

近 10 年巴音河流域土地利用变化及驱动力分析

段红腾¹, 吴发启^{1,2}, 杨一凡¹, 李陶陶¹

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:通过探究近 10 年巴音河流域土地利用变化特征,了解该流域土地利用时空演变规律,为评估社会经济对其所产生的影响提供科学依据。基于 2006 年、2011 年、2016 年 Landsat TM 遥感影像,利用 GIS、RS 技术手段及主成分分析等方法,定量研究了巴音河流域土地利用时空变化特征,定性分析了引起土地利用变化的驱动因素力。结果表明:(1) 2006—2016 年,巴音河流域耕地、裸地、盐碱地面积分别减少 0.56%, 2.8%, 5.32%, 水域、居民地、林地、草地面积分别上升 1.43%, 6.24%, 0.09%, 3.11%;(2) 2006—2011 年 84.14 km² 的耕地转化为裸地及草地。2011—2016 年,居民建设用地面积增长 12.83 km², 主要来源于裸地及草地,草地转林地的面积是林地转草地面积的 2.2 倍;(3) 2006—2016 年巴音河流域土地利用处于合理开发状态,2011 年后土地利用程度综合指数的变化量仅为 1.58,土地压力得以缓解;(4) 巴音河流域土地利用格局的转变主要受人口增长、地区产业结构改变及政府政策强制性实施等因素的影响。近 10 年来巴音河流域土地利用变化是一个交替扩张和缩减的过程,但土地均处于合理开发利用状态,社会经济活动作为主要驱动力极大地影响着土地利用的演变过程。因此,在未来发展过程中如何协调处理好土地利用与经济社会之间的关系尤为重要。

关键词:土地资源利用; 遥感影像; 驱动力; 巴音河流域

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2020)02-0172-06

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2020.02.025

Land Use Change and Driving Force Analysis of Bayin River Basin in the Past 10 Years

DUAN Hongteng¹, WU Faqi^{1,2}, YANG Yifan¹, LI Taotao¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: By exploring the characteristics of land use change and the spatial evolution of Bayin River Basin in the past 10 years, we aim to provide the scientific basis for assessing the impact of social economy in this area. Based on Landsat TM remote sensing images in 2006, 2011 and 2016, the spatial and temporal change characteristics and driving forces of land uses in the study area were analyzed by using GIS, RS technology and principal component analysis. The results showed that: (1) from 2006 to 2016, the areas of cultivated land, bare land and saline-alkali land decreased by 0.56%, 2.8% and 5.32%, respectively, while the areas of water, residential land, forestland and grassland increased by 1.43%, 6.24%, 0.09% and 3.11%, respectively; (2) from 2006 to 2011, 84.14 km² of cultivated land was converted into bare land and grassland; from 2011 to 2016, the area of residential construction land increased by 12.83 km², which derived from bare land and grassland; the area of conversion of grassland to forest land was 2.2 times that of conversion of woodland to grassland; (3) from 2006 to 2016, the land uses in the Bayin River Basin were in the rational condition of development, and the change of the comprehensive index of land use degree was only 1.58 after 2011, which relieved the pressure of land use; (4) the changes of land use patterns in the Bayin River Basin were mainly affected by population growth, changed in regional industrial structure and mandatory implementation of government policies. The land use change of the Bayin River Basin in the past 10 years was a process of alternate expansion and reduction, but the land was in a state of rational development and utilization. As the main driving force, the social economic activities greatly influenced the evolution process of land uses. Therefore,

收稿日期:2019-04-08

修回日期:2019-04-26

资助项目:“十三五”国家重点研发计划课题“河源区及干旱区降雨径流挖潜与高效利用技术”(2017YFC0403600)

第一作者:段红腾(1995—),男,陕西渭南人,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀。E-mail:1534321771@qq.com

通信作者:吴发启(1957—),男,陕西黄陵人,教授,博士生导师,主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:wufaqi@263.net

how to coordinate and deal with the relationship between land uses and social economy in the future development process is particularly important.

Keywords: land resource utilization; remote sensing image; driving force; Bayin River Basin

土地利用/土地覆被变化不仅是全球及区域环境变化的主要影响因素,也是人类社会活动作用于陆地表层环境所呈现出的显著形式,反映着人类与环境的相互作用关系^[1-2]。因此,近年来以人类活动—自然环境耦合系统为核心的土地利用动态变化过程逐渐成为众多学者的研究焦点^[3-5]。西北内陆干旱地区地域辽阔但水资源极度缺乏,在人类活动和自然气候的长期作用下,形成独特的土地利用格局^[6]。巴音河流域作为柴达木盆地最为重要的绿色生态农牧业区,自 20 世纪 90 年代西部大开发以来,土地利用结构变化愈发剧烈,严重影响着当地自然地理状况^[7]。部分学者就巴音河流域生态环境、土地利用变化特征及驱动力等方面进行了系统研究^[7-10]。但关于该流域土地利用演变的时效性及完整性研究仍存在不足,主要侧重于探讨较长时间序列的自然气候条件在土地利用格局变化中所发挥的作用,且均未定量分析社会经济驱动力。针对以上问题本文选取 2006 年、2011 年、2016 年巴音河流域遥感影像数据,分别从土地利用变化速度、转移方向和土地利用程度方面研究探讨近 10 a 该流域内的土地利用演变规律,分析人类社会经济活动、自然气候条件对土地利用变化的影响方向及程度,为协调巴音河流域土地利用与社会经济发展之间的关系提供理论依据及参考价值。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

巴音河流域地处青海省中西部、柴达木盆地东北缘,介于北纬 36°53′—38°11′,东经 96°29′—98°08′,总面积 17 600 km²,行政区划包括德令哈市、乌兰县、天峻县。该流域属高原大陆性气候区,水资源极度缺乏,年平均降雨量 182.3 mm,多以暴雨形式集中于 7—9 月。地域降雨差异性较大,北部高山区降雨量多在 200 mm 以上,南部平原区降雨量为 50~150 mm。土壤类型以灰棕漠土及风沙土为主。植被以荒漠草原、草原带沙生植被、半灌木荒漠植被为主。研究区内土地利用类型主要为草地、裸地,分别占流域总面积的 51.3%,29.04%。此外,耕地面积 187.88 km²,居民建设用地面积仅有 30.74 km²。2016 年,流域总人口 14.12 万人,国内生产总值达 62.1 亿元,农牧民人均纯收入 10 340 元,城镇居民可支配收入 25 346 元。

1.2 数据源与处理

选取 2006 年、2011 年、2016 年 Landsat TM 影像作

为基础数据源,利用 ENVI 5.4 对遥感影像数据进行融合、几何校正(RMS≤1 像元)、图像拼接、裁剪等预处理工作。3 期影像色调均匀、云覆盖低于 3%。参照中国科学院资源环境数据中心的土地分类系统^[11],结合实际土地覆盖特征将巴音河流域的土地利用类型划分为:裸地、盐碱地、草地、林地、水域、耕地、居民地 7 大类。通过野外实地调查及专家经验建立巴音河流域土地利用遥感解译标志,采取监督分类得到 2006 年、2010 年、2016 年的土地利用数据,根据外业 GPS 定点核查以及随机抽样精度检验,影像解译精度均在 80% 以上。气象、社会经济等驱动力分析数据均来自于德令哈市统计年鉴(2006—2016 年)。利用 ENVI 及 ArcGIS 遥感图像处理软件制作出巴音河流域不同时期的土地利用空间分布图(附图 4)。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 单一土地利用动态度是表达土地利用类型一定时间变化幅度的指标,可定量描述区域内土地利用变化速度^[12-13]。对分析土地利用变化所引起的区域差异、预测未来土地利用变化趋势均具有重要意义。其数学模型为:

$$K = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \times \frac{1}{T_2 - T_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:K 为土地利用动态度;T₁,T₂为研究初期末期;U₁,U₂分别为 T₁,T₂时间点该类土地利用类型面积。

1.3.2 土地利用转化方向 土地利用转移矩阵能够定量表达研究区土地利用的结构变化特征、反映土地利用类型转变趋势。该分析方法来源于系统分析中对其状态及状态转移的定量描述,通过马尔科夫模型将土地利用转移变化的面积按矩阵形式罗列,确定土地利用格局的时空演化过程^[14]。其数学表达式为:

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nm} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中:S 为土地利用面积状态;n 为土地利用类型的种类数。

1.3.3 土地利用程度 应用土地利用程度综合指数模型来描绘土地利用程度,研究流域内土地利用开发程度^[15]。原理是将土地资源综合体的利用状态分为未利用、自身再生利用、认为再生利用、非再生利用 4 个等级,并分别赋予分级指数来表示利用程度。其数学模型为:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times C_i \quad (3)$$

$$L_{b-a} = L_b - L_a = 100 \times \left[\sum_{i=1}^n (A \times C_{ib}) - \sum_{i=1}^n (A \times C_{ia}) \right] \quad (4)$$

式中： L 为土地利用程度综合指数，数值越大，利用程度越高； A_i 为土地利用程度分级指数； C_i 为土地利用程度面积百分比； L_{b-a} 为土地利用程度综合变化指数； L_a, L_b 分别为 a, b 时间研究区土地利用程度综合指数； C_{ia}, C_{ib} 分别为 a, b 时间第 i 等级的土地利用程度面积百分比。根据土地利用程度综合分析方法，将土地利用分为 4 级。第 1 级为裸地、盐碱地；第 2 级为草地、林地及水域；第 3 级为耕地等农业用地；第 4 级为居民建设用地。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化速度

由 2006—2016 年巴音河流域土地利用变化速度进行数据统计分析(图 1)可知：(1) 盐碱地、耕地面积分别减小 5.32%，0.56%，变化速度均由迅猛减小转变为剧烈增长。2006—2011 年，盐碱地、耕地的减小速度分别为 12.97%，4.05%；2011—2016 年，盐碱地及耕地增长速度达 6.65%，3.66%。(2) 水域、居民建设用地面积分别上升 1.43%，6.24%，变化速度由缓慢减小转为急剧增长。2006—2011 年，水域及居民建设用地的减少速度分

别为 2.58%，1.08%；2011—2016 年，水域的增长速度为 6.24%，居民建设用地的增长速率高达 14.32%。(3) 草地面积有所增加，变化速度由 2006—2011 年增长 9.78% 转为 2011—2016 年减小 2.41%。

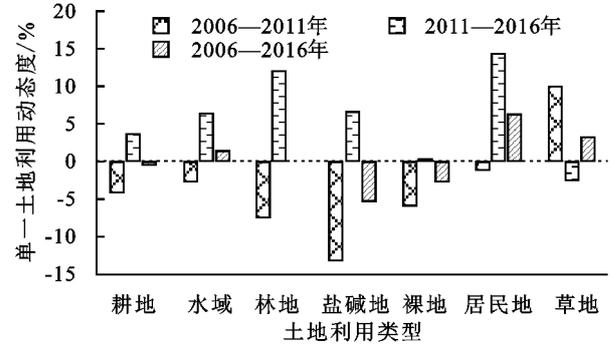


图 1 不同时期巴音河流域土地利用类型变化速度

2.2 土地利用转移特征

(1) 2006—2011 年(表 1)，林地转为其他土地利用类型的面积为 1 709.66 km²，其中绝大部分转为草地和裸地，占所转化面积的 96.87%，而期间仅有 639.96 km² 的草地和裸地转化为林地，截至 2011 年林地面积锐减 951.93 km²。林地面积的变化主要发生于黑石山水库以北的流域上游地区。耕地主要转化为草地、裸地以及少许的林地和居民区，但仅有 28.71, 14.97 km² 的草地和裸地转化为耕地，耕地面积减小。水域转为林地、草地的面积是林地、草地转化为水域面积的 1.87 倍，致使水域面积缩减。居民建设用地面积在此期间变化较小。

表 1 2006—2011 年巴音河流域土地利用类型转移矩阵

土地类型	耕地	水域	居民地	林地	草地	裸地	盐碱地	合计
耕地	99.56	0.61	1.45	9.09	51.66	32.48	4.28	199.13
水域	0.09	261.98	0.11	87.85	63.51	0.86	1.95	416.35
林地	4.04	47.00	0.16	883.89	1522.85	133.50	2.11	2593.55
盐碱地	11.08	1.83	0.17	20.73	156.42	43.32	71.97	305.52
裸地	14.97	17.34	2.90	111.92	2933.76	4074.50	2.58	7157.97
居民地	0.34	0.06	10.47	0.10	5.72	2.24	0.01	18.94
草地	28.71	33.66	2.65	528.04	5518.32	773.30	24.47	6909.15
合计	158.79	362.48	17.91	1641.62	10252.20	5060.20	107.37	17600.60

(2) 2011—2016 年(表 2)，居民建设用地转化面积的 45.62% 转为草地，同时 11.11 km² 的裸地、8.44 km² 的草地转为居民建设用地，最终导致 2016 年居民地建设用地面积增加至 30.74 km²，主要分布于德令哈市区及周边乡镇。由于海西州政府认真贯彻落实封山育林政策，环境保护成果较为突出，草地转化为林地的面积是林地转化为草地面积的 2.2 倍，林地面积增幅较大。水域转化为林地和草地面积为 36.94 km²，而林地和草地转化为水域的面积是 152.46 km²，是减少的 4.13 倍，水域面积增加。耕地 42.92 km² 转化为草地、25.18 km² 转变为裸地，同时有 67.81 km² 草地、44.11 km² 裸地转

化为耕地，耕地面积有所增加。

2.3 土地利用程度

通过统计 3 期遥感图像解译数据，计算分析土地利用程度综合指数，从而掌握近 10 a 巴音河流域土地利用变化程度。2006—2016 年巴音河流域土地利用结构发生了较大的变化(表 3)，2006 年、2011 年、2016 年 3 期土地利用程度综合指数分别为 192.32, 211.57, 213.05，但均处于 100~400 范围之内，表明土地利用处于合理开发阶段。2006—2016 年土地利用综合指数由 192.32 上升为 213.05，增加 20.83，表示该流域在 10 年间的土地利用处于发展状态，结合

同期流域土地利用变化方向可以得知主要为草地土地利用类型面积的增加。2006—2011 年土地利用程度变化量为 19.25,而 2011—2016 年土地利用程度的

变化量仅为 1.58,根据土地利用综合指数的上升幅度可知该流域土地利用状态逐渐趋于稳定,土地利用压力得以缓解。

表 2 2011—2016 年巴音河流域土地利用类型转移矩阵

km²

土地类型	耕地	水域	居民地	林地	草地	裸地	盐碱地	合计
耕地	71.53	0.65	3.2	13.88	42.92	25.18	1.43	158.79
水域	0.01	319.57	0.56	15.85	21.09	4.98	0.42	362.48
林地	4.06	11.39	0.23	793.6	754.34	75.3	2.7	1641.62
盐碱地	0.04	0.18	0.32	10.93	15.19	31.2	49.51	107.37
裸地	44.11	2.76	11.11	107.2	1414.28	3467.27	13.47	5060.2
居民地	0.32	0.09	6.88	0.1	8.17	2.33	0.02	17.91
草地	67.81	141.07	8.44	1676.12	6778.64	1504.63	75.53	10252.2
合计	187.88	475.71	30.74	2616.51	9035.8	5110.89	143.08	17600.6

表 3 巴音河流域土地利用程度综合指数及变化

分级类型	分级指数	土地利用类型	2006 年	2011 年	2016 年
未利用土地级	1	裸地	85.61	62.35	65.82
		盐碱地	1.55	0.71	0.97
		林地	20.83	18.63	21.03
林地、草地、水域用地级	2	草地	79.98	125.69	120.85
		水域	2.46	2.35	2.51
		耕地	1.13	1.09	1.11
农业用地级	3	居民地	0.76	0.75	0.86
建设用地级	4				
土地利用程度综合指数			192.32	211.57	213.05

2.4 驱动力分析

2.4.1 社会经济因素 土地利用变化是一个错综复杂的演变过程,驱动力方面主要包括自然及人为因素,其中人为活动是土地利用类型在短时间内发生急剧变化的直接影响条件^[16]。本文以巴音河流域土地利用驱动力因素为基础,结合当地实际情况及现有统计资料分别选取:体现该流域人口结构的驱动力因子,总人口(x_1)、农村人口(x_2);表征当地产业结构

的驱动因子,第一产业增加值(x_3)、第二产业增加值(x_4)、第三产业增加值(x_5);反映该地区经济发展状况的驱动因子,国民生产总值(x_6)、固定资产投资额(x_7)、消费性支出(x_8)。运用 SPSS 进行数据处理分析得到主成分荷载矩阵(表 4)。由表 4 可以看出 $x_1, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$ 在第一主要成分中系数相对较大, x_2, x_3 在第二主要成分中系数相对较大。

表 4 巴音河流域各年份主成分荷载矩阵

变量指标	2000 年		2011 年		2016 年	
	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分	第一主成分	第二主成分
总人口	0.902	0.158	0.948	0.211	0.962	0.219
农村人口	-0.396	0.899	-0.498	0.785	-0.502	0.772
第一产业	-0.049	0.982	-0.158	0.957	-0.201	0.902
第二产业	0.785	0.176	0.796	0.184	0.801	0.318
第三产业	0.793	-0.112	0.813	-0.092	0.853	-0.059
生产总值	0.979	0.065	0.977	0.079	0.971	0.102
固定资产投资额	0.782	0.414	0.812	0.408	0.849	0.107
消费性支出	0.537	0.025	0.601	0.101	0.623	0.114

进一步分析总人口、农业人口对土地利用格局变化的影响方向及程度。在流域总人口由 2006 年 10.1 万人增长到 2016 年 13.6 万人的背景条件下,农村人口却出现了 15.78% 的负增长。农村人口的减少导致耕地逐渐荒废最终演变为草地,进而形成研究期间流域耕地面积减小,草地面积上升的土地利用变化格局。此外,因总人口增长、城镇化建设的推进,10 a 间

居民建设用地面积增加 11.81 km²,尤其在 2011—2016 年土地利用动态度高达 14.32%。

2006—2016 年,巴音河流域经济发展迅猛,生产总值由 2006 年的 13.4 亿元增长至 2016 年的 62.1 亿元,增长率高达 363%,其中第三产业增长 785%。德令哈旅游业的蓬勃发展为该流域带来巨大的经济效益,致使政府更加注重生态环境保护建设,同时人民

群众经济来源方式及价值观的改变也不同程度影响着土地利用格局的演变。例如:水域面积由 416.35 km² 增加到 475.72 km²。

2.4.2 自然气候因素 2006—2016 年,巴音河流域年均温波动上升(图 2),最低年均温为 2012 年的 3.8℃,最高年均温为 2016 年的 5.3℃。气温上升导致地表温度增加,植物及土壤水分的蒸腾加强,进而影响植被生长状况。降雨量年际间变化较大,但整体表现为增长态势(图 2)。最少降雨量为 2013 年的 138.6 mm,最多降雨量为 2009 年的 312 mm。降雨及气温变化的综合叠加作用不同程度影响着土地利用类型的转变。通过降雨、气温数据可进一步推算出巴音河流域近 10 a 的干燥度指数,均处于 9~23(表 5)。依据干燥度指数划分标准可知该流域属于干旱、极度干旱区。干燥度指数的变化

趋势由 2006 年的 9.98 波动上升最终达 2016 年的 16.27,2011—2016 年上升幅度较大。因此,在政府部门大力实施环境保护政策的背景条件下,仍出现裸地、盐碱地面积回升 50.69,35.71 km² 的现象。

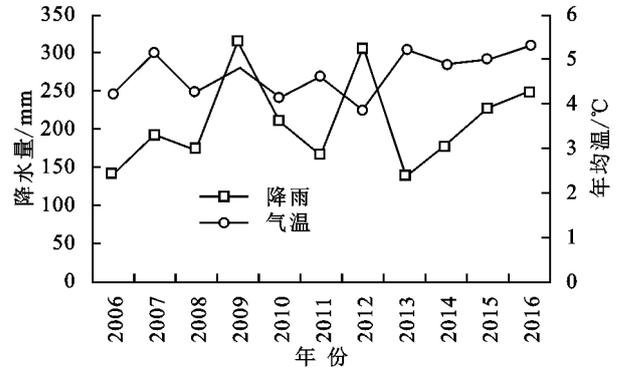


图 2 巴音河流域 2006—2016 年降雨量及气温变化

表 5 巴音河流域 2006—2016 年干燥度指数

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
干燥度指数	9.98	12.65	12.15	21.08	14.91	11.35	22.21	9.12	11.80	15.03	16.27

2.4.3 政府政策因素 政策是影响土地利用变化,德令哈市政府在此期间开展了多项生态环境保护工程,如:《青海省德令哈市巴音河(I 级—II 级水电站区段)地质灾害应急治理工程》的开展极大地促进了当地水土流失的综合治理。生态自然保护区的建立、退耕还林等政策的落实对土地利用变化也产生了强制性的影响。研究期间林地面积增长 24.22 km²,生态环境得到较为直观的改善。

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,发展优势产业,处理协调好土地利用与社会经济发展之间的关系。

本文针对巴音河流域土地利用演变的时效性及完整性进行了补充完善,并定量分析了近 10 a 来该流域社会经济对土地利用变化的影响方向和程度。但在主成分荷载矩阵分析过程中因统计数据资源有限,选取的变量指标相对较少,往后研究过程中应综合选取多因子探讨其对土地利用变化的影响规律。

3 讨论与结论

3.2 结论

3.1 讨论

自然气候是土地利用格局演变过程中的根本条件,社会经济活动则为土地利用短时间内发生急剧变化的直接影响因素^[16]。根据巴音河流域土地利用变化及驱动力分析结果可知:流域总人口上升、农村人口下降,人口分布呈现出不断向城市聚集的趋势,期间农村有效劳动力的大量流失致使耕地荒废逐渐演变为草地。此外,土地利用格局转变的影响因素是相互交叉作用关系而非单一对应,具有复杂性及复合性^[17]。流域内土地利用类型的转变不仅与人口因素有关而且与流域内的产业结构、人口素质、政府政策等紧密关联。近 10 a 德令哈市旅游业等第三产业得以迅猛发展,旅游业所带来的巨大收益致使政府部门更加注重生态环境保护建设,同时人们的经济来源方式及价值观的改变也直接或间接影响着土地利用格局的转化。此外,该流域是柴达木盆地最为重要的绿色生态农区,在提升农业科技水平的同时应积极发展优势农副产品,以有限的耕地资源创造更大的经济价值。建议政府相

(1) 2006—2016 年,巴音河流域的不同土地利用类型的变化轨迹均处于一个交替扩张和缩减的发展过程。最终演变结果表现为:耕地、裸地、盐碱地面积减少,水域、林地、居民地、草地面积增加。

(2) 研究期间,该流域土地类型转移特征为:2006—2011 年林地、耕地主要转化为草地和裸地。2011—2016 年林地面积在此期间增幅较大主要来源于草地,草地面积大幅减少,居民建设用地及耕地则主要来源于裸地和草地。

(3) 2006—2016 年,土地利用均处于合理开发状态。2011 年以后土地利用程度综合指数的变化量较之前减小,土地利用状态逐渐趋于稳定,土地压力得以缓解。

(4) 社会经济活动是巴音河流域土地利用变化的主要驱动因素,其中产业结构的调整,特别是第三产业的迅猛发展对该地区土地利用格局的演变具有重要影响。自然气候、政府政策也一定程度影响着土地利用类型的转变。

参考文献:

- [1] Johnso B G, Zuleta G A. Land-use land-cover change and ecosystem loss in the Espinal ecoregion, Argentina [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2013, 181(1):31-40.
- [2] Sun L, Wei J, Duan D H, et al. Impact of Land-Use and Land-Cover Change on urban air quality in representative cities of China[J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2016,142(5):43-54.
- [3] 姚远,丁建丽,张芳,等.土地利用变化的人文驱动因子对新疆生态系统服务价值的影响[J].*水土保持通报*, 2013,33(5):298-304.
- [4] Turner B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2007,104(52):20666-20671.
- [5] 陈宸,许玉凤,陈洪升.浅析信息技术背景下的贵州旅游发展[J].*安徽农学通报*, 2018,24(23):125-128.
- [6] 陈曦.中国干旱区土地利用与土地覆被变化[M].北京:科学出版社,2008.
- [7] 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.
- [8] 甘小莉,郝玉培,翟永洪,等.巴音河流域植被与水文动态变化研究[J].*水土保持研究*,2014,21(2):323-326.
- [9] 文广超,王文科,段磊,等.青海柴达木盆地巴音河上游径流量对气候变化和人类活动的响应[J].*冰川冻土*, 2018,40(1):136-144.
- [10] 欧立业,马海州,沙占江.基于 GIS 的柴达木盆地景观空间格局分析[J].*干旱区研究*,2004,21(3):280-285.
- [11] 谢芳,邱国玉,尹婧,等.泾河流域 40 年的土地利用/覆盖变化分区对比研究[J].*自然资源学报*,2009,24(8):1354-1365.
- [12] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].*地理学报*, 2014,69(1):54-63.
- [13] 宋开山,刘殿伟,王宗明.1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力[J].*地理学报*,2008,63(1):93-104.
- [14] 全斌.土地利用覆盖变化导论[M].北京:中国科学技术出版社,2010.
- [15] 张颖,赵宇鸾.黔桂岩溶山区土地利用程度演变的空间分异特征[J].*水土保持研究*,2018,25(1):287-297.
- [16] 张永庭,魏采用,徐友宁,等.基于遥感技术的宁东煤炭基地土地利用变化及驱动力分析[J].*地质通报*,2018,37(12):2169-2175.
- [17] 谢余初,张影,钱大文,等.基于参与式调查与主成分分析的金塔绿洲变化驱动力分析[J].*地理科学*,2016,36(2):312-320.

(上接第 164 页)

- [28] Laurie A, Mathew B, Steven B, et al. Gutowski Jr. Identification of large-scale meteorological patterns associated with extreme precipitation in the US northeast [J]. *Clim. Dyn.*, 2018,50:1819-1839.
- [29] Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps[J]. *Biological Cybernetics*, 1982, 43(1):59-69.
- [30] Hartigan J A, Wong M A. Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm[J]. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 1979, 28(1):100-108.
- [31] 王晓飞,聂生东,王远军.改进的 K-均值聚类算法及其在脑组织分割中的应用[J].*中国医学物理学杂志*, 2014,31(2):4760-4764.
- [32] Koji N, Shinichi E, Kenji J, et al. Identification of typical synoptic patterns causing heavy rainfall in the rainy season in Japan by a Self-Organizing Map[J]. *Atmospheric Research*, 2007,83:185-200.
- [33] Dzung N L, Tomohito J, Yamada, et al. Classification and forecast of heavy rainfall in northern Kyushu during Baiu season using weather pattern recognition[J]. *Atmospheric Science Letters*, 2017,18:324-329.
- [34] Yuta T, Masaru I, Dzung N L, et al. Heavy Rainfall Duration Bias in Dynamical Downscaling and Its Related Synoptic Patterns in Summertime Asian Monsoon [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatolog*, 2018,57:1477-1496.
- [35] David L D, Donald W B. A Cluster Separation Measure [J]. *Ieee Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1979, PAMI-1(2):224-227.
- [36] 黄樱,钱永甫.南亚高压与华北夏季降水的关系[J].*高原气象*,2003,22(6):602-607.
- [37] 赵阳,徐祥德,赵天良,等.中国东部夏季暴雨极端事件与水汽输送相关流型特征[J].*中国科学:地球科学*, 2016,46(8):1123-1140.
- [38] 孙葭,章新平,黄一民,等.基于多源降水数据的洞庭湖流域夏季降水与西太平洋副热带高压的关系[J].*地理科学*,2016,36(7):1115-1124.