大单元。由上游到下游, 多年平均气温递增, 介于1~9℃之间; 多年平均降水量递减, 介于650~300 mm之间(图1)。受气温降水格局影响, 洮河流域具高寒湿润、温带半湿润和温带半干旱等气候特征。根据区间产、汇流特性, 以岷县断面和海甸峡断面为界划分为上、中、下游^[23]。在高寒湿润、温带半湿润和温带半干旱气候的控制和影响下, 上、中游草原和山地森林生态系统发育, 地表覆被良好, 适于牧业和林业发展; 下游黄土区雨量渐少, 植被稀疏, 形成以干旱农业为主的发展模式。



图1 洮河流域地理-生态分区及气温、降水和水电站分布
Fig.1 Geographic-ecological zoning and spatial distribution of annual temperature, annual precipitation, and the hydro-power stations in Taohe River Basin

洮河上、中、下游分别以甘南草原、白石山-太子山山地森林和黄土高原农耕区等为主要覆被类型, 社会生产方式也呈现由牧而林再农的空间过渡形式, 是回、藏、汉、东乡等多个民族聚居区。按照地理-生态和主要社会生产方式空间分异, 结合区间产汇流特征, 洮河流域可进一步区分为上游草原牧业区(I)、上游牧林农混合区(II)、中游山地森林区(III)和下游黄土高原农耕区(IV)(图1)。2010年, 洮河流域总人口241.5万人, 其中大农业人口220.5万人; 全流域GDP总量94亿元, 一、二、三产业产值比为4:2:3。截止2009年, 洮河干流已规划和建成各种装机容量水电站近40座。

1.2 数据来源及处理

收集中国科学院地理所、马里兰大学和欧洲航天局等部门发布的中国或全球土地利用/土地覆被数据; 收集1970s后期、1990s中期和2000s后期3期共12景LandSat_MSS和LandSat_TM影像并进行解译(表1)。收集与流域LULCC相关的1980s以来经济社会、水文气象和生态建设等数据, 校核整编后用于LULCC驱动因素甄别、遴选和机制分析。上述数据的基础上, 构建洮河流域LULCC数据库。

表1 洮河流域LULC数据来源

Table 1 Data sources of the land use and land cover change in Taohe River Basin

数据时间	数据来源	数据格式	分辨率
1970 s 后期	LandSat_MSS	Image	60 m
1985 年	马里兰大学	Tiff	1 000 m
1996 年	中国科学院地理科学与资源研究所	Polygon	100 m
1990 s 中期	LandSat5_TM	Image	30 m
2000 年	欧洲全球覆被变化联合研究中心	Tiff	1 000 m
2005 年	欧洲航天局	Tiff	300 m
2000 s 后期	LandSat7_TM	Image	30 m

根据洮河流域土地覆被自然格局和土地利用基本情况, 将土地利用进行大类合并, 分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用土地等6种类型。遥感影像经监督分类, 和各期LULC(land use and land cover)产品数据相互校正, 各期数据统一重采样为400 m栅格进行LULC空间叠置分析以及地类转换矩阵的构建。以同一时代各时期的LULC面积平均值为依据进行年代LULCC分析, 驱动模式拟合所需土地利用面积数据按线性方法进行年份之间的插补展延。

2 研究方法

2.1 LULCC特征研究

1) 土地利用综合指数。庄大方等从生态学角度将土地利用/土地覆被状况按照人文因素参与的程度分4级, 基于该种程度分级, 定义土地利用综合指数计算式, 对区域土地利用的程度进行界定^[24]:

$$I = \sum_{i=1}^m I_i \times R_i \times 100 \quad (I \in [100, 400]) \quad (1)$$

式中, I 为土地利用综合指数, I_i 为第 i 级地类的土地利用程度分级指数, R_i 为第 i 级地类的面积百分

比(%), m 为土地利用程度分级数(表2)。

2) 土地利用转移矩阵。前、后两个时段不同种类间的转化关系可基于土地利用转移矩阵进行量化分析, 一般用二维矩阵来表示:

$$A_{kz} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, A_{kz} 为前一时段第 k 种地类转化为后一时段第 z 种地类的面积(km^2), n 为参与计算的土地利用类型总数。

3) 土地利用动态度。分单一动态度和综合动态度, 用单位时间内单个或全部地类的面积变化率(%)表示:

$$D_s = (A_k' - A_k) / A_k \times (1/T) \times 100\% \quad (3)$$

$$D_g = \frac{\sum_{k=1}^n \Delta A_k}{2 \sum_{k=1}^n A_k} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中, D_s 、 D_g 分别表示单一动态度和综合动态度(%); A_k 和 A_k' 表示研究时段始、末地类 k 的面积(km^2); ΔA_k 表示研究时段内地类 k 的总的面积变化(km^2), 取正值; A_k 为第 k 类土地利用面积(km^2); n 为土地种类; T 表示时间, 单位为 a 时, 上述公式表示单一或总体地类的年变化率。

2.2 LULCC 驱动机制

1) 主成分分析。LULCC 的驱动因素有自然和人文两大类^[25], 这些因素本身以及它们和 LULCC 之间相互影响和反馈的关系复杂, 可基于相关性分析(公式略)和主成分分析方法进行甄别和遴选。主成分分析系按主成分特征值(>1)和累积贡献率, 将标准化处理后的驱动因素归为相对独立的大类^[26]。LULCC 的驱动机制表达, 在土地利用和这些主成分大类之间建立。采用 Z-score 方法对 LULCC 驱动因素进行标准化处理:

$$X_j = (X_{\text{jobs}} - \bar{X}_j) / s_{X_j} \quad (5)$$

式中, X_j 为第 j 类驱动因素的标准化值; X_{jobs} 为第 j 类驱动因素调查或实测值; \bar{X}_j 为第 j 类驱动因素序列

平均值; s_{X_j} 为第 j 类驱动因素标准差; $j \in (1, p)$ 。

将标准化处理后的 p 个驱动因子(X), 基于正交变换转换成 m 个主成分:

$$\begin{cases} F_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1p}X_p \\ F_2 = a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \cdots + a_{2p}X_p \\ \cdots \cdots \\ F_m = a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \cdots + a_{mp}X_p \end{cases} \quad (6)$$

式中, F 为由驱动因素(变量)计算的主成分标准化当量值($1 \times m$); a 为主成分得分系数矩阵($m \times p$), 是主成分载荷矩阵和特征值的商, 反映了自然或人文变量对主成分的影响。主成分载荷矩阵要求变量之间的信息尽可能相互独立, 经正交旋转, 在若干次迭代后收敛, 使最高载荷上的变量数最少。载荷矩阵计算结果反映了变量与主成分之间的关联程度。特征值对应驱动因素序列方差的总体贡献, 值越高表明 LULCC 更容易受到该主成分的影响。

2) 多元线性回归。地类面积和主成分当量之间的多元线性回归拟合形式为:

$$A_k = b + \sum_{j=1}^m c_j \cdot F_j \quad (7)$$

式中, b 为回归常数项(km^2), c_j 为系数, F_j 为主成分当量值。

3 结果与讨论

3.1 洮河流域 LULCC

1) 土地利用/土地覆被状况。洮河流域在 3 个研究时段的土地利用/土地覆被情况如图 2 所示。按类型草地的面积比例最大, 其次为林地和耕地。耕地主要分布于上游牧林农混合区和下游, 林地主要分布于上游右岸牧林农混合区和中游。各时期, 耕、林、草面积均占到洮河流域总面积的 90% 以上。

2) 开发利用程度。洮河流域土地利用程度的空间分异比较明显, 越往下游, 流域的土地开发利用程度越高。1980 s 以来, 上游草原牧区的土地利用开发程度渐高, 但低于全国平均综合指数(202); 上游牧林农混合区的土地利用开发程度则高于全国平均水平; 中游呈现先降低再升高的动态特征,

表2 洮河流域土地利用类型分级

Table 2 The system of land use classification in Taohe River Basin

地类分级	未利用土地	林地、草地、湿地	农业用地	居民点、工矿用地
分级指数	1	2	3	4
土地利用	未利用土地	林地、草地、水域	耕地	建设用地

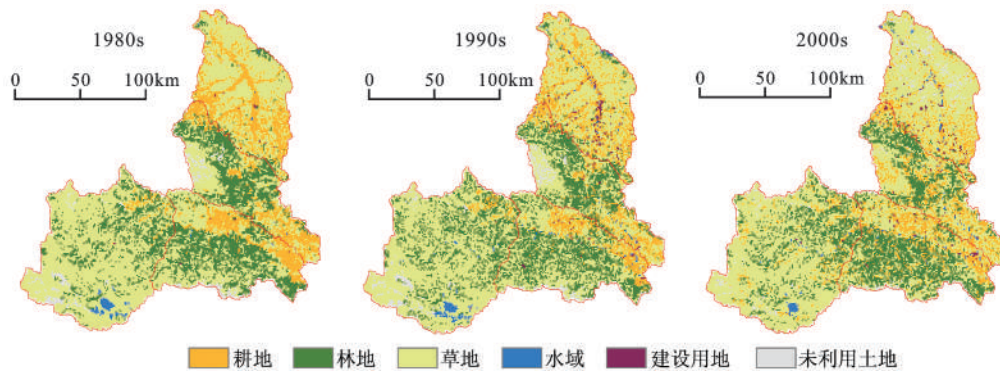


图2 洮河流域不同时期土地利用/土地覆被状况

Fig. 2 Land use and land cover change of the Taohe River Basin in different periods

2000 s 的开发程度高于 1980 s; 下游黄土高原农耕地, 土地利用开发程度总体呈降低趋势, 但开发程度高于中游和上游, 也高于全国平均水平(表 3)。

表3 洮河流域不同地理-生态区间土地利用程度综合指数

Table 3 Index of land utilization in different geographic-ecological regions of the Taohe River Basin

地理-生态区间	1980s	1990s	2000s
上游草原畜牧区	199	199	200
上游牧林农混合区	213	213	216
中游山地森林区	217	216	221
下游黄土农耕地	233	233	231

3) 土地利用变化(转移矩阵)。地类转移矩阵表明, 不同地理-生态区间的 LULCC 不尽相同。上游草地经历了先增后减的变化过程; 上游牧

林农混合区林、草、耕互有转化, 总体经历林、草减少, 耕地增加的变化过程; 中游山地森林呈减少趋势, 表明该区森林生态处于退化状态; 下游黄土农耕区的变化主要集中在耕地上, 耕地面积有所减少。

农、林、草三大类型之间转换频繁(表 4)。1980s~1990s, 耕地转为草地的净量为 151 km², 草地转为林地的净量为 18 km², 林地转为耕地净量为 21 km², 主要为耕、林减少, 草地增加; 1990s~2000s, 林地转为耕地的净量为 170 km², 草地转为耕地的净量为 78 km², 草地转为林地的净量为 108 km², 总体为林、草减少, 耕地增加, 土地资源开发程度进一步提升。过去 30 a, 三大类均有不同程度转变为建设用地, 表明城镇化对洮河流域土地利用/土地覆被的影响; 水域面积 1990s 略有减少, 2000s 则有所增加; 未利用土地和草地之间的转化

表4 洮河流域不同时期土地利用类型转移量(km²)Table 4 The land use transition matrices in different periods (km²)

时期	地类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地
1990 s							
1980s	耕地	—	248	380	5	10	19
	林地	269	—	302	10	12	39
	草地	229	320	—	7	13	153
	水域	3	5	4	—	2	1
	建设用地	7	7	13	3	—	5
	未利用土地	13	41	140	4	1	—
2000 s							
1990s	耕地	—	112	197	19	19	16
	林地	282	—	160	13	18	26
	草地	275	268	—	5	17	298
	水域	6	7	21	—	1	9
	建设用地	7	6	6	1	—	3
	未利用土地	13	28	284	5	1	—

较其它地类频繁,数量相当。总体来看,主要地类中,耕地变化的时空异质性最明显,1990s减少,2000s增加,下游减少,上游增加;表明洮河流域毁林拓耕和退耕还林还草2种互逆过程始终存在。

4) 土地利用动态。从单一土地利用动态度来看,耕、林、草3种主要地类中,上游耕地动态较林、草明显,中、下游3种地类动态均较明显,但趋势相反。中游林地负动态,耕、草为正动态;下游耕地为负动态,林、草为正动态。建设用地和水域的面积在洮河流域中比例较小,但动态最为显著,且基本呈正动态,是流域水电工程截蓄、城镇建设规模扩大的一个综合反映(图3)。

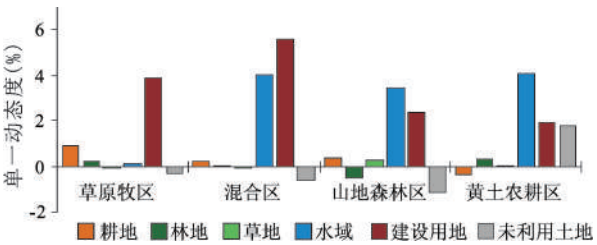


图3 洮河流域单一土地利用利用动态度(1981~2010年)
Fig.3 The single land use dynamics of the Taohe River Basin in 1981-2010

从综合土地利用动态度来看(表5),过去30 a 洮河流域土地利用转化程度逐渐降低。1980s 综合土地利用动态度最高,表明这一时期土地利用类型相互转化的总量较大,土地利用变化活跃。进入1990s和2000s,这一情形逐渐减弱。

表5 洮河流域综合土地利用动态度(%)			
Table 5 The comprehensive land use dynamics of the Taohe River Basin (%)			
年代	1980s	1990s	2000s
动态度	2.63	2.58	1.94

3.2 洮河流域LULCC的驱动机制

气温和降水是影响洮河流域LULCC的主要自然因素。人文方面,则主要考虑经济社会宏观需求因子如总人口、耕地面积、三业产值、城镇化率、人均生产总值,以及经济社会区域特色因子如农、牧民数量、农、林、牧、渔产值、有效灌溉面积、牲畜存栏数、造林面积等。

1) 相关性分析。各驱动因素间,农牧人口数、第一产业产值、人均生产总值分别与总人口、

农业总产值和农、林、牧、渔产值等密切相关,与地类之间的相关系数也非常相近。出于主成分荷载矩阵各变量尽可能独立的考虑,从驱动因子体系中,剔除上述3个因素。根据相关系数的值域分布,以0.3、0.5、0.8作为相关系数绝对值(r)拐点,分别代表弱相关($0<|r|\leq 0.3$)、低度相关($0.3<|r|\leq 0.5$)、显著相关($0.5<|r|\leq 0.8$)和高度相关($0.8<|r|< 1$),对经济社会因素与洮河流域土地利用之间的相关性进行分析。结果表明,耕、林、草等主要地类中,耕地与总人口、有效灌溉面积、造林面积等高度相关,与农业总产值等经济因素显著相关;林地与城镇化率和牲畜存栏数显著相关,与造林面积低度相关,一定程度表明洮河流域人工造林面积在林地总面积中所占份额较少,而城镇化所致木材需求和林区放牧等扰动,对林地变化的影响更显著;草地与城镇化率、牲畜存栏数高度相关,与牧业总产值显著相关,表明草地面积的变化,主要受城镇化和载畜量影响;水域与城镇化率和牲畜存栏数高度相关,表明人类经济活动对洮河流域水体分布的影响;建设用地与人口和耕地因素高度相关,和各产业值显著相关。上述相关性分析,符合洮河流域土地利用变化规律及其解释,表明调查数据的可靠性和驱动因素遴选的合理性。

2) 主成分分析(PCA)。对洮河流域社会经济和气象数据进行标准化处理后进行主成分分析。结果表明,有3个主成分序列计算特征值大于1,分别为8.94、2.18和1.41,主成分累积贡献率为90%。表6中,荷载系数越大,驱动因素对该类主成分的影响越大,进而对该类主成分所驱动的地类变化的贡献越大。

以农、林、牧、渔等农业产值(第一产业)和二、三产业产值为主要内容的区域经济因子,构成洮河流域LULCC的驱动力因素的第一主成分大类;人口(主要为农业人口)、农业(有效灌溉和造林、牲畜等)等农耕因子构成第二主成分大类;城镇化和气候因子构成第三主成分大类。农、牧、林、渔产值等农业经济因子出现在第一主成分中,表明大农业因素总体上影响和控制着洮河流域LULCC的方向。相对于洮河流域土地覆被总体格局,城镇化对土地覆被变化的贡献较小,气候因素相对于经济社会因素,数值稳定,序列方差小,落入第三主成分。其中,气温的荷载系数达到-0.93,在该主成分中的贡献大于其它因素。从主成分序列的结构

表6 洮河流域LULCC驱动因素主成分荷载系数矩阵

Table 6 Factors loadings of the principal components of LULCC in Taohe River Basin

驱动因素	主成分荷载系数		
	1	2	3
总人口(万人)	0.52	0.84	-0.12
城镇化率(%)	-0.13	-0.32	0.84
农业总产值(万元)	0.94	0.32	-0.05
林业总产值(万元)	0.81	0.48	-0.13
牧业总产值(万元)	0.94	0.32	0.06
渔业总产值(万元)	0.92	0.34	-0.11
第二产业产值(万元)	0.96	0.26	-0.04
第三产业产值(万元)	0.95	0.17	0.04
耕地面积(km ²)	0.35	0.92	-0.13
有效灌溉面积(km ²)	0.41	0.87	-0.18
造林面积(km ²)	0.75	0.59	-0.14
牲畜存栏数(头)	0.23	0.67	0.65
气温(℃)	0.21	0.15	-0.93
降水(mm)	0.05	0.03	0.39

观之, 洮河流域 LULCC 的驱动机制具有“区域经济+农耕因素+城镇化和气候”的交互作用特征。

3) 多元回归分析。在各期土地利用/覆被统计的基础上, 按线性插值方法对土地利用数据进行插补展延, 并在洮河流域 4 个地理-生态分区和全流域进行空间统计。由主成分当量计算式(式 6)和荷载系数矩阵(表 6)计算得到不同年份洮河流域经济社会和气候因素的主成分当量序列。在土地利用和主成分序列之间, 基于多元线性回归模型(式 7)进行拟合(1981~2000 年), 得到洮河流域以区域经济(F_1)、农耕因素(F_2)和城镇化和气候(F_3)等 3 个主成分当量为变量体系的地类面积变化预报模式:

$$A_{\text{耕}} = 420.23F_1 + 1081.8F_2 - 129.2F_3 + 1479.78$$

$$A_{\text{林}} = 360.88F_1 + 1296.04F_2 + 819.27F_3 + 2401.34$$

$$A_{\text{水}} = 36.95F_1 + 59.42F_2 + 62.92F_3 + 105.50$$

$$A_{\text{建}} = 33.05F_1 + 74.68F_2 - 12.32F_3 + 94.74$$

$$A_{\text{未}} = 24.19F_1 + 148.69F_2 + 116.08F_3 + 253.04$$

上述 LULCC 预报式中, 各主成分因子的 t 检验的显著性值均小于 0.05, 为显著相关; 标准误差

较小, 表明主成分因子对洮河流域 LULCC 预报的合理性。预报模式中, 区域经济类驱动因素构成第一主成分, 在总体上控制和影响着地类变化; 农耕因素类为第二主成分, 耕、林、草等地类的驱动模式中, 该主成分具有较大的系数, 表明上述 3 个地类受农耕类主成分影响较明显; 水域更多受第三主成分即城镇化和气候因素的影响; 建设用地则受农耕因子和城镇化率等因素影响。通常, 农村人口增加使民居面积增加, 但城镇化率的提升, 又一定程度导致建设用地趋于集中(系数为负)。总体来看, 基于多元回归模型构建的洮河流域 LULCC 驱动模式, 能够反映流域经济社会发展和区域气候对土地利用/覆被状况的影响及后果。

表 7 为 LULCC 驱动模式率定和验证时段的精度。总体而言, 林地精度较低, 率定期为 0.68, 验证期为 0.75。其余地类在模式率定和验证期的复相关系数均大于 0.8。从流域整体来看, 率定期复相关系数为 0.89, 验证期复相关系数为 0.90, 表明所构建 LULCC 驱动模式的精度良好。

4 结 论

采用多源土地利用/土地覆被数据和多种评价方法, 对洮河流域过去 30 a 中 LULCC 的时空分布及其数量关系进行综合研究; 基于此, 甄别和遴选影响洮河流域 LULCC 的主要自然和人文因素, 构建 LULCC 驱动模式, 对洮河流域 LULCC 的驱动机制进行探讨, 结论如下:

1) 受两大地貌单元和 3 类气候条件控制和影响, 洮河流域陆表覆被呈现明显的地理-生态分异, 自上游到下游, 主要生产方式呈现由牧而林再农的空间过渡特点, 土地利用程度也相应升高。过去 30 a, 洮河流域 LULCC 总体表现为林草减少, 耕地增加, 特别是上游牧林农混合区的耕地增加明显, 洮河上游的土地开发利用程度趋高。

2) 洮河流域 LULCC 具有“区域经济+农耕因素+城镇化和气候”交互驱动的特点。相关性分析和主成分分析表明, 驱动洮河流域 LULCC 的因素, 可分区域经济、农耕因素、城镇化和气候等三

表7 洮河流域LULCC驱动模式的率定和验证精度(复相关系数)

Table 7 An accuracy assessment of the driving mechanism of the LULCC based on correlation coefficients

时段(年)	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地	流域
率定期(1981~2000)	0.95	0.68	0.95	0.97	0.97	0.84	0.89
验证期(2001~2010)	0.93	0.75	0.96	0.92	0.96	0.85	0.90

大类。洮河流域的地类变化总体受区域经济需求驱动,耕、林、草等地类的变化受农耕因素影响明显,水域受城镇化和气候影响较明显,建设用地则受城镇化和农耕因素的影响明显。

3) 基于 LULCC 数据库和驱动因素序列分析,在土地利用/土地覆被类型和三大主成分之间,构建洮河流域土地利用/土地覆被变化多元回归驱动模式。所构建模式各主成分均经过显著性检验,对土地利用/土地覆被的总体预报精度达到 0.90,所包含的 LULCC 驱动机制,能够反映洮河流域经济社会发展和区域气候对 LULCC 的影响及后果。

参考文献:

- [1] Liu J, Liu M, Zhuang D, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000[J]. Science in China (Series D), 2003, **46**(4): 373-384.
- [2] 张 杨, 刘艳芳, 顾渐萍, 等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. 地理科学, 2011, **31**(10): 1280-1285.
- [3] Verburg P H, Soepboer W. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002, **30**(3): 391-405.
- [4] 周德成, 赵淑清, 朱 超. 退耕还林还草工程对中国北方农牧交错区土地利用/覆被变化的影响——以科尔沁左翼后旗为例[J]. 地理科学, 2012, **32**(4): 442-449.
- [5] Li C, Qi J, Feng Z, et al. Quantifying the effect of ecological restoration on soil erosion in China's Loess Plateau region: An application of the MMF approach[J]. Environmental Management, 2010, **45**(3): 476-487.
- [6] 李秀彬. 土地利用变化的解释[J]. 地理科学进展, 2002, **21**(3): 195-203.
- [7] 朱天舒, 秦晓微. 城镇化路径: 转变土地利用方式的根本问题[J]. 地理科学, 2012, **32**(11): 1348-1352.
- [8] 李小雁, 许何也, 马育军, 等. 青海湖流域土地利用/覆被变化研究[J]. 自然资源学报, 2008, **23**(2): 285-296.
- [9] He C, Wei A. Detecting land-use/land-cover change in rural-urban fringe areas using extended change-vector analysis[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information, 2011, **13**(4): 572-585.
- [10] Campos M, Velazquez A. An interdisciplinary approach to depict landscape change drivers: A case study of the Ticuiz agrarian community in Michoacan, Mexico[J]. Applied Geography, 2012, **32**(2): 409-419.
- [11] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996, **51**(6): 553-557.
- [12] Turner B L, Skole D L, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change. Science/research plan[R]. Global Change Report Stockholm (Sweden): IGBP Secretariat, 1995.
- [13] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change (LULCC): Implementation strategy[R]. Stockholm (Sweden): IGBP Report No. 48, IHDP Report No. 10, 1999.
- [14] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE-CR: An integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica[J]. Ecological Modeling, 1996, **91**: 231-248.
- [15] Serneels S, Lambin E F. Proximate causes of land-use change in Narok District, Kenya: a spatial statistical model[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2001, **85**: 65-81.
- [16] Verburg P H, Van Steeg J. From land cover change to land function dynamics: A major challenge to improve land characterization[J]. Journal of Environmental Management, 2009, **90**(3): 1327-1335.
- [17] Houghton R A, House J I. Carbon emissions from land use and land-cover change[J]. Biogeosciences, 2012, **9**: 5125-5142.
- [18] Breshears D D, Cobb N S, Rich P M, et al. Regional vegetation die-off in response to global-change-type drought[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, **102**(42): 15144-15148.
- [19] Ehrlich P, Holdren J. The impact of population growth[J]. Science, 1974, **171**: 1212-1217.
- [20] Lambin E F, Turner B L. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths[J]. Global Environmental Change, 2001, **11**(4): 261-269.
- [21] 吴海珍, 阿如早, 郭田保, 等. 基于 RS 和 GIS 的内蒙古多伦县土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理科学, 2011, **31**(1): 110-117.
- [22] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究: 寻求新的综合途径[J]. 地理研究, 2001, **20**(6): 645-652.
- [23] 张济世, 康尔泗, 蓝永超, 等. 50 a 来洮河流域降水径流变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2003, **25**(1): 77-82.
- [24] 庄大方, 刘纪远. 中国土地利用程度的区域分异模型研究[J]. 自然资源学报, 1997, **12**(2): 105-111.
- [25] 赵锐锋, 姜朋辉, 陈亚宁, 等. 塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效应[J]. 地理科学, 2012, **32**(2): 244-250.
- [26] 王生霞, 丁永建, 叶柏生, 等. 基于气候变化和人类活动影响的土地利用分析——以新疆阿克苏河流域绿洲为例[J]. 冰川冻土, 2012, **34**(4): 828-835.

Land Use and Land Cover Change in Taohe River Basin and Its Driving Forces

LI Chang-bin, YANG Lin-shan, YANG Wen-jin, WANG Shuai-bing

(Research School of Arid Environment & Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The purpose of this article is to detect the land use and land cover change (LULCC) in Taohe River Basin (TRB) from 1980s to the 2000s and explore its main driving forces. We first build a database of the LULCC by collecting and reorganizing the land use and land cover maps and images, along with data from hydrometeorologic and socio-economic surveys. The methods that we adopt for estimating the LULCC include the comprehensive utilization index, the transition matrix, and the dynamic index. Correlation analysis and principal components analysis (PCA) are then used for identifying the socioeconomic driving factors of the LULCC before the driving mechanisms are determined through fitting the Multiple Linear Regression Expressions (MLREs) to every land use type. It is found that forestland and grassland decreased while cultivated land increased over the past 30 years, despite the obvious heterogeneities in time and space. Temporally, cultivated land and forestland experienced a decline while grassland gained during 1980 s-1990 s; thereafter, cultivated land increased at the expense of forestland and grassland. Spatially, forestland and grassland in the upper and middle reaches of the TRB reduced but cultivated land grew; in the lower reaches, opposite trends took place. Overall, change in cultivated land was the most significant of all land-use types, and both deforestation and afforestation went on simultaneously. Correlation analysis and PCA show that the LULCC in the TRB were driven mostly by the regional economic development, and that the main types of land use-cultivated land, forestland, and grassland-were also affected by agricultural growth, featuring farming population and area expansion. The small categories of land uses-built-up land and water body were influenced by a combined set of "regional economy + farming factors + urbanization and climate" driving mechanism. Accordingly, the MLREs were fitted with satisfactory accuracies for both calibration and validation, suggesting a satisfactory capability to capture the LULCC driven by the socio-economic requirements and regional climate of the TRB.

Key words: LULCC; driving mechanism; the Taohe River Basin