doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.02.007

巴音河流域土地利用变化及驱动力分析

王佳楠[1,2]，张　志[2]
（1. 青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室，青海 西宁 810000；
2. 中国地质大学（武汉）地球物理与空间信息学院，湖北 武汉 430074）

摘　要：分析了近27 a青海省海西州巴音河流域土地利用时空变化，可为流域生态环境保护、土地利用方式优化和尕海国家湿地公园建设提供依据。在野外考察基本土地利用类型基础上，利用1990年、2000年、2010年和2017年Landsat卫星影像使用随机森林分类方法获取4期土地利用现状信息，通过运用转移矩阵、重心迁移模型定量计算，从面积变化、类型转化和空间格局变化三方面研究该流域土地利用变化时空特征，应用主成分分析方法定量确定了驱动因素。结果表明：在研究时间段内，林地、水域、草地面积先减少后增加；建设用地面积持续增加，耕地面积先增加后减少；耕地、建设用地、水域重心迁移明显，耕地、建设用地重心向西南方移动，水域重心向东北方移动。人类活动是流域土地利用变化最主要的原因，近年来温度升高和降水量的增加也是土地利用类型发生变化的重要因素。

关键词：土地利用；巴音河流域；Landsat；重心迁移；随机森林
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）02-0035-06

Analysis of Land-use Changes and Driving Force in Bayin River Basin

WANG Jianan[1,2], ZHANG Zhi[2]
(1. Key Laboratory of the Northern Qinghai-Tibet Plateau Geological Processes and Mineral Resources, Xining 810000, China;
2. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: By analyzing the spatio-temporal land-use changes in the Bayin River Basin over the past 27 years, we provided a basis for protecting the regional ecological environment, optimizing land-use patterns and the construction of Gahai National Wetland Park. Based on field examination of land-use types, we used four periods of Landsat satellite images from 1990, 2000, 2010 and 2017 to obtain land-use information by random forest method. By using transfer matrix and gravity model, we analyzed the spatio-temporal characteristics of land-use change in the basin from area change, type transformation and spatial pattern change, and determined the driving factors quantitatively by principal component analysis. The results show that during the study period, the area of forest, water and grassland decreased first and then increased, the area of construction land increased continuously, and the area of cultivated land increased first and then decreased. The cultivated land, construction land and water have moved obviously, the cultivated land and construction land have moved southwest and the water has moved northeast. Human activities are the main cause of land-use change in the basin, climate change and precipitation also affect the change of land-use type.

Key words: land-use, Bayin river basin, Landsat, gravity center change, random forest

土地利用/土地覆盖变化与地区生态环境变化密切相关[1]，反映着人类与环境的相互作用关系[2]，被认为是全球环境变化研究的热点[3]。对区域土地的变化过程及驱动因素进行探究，有利于获取土地利用时空变化规律[4]。国内外学者以流域[5]、城市群[6]、干旱区[7]为研究区，采用土地利用模型[8]、演变及预测模型[9]、景观生态学理论[10]等方式方法从不同尺度就土地利用动态变化监测展开了大量的研究[11-12]。从各地类面积变化、类型及空间格局转化入手，利用土地利用动态度、土地利用转移矩阵和重心迁移模型，可以还原近30 a来流域土地利用时空变化过程，揭示导致区域土地发生变化的驱动因素。

研究区位于青海省海西州德令哈市，随着区域经济的快速发展，上游工业和农业用水不断挤占下游的生态需水，人地矛盾突出，影响流域生态环境的质量。分析土地利用的时空变化情况及其驱动力，了解区域生态发展演化的规律，对巴音河流域的经济及生态环境高质量、可持续发展具有重要意义。目前，巴音河流域土地利用变化分析的研究较少，严应存[13]等利用1988年和2006年两期Landsat影像，分析18 a以来巴音河流域

收稿日期：2021-09-09。
项目来源：青海省青藏高原北部地质过程与矿产资源重点实验室资助项目（2019-kz-01）；青海省科技厅创新平台建设专项项目（2019-ZJ-T04）。

土地利用变化情况，发现降水是影响该地生态面积变化的主要驱动因素；段红腾[14]等通过探究近10 a巴音河流域土地利用变化特征发现社会经济活动影响着土地利用的演变过程。前人对巴音河流域土地利用变化进行的研究没有充分考虑经济、政策等人为因素及自然因素对土地利用变化的驱动作用，缺少长时间序列对流域土地利用变化及驱动因素的定量分析，且获取数据的客观性、研究尺度的针对性等方面还有待提升。

本研究选取4期Landsat影像，在野外实地考察流域的基础上，使用随机森林监督分类算法获取各期土地利用分类信息，从面积变化、类型转化、空间格局变化方面分析其时空变化特征，以剖析流域生态系统变化及分异规律，探讨土地利用变化成因，为干旱地区保护与治理、生态环境修复提供空间信息支持。

1 研究区概况

巴音河流域地处青海柴达木盆地东北缘，介于37°4′~37°31′N，97°4′~98°8′E之间，总面积2 200 km^2，发源于祁连山的哈尔科山南坡，上游为阿让郭勒，下游为巴音郭勒，行政区划包括德令哈市、克鲁克镇、尕海镇和蓄集乡。巴音河流经蓄集乡、德令哈市、尕海镇，最终流入托素湖与可鲁克湖。研究区多年平均降雨量181.1 mm，全年蒸发量达2 439.4 mm，为降雨量的16.4倍，年平均气温3.6 ℃。

2 材料与方法

2.1 数 据

本文遥感数据为1990年、2000年、2010年及2017年4期Landsat影像（表1），遥感数据与30 m分辨率DEM来自美国地质调查局(https://www.usgs.gov/)。年平均温度和年平均降雨量数据来自WorldClim v2.0 (http://www.worldclim.org/)，人口、社会经济数据搜集自对应年份的《青海省统计年鉴》。利用ENVI5.3对原始影像进行辐射定标、大气校正、融合、裁剪等预处理工作。4期影像色调均匀、云覆盖低于5%。

表1 遥感影像信息

年份	传感器	采集时间	空间分辨率/m
1990年	TM	1990-08-21	30
2000年	TM	2000-07-15	30
2010年	TM	2010-08-20	30
2017年	OLI	2017-08-25	30/15

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用信息提取方法

参照《第三次全国国土调查技术规程》，将流域土地利用类型划分为：耕地、林地、草地、水体、建设用地、未利用地6类，在ENVI5.3平台对遥感影像进行随机森林分类获取4期土地利用结果，根据随机点精度检验，总体分类精度OA均超过90%，分类效果较好。

2.2.2 土地利用变化分析方法

1）土地利用转移矩阵[15]可以展现各地类面积变化的特征和转移去向，以便更好地了解土地类型的时空变化过程。

$$S_{ij}=\begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \tag{1}$$

式中，S_{ij}为研究期内第i类土地利用类型转化成第j类土地利用类型的面积；n为土地利用类型的总数。

2）土地利用重心迁移模型[16]可从空间上描绘各土地类型的变化轨迹，直观地反映流域土地利用变化的方向和速度。

$$X_t=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_iA_{ti}}{\sum_{i=1}^{n}A_{ti}},\quad Y_t=\frac{\sum_{i=1}^{n}Y_iA_{ti}}{\sum_{i=1}^{n}A_{ti}} \tag{2}$$

式中，X_t、Y_t分别为第t年某种土地利用类型分布重心的坐标；X_i、Y_i分别为研究区某土地类型的第i个图斑的重心坐标；n为图斑总数；A_{ti}、A_{ij}为第t年第i个图斑的面积。

2.2.3 土地利用驱动力分析方法

主成分分析[16]就是将影响因子通过降维，简化为少量的几个彼此之间相互独立的分量。运用多元回归分析法，用降维后两个主成分建立多元线性回归模型。

$$Y=a_0+a_1F_1+a_2F_2 \tag{3}$$

式中，a_0, a_1, a_2为相关性系数；F_1, F_1, F_2, F_2为主成分得分系数。

3 结果与分析

3.1 土地利用面积变化

近30 a间巴音河流域各地类主要表现为以下特征：1990—2000年，建设用地、耕地、未利用地面积均小幅度增加，分别增加了1.34 km^2、6.03 km^2、15.32 km^2，与此对应的林地、水域、草地均呈现不同

程度的减少趋势，分别减少了4.84 km²、1.07 km²、17.00 km²，生态环境呈现一定恶化趋势，人类活动对土地利用的影响还不明显。2000—2010年为研究区高速发展时期，除未利用地外所有地类均呈现增加趋势，其中建设用地增加幅度最大，10 a内共增加58.45 km²（287.79%），同时耕地面积增加了31.21 km²，城镇化进程大幅推进，与此同时，生态环境也呈总体向好趋势，林地、水域、草地面积在该时间段内分别增加了21.33 km²、19.78 km²、75.89 m²，这与经济与人口数的增加密切相关。2010—2017年变化幅度最大的是建设用地和耕地。建设用地面积持续增加，从78.76 km²增加到103.15 km²。由于施行退耕政策，耕地面积急剧减少61.52 km²，而林地、水域、未利用地、草地在该时段内变化幅度较小，基本趋于稳定。研究区的土地利用程度呈增加趋势（图1、2）。

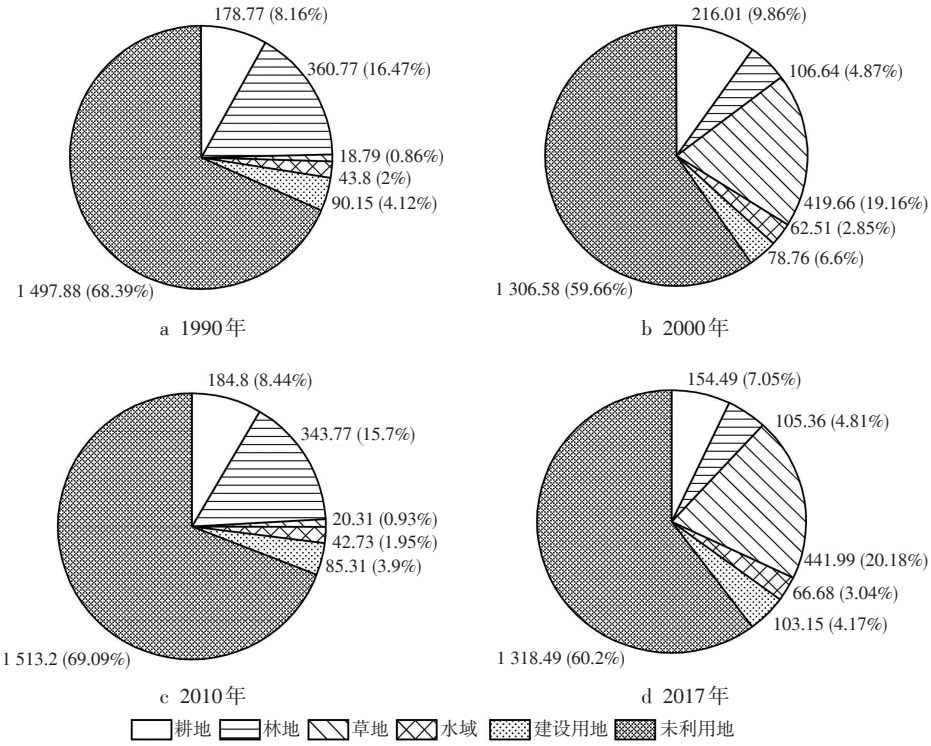


图1　土地利用面积变化情况

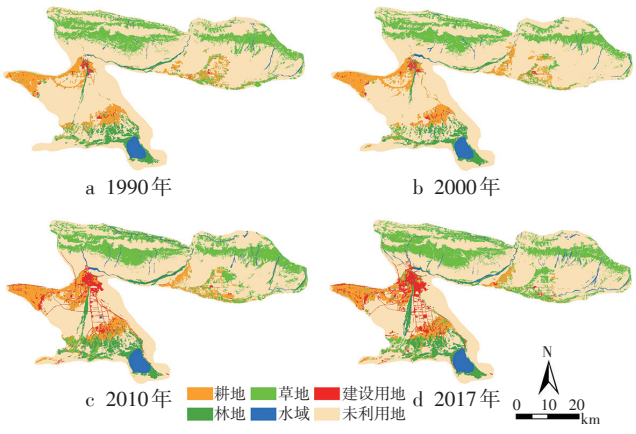


图2　不同时期土地利用图

3.2　土地利用类型转化

1990—2017年，建设用地面积变化较大，未利用地和耕地分别向其转化了66.26 km²和19.21 km²，占比较大。而草地、林地、水域面积在此期间均保持增加趋势，其中草地由耕地和未利用地转化35.80 km²、99.69 km²；林地大部分由未利用地转化而来，转化了39.2 km²，占林地增加面积的83%；水域的增加面积主要由未利用地转化（17.13 km²），林地转化（9.14 km²）。

1990—2000年各地类变化幅度较小，林地和草地面积分别减少了29.98 km²和75.48 km²，二者主要转化为未利用地24.54 km²和62.13 km²。2000—2010年是土地类型转化较为活跃的时期，除未利用地外，各地类面积均有不同程度的增加。建设用地增幅较大，主要由未利用地转化47.64 km²，耕地转化12.72 km²。2010—2017年耕地、建设用地变化明显，由于国家推行退耕还草政策，耕地向草地转化36 km²，占耕地减少面积的39%。建设用地面积继续增加48.6 1km²，由未利用地转化24.79 km²，耕地转化18.75 km²。

通过对比分析发现，近年来，研究区耕地向林地与草地转化较多，同时未利用地的减少面积最大。

这说明在该区推行的大面积造林植草、退耕还林等措施实施的效果良好，部分未利用土地得到了有效开发，使得植被覆盖面积有所增加，整体生态环境得到改善。

3.3 土地利用重心转移

由图3可知，1990—2017年，耕地重心向西南方向偏移，27 a间迁移距离为6.16 km；后7 a的迁移距离大于前20 a的迁移距离，结合上文得出耕地面积先增后减的变化趋势，研究区内耕地增加，其主要来源为西部区域未利用地的开垦；后7 a耕地面积负增长，可以归因于流域上游退耕还林还草政策的落实，部分耕地向林地与草地转化，导致其重心向西南方向移动。林地与草地重心总体向西南的方向偏移，迁移距离分别为2.06 km和2.37 km，整体迁移方向与耕地相近，更偏向于南部，这与巴音河流域的径流量有较大的关系，研究区气候在27 a间变暖变湿，上游耕地减少需水量降低，使草地重心整体向南移动。水域重心向北偏东方向偏移，迁移距离5.43 km。水域的面积经历了先减少后增加的过程，流域水域的面积发生了较大幅度的变化导致其重心向北转移。建设用地重心向西南方向偏移，迁移距离为7.81 km。每个时间段的迁移方向大致一致。随着社会经济的发展，城镇化进程迅速，使建设用地整体向西南移动，且幅度较大。由于流域下游经济的快速发展使得大量其他土地被开发为建设用地及耕地，致使未利用地整体向东北小幅移动。

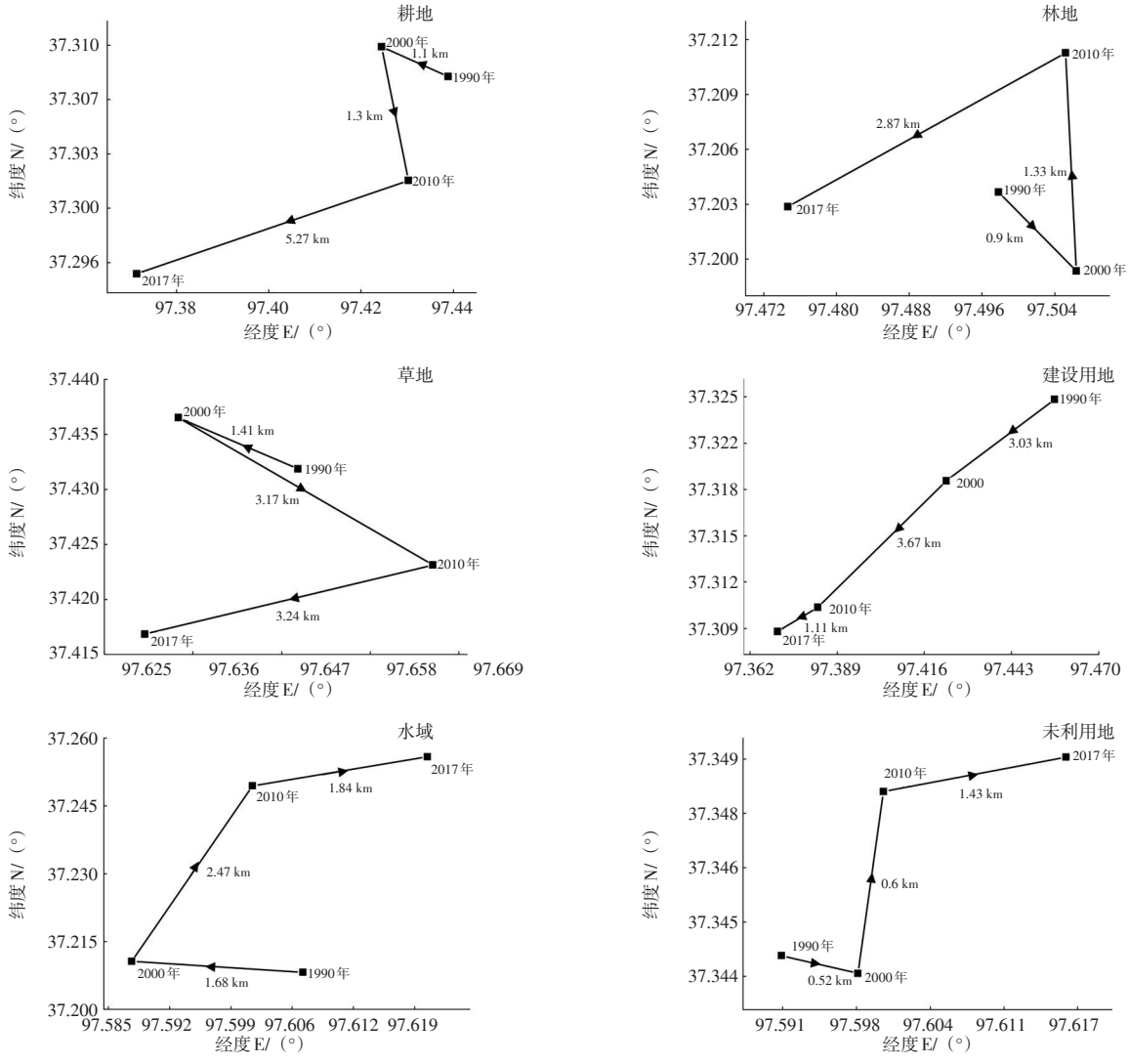


图3 土地利用重心转移空间变化

3.4 驱动力分析

3.4.1 人类活动因素

土地利用的变化是气候变化与人类活动共同作用的结果，其中气候变化因素较为稳定，因此人类活动因素一般为直接驱动因素。本文结合当地实际情况及现有统计资料分别选取驱动力因子：农业产值（X1）、第二产业产值（X2）、第三产业产值（X3）、生产总值（X4）、人均GDP（X5）、总人口（X6）。运

用SPSS进行主成分分析，得到指标得分矩阵（表2）。

表2　各指标得分矩阵

指标	第一主成分	第二主成分
农业产值	0.168	−1.009
第二产业产值	0.174	0.093
第三产业产值	0.176	−0.279
生产总值	0.177	−0.159
人均GDP	0.177	−0.140
总人口	0.159	1.608

运用多元回归分析法，计算土地利用类型变化与提取出的两个主成分之间的函数关系。以各年份主成分系数 F_1、F_2 作为自变量构建回归矩阵，进而建立起多元线性回归模型。借助SPSS软件，对已经过标准化的数据进行多元线性回归计算，回归分析结果见表3。

表4　线性回归结果

土地类型	回归方程	决定系数
耕地	$Y=0.529F_1+1.093F_2$	$R^2=0.783$
林地	$Y=0.990F_1+0.091F_2$	$R^2=0.881$
草地	$Y=0.897F_1-0.134F_2$	$R^2=0.967$
水域	$Y=0.997F_1+0.008F_2$	$R^2=0.985$
建设用地	$Y=0.962F_1-0.060F_2$	$R^2=0.999$
未利用地	$Y=-1.067F_1-0.178F_2$	$R^2=0.943$

通过回归方程及模型可以看出不同土地类型的主要影响因素：

1）耕地：耕地变化与 F_1、F_2 均呈正相关，且与 F_2 的相关系数较高（$R^2=1.093$）。根据主成分因子所代表的含义可知，人口变化是耕地面积变化的主要原因。从1990—2010年，巴音河流域人口数从4.62万人增长至7.66万人，耕地面积呈上升趋势。2010—2017年人口数下降0.26万。农村劳动力大量涌入城镇，城镇发展进一步占用农村土地，用于城市化及工业化的建设，耕地面积下降。

2）林地：与 F_1、F_2 均呈正相关，且与 F_1 的相关性较高（$R^2=0.990$），可以看出在该时间段内，巴音河流域林地面积的增加受经济发展的促进作用较强。这主要与当地旅游业的快速发展且设立湿地公园有关，巨大的经济效益使得当地更注重对环境的保护。

3）草地：从回归方程可以看出，草地面积与 F_1 呈正相关，与 F_2 呈负相关，且与 F_1 的相关系数高（$R^2=0.897$），所以影响草地面积变化的主要原因经济的快速发展。经济发展水平越高，生态环境保护的意识也会越强烈；同时综合国力的提升也为退耕还林提供了充足的物质支撑。

4）水域：水域面积与主成分 F_1、F_2 均为正相关。说明巴音河流域近30 a来，无论是经济的快速发展、人口数量的改变，都对水域面积的增大起了一定的推动作用，与研究区实际情况相符。

5）建设用地：第一、第二主成分与建设用地面积分别呈正相关与负相关关系，但第一主成分 F_1 仍是其中最主要的因素（$R^2=0.962$），这体现了近年来巴音河流域经济的快速增长对建设用地的发展起到了巨大的推动作用。区域GDP增长率在近15 a来上升了20个百分点，城镇化进程不断推进，最终促使居住用地与工矿用地面积不断扩张。

6）未利用地：未利用地面积与 F_1、F_2 均呈负相关，且与 F_1 相关系数较高（$R^2=-1.067$），这说明影响巴音河流域未利用地面积的主要因素是代表经济发展的 F_2。此外人口数量及结构的变化也使流域内土地利用更加紧张，所以需要更加合理、高效地对未利用地进行开发。

3.4.2　气候变化因素

全球气候变化是造成研究区土地利用结构变化的一个重要因素。随着气候变化，年降水量与平均温度都呈现上升趋势（图4）。1990—2017年降水量和气温分别以4.13 mm/a和0.03 ℃/a的速度显著上升，暖湿化趋势日益明显。温度的上升带来了北部宗务隆山冰川

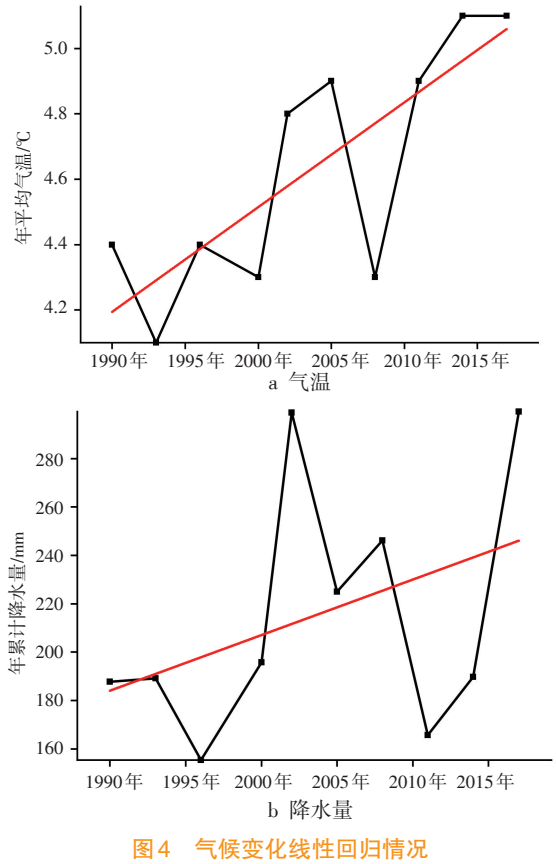


图4　气候变化线性回归情况

融水量增大，补给巴音河上游，林地及水域面积在2000年后显著增加，这也与降水量在2000年后波动上升的情况相一致。林地及水域面积在1990—2000年间经历了小幅度减少，土地荒漠化程度加剧，这可能也与气温及降水在1995年前后的下降有关。草地类型是气候变化和环境特征的标志性指示物。研究区草地以草本植物及灌木为优势类型，灌木以白刺和梭梭为主，草本植物以苦马豆和骆驼蓬为主。大气降水增加、平均温度稳定上升对沙漠草地生长发育较为有利，这与草地面积在2000年后所保持的上升趋势吻合。

4 结 论

1）1990—2000年巴音河流域林地、水域、草地均呈现不同程度的减少趋势，生态环境呈现恶化趋势。2000—2010年为研究区高速发展时期，建设用地增加幅度最大。2010—2017年耕地面积减少，建设用地面积持续增加，其他地类趋于稳定。土地利用程度呈增加趋势。

2）1990—2017年巴音河流域土地利用类型重心均发生不同程度的迁移，耕地、水域、建设用地重心迁移距离较长，耕地与建设用地重心向西南方向迁移，水域重心向东北方向迁移。

3）人类活动是导致流域土地利用变化最主要的原因，经济发展极大地影响了流域耕地、建设用地以及未利用地等用地类型的面积、转变方向与速度，且这种影响的力度正在逐年增大。气候变化是近年来研究区土地利用类型发生变化的重要因素。

分析土地利用时空变化规律，是揭示人类活动程度的有效方式，人类活动对环境的影响具有两面性，土地受人类影响可能表现改善趋势，也可能导致退化。近年来人们的经济来源方式及价值观的改变直接或间接地影响着土地利用格局转化。此外，该流域是柴达木盆地最为重要的绿色生态农耕牧业区，建议政府相关部门在进行土地利用规划设计时应结合土地利用状况及经济发展模式，发展枸杞种植等优势产业，以绿色湿地旅游业带动区域发展，同时处理协调好土地利用与社会经济发展之间的关系，维持区域生产、生活、生态安全。

参考文献

[1] 刘纪远,邵全琴,延晓冬,等. 土地利用变化对全球气候影响的研究进展与方法初探[J]. 地球科学进展,2011,26(10):1 015-1 022

[2] Liu H M, Fang C L, Fang K. Coupled Human and Natural Cube:A Novel Framework for Analyzing the Multiple Interactions Between Humans and Nature[J]. Journal of Geographical Sciences,2020,30(3):355-377

[3] Sun L, Wei J, Duan D H, et al. Impact of Land-use and Land-cover Change on Urban Air Quality in RepresentativeCities of China[J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,2016,142(5):43-54

[4] Gaur S, Mittal A. Spatio-temporal Analysis of Land Use and Land Cover Change:A Systematic Model Inter-comparison Driven by Integrated Modelling Techniques[J]. International Journal of Remote Sensing,2020,41(23):9 229-9 255

[5] 刘露,朱得胜,夏帆,等. 延河流域土地利用变化特征分析[J]. 地理空间信息,2021,19(5):38-41

[6] 李孝永,匡文慧. 京津冀1980—2015年城市土地利用变化时空轨迹及未来情景模拟[J]. 经济地理,2019,39(3):187-194

[7] 赵方圆,杨宇翔,张华堂,等. 土地利用及景观格局动态变化分析:以甘肃省党河流域为例[J]. 水土保持研究,2021,28(3):235-241

[8] 孙晨,贡璐,马勇刚,等. 塔里木河上游典型绿洲土地利用时空格局分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2020,48(7):113-122

[9] 靳含,杨爱民,夏鑫鑫,等. 基于CA-Markov模型的多时间跨度土地利用变化模拟[J]. 干旱区地理,2019,42(6):1 415-1 426

[10] 蒙吉军,江颂,拉巴卓玛,等. 基于景观格局的黑河中游土地利用冲突时空分析[J]. 地理科学,2020,40(9):1 553-1 562

[11] Rounsevell M, Reay D S. Land Use and Climate Change in the UK[J]. Land Use Policy,2009,26(增刊):160-169

[12] 严应存,校瑞香,肖建设,等. 青海省巴音河流域LUCC遥感调查及驱动分析[J]. 中国沙漠,2012,32(1):276-283

[13] 段红腾,吴发启,杨一凡,等. 近10年巴音河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究,2020,27(2):172-177

[14] 刘瑞,朱道林. 基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J]. 资源科学,2010,32(8):1 544-1 550

[15] 赵珍珍,冯建迪. 1980-2016年科尔沁沙地土地利用重心的时空迁移特征[J]. 水土保持通报,2019,39(4):256-260

[16] 王玲,米文宝,王鑫,等. 限制开发生态区土地利用变化驱动力分析:以宁夏西吉县为例[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(1):51-57

第一作者简介：王佳楠（1997—），硕士研究生，研究方向为资源环境遥感。