DOI: 10.5846/stxb201801260210
张起鹏,王建,张志刚,顾洪亮.高寒草甸草原景观格局动态演变及其驱动机制.生态学报,2019,39(17): - .
Zhang Q P, Wang J, Zhang Z G, Gu H L.Dynamic change of landscape patterns and its driving mechanism in the Qinghai-Tibetan alpine meadow.Acta Ecologica Sinica,2019,39(17): - .

高寒草甸草原景观格局动态演变及其驱动机制

张起鹏[1,2],王 建[1,*],张志刚[1],顾洪亮[1]
1 南京师范大学, 南京 210023
2 甘肃民族师范学院, 合作 747000

摘要:高寒草甸是高寒地区重要的生态屏障和畜牧业基地,脆弱的生态环境极易受到自然和人类活动的影响。为了探究高寒草甸景观格局变化及其驱动力,以多期遥感影像和统计数据为基础数据,在遥感和 GIS 技术支持下,在利用景观格局指数模型来分析研究区景观格局动态演变的基础上,运用 logistic 回归模型从空间角度分析了研究区重要景观演变的驱动力。结果表明:(1)研究区植被覆盖面积所占比例始终维持在 80%以上,各景观类型结构变化较为明显;(2)2000—2016 年高寒草甸景观类型面积变化较大,其他草甸、旱地和建设用地的面积持续增加,并且年变化速率加快,灌木林地、灌丛草甸和水域面积持续减少;各类景观面积年变化率增大,2000—2009 年高寒草甸景观面积年变化率为 1.118%,2009—2016 年景观面积年变化率为 2.067%,每年发生类型转化的景观面积约为 0.691×10^4 hm^2,5 大类景观转移变化面积不大,但各小类景观的转换现象很明显。(3)景观水平上的景观指数变化反映出 2000—2009 年景观破碎化程度较强,2009—2016 年景观状态得到优化,整体趋向于整合;斑块水平上的景观指数变化反映出不同斑块类型格局差异性较大,变化特征明显。(4)海拔与坡度因子对一级分类草地景观及其二级分类灌丛草甸和其他草甸演变的影响较为显著,植被覆盖度因子对草地景观演变存在显著影响,而距离因子对灌丛草甸和其他草甸演变的影响较为显著。人文驱动因素对草原生态及景观演替起到了加速推动作用,其中,政策因素在保护和修复高寒草甸生态系统上起到了至关重要作用。

关键词:高寒草甸;景观格局;景观多样性;驱动力

Dynamic change of landscape patterns and its driving mechanism in the Qinghai-Tibetan alpine meadow

ZHANG Qipeng [1,2], WANG Jian[1,*], ZHANG Zhigang[1], GU Hongliang[1]
1 *Nanjing Normal University*, *Nanjing* 210023, *China*
2 *Gansu Normal University for Nationalities*, *Hezuo* 747000, *China*

Abstract: The alpine meadow is important to animal husbandry and serves as a key ecological barrier in the alpine region. It is easily influenced by natural and human agricultural development factors; multi-period remote sensing images and statistical data were used to analyze the factors influencing the landscape of the study area. With the support of remote sensing and GIS technology, the landscape pattern index model was used to analyze the temporal-spatial characteristics of the landscape evolvement of Hezuo from 2000 to 2016. In addition, we analyzed the driving forces of important facets of landscape evolution through a logistic regression model from a spatial perspective. The results showed that the vegetation cover area proportion was maintained at 80% during the study period, but various types of structural change in the landscape were clearly apparent. The Alpine Meadow landscape pattern changed significantly from 2000 to 2016. Other meadow areas (mainly sub-alpine and marsh meadows), dry land areas, and construction land areas presented a tendency of increase and the annual rate of change accelerated. Shrub land areas, shrub meadow areas, and water body areas showed

基金项目:国家自然科学基金项目(41271204),江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心和江苏高校优势学科建设工程项目(164320H116)
收稿日期:2018-01-26; **网络出版日期**:2018-00-00
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wangjian@ njnu.edu.cn

a tendency to decrease. The annual change in landscape area increased. The annual rate of change of the alpine meadow landscape area was 1.118% from 2000 to 2009, while the rate was 2.067% from 2009 to 2016. The annual change in landscape area was approximately $0.691 \times 10^4 hm^2$. While the overall area change of the five major landscape changes was not significant, the conversion of each sub-category was. At the landscape level, the change in the landscape index indicated that the landscape fragmentation was stronger from 2000 to 2009. With the optimization of landscape status, the overall trend was toward integration from 2009 to 2016. At the patch level, the type of pattern was quite different and the change was clear. Natural factors are the main constraints on the formation and structural changes of the regional landscape. Altitude and slope factors have significant effects on the landscape evolution of different grades. The vegetation coverage factor has a significant effect on grassland landscape evolution, while distance factors have significant effects on shrub meadows and the evolution of other meadows; however, they had different contributions to landscape evolution from 2000 to 2016. Human-related factors played an accelerated role in grassland ecology and driving landscape evolution. Among them, ecological protection and ecological civilization construction of the study area achieved clearly apparent results during the study period.

Key Words: alpine meadow; landscape pattern; landscape diversity; driving factors

青藏高原高寒草甸处在气候变化的敏感区和生态环境脆弱带,在长期的自然选择和适应过程中,成为高寒区域最重要的生命支持系统,发挥着“生态屏障”、“草地畜牧业基地”等重要功能[1],然而,气候变化和人类活动的干扰极易使其脆弱的生态环境失衡,往往造成景观的逆向演替。

景观是由自然、半自然和人工生态系统的部分或全部空间镶嵌所构成的地表综合体[2],景观功能通过景观格局以及镶嵌在景观结构中的生态系统过程进行体现[3]。通过大量的空间度量指标,景观格局研究被广泛应用于景观结构特点的研究中[4-5],景观格局在演变过程中会受到来自景观内部、外部的多种作用力,它们可导致景观中各类资源的改变和景观结构的重组[6]。对于高寒草甸景观格局变化的驱动力存在着区域差异,恶劣的区域气候变化背景下的超载过牧是藏北高原[7-8]和黄河源区[9-10]主要驱动力;水分条件成为峻河流域[11]和甘南玛曲[12]高寒草甸景观演变的主要驱动力;气候变化对可可西里景观分布具有重要影响[13];地形因子是限制疏勒河源区高寒草甸植被分布变化的主要因子[14]等。因此,对不同区域的高寒草甸景观格局演变进行研究,能够进一步了解其演变的复杂性及其驱动力的地域独特性。

合作市位于青藏高原的东北边缘地带,域内高寒草甸广泛分布,是黄河上游区重要的生态屏障,在维护黄河流域水资源和生态安全方面具有十分重要的作用[15-16],该区高寒草甸主要以亚高山草甸和灌丛草甸为优势类型,是当地畜牧业经济发展的基础。近年来,在自然因素和人类活动共同作用下,该区景观发生了很大的变化,特别是 1998 年建市以来,随着人们生活水平的提高,对草原开发利用能力水平亦进一步加强,逐渐形成了草原开发利用和草原保护之间的矛盾。研究该区景观的演变能够揭示高寒草甸草原在干扰因素作用下的景观格局变化规律,对掌控区域景观行为,制定合理的景观生态管理对策,提高人们的生活质量与水平和维护民族地区的稳定具有十分重要意义。基于此,本文以合作市为研究区,利用景观格局指数和 Logistic 回归分析等方法对高寒草甸景观格局的演变及其驱动力进行分析,以期为区域可持续发展策略的制定提供科学依据和理论支撑。

1 研究区概况

研究区位于甘南藏族自治州北部州府所在地合作市(33°06′30″—35°32′35″N, 100°44′45″—104°45′30″E),地处青藏高原和黄土高原的交汇过渡地带,黄河重要的水源补给生态功能区。全市辖 6 个乡 4 个街道办事处,即佐盖多玛乡、佐盖曼玛乡、卡加道乡、卡加曼乡、勒秀乡、那吾乡、通钦街道、当周街道、坚木克尔街道、伊合昂街道,总人口 9.33×10^4 人,总面积 2670 km^2,高原大陆性季风气候特征明显,冷季漫长,年均气温零下 0.5—3.5℃,极端最高气温 28℃,极端最低气温-24℃。年均降水量 545 mm,年蒸发量 1222 mm,平均无霜期 48 天,属典型的高寒区域。植被条件良好,以牧业为主,草场以亚高寒草甸和灌丛草甸为优势类型。土壤主

要为高山草甸土和亚高山草甸土。市域地形复杂,地势高亢,自东北向西南倾斜,东北部为山原夷平面草甸区,包括佐盖多玛、佐盖曼玛和卡加道 3 乡,海拔高度在 3000—4000 m 之间,此区地势平坦,植被优良,是良好的天然牧场;西南部是低山山区,包括卡加曼、那吾和勒秀乡 3 乡,此区山川相间,山势平缓,农田、草地交织,部分山体阴坡有森林分布,农、牧、林业均有发展。

2　研究数据与方法

2.1　数据来源与处理

为了更加准确的研究景观格局动态演变特征,遥感影像尽量选择无云且植被生长较好的 7、8、9 月份。另外考虑到遥感影像的质量和易获取性,最终选取景号为 LT51310362000265BJC00、LT51310362009209IKR00 和 LC81310362016229LGN00 的 TM 数据(分辨率为 30 m),LT5 是 TM,LC8 是 OLI 数据,采集时间分别为 2000 年、2009 年和 2016 年,数据来源网站 http://www.gscloud.cn(表 1)。图像预处理主要包括辐射校正、地面控制点几何校正及影像裁剪。以 2016 年 7 月 15 日 Landsat OLI 为基准影像,对研究所使用的影像进行几何校正,总误差控制在 1 个像元内;最后利用合作市政区边界矢量图对影像进行裁剪。所有的空间数据的投影参考系统都统一使用横轴墨卡托投影,参考椭球体为 WGS84。

表 1　遥感影像信息

Table 1　Remote sensing images used in the study

传感器 Sensor	Landsat_5 TM	Landsat_5 TM	Landsat_8 OLI_TIRS
轨道号 Path/row	131/36	131/36	131/36
日期 Acquisition	2000-09-21	2009-07-28	2016-07-15
空间分辨率 Spatial resolution/m	30	30	30

为制定适用于合作市的景观分类系统,综合考虑遥感数据、研究区土地利用现状和历史调查资料情况后,参照《全国土地利用分类》(试行)[17]划分景观类型,将研究区高寒草甸景观类型划分为林地 Forest(有林地 Forest land、其他林地 Other woodland、灌木林地 Shrub land)、草地 Grassland(灌丛草甸 Shrub meadow、其他草甸 Other meadow)、耕地 Farmland(水浇地 Irrigable land 和旱地 Dry land)、水域 Water body、建设用地/裸地 Built/bare areas 共 5 大类 9 小类(表 2)。该功能分区能够较好的区分出研究区景观单元,每个景观单元具有相近的景观格局影响因素,而对于数据的搜集与应用,更具有便利性。

表 2　景观分类系统

Table 2　Landscape classification system

一级分类 First classification	二级分类 Second classification	描述 Basic description
林地 Forest	有林地	阔叶林,针叶林,混交林等
	灌木林地	灌木林地,其他灌木林地等
	其他林地	疏林地和未成林地等
草地 Grassland	灌丛草甸	以金露梅、杜鹃、鬼箭锦鸡儿和匍匐荀子等灌丛为主
	其他草甸	以天然草本植物为主,用于放牧或割草的草地
耕地 Farmland	旱地	指无灌溉设施,主要靠天然降水种植旱生农作物的耕地
	水浇地	指有水源保证和灌溉设施,在一般年景能正常灌溉,种植旱生农作物的耕地
水域 Water body	水域	包括湖泊,河流、水库等
建设用地/裸地 Built/bare areas	建设用地和裸地	城市、农村建设用地,部分道路、工矿用地及裸地等

利用 ENVI5.1 软件选择能较好表现植被信息的 5、4、3 波段组合对 2000—2016 年的 3 期遥感影像实施了最大似然法监督分类[18-19],完成对不同时期合作市景观类型的解译,然后在 ENVI 5.1 中,通过混淆矩阵,用已

知的地物类型建立感兴趣区域,对分类结果进行验证,总体精度、Kappa 系数等分类精度指标评价。结果表明,3 期影像总体精度均高于 85%,经实地考察、高分辨率影像及历史资料的对比验证后,对数据进行修正,分类总体精度达到 90%以上,提取景观图及相应的景观属性数据。

研究中验证数据来源于实地调查及搜集、查阅的相关资料,气象、人口和国民经济等数据来源于甘南州统计年鉴、合作市统计年鉴和《数说甘南 60 年》。

2.2 研究方法

2.2.1 景观格局动态分析

基于研究区 3 期景观类型空间数据库,利用 ArcGIS10.2 软件对各景观面积、空间分布及其面积比例变化进行分析。

采用单一土地利用类型动态度和综合土地利用变化率来分析研究区不同时段内某种景观类型变化的剧烈程度,其计算公式如下[20-22]:

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

式中,K 为单一土地利用类型动态度(%),U_a、U_b分别为研究初期、研究末期某一土地利用类型的数量(hm^2),T 为研究时间长(a)。

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^{n} (A_i \times C_{i,b}) - \sum_{i=1}^{n} (A_i \times C_{i,a})}{\sum_{i=1}^{n} (A_i \times C_{i,a})}$$

式中,LC 为综合土地利用动态度(%),A_i为第 i 类土地类型利用程度分级指数,$A_i = \frac{B_i}{\sum B_i}$,$B_i$为第 i 类土地利用类型动态变化的面积(hm^2),$C_{i,a}$为研究初期第 i 类土地利用类型面积百分比(%),$C_{i,b}$为研究末期第 i 类土地利用类型面积百分比(%)。采用土地利用面积作为土地利用状态转移矩阵中的向量制作了 2000—2009,2009—2016 年两个时间段的转移矩阵。

对景观格局的分析主要从景观水平和斑块类型两个水平上进行。在景观水平上选取的指数有斑块数量(NP,Number of patches)、最大斑块指数(LPI,Largest patch index)、总边缘长度(TE,Total edge)、边缘密度(ED,Edge density)、Simpson 多样性指数(SIDI,Simpson′s diversity index)、聚集指数(AI,Aggregation index)、蔓延度指数(CONTAG,Contagion)和景观分离度指数(DIVISION,Landscape division index);斑块类型水平上选取的指数有斑块密度(PD,Patch density)、边缘密度(ED)、平均斑块面积(AREA_MN,Patch area distribution)、聚集指数(AI)、斑块内聚力指数(COHESION,Patch cohesion index)和最大斑块指数(LPI),所有指数计算在景观格局分析软件 Fragstats 4.2 中完成。

2.2.2 景观格局驱动机制分析

研究区的景观格局驱动机制主要从自然驱动力和人文驱动力两个方面来分析。

Logistic 回归分析适用于二元数据的建模,能确定各因素的重要性,且包含空间信息[23-24],本文运用 Logistic 回归模型对景观格局演变的自然驱动机制进行分析。由景观演变分析可知,研究区以草地景观为主且变化明显,同时,该区亦是典型的纯牧业县,草地畜牧业在国民经济发展中占主导地位,因此,以草地类型斑块的变化作为因变量。遵循景观自然驱动因子的全面性、可获取性、相关性和区域差异性为主的原则,结合已有学者的研究成果,选取了高寒草甸景观格局演变有较大联系的指标作为自变量进行数据统计与分析。自然驱动因子体系中(表 3),海拔和坡度因子通过数字高程模型,利用 ArcGIS 10.2 的空间分析模块进行数据提取;到公路的距离、到乡镇驻地距离和到耕地距离则利用景观分类图提取主要道路和乡镇级别居民点后再在 ArcGIS 10.2 中计算获得;植被覆盖度由归一化植被指数计算获得;最后,将每个驱动因子矢量图全部转化为

分辨率为 30m 的栅格图。

表 3　草地景观变化自然驱动因子分析指标体系

Table 3　Natural driving forces index system of grassland landscape pattern change

空间变量 Patial variables	变量说明 Variable explanations	获取方法 Acquisition method
海拔 Altitude	各取样单元的高程值	DEM 提取
坡度 Slope	各取样单元的切平面与水平面之间的夹角	DEM 提取
到公路距离 Distance to roads	各取样单元到公路(乡道及以上级别)的距离	景观分类图提取后在 ArcGIS10.2 中计算
到乡镇驻地距离 Distance to settlements	各取样单元到乡镇驻地的距离	景观分类图提取后在 ArcGIS10.2 中计算
到耕地距离 Distance to farmland	各取样单元到耕地的距离	景观分类图提取后在 ArcGIS10.2 中计算
植被覆盖度 Vegetation coverage	各取样单元的植被覆盖信息	NDVI 表达式计算

自然驱动机制分析主要从一级分类的草地景观及其二级分类的灌丛草甸、其他草甸两个尺度的景观演变情况进行分析。Logistic 回归模型的应用过程中,在保证抽样数量足够多,使数据具有统计性,且避免数据的空间自相关的基础上,本文选用随机抽样方法在研究区选取了 10000 个观测点进行分析。首先,利用 ArcGIS 10.2 软件提取景观二级分类下的灌丛草甸和其他草甸斑块,并由斑块合并获得一级分类下的草地类型斑块;然后,通过空间分析功能,将 2000、2009 和 2016 年 3 期草地斑块的解译栅格图分别进行叠加,获得草地类型斑块两个阶段的变化图(2000—2009 年和 2009—2016 年),将获得的变化图与随机点数据进行叠加处理,提取不同时期草地景观变化图的样本值作为因变量的值(草地景观发生变化的以编码“1”表示,没有发生变化的以编码“0”表示)。同样,提取所有自然驱动因子栅格图上 10000 个样本值作为自变量的值。为了去除量纲对分析结果的影响,将 Arcgis 中提取出来所有因变量和自变量数据经过标准化处理后再导入到 SPSS 统计分析软件中,通过 Logistic 的回归模型,采用正向逐步回归方法对研究区草地景观格局演变的相关驱动因子进行分析和诊断,筛选出对其变化有显著影响的因素,进而分析其驱动机制,该研究中使用 Hesmer-Lemeshow 检验。利用同样的方法完成对二级分类中的灌丛草甸和其他草甸景观演变的驱动因子分析。

作为一个高原地区的县级市,研究区社会经济条件的内部差异可能很大程度都是被自然条件所影响。社会经济因子获取的最小级别为乡镇级别,而社会经济数据在乡镇内部是没有自变量差异的。考虑到样本量与地理位置匹配问题,本文以定性分析方法对人文驱动力进行分析。

3　结果与分析

3.1　高寒草甸景观类型变化特征

对合作市三个时期的遥感影像景观分类结果研究表明,研究区 2000、2009 年和 2016 年的主要景观类型是林地(有林地、灌木林地、其他林地)和草甸(灌丛草甸、其他草甸),面积所占比例持续维持在 80%以上,耕地(水浇地和旱地)面积所占比例维持在 15%左右,建设用地/裸地和水域面积很小,均未超过 2%(图 1)。各景观类型空间分布特征明显,有林地主要分布在南部、北部山区及合作市郊且状态很稳定;灌木林与其他林地主要分布于有林地周围,但空间波动较大;灌丛草甸空间分布较为稳定,但分布面积有所减少;其他草甸分布范围最广且面积有逐渐增大趋势;建设用地/裸地和耕地主要分布于山谷低地,且存在状态稳定;水域主要集中在沟谷和低地区域但面积递减明显。

根据表 4,统计 9 类景观面积发现:2000 年至 2016 年间,景观类型面积变化特征明显:其他林地和灌木林地的缩减致使林地总面积减少 1.88×10^4 hm^2;灌丛草甸面积减少 2.477×10^4 hm^2,而其他草甸面积增加了 3.506×10^4 hm^2,使草甸总面积增大;耕地面积略有增加,其中旱地面积增加明显;建设用地/裸地持续小幅递增;水域面积呈持续递减趋势。

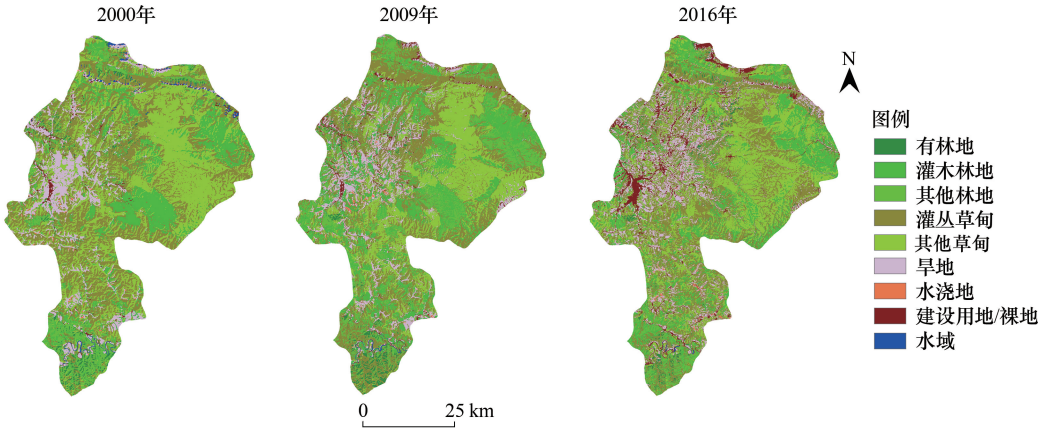

图 1 合作市 2000、2009 和 2016 年景观分类结果示意图

Fig.1 Landscape classification map of the Hezuo city in 2000, 2009 and 2016

表 4 合作市 2000—2016 年景观类型面积变化/10^4 hm^2

Table 4 Area of landscape types of Hezuo city from 2000 to 2016

年份 Year	有林地 Forest land	其他林地 Other woodland	灌木林地 Shrub land	灌丛草甸 Shrub meadow	其他草甸 Other meadow	旱地 Dry land	水浇地 Irrigable land	建设用地/裸地 Built/bare areas	水域 Water body
2000	0.315	1.182	3.879	6.137	6.199	2.147	0.792	0.196	0.325
2009	0.618	1.795	3.587	4.181	7.061	2.638	0.853	0.234	0.206
2016	0.440	0.772	2.285	3.660	9.705	3.449	0.496	0.280	0.083

根据单一土地利用类型动态度和综合土地利用动态度公式计算结果显示(图 2):2000 年以来研究区其他草甸、旱地和建设用地/裸地景观类型的面积持续增加,并且年变化速率加快。灌木林地、灌丛草甸和水域景观类型的面积持续减少,其中,灌木林地和水域面积减少速率加快,灌丛草甸面积减少速率减缓,2000—2009 年,每年发生各类型景观转化面积约为 0.474×10^4 hm^2,2009—2016 年约为 0.875×10^4 hm^2。整个研究区景观面积年变化率呈增大趋势,2000—2009 年景观面积年变化率为 1.118%,2009—2016 年增加到 2.067%。研究时段内,每年发生转化的景观面积平均约为 0.691×10^4 hm^2。

整体上,研究时段内 5 大类景观地物的转移变化量不大,但各小类景观地物的转换现象很明显。根据研究区不同时段内转移面积矩阵可知(图 3):有林地主要由其他林地和灌木林地转入,净转入量为 4.763×10^3 hm^2,其中,2000—2009 年其他林地转入量最为明显,面积为 2.425×10^3 hm^2,有林地 2009—2016 年向其他林地和灌木林地转出较多,分别为 1.140×10^3 hm^{2}和 0.758×10^3 hm^2;其他林地主要由 2000—2009 年的灌木林地和灌丛草甸转入,共 8.327×10^3 hm^2,而在 2009—2016 年其他林地主要向灌丛草甸和其他草甸转出,共转出 9.404×10^3 hm^2;灌木林地面积的减少主要发生在 2009—2016 年,其中向其他草甸转出面积为 1.745×10^4 hm^2;灌丛草甸面积持续减少并主要向其他草甸转化,在 2000—2009 年转到其他草甸面积达 1.913×10^4 hm^2;研究时段内,其他草甸面积持续增加,主要由灌木林地和灌丛草甸转入,但在 2000—2009 年曾有 0.703×10^4 hm^{2}转化成旱地。

水浇地面积波动较大,2000—2009 年面积增加显著,主要原因是由于其他草甸和水体转化成耕地,面积分别为 2.309×10^3 hm^{2}和 0.736×10^3 hm^2,在此过程中亦有 1.765×10^3 hm^{2}转化成旱地。2009—2016 年水浇地面积减少,主要向旱地和其他草甸转出,转出面积分别为 3.998×10^3 hm^{2}和 1.378×10^3 hm^2;2000—2009 年时段内的其他草甸和水浇地转入以及 2009—2016 年时段内 3.276×10^3 hm^{2}的灌丛草甸和水浇地的转入致使旱地景观面积持续增长,由旱地转出面积较少,主要包括 2000—2009 年转向其他草甸以及 2009—2016 年转向建设

用地/裸地,面积分别为 1.774×10^3 hm^2 和 0.900×10^3 hm^2;水域面积在研究时段内持续减少,并未有明显的景观类型向其转化,2000—2009 年主要向水浇地、灌丛草甸和其他草甸转移,其中灌丛草甸和其他草甸面积分别为 1.922×10^2 hm^2 和 2.019×10^2 hm^2,2009—2016 年主要向建设用地/裸地、水浇地和其他草甸转出,面积分别为 3.313×10^2 hm^2、3.114×10^2 hm^2 和 2.995×10^2 hm^2;建设用地/裸地持续缓慢增长,2000—2009 年共有 5.655×10^2 hm^2 的耕地转成建设用地/裸地,2009—2016 年除 1.2526×10^3 hm^2 的耕地和水体转化成建设用地/裸地外,亦有 3.242×10^2 hm^2 的灌木林地转化成建设用地/裸地。建设用地/裸地转出主要向耕地和其他草甸转化。

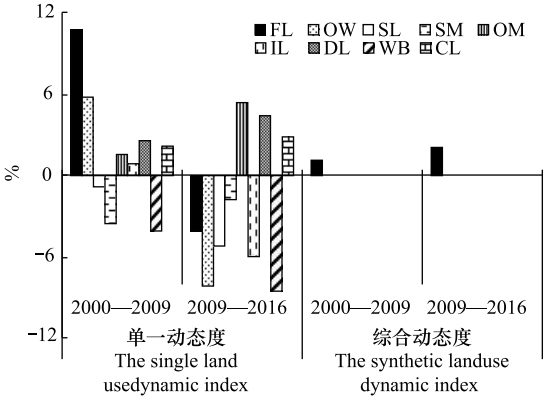

图 2　合作市不同时期土地利用动态度

Fig. 2　The Land use dynamic index of Hezuo city from 2000 to 2016

FL: 有林地 Forest land; OW: 其他林地 Other woodland; SL: 灌木林地 Shrub land; SM: 灌丛草甸 Shrub meadow; OM: 其他草甸 Other meadow; IL: 水浇地 Irrigable land; DL: 旱地 Dry land; WB: 水域 Water body; CL: 建设用地/裸地 Built/bare areas

3.2　景观层次上格局分析

研究区景观多样性指数的变化,能够表现出景观受到干扰强弱,表 5 为 2000—2016 年期间合作市景观水平上的景观指数变化,可以看出研究区的景观格局发生了明显变化,9 类景观斑块的数量(NP)由 2000 年是 9.315×10^4 个增加到 2016 年的 9.935×10^4 个,最大斑块面积(LPI)都出现在其他草甸景观类型中,其所占面积的比例由 2000 年的 7.503%增加到 2016 年的 29.376%,说明草甸景观类型为优势类型,并且其他草甸正在不断的得到整合,异质性减弱。

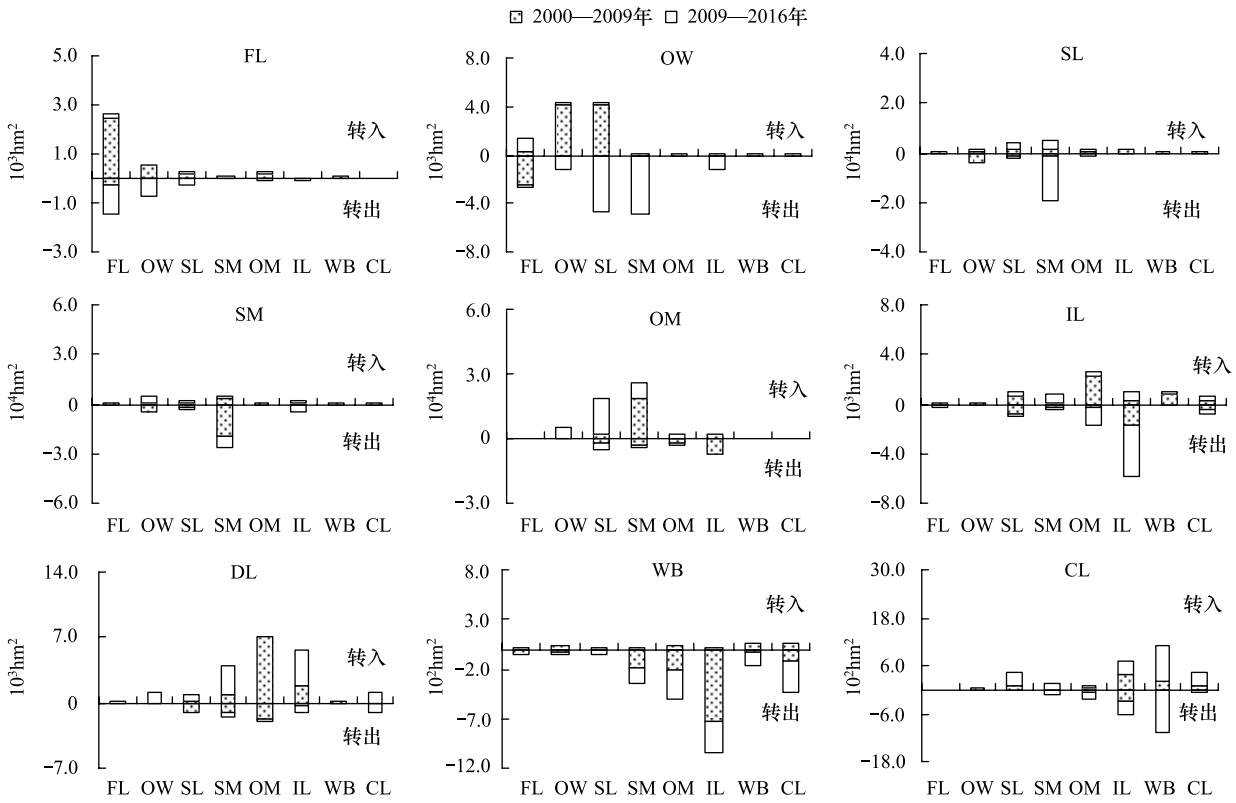

图 3　合作市不同时期各景观类型转移面积堆积图

Fig.3　The stacked plot of landscape types in Hezuo city from 2000—2016

表 5 2000—2016 年间合作市景观水平指标特征

Table 5 Changes of landscape pattern indices in Hezuo city from 2000 to 2016

年份 Year	特征指标 Characteristic index							
	NP/(10^4个)	LPI/%	TE(10^4km)	ED	SIDI	AI/%	CONTTAG/%	DIVISION
2000	9.315	7.503	3.552	84.033	0.696	87.442	56.512	0.911
2009	10.647	12.700	3.814	90.241	0.751	86.511	55.162	0.909
2016	9.935	29.376	3.607	85.332	0.682	87.242	58.138	0.892

NP: 斑块数量 Number of patches; LPI: 最大斑块指数 Largest patch index; TE: 总边缘长度 Total edge; ED: 边缘密度 Edge density; SIDI: Simpson 多样性指数 Simpson's diversity index; AI: 聚集指数 Aggregation index; CONTAG: 蔓延度指数 Contagion; DIVISION: 景观分离度指数 Landscape division index

Simpson 多样性指数(SIDI)由 0.696 增加到 0.751 后减少为 0.682,所呈现的波动反映出景观整体性在 2009 年破碎化较为严重,然后斑块得到一定的整合,景观复杂性先增大后减少。总边缘长度(TE)和边缘密度(ED)的变化亦说明在 2000—2016 年过程中景观破碎化程度一度加强,而 2009—2016 年过程中破碎化程度减弱。蔓延度指数(CONTTAG)的变化,也反映出研究区 2000—2009 年斑块破碎化程度增加,使得整个景观的连通度减小,2009—2016 年这种状态得到一定改善。景观分离度(DIVISION)的变化则表明景观破碎性变化不剧烈,且整体趋向于整合。

3.3 斑块类型层次上的格局变化

研究区各景观类型斑块密度、聚集度和面积分布不均衡,差异明显(图 4)。从研究区斑块的总体变化特征来看,研究时段内有林地、其他林地和耕地斑块密度(PD)和边缘密度(ED)增大,平均斑块面积(AREA_MN)和聚集指数(AI)减小,表明它们的斑块数量不断增加,聚集程度不断减少,破碎化程度上升,而灌木林地、灌丛草甸建设用地和水域斑块密度和边缘密度趋于减小,平均斑块面积和聚集指数趋于增大,表明景观类型中由分散趋向于集中,斑块空间分布散落性减少,小斑块得到整合,景观趋向于大型化和集中化,斑块之间的连接性有所增强,破碎程度降低。

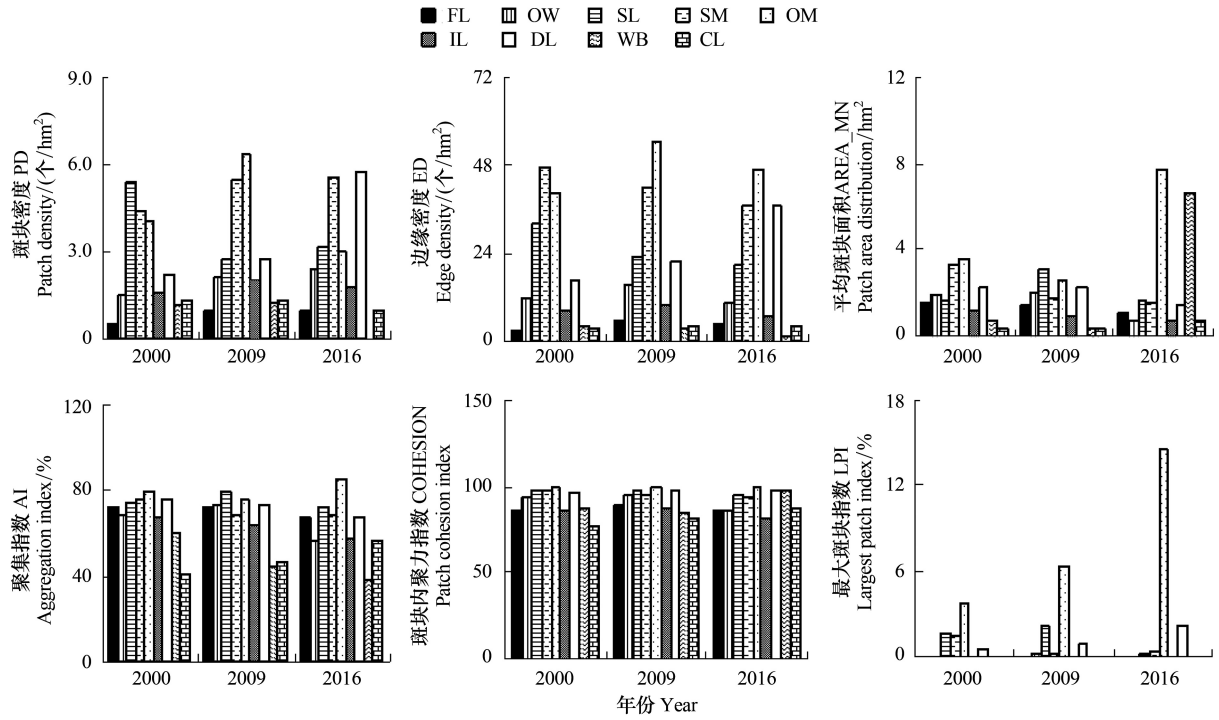

图 4 研究区景观斑块水平指数变化

Fig.4 Changes of patch type level indices in Hezuo city from 2000 to 2016

其他草甸、旱地和建设用地/裸地内聚力指数(COHESION)值增大,在分布上趋向集聚,自然连通度得到提高,灌丛草甸变化趋势与之相反,水浇地斑块的自然连通度最差,水域的自然连通度提高的最为明显。最大斑块指数(LPI)是对景观优势度的度量,反映景观中多大比例的景观面积是由该斑块的最大斑块组成的,从LPI 的动态特征来看,有林地、其他草甸、旱地和建设用地/裸地的最大斑块指数不断增大,其中其他草甸增长趋势十分明显,其他林地和灌木林地最大斑块指数明显减少,优势度减弱。

3.4　景观格局演变的驱动机制

3.4.1　自然驱动力分析

2000—2009 年间,在草地景观及其二级分类灌丛草甸、其他草甸演变的 Logistic 回归模型中,“HL 检验”指标中 sig.值分别为 0.075、0.625 和 0.450,大于 0.05,故统计结果不显著,检验通过,模型的拟合效果较好,模型预测正确率分别为 70.2%、75.8%和 71.1%,模型较为稳定;2009—2016 年间,“HL 检验”指标中 sig.值分别为 0.235、0.550 和 0.632,大于 0.05,统计结果不显著,通过检验,模型的拟合效果较好,模型预测正确率分别为 67.4%、71.1%和 74.8%,模型较为稳定,相关估计结果见表 6。

表 6　合作市草地景观变化驱动因子模型估计结果

Table 6　Model estimation of the driving forces of grassland in the Hezuo city

时间段 Period	景观类型 Landscape type	解释变量 Explanatory variable	回归系数 Regression coefficient	Wald 统计量 Wald statistics	显著性水平 Significance level
2000—2009 年	草地	到乡镇驻地距离	0.028	9.852	0.002
		植被覆盖度	−0.094	86.41	0.000
		海拔	−0.082	19.211	0.000
		坡度	0.141	98.922	0.000
		常量	−1.046	100.831	0.000
	灌丛草甸	到乡镇驻地距离	0.027	4.804	0.028
		到公路距离	0.031	4.715	0.030
		海拔	−0.104	25.235	0.000
		坡度	0.082	29.502	0.000
		常量	−1.33	141.614	0.000
	其他草甸	到耕地距离	−0.094	87.137	0.000
		海拔	0.075	21.812	0.000
		常量	−1.011	107.388	0.000
2009—2016 年	草地	植被覆盖度	−0.078	62.314	0.000
		海拔	−0.085	34.569	0.000
		坡度	0.030	4.689	0.030
		常量	−0.596	34.46	0.000
	灌丛草甸	到公路距离	0.028	4.661	0.031
		海拔	0.038	17.029	0.000
		坡度	0.043	8.515	0.004
		常量	−1.328	241.286	0.000
	其他草甸	到耕地距离	−0.077	60.949	0.000
		海拔	0.174	115.397	0.000
		坡度	−0.258	231.483	0.000
		常量	−0.714	40.661	0.000

2000—2016 年间,自然驱动因子中海拔与坡度对草地景观及其二级分类灌丛草甸和其他草甸演变的影响较为显著,植被覆盖度因子对一级分类草地景观演变存在显著影响,而距离因子对二级分类的灌丛草甸和其他草甸演变的影响较为显著。

2000—2009 年间,草地景观的坡度、植被覆盖度、海拔和到乡镇驻地距离因子进入模型,回归系数分别为

0.141、-0.094、-0.082 和 0.028,坡度和到乡镇驻地距离系数为正,表明坡度越大对草地变化的影响越大,到乡镇驻地距离越远草地的转化概率越大,植被覆盖度和海拔系数为负,说明植被覆盖度越低草地的转化概率越大,海拔越低草地的转化概率越大,由 Wald 统计量可知,坡度对草地变化的贡献量最大,贡献率为 98.922;灌丛草甸景观的自然驱动因子进入模型的有坡度、海拔、到乡镇驻地距离和到公路距离,回归系数分别为 0.082、-0.104、0.027 和 0.031,表明坡度越大对灌丛草甸变化的影响越大,到乡镇驻地距离和到公路距离越远灌丛草甸的转化概率越大,海拔系数为负,说明海拔越低灌丛草甸的转化概率越大,由 Wald 统计量可知,坡度对灌丛草甸的变化贡献量最大,贡献率为 29.502;到耕地的距离和海拔因子对其他草甸景观的影响较为显著,回归系数分别为-0.094 和 0.075,表明到耕地的距离越近,海拔越高,其他草甸景观的转化概率越大,由 Wald 统计量可知,到耕地的距离对其他草甸的变化贡献量最大,贡献率为 87.137。

2009—2016 年间,草地景观演变的植被覆盖度、海拔和坡度因子进入模型,回归系数分别为-0.078、-0.085和 0.030,表明植被覆盖度越低,海拔越低的区域草地转化概率越大,坡度越大的区域草地转化成其他景观类型概率越大。由 Wald 统计量可知,该时段植被覆盖度对草地变化的贡献量最大,贡献率为 62.314;灌丛草甸景观演变的海拔、坡度及到公路的距离因子进入模型,回归系数分别为 0.038、0.043 和 0.028,表明海拔越高,坡度越大,到公路的距离越远的区域灌丛草甸转化成其他景观类型概率越大,由 Wald 统计量可知,该时段海拔因子对草地变化的贡献量最大,贡献率为 17.029;其他草甸景观演变的坡度、海拔和到耕地的距离进入模型,回归系数分别为-0.258、0.174 和-0.077,表明坡度越小,到耕地的距离越近的区域其他草甸转换概率越大,由 Wald 统计量可知,该时段坡度因子对其他草甸变化的贡献量最大,贡献率为 231.483。

3.4.2 人文驱动力分析

人文因素不仅包括人类活动的干扰,还包括政策、经济等因素,随着经济的发展,人类活动的扰动对景观格局的稳定产生了影响。合理的管理政策有助于整合区域景观,缓解植被退化态势。由于历史原因,研究区低山区草地、灌木林地和疏林地基本被开垦为耕地,受高寒气候的影响,耕地不仅产量低,而且这种盲目的开垦也破坏草原的水源涵养功能,加剧了水土流失。2000 年以来,其他草甸斑块面积持续增加,有林地的稳定出现等现象得益于研究区实施了多项生态环境保护政策和草原生态治理工程(图 5),在植被天然生态功能修复方面取得明显成效,促进了植被的修复。

研究区土地资源利用上已形成了以牧为主的结构,放牧对草原生态及景观形成了重要影响,也是对草原生物多样性最重要的干扰机制之一,牧业产值由 2000 年的 0.21×10^8元增长到 2016 年的 1.743×10^8元,农牧民人均纯收入亦连年递增[25]。据测算,全市天然草地理论载畜量为 38.9×10^4个羊单位,而实际饲养量为 58.1×10^4个羊单位,超载约 19.2×10^4个羊单位,超载率达 33%[26],有 72.4%的草地出现了不同程度的退化[27]。虽然高寒草甸景观面积在研究区占绝对优势,但在发展畜牧业的同时,往往会对草地带来压力,草原斑块化、毒杂草滋生、草地生产力下降及水土流失等问题不容忽视。

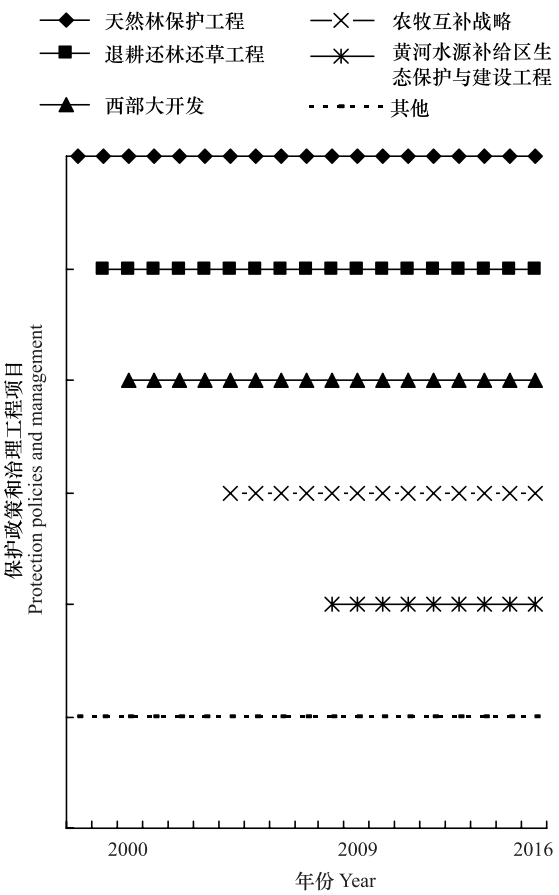

图 5 不同年份实施的生态环境保护政策和草原生态治理工程

Fig.5 Ecological environmental protection policies and grassland ecological management projects implemental in different years

4　结论与讨论

4.1　结论

本文以甘南藏族自治州合作市为研究对象,基于多时期遥感影像以及相关相关政策、经济数据经济数据,分析了 2000—2016 年的景观格局演变特征,并利用了定性和定量的方法对景观演变的驱动机制进行了探讨,主要结论如下:

(1)研究区主要景观类型是林地(有林地、灌木林地、其他林地)和草甸(灌丛草甸、其他草甸),面积所占比例始终维持在 80%以上,耕地(水浇地和旱地)面积所占比例维持在 15%左右,建设用地/裸地和水域面积很小,均未超过 2%。在研究时段内,林地总体分布比较稳定,其他林地和灌木林地的缩减致使林地总面积减少 1.88×10^4 hm^2;草甸分布范围最广,灌丛草甸面积减少 2.477×10^4 hm^2,而其他草甸面积增加了 3.506×10^4 hm^2,使草甸总面积增大;建设用地/裸地和耕地主要分布于山谷低地,耕地面积略有增加,其中,旱地面积增加明显;建设用地/裸地持续小幅递增;水域主要集中在沟谷和低地区域,水域面积呈持续递减趋势。

(2)整个研究区景观面积年变化率呈增大趋势,2000—2009 年景观面积年变化率为 1.118%,2009—2016 年增加到 2.067%,研究时段内,每年发生转化的景观面积约为 0.691×10^4 hm^2。整体上,5 大类景观地物的转移变化量不大,但各小类景观地物的转换现象很明显。林地与草甸相互转入、转出为其主要的转换现象;耕地面积的增加主要来源于草甸的转化;建设用地/裸地持续缓慢增长,主要源于耕地和水体的转化;水域面积在研究时段内持续减少,但并未发现有明显的景观类型向其转化。

(3)在景观层次上,2000—2016 年期间研究区的景观格局发生了明显变化,景观复杂性与破碎化呈现先增大后减少的现象,高寒草甸景观得到不断的整合,异质性减弱。在斑块层次上,各景观类型指数变化不一,差异明显。有林地、其他林地和耕地破碎化程度上升,但有林地和耕地的最大斑块指数不断增大。灌木林地、草甸、旱地、建设用地/裸地和水域由分散趋向于集聚,景观趋向于大型化和集中化,破碎程度降低。

(4)研究时段内,自然驱动因子海拔与坡度对草地景观及其二级分类灌丛草甸和其他草甸演变的驱动较为明显,植被覆盖度因子对草地景观演变影响显著,而距离因子较多出现在二级分类的景观中。不同驱动因子对景观演变的贡献量大小不一;畜牧业生产过程是高寒草甸景观格局变化的主要经济驱动因子,对草原生态及景观演替起到了加速推动作用,政策因素在保护和修复高寒草甸生态系统上起到了至关重要作用。

4.2　讨论

采用同一日期或更近日期的遥感影像,在不同植被生长期对研究区进行完整的实地调查能够获得较好的分类结果[28],分类精度亦对数据的精确性存在一定的影响。本研究中存在其他林地由于树种类别较为复杂,分类精度较低的问题;受“异物同谱”的影响,部分植树造林区域在分类过程中被分为草甸,建设用地/裸地归纳为一类等问题影响了总体分类精度,相关问题会在下一步研究中得到较好的处理。

草地景观格局的演变始终受到自然和人文因素的影响,通过 Logistic 回归模型对研究区景观格局演变的自然驱动力进行定量分析,草地景观类型变化在各个阶段具有不同的驱动因素。总体来讲,在特定阶段草地景观与其二级分类灌丛草甸和其他草甸景观的驱动因素具有密切关联,如海拔与坡度对不同级别的景观都具有显著影响,同时,由于景观级别的区分,灌丛草甸和其他草甸景观的类型自然驱动因子也具有独特性,如距离因子成为其演变的主要因子。畜牧业生产过程对草原生态及景观演变起到了加速推动作用,政策因素直接和间接的在保护和修复高寒草甸生态系统上起到了重要作用。

景观格局演变是一个具有阶段性、多样性以及复杂性的动态过程,不同景观类型在演变过程中具有不同的驱动因子,而不同类型的驱动因子对景观格局演变的作用强度也各有不同,并且在不同的时间或空间尺度上,各种因子的作用方式亦存在较大的差异。本文仅选取研究区主要景观类型草地进行分析,并且在驱动因子的选取上,也受限于数据的可获取性与可量化性,致使本文景观格局演变的驱动指标评价体系不够完善,如何更全面的构建景观驱动模型并且简化评价体系,还有待进一步研究。

参考文献(References):

[1] 王军邦, 刘纪远, 邵全琴, 刘荣高, 樊江文, 陈卓奇. 基于遥感-过程耦合模型的1988—2004年青海三江源区净初级生产力模拟. 植物生态学报, 2009, 33(2): 254-269.

[2] 角媛梅, 肖笃宁, 郭明. 景观与景观生态学的综合研究. 地理与地理信息科学, 2003, 19(1): 91-95.

[3] Kienast F, Bolliger J, Potschin M, de Groot R S, Verburg P H, Heller I, Wascher D, Haines-Young R. Assessing landscape functions with broad-scale environmental data: insights gained from a prototype development for Europe. Environmental Management, 2009, 44(6): 1099-1120.

[4] Palmer G C. Principles and methods in landscape ecology: towards a science of landscape. Austral Ecology, 2008, 33(3): 361-362.

[5] 邬建国. 景观生态学:格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[6] 陈利顶, 傅伯杰. 干扰的类型、特征及其生态学意义. 生态学报, 2000, 20(4): 581-586.

[7] 蔡晓布, 张永青, 邵伟. 藏北高寒草原草地退化及其驱动力分析. 土壤, 2007, 39(6): 855-858.

[8] 李亚楠, 张丽, 廖静娟, 王翠珍. 藏北中部地区草地退化遥感监测. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 1069-1075.

[9] 王根绪, 郭晓寅, 程国栋. 黄河源区景观格局与生态功能的动态变化. 生态学报, 2002, 22(10): 1587-1598.

[10] 王根绪, 丁永建, 王建, 刘时银. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化. 地理学报, 2004, 59(2): 163-173.

[11] 王瑾, 蔡演军, 安芷生, 刘娟. 基于遥感的高寒灌丛分布变化及其驱动力——以峻河流域为例. 资源科学, 2013, 35(6): 1300-1309.

[12] 韦惠兰, 郭达. 玛曲高寒草甸生态系统的动态变化及其驱动力. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1413-1420.

[13] 李睿, 朵海瑞, 史林鹭, 周延, 焦盛武, 秋培扎西, 雷光春. 可可西里1970-2013年气候变化特征及其对景观格局的影响. 北京林业大学学报, 2015, 37(12): 59-68.

[14] 陈建军, 宜树华, 秦彧, 王晓云. 疏勒河源区高寒草地景观对地形因子和冻土类型的响应. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1599-1606.

[15] 杨帆, 赵庆云, 张武. 甘南高原气候变化及对水资源的影响. 干旱气象, 2012, 30(3): 404-409.

[16] 王建兵, 安华银, 汪治桂, 王成福, 王亚茜, 陈洋. 甘南高原秋季连阴雨的气候特征及主要环流形势. 干旱气象, 2013, 31(1): 70-77.

[17] 陈爱莲, 朱博勤, 陈利顶, 吴艳华, 孙然好. 双台河口湿地景观及生态干扰度的动态变化. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1120-1128.

[18] Zhao Y L, Zhang K, Fu Y C, Zhang H. Examining land-use/land-cover change in the lake Dianchi watershed of the Yunnan-Guizhou Plateau of Southwest China with remote sensing and GIS techniques: 1974-2008. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2012, 9(11): 3843-3865.

[19] 宗秀影, 刘高焕, 乔玉良, 林松. 黄河三角洲湿地景观格局动态变化分析. 地球信息科学学报, 2009, 11(1): 91-97.

[20] 李忠锋, 王一谋, 冯毓荪, 王建华, 马安青. 基于RS与GIS的榆林地区土地利用变化分析. 水土保持学报, 2003, 17(2): 97-99, 140-140.

[21] 王美玲, 邴龙飞, 郗凤明, 吴瑞, 耿涌. 老工业搬迁区土地利用变化时空特征及其驱动力——以沈阳市铁西老工业区为例. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1969-1976.

[22] 贾科利, 常庆瑞, 张俊华. 陕北农牧交错带土地利用变化及驱动机制分析. 资源科学, 2008, 30(7):1053-1060.

[23] Catry F X, Rego F C, Bação F L, Moreira F. Modeling and mapping wildfire ignition risk in Portugal. International Journal of Wildland Fire, 2009, 18(8): 921-931.

[24] Qiu P F, Wu N, Luo P, Wang Z Y, Li M H. Analysis of dynamics and driving factors of wetland landscape in Zoige, Eastern Qinghai-Tibetan Plateau. Journal of Mountain Science, 2009, 6(1): 42-55.

[25] 罗艳红. 合作市农牧民持续增收问题研究. 农业科技与信息, 2015, (4): 30-32.

[26] 杨银芳. 合作市畜牧业资源及开发前景. 畜牧兽医杂志, 2011, 30(4): 36-38.

[27] 王录仓, 李巍, 王生荣. 高寒草地畜牧业产业化的障碍与实现路径——以甘南州合作市为例. 草业科学, 2012, 29(11): 1791-1797.

[28] Amuti T, Luo G. Analysis of land cover change and its driving forces in a desert oasis landscape of Xinjiang, northwest China. Solid Earth, 2014, 5(2): 1071-1085.