

DOI: 10.5846/stxb201902250346

肖建设, 乔斌, 陈国茜, 史飞飞, 曹晓云, 祝存兄. 黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变. 生态学报, 2020, 40(2): 510-521.

Xiao J S, Qiao B, Chen G Q, Shi F F, Cao X Y, Zhu C X. Land use change and evolution of ecosystem service value in Maduo County of source region of the Yellow River. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(2): 510-521.

黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变

肖建设^{1, 2, *}, 乔斌^{1, 2}, 陈国茜^{1, 2}, 史飞飞^{1, 2}, 曹晓云^{1, 2}, 祝存兄^{1, 2}

1. 青海省气象科学研究所, 西宁 810001

2. 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001

摘要: 黄河源区玛多县作为“世界的一方净土”, 开展土地利用变化及生态系统服务功能量化评价, 以期为保障黄河流域乃至全国生态安全提供支撑。以黄河源区玛多县为研究案例, 统计了 2005—2015 年玛多县土地利用类型转移矩阵、土地利用变化动态度, 计量了 2005—2015 年玛多县生态系统服务价值演变特征。结果表明: (1) 10 年间玛多县土地利用结构变化显著, 高覆盖度草地、建设用地面积分别增加了 38.30% 和 3.85 倍, 低覆盖度草地、林地分别降低了 44.29% 和 86.55%。(2) 10 年间林地、低覆盖度草地的单一土地利用动态度分别为 -8.65%、-4.43%, 高覆盖度草地、中覆盖度草地的单一土地利用动态度分别为 3.83%、2.83%, 土地利用类型演变表现为从林地、低覆盖度草地向高覆盖度草地、中覆盖度草地的转移; 前期 (2005—2010 年) 林地、低覆盖度草地迅速减少, 后期 (2010—2015 年) 建设用地急速扩张。(3) 10 年间玛多县生态系统服务价值 (ESV) 呈增长趋势, 从 2005 年的 911.24×10^8 元增长到 2015 年 938.87×10^8 元; 单项生态系统服务价值中水文调节的 ESV 贡献量最大, 在 53.70%—55.24% 之间。(4) 10 年间水域面积比例在 8.21%—8.31% 之间波动, ESV 贡献量约占生态系统服务价值均在 50% 左右, 未利用土地和高覆盖度草地的 ESV 贡献量分别为 16.85%—17.26% 和 13.78%—18.50%, 低覆盖度草地的 ESV 减少了 44.29%。

关键词: 土地利用变化; 生态系统服务价值; 演变过程; 玛多县

Land use change and evolution of ecosystem service value in Maduo County of source region of the Yellow River

XIAO Jianshe^{1, 2, *}, QIAO Bin^{1, 2}, CHEN Guoqian^{1, 2}, SHI Feifei^{1, 2}, CAO Xiaoyun^{1, 2}, ZHU Cunxiong^{1, 2}

1 Qinghai Province Institute of Meteorological Sciences, Xining 810001, China

2 Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation of Qinghai Province, Xining 810001, China

Abstract: Maduo County in the Yellow River source area is a “purified land of the world”. Carrying out quantitative research on land use change and ecosystem service functions can provide support for ensuring ecological security in the Yellow River Basin and the whole country. Taking the Maduo County of Source Region of the Yellow River as a research case, we counts the transfer matrix of land use types and the land use change, and measures the evolution characteristics of its ecosystem service value (ESV) in Maduo County from 2005 to 2015. The results showed that (1) the land use structure of Maduo County has changed significantly in past 10 years. The area of high coverage grassland and construction land increased by 38.30% and 3.85 times, respectively. The area of low-coverage grassland and forests decreased by 44.29% and 86.55%, respectively. (2) The single land use change of forests and low coverage grassland were -8.65% and -4.43%, respectively. The single land use change of high coverage grassland and medium coverage grassland were 3.83% and 2.83% respectively during the 10 years. Therefore, the evolution of land use type mainly presents the transfer from forests and low coverage grassland to high coverage grassland and medium coverage grassland. In the early stage (2005—2010), the

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41761078); 科技部中国科技基础资源调查专项 (2017FY10050); 青海省科技厅项目 (2018-SF-142)

收稿日期: 2019-02-25; **网络出版日期:** 2019-11-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaojianshe@126.com

woodland and low coverage grassland decreased rapidly. In the later stage (2010—2015), the construction land expanded rapidly. (3) The ESV in Maduo County was growing from 911.24×10^8 yuan in 2005 to 938.87×10^8 yuan in 2015. The single ESV of hydrology regulation contributed to 53.70%—55.24%. (3) The proportion of water area fluctuated between 8.21% and 8.31% in 10 years. Its ESV contribution accounted for about 50% of the total ecosystem service value. The ESV contribution of unutilized land and high coverage grassland were 16.85%—17.26% and 13.78%—18.50%, respectively. The ESV of low coverage grassland decreased by 44.29%.

Key Words: land use change (LUC); ecosystem service value (ESV); evolution process; Maduo County

土地利用变化被认为是全球环境变化的核心议题和关键因素之一^[1-2],直接影响着生态系统的质量和过程演变,进而驱使生态系统的结构和服务功能发生相应改变^[3-4],最终通过生态系统服务价值(ESV, Ecosystem Services Value)来反映和表征^[5]。关于生态系统服务价值估算则以 Constanza 等^[6]和谢高地等^[7]提出的价值量估算模型应用最为广泛。土地是生态系统服务的核心和媒介,土地利用类型、方式的作用过程影响着区域生态环境质量的改善、生态系统服务的稳定供给乃至人类福祉的有序提升^[8]。伴随着社会经济变化革新的驱动^[9],土地类型和利用方式正在发生快速转变^[10-12],土地利用变化及生态系统服务功能量化评价研究受到热捧^[5, 13],成为全球变化研究的时代命题。

目前,在土地利用变化及相关研究方面,土地利用变化时空格局^[2, 4, 14-15]及其驱动机制^[16-18]的研究颇为详实,已成为土地利用变化研究的显学。关于土地利用变化与生态系统服务价值研究,学术界从不同角度开展了研究工作,部分学者针对土地利用类型及生态系统服务价值时空演变^[19-22]开展了富有成效的探讨;少数学者从土地利用变化对生态系统服务价值影响维度^[11, 23-24]切入开展了探索性实证研究。值得注意的是,近期发表的部分研究成果很有启示意义。其中,雷金睿等^[25]、徐媛银等^[26]应用空间自相关理论定量分析了土地利用与生态系统服务价值的关联模式、聚集规律、空间溢出效应等空间自相关性,是土地利用与生态系统服务价值研究的一次大胆尝试;戴文远等^[27]引入“三生空间”概念分析了福州新区土地利用功能转型与生态系统服务价值时空演变也很有代表性。梳理文献不难发现,目前在土地利用变化及其生态系统服务价值研究中,主要聚焦在城市化步伐快速且土地类型变化剧烈的东部发达地区,研究对象多为城市生态系统^[28-29]。在西北干旱地区、青藏高原等典型生态脆弱区、国家重点生态功能区开展的相关研究鲜有报道。特别是,有地球第三级之称的青藏高原作为我国重要的战略资源储备基地和生态安全屏障^[30],其核心腹地黄河源区高寒生态系统更是“世界的一方净土”,这里地理位置特殊,气候条件独特,密切关注这一区域土地利用变化与生态系统服务价值演变特征对于支撑服务“一路一带”重大倡议具有启示作用。

近年来,青海省在“生态立省”理念的指导下,加大了三江源地区的生态保育与恢复力度,2005年以来大力实施的三江源生态保护和建设工程从根本上扭转了三江源地区生态退化的僵局。玛多县位于三江源地区的黄河源区,是黄河的发源地,生态战略地位至关重要。2005年三江源生态保护和建设工程实施以来,作为典型生态环境脆弱区的玛多县土地利用类型结构发生了那些变化?其生态系统服务价值演变表现在哪些方面?这一科学问题还没有做出精准回答。因此,本研究以黄河源区玛多县为例,统计了2005—2015年玛多县土地利用类型转移矩阵、土地利用变化动态度,计量了2005—2015年玛多县生态系统服务价值演变特征,以期在区域治理过程中为科学规划管理土地资源、有序制定生态补偿政策、精准实施生态恢复与保育工程项目等提供决策依据和智库咨询。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

玛多县地处青海省果洛藏族自治州西北部,总面积 2.45 万 km²,是国家级重点生态功能区县。位于

34°05′—35°30′ N, 96°56′—99°16′ E 之间, 西南与四川省相邻, 东与玛沁县相依, 东南与达日县相接, 西与曲麻莱县、称多县毗邻, 北与都兰县接壤。玛多县属高原大陆性半湿润气候, 年平均气温 -2.1—5.3℃, 年降水量 247.8—484.8 mm。玛多县辖玛查理镇、花石峡镇、扎陵湖乡、黄河乡等 2 镇 2 乡, 距西宁市 497 km, 人口约 1.5 万人, 其中藏族人口占 85% 以上。玛多, 藏语意为“黄河源头”, 地处黄河源头, 湖泊众多, 素有“百湖之县”之称。作为传统的牧业县, 畜牧业在玛多县占主导地位 (图 1)。

1.2 数据来源与处理

本研究中玛多县 2005 年、2010 年、2015 年土地利用数据以 landsat-5/TM、landsat-8/OLI 遥感影像数据为数据源。根据研究区土地资源特征和研究目标, 结合野外实际考察, 参照土地利用现状分类标准 (GB/T 21010-2017)^[31], 把研究区的土地利用/覆被类型划分为林地、高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地、水域、建设用地、未利用土地等 7 种类型 (表 1)。通过建立解译标志采用人工目视解译最终生成研究区土地利用类型。为保证土地利用类型解译精度, 以全国第二次土地利用调查数据 (2009 年) 为参照, 通过地物类型斑块修改和图层拼接, 最终得到玛多县 3 期土地利用的图形数据库和相应属性数据库, 经 Kappa 系数检验和野外实地考察验证, 精度达 90% 以上。研究区土地利用类型数据均采用 Albers 等面积圆锥投影, 双标准纬线为 25°N 和 47°N, 中央经线为 110°E。

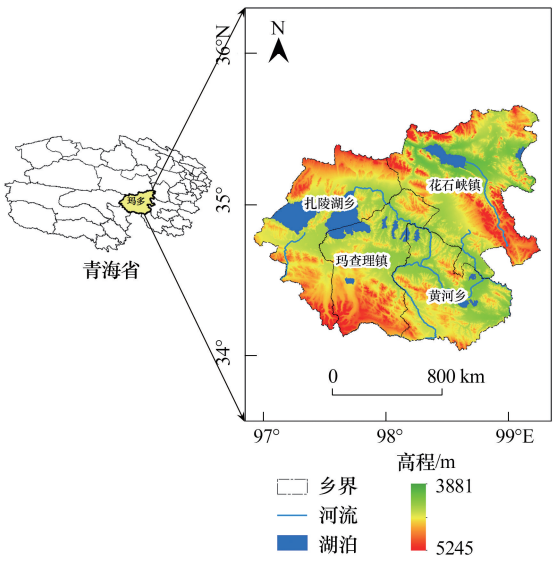


图 1 玛多县地理位置
Fig.1 Geographic location of Maduo County

表 1 玛多县土地利用分类系统
Table 1 Land use classification system of Maduo County

代码 Code	土地利用类型 Land use type	分类标准 Standard for classification of soils/UCS
1	林地 Forests	指郁闭度>40%、高度在 2 米以下的矮林地、灌丛林地;郁闭度为 10%—30%的稀疏林地
2	高覆盖度草地 High coverage grassland	指覆盖度在>50%的天然草地、改良草地和割草地。此类草地一般水分条件较好,草被生长茂密
3	中覆盖度草地 Moderate coverage grassland	指覆盖度在 20%—50%的天然草地和改良草地。此类草地一般水分不足,草被较稀疏
4	低覆盖度草地 Low coverage grassland	指覆盖度在 5%—20%的天然草地。此类草地水分缺乏,草被稀疏,牧业利用条件差
5	水域 Water	指天然形成的河流;天然形成的积水区常年水位以下的土地;河、湖水域平水期水位与洪水期水位之间的土地
6	建设用地 Construction land	指镇以上建成区用地和镇以下的居民点用地以及交通道路、特殊用地等其他建设用地
7	未利用土地 Unutilized land	指植被覆盖度在 5%以下的沙地;地势平坦低洼、存在季节性积水或常积水且生长湿生植物的沼泽地;地表盐碱聚积且生长耐盐碱植物的盐碱地

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度模型

土地利用动态度模型是探究土地利用变化的经典范式,其表征的是研究区域内特定时间段不同土地利用类型的变化幅度和速度,反馈的是研究区土地利用变化特征,包括单一土地利用动态度和综合土地利用动态度^[4, 32-33]。

单一土地利用动态度(K)反映研究区某一土地利用类型在单位时间的面积变化情况,表示某种土地利用类型的年变化率。模型表达式为:

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

式中, i 为第 i 类土地利用类型; S_i 、 S_j 分别为研究期末和研究期初某一土地利用类型的面积,单位 km^2 ; T 为研究时段长度,单位为年。

综合土地利用动态度(LC)反映某一研究时段研究区内所有土地资源的整体变化速度,表示研究区综合土地利用变化的年变化率。模型表达式为:

$$LC = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta d S_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n d S_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中, dS_i 为研究初期第 i 土地利用类型面积; ΔdS_{i-j} 表示研究时段第 i 土地利用类型转为非 i 土地利用类型面积的绝对值,单位 km^2 ; n 为土地利用类型的总数; T 为研究时段长度,单位为年。

1.3.2 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是研究土地利用类型之间转移方向和数量变化的经典方法,揭示的是土地利用类型格局的演化过程。土地利用变化可以通过土地利用转移矩阵表达,表 2 为土地利用类型转移矩阵的具象表达形式。其中, A_i 表示第 i 种土地利用类型,行元素之和表示该类土地转移前面积,列元素之和表示该类土地转移后面积, i, j 代表转移前后的土地类型, S_{ij} 表示由 i 类用地转为 j 类用地的土地面积^[2, 9, 15, 34]。

本研究中,土地利用转移矩阵利用 ArcGIS 10.3 软件下 Dissolve 命令对土地利用矢量图层进行数据合并,进一步采用 Intersect 命令对合并后的矢量图层进行叠置分析,采用 Excel 数据透视表建立土地利用转移矩阵。

1.3.3 生态系统服务价值估算

本研究选取基于货币量的价值量评价法,以谢高地等^[7]制定的生态系统服务价值当量表为基础,参考陈春阳等^[35]的研究成果,结合研究区实际情况构建玛多县单位面积生态系统服务价值当量权重因子(表 3)。具体来说,林地、水域分别选用灌木、水系的生态系统服务价值当量作为基准当量值^[7];未利用土地以湿地、裸地价值当量的平均值作为基准当量;建设用地则不考虑生态系统服务价值^[23];高覆盖度草地则对应草原、草甸、灌草丛的平均值作为基准当量,中覆盖度草地、低覆盖度草地以高覆盖度草地作为标准当量,按比例权重适当逐渐缩小,且进一步修正了低覆盖度草地的基准当量^[35]。生态系统服务价值计算引用 Costanza 等^[6]的生态系统服务价值系数法,公式表达为:

$$ESV = \sum (A_k VC_k)$$

式中, ESV 为生态系统服务总价值,单位 10^8 元; A_k 为第 k 种土地利用类型面积,单位 hm^2 ; VC_k 为第 k 种土地利用类型的生态价值系数。

单位当量的经济价值量等于当年全国平均粮食价格的 $1/7$,本研究选取 2015 年单位当量的经济价值^[27]作为基准数据来衡量不同土地利用类型的生态系统服务价值。

表 2 土地利用转移矩阵

Table 2 Land use transition matrix

	A_1	A_2	...	A_i
A_1	S_{11}	S_{12}	...	S_{1i}
A_2	S_{21}	S_{22}	...	S_{2i}
...	...	...	...	...
A_i	S_{i1}	S_{i2}	...	S_{ii}

表 3 玛多县单位面积生态服务价值当量权重因子

Table 3 The equivalent weight factor of ecological service value per unit area in Maduo County

生态服务功能 Ecosystem service		林地 Forests	高覆盖 度草地 High coverage grassland	中覆盖 度草地 Moderate coverage grassland	低覆盖 度草地 Low coverage grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	未利用土地 Unutilized land
供给服务 Provisioning service	食物生产	0.19	0.23	—	—	0.80	—	0.26
	原料生产	0.43	0.34	0.29	0.20	0.23	—	0.25
	水资源供给	0.22	0.19	0.16	—	8.29	—	1.30
调节服务 Regulating service	调节气体	1.41	1.21	1.03	0.73	0.77	—	0.96
	调节气候	4.23	3.19	2.71	1.91	2.29	—	1.80
	净化环境	1.28	1.05	0.89	0.63	5.55	—	1.90
	水文调节	3.35	2.34	1.99	1.40	102.24	—	12.13
支持服务 Support service	保持水土	1.72	1.47	1.25	—	0.93	—	1.17
	养分循环	0.13	0.11	—	—	0.07	—	0.09
	生物多样性	1.57	1.34	1.14	0.80	2.55	—	3.95
文化服务 Cultural service	美学景观	0.69	0.59	0.50	0.35	1.89	—	2.37

2 结果与分析

2.1 玛多县土地利用类型变化特征

2.1.1 玛多县土地利用结构变化

玛多县总面积约为 2.45 万 km²,土地利用包括林地、草地、水域、建设用地、未利用土地等类型。具体来看 (图 2 和表 4),玛多县地处青南高原,受自然海拔、气候因子的影响,草地是主要的土地利用类型,构成了高寒

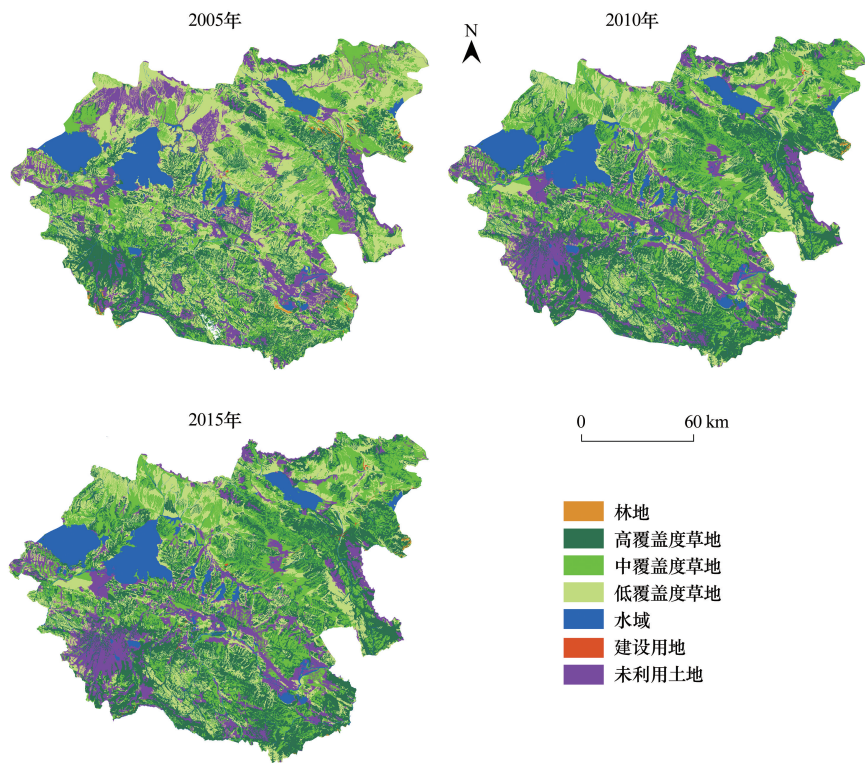


图 2 2005—2015 年玛多县土地利用类型分类

Fig.2 Classification of land use types in Maduo County from 2005 to 2015

植被生态系统的主体。2005 年、2010 年和 2015 年草地面积均在 1.90 万 km^2 上下波动,占玛多县面积比例在 77.39%—77.65%之间。值得注意的是,不同覆盖度草地植被的结构比例变化显著,2005—2015 年高覆盖度草地增加了 2259.66 km^2 ,中覆盖度草地增加了 1404.27 km^2 ,低覆盖度草地减少了 3600.01 km^2 。高覆盖度草地占玛多县面积比例由 2005 年的 24.04% 上升至 2015 年的 33.25%,低覆盖度草地占玛多县面积比例由 2005 年的 33.13% 下降至 2015 年的 18.46%;水域是研究区重要的土地利用类型,主要包括鄂陵湖、扎陵湖、冬给措纳湖以及黄河水系玛多段等,2005—2015 年水域面积略有降低,占玛多县面积比例在 8.21%—8.31%之间;玛多县林地主要包括灌木林和疏林地,2005 年面积为 97.30 km^2 ,2010 年面积减少至 16.42 km^2 ,下降了 80.88 km^2 ,2015 年进一步下降至 13.09 km^2 ;未利用土地主要包括沙地、盐碱地和沼泽地,2005—2015 年面积在 3402.50—3432.17 km^2 之间,面积变化幅度不显著;2005—2015 年玛多县建设用地的面积比例在 0.04%—0.14% 之间,2010 年以后建设用地增加迅速,2010 年面积为 11.77 km^2 ,2015 年增加至 33.29 km^2 ,增加了 21.52 km^2 。综上,2005—2015 年玛多县土地利用结构变化显著,高覆盖度草地、建设用地面积增加明显,10 年间(2005—2015 年)分别增加了 38.30% 和 3.85 倍,低覆盖度草地、林地面积减少显著,10 年间(2005—2015 年)分别降低了 44.29% 和 86.55%,水域、未利用土地面积变化幅度不大。

表 4 2005—2015 年玛多县土地利用面积统计

Table 4 Statistics of land use area in Maduo County from 2005 to 2015

土地利用类型 Land use type	2005		2010		2015	
	面积	比例	面积	比例	面积	比例
	Area/ km^2	Proportion/%	Area/ km^2	Proportion/%	Area/ km^2	Proportion/%
林地 Forests	97.30	0.40	16.42	0.07	13.09	0.05
高覆盖度草地 High coverage grassland	5899.43	24.04	8125.43	33.11	8159.09	33.25
中覆盖度草地 Moderate coverage grassland	4961.77	20.22	6409.66	26.12	6366.04	25.94
低覆盖度草地 Low coverage grassland	8128.69	33.13	4520.84	18.42	4528.68	18.46
水域 Water	2039.42	8.31	2021.46	8.24	2014.15	8.21
建设用地 Unutilized land	8.65	0.04	11.77	0.05	33.29	0.14
未利用土地 Construction land	3402.50	13.87	3432.17	13.99	3423.42	13.95
总计 Total	24537.75	100	24537.75	100	24537.75	100

2.1.2 玛多县土地利用变化动态度

根据玛多县土地利用遥感解译数据计算土地利用变化动态度,结果见表 5 所示。从单一土地利用动态度 (K) 来看,10 年间(2005—2015 年)林地、低覆盖度草地减少幅度较大,动态度分别为-8.65%、-4.43%,是高覆盖度草地、中覆盖度草地、建设用地得以扩张的来源。前期(2005—2010 年)林地、低覆盖度草地减少迅速,变化幅度分别为-16.62%、-8.88%,后期(2010—2015 年)建设用地急速扩张,年变化率为 36.57%,10 年间(2005—2015 年)水域变化动态度为-0.12%,且前期(2005—2010 年)水域变化动态度高出后期(2010—2015 年)水域变化动态度 0.11%。整体来看,10 年间(2005—2015 年)综合土地利用动态度(LC)为 2.73%,前期(2005—2010 年)土地利用变化程度活跃,变化率为 5.28%,后期(2010—2015 年)土地利用类型变化较为平缓,综合指数为 2.28%。

2.1.3 玛多县土地利用类型转移特征

根据玛多县土地利用变化转移矩阵可知(表 6),10 年间(2005—2015 年)土地利用类型变化主要是从林地、低覆盖度草地向高覆盖度草地、中覆盖度草地的转移。前期(2005—2010 年)土地利用类型变化大致与十年间整体趋势一致,后期(2010—2015 年)土地利用变化主要表现为不同覆盖度草地之间的转移。具体来说,前期(2005—2010 年)转出面积表现为低覆盖度草地>中覆盖度草地>高覆盖度草地>未利用土地>水域>林地>建设用地。低覆盖度草地转出面积最大,为 5508.49 km^2 。转入面积较大的有中覆盖度草地和高覆盖度草地,分别为 4710.36 km^2 和 4125.03 km^2 。其他土地利用类型间的转化不明显;后期(2010—2015 年)土地利

用转移总面积为 5587.48 km², 仅是前期的转移总面积的 43.16%, 土地利用类型转移幅度不显著。转出面积中高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地的转出相对均衡, 分别为 1890.13 km²、1589.55 km² 和 1238.35 km²。转入面积表现为高覆盖度草地>中覆盖度草地>低覆盖度草地>未利用土地>水域>建设用地>林地, 其中建设用地转入明显, 为 28.42 km²。

表 5 2005—2015 年玛多县土地利用变化动态度/%
Table 5 Land use change in Maduo County from 2005 to 2015

土地利用类型 Land use type	单一土地利用动态度 Single land use change			综合土地利用动态度 Comprehensive land use change		
	2005—2010	2010—2015	2005—2015	2005—2010	2010—2015	2005—2015
林地 Forests	-16.62	-4.06	-8.65			
高覆盖度草地 High coverage grassland	7.55	0.08	3.83			
中覆盖度草地 Moderate coverage grassland	5.84	-0.14	2.83			
低覆盖度草地 Low coverage grassland	-8.88	0.03	-4.43	5.28	2.28	2.73
水域 Water	-0.18	-0.07	-0.12			
建设用地 Unutilized land	7.21	36.57	28.49			
未利用土地 Construction land	0.17	-0.05	0.06			

2.2 生态系统服务价值估算

根据表 7 可知, 2005—2010 年玛多县生态系统服务价值 (ESV) 呈增长趋势, ESV 从 2005 年的 911.24×10^8 元增长到 2010 年 940.97×10^8 元, 增长了 3.26%。2010—2015 年玛多县 ESV 略有减少, 减少了 2.10×10^8 元; 11 种生态服务功能的 ESV 也表现为前期 (2005—2010 年) 呈增长趋势, 后期 (2010—2015 年) 维持不变或略有回落。11 种单项生态服务功能价值中, 水文调节价值贡献率最大, 其次是调节气候、生物多样性、净化环境、水资源供给, 上述 5 种单项生态服务功能价值构成了玛多县 ESV 的主体。此外, 食物生产、养分循环的价值贡献率较小。其中, 2005 年、2010 年、2015 年水文调节的 ESV 分别为 503.37×10^8 元、 505.65×10^8 元和 504.13×10^8 元, ESV 贡献率在 53.70%—55.24% 之间。气候调节的 ESV 由 2005 年的 104.14×10^8 元增加到了 2015 年的 110.78×10^8 元。养分循环的 ESV 贡献率在 0.22%—0.25% 之间。10 年间 (2005—2015 年) 玛多县 ESV 演变由前期 (2005—2010 年) 显著增加到后期 (2010—2015 年) 趋于缓和, 说明其土地利用内部结构和景观格局趋向优化, 提供的生态系统服务趋于稳定。

从土地利用类型来看 (表 1 和表 8), 2005—2015 年玛多县水域面积比例在 8.21%—8.31% 之间, 但 ESV 贡献最大。2005 年、2010 年、2015 年水域 ESV 分别为 452.19×10^8 元、 448.21×10^8 元和 446.59×10^8 元, 占生态系统服务价值比例分别是 49.62%、47.63% 和 47.57%; 未利用土地和高覆盖度草地也是 ESV 的主要构成部分, ESV 贡献量分别为 16.85%—17.26% 和 13.78%—18.50%。其中 2005 年未利用土地对 ESV 贡献量排序第 2, 2010 年、2015 年 ESV 贡献量排序第 3, 高覆盖度草地的 ESV 贡献量则从 2005 年的排序第 3 上升到 2010 年和 2015 年的排序第 2; 2005—2015 年玛多县中覆盖度草地 ESV 贡献量的排序一直保持在第 4, ESV 则呈现增长趋势, 2005 年为 87.23×10^8 元, 2015 年增长到 111.92×10^8 元, 增加了 24.69×10^8 元; 低覆盖度草地 ESV 呈现减少趋势, 从 2005 年的 86.38×10^8 元减少到 2015 年的 48.12×10^8 元, 减少了 44.29%。

3 讨论与结论

3.1 讨论

土地利用变化是表征生态环境演化的指示器。本研究表明草地作为玛多县高寒植被系统的典型地带性植被, 是当地主体的土地利用类型和重要的生态资产。2005—2015 年玛多县土地利用结构变化显著, 10 年间高覆盖度草地、建设用地面积增加显著, 低覆盖度草地大幅度减少, 表明玛多县土地利用结构逐渐优化, 区域生态环境趋于改善。邵全琴等^[36]研究表明 2005—2013 年三江源生态保护和建设一期工程的实施有效改善

表 6 不同时期玛多县土地利用变化转移矩阵/ km^2
Table 6 Land use change transfer matrix of Maduo County in different periods

2005—2010 年土地利用转移矩阵 Transition matrix of land use from 2005—2010	土地利用类型 Land use type	2010							转出面积 Transfer-out Area
		林地 Forests	高覆盖度草地 High coverage grassland	中覆盖度草地 Moderate coverage grassland	低覆盖度草地 Low coverage grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	未利用土地 Unutilized land	
2005—2010 年土地利用转移矩阵 Transition matrix of land use from 2005—2010	林地	4.25	84.01	3.83	2.69	0.46	0.01	2.05	93.05
	高覆盖度草地	6.79	4000.40	601.80	305.60	41.50	1.41	941.93	1899.03
	中覆盖度草地	2.88	2202.30	1699.30	704.30	38.10	1.38	316.52	3262.47
	低覆盖度草地	2.16	1512.70	3341.00	2620.20	102.06	3.33	547.24	5508.49
	水域	0.08	61.67	84.97	63.98	1735.01	1.39	92.32	304.41
	建设用地	—	1.28	2.94	2.08	0.26	1.25	0.83	7.40
	未利用土地	0.27	263.06	675.83	821.99	107.05	3.00	1531.30	1871.20
	转入面积	12.17	4125.03	4710.36	1900.64	286.45	10.52	1900.87	12946.05

2010—2015 年土地利用转移矩阵 Transition matrix of land use from 2010—2015	土地利用类型	2015							转出面积
		林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	水域	建设用地	未利用土地	
2010—2015 年土地利用转移矩阵 Transition matrix of land use from 2010—2015	林地	9.18	6.06	0.26	0.86	0.01	—	0.05	7.24
	高覆盖度草地	3.03	6235.29	916.10	685.10	57.72	8.00	220.18	1890.13
	中覆盖度草地	0.13	969.20	4820.12	380.4	63.19	9.65	166.98	1589.55
	低覆盖度草地	0.70	666.80	375.50	3282.48	53.22	7.72	134.41	1238.35
	水域	—	60.51	74.04	35.63	1773.48	1.38	76.42	247.98
	建设用地	—	2.67	1.74	1.55	0.39	4.88	0.55	6.90
	未利用土地	0.04	218.56	178.28	142.65	66.13	1.67	2824.83	607.33
	转入面积	3.90	1923.80	1545.92	1246.19	240.66	28.42	598.59	5587.48

2005—2015 年土地利用转移矩阵 Transition matrix of land use from 2005—2015	土地利用类型	2015							转出面积
		林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	水域	建设用地	未利用土地	
2005—2015 年土地利用转移矩阵 Transition matrix of land use from 2005—2015	林地	3.95	79.40	5.27	4.00	—	0.08	4.60	93.35
	高覆盖度草地	5.16	3790.12	715.40	422.80	59.06	5.85	901.04	2109.31
	中覆盖度草地	1.87	2109.60	1707.10	771.60	48.79	4.84	317.97	3254.67
	低覆盖度草地	1.82	1796.10	3136.20	2463.94	126.61	13.69	590.33	5664.75
	水域	0.01	82.94	107.12	61.96	1679.1	3.05	105.24	360.32
	建设用地	—	1.91	1.68	1.09	0.25	2.92	0.80	5.73
	未利用土地	0.28	299.03	693.27	803.29	100.34	2.87	1503.42	1899.08
	转入面积	9.14	4368.97	4658.94	2064.74	335.05	30.38	1920	13387.20

表 7 2005—2015 年玛多县生态系统服务价值变化

Table 7 Changes of ecosystem service value in Maduo County from 2005 to 2015

生态服务功能 Ecosystem service		2005		2010		2015	
		ESV/ 10 ⁸ 元	比例 Proportion/%	ESV/ 10 ⁸ 元	比例 Proportion/%	ESV/ 10 ⁸ 元	比例 Proportion/%
供给服务 Provisioning service	食物生产	6.87	0.75	7.73	0.82	7.73	0.82
	原料生产	11.35	1.25	12.10	1.29	12.09	1.29
	水资源供给	41.07	4.51	42.00	4.46	41.87	4.46
调节服务 Regulating service	调节气体	40.88	4.49	43.44	4.62	43.41	4.62
	调节气候	104.14	11.43	110.86	11.78	110.78	11.80
	净化环境	59.38	6.52	61.51	6.54	61.40	6.54
	水文调节	503.37	55.24	505.65	53.74	504.13	53.70
	保持水土	36.93	4.05	45.68	4.85	45.63	4.86
支持服务 Support service	养分循环	1.96	0.22	2.38	0.25	2.38	0.25
	生物多样性	68.59	7.53	71.58	7.61	71.48	7.61
文化服务 Cultural service	美学景观	36.70	4.03	38.04	4.04	37.97	4.04
总计 Total		911.24	100	940.97	100	938.87	100

表 8 2005—2015 年玛多县不同土地利用类型生态系统服务价值及变化

Table 8 Ecosystem service values and changes of different land use types in Maduo County from 2005 to 2015

土地利用类型 Land use type	2005			2010			2015		
	ESV/ 10 ⁸ 元	比例 Proportion/%	排序 Sequence	ESV/ 10 ⁸ 元	比例 Proportion/%	排序 Sequence	ESV/ 10 ⁸ 元	比例 Proportion/%	排序 Sequence
林地 Forests	2.61	0.29	6	0.44	0.05	6	0.35	0.04	6
高覆盖度草地 High coverage grassland	125.59	13.78	3	172.98	18.38	2	173.69	18.50	2
中覆盖度草地 Moderate coverage grassland	87.23	9.57	4	112.69	11.98	4	111.92	11.92	4
低覆盖度草地 Low coverage grassland	86.38	9.48	5	48.04	5.11	5	48.12	5.13	5
水域 Water	452.19	49.62	1	448.21	47.63	1	446.59	47.57	1
建设用地 Unutilized land	0	0	7	0	0	7	0	0	7
未利用土地 Construction land	157.24	17.26	2	158.61	16.86	3	158.21	16.85	3
总计 Total	911.24	100	—	940.97	100	—	938.87	100	—

了三江源地区生态系统结构,与本研究结果相互印证。需要指出的是,本研究进一步发现前期(2005—2010年)土地利用变化程度活跃,后期(2010—2015年)土地利用类型变化较为平缓,表现出非匀速变化特征。根据徐剑波等^[37]的研究可知 2001—2009 年玛多县草地退化面积下降较多,退化速度有了较大缓和,与本研究玛多县土地利用结构演化趋于优化的结果相得益彰。

通过文献资料得知^[38] 1977—2003 年玛多县不同覆盖度草地的面积及水域面积基本维持稳定。本研究发现 2005 年与历史时期(1977—2003 年)相比土地利用结构变化不大,其中水域面积略有回落,说明 20 世纪 70 年代以来玛多县草地退化的格局已经基本形成,2005 年以后土地利用类型中不同覆盖度草地之间发生了明显的转化。2005—2015 年玛多县建设用地从 8.65 km²增长到 33.29 km²,建设用地持续增加,但占研究区面积比例不到 1%,土地利用开发强度不高,其带来的溢出效应对生态系统造成的负面效应微弱^[25],与东部发达地区建设用地变化剧烈形成强烈反差。10 年间(2005—2015 年)玛多县土地利用类型中林地、低覆盖度草地向高覆盖度草地、中覆盖度草地的转移,说明玛多县生态保护取得了阶段性成果,生态效益有所提高,与宋昌素等^[39]从生态资产视角分析青海省生态保护成效的结果一致。整体来说,玛多县作为传统牧区县,草地生态系统是主体生态系统,其生态本底脆弱,生态环境承载力压力较大^[40]。同时当地牧民的生计来源主要依赖于

草地资源,生计能力脆弱,致富能力严重不足^[41-42],扶贫攻坚任务艰巨。牧户存在过度放牧破坏草地资源的可能,是黄河源区生态安全的潜在风险源。因此,有序整合生态保护与牧民生计的冲突,科学优化土地利用结构,才能保障黄河源区生态系统朝着良性方向演化。

从国家生态功能区划格局来看,玛多县地处青藏高原生态屏障核心腹地,维护国家生态安全和提供公共生态产品是其主要生态服务功能。因此,通过有效估算其生态系统服务价值可为制定可视化、易操作的生态补偿制度提供依据。本研究表明 2005—2015 年玛多县生态系统服务价值呈增长趋势,其中水文调节、气候调节、生物多样性是主要的生态服务功能,占总生态系统服务价值在 70% 以上。水域的生态系统价值最高,约占总服务价值的 50%,进一步诠释了玛多县是黄河流域的主要产流区和水源涵养区^[43],重视水域生态系统保护、提升水源涵养能力功在千秋。未利用土地的生态系统服务价值贡献量较大,原因之一是相当一部分未利用土地为沼泽地构成的湿地生态系统,水域、沼泽等湿地资源生态功能丰富、生态价值潜力大是学界公认的事实^[44]。高覆盖度草地的生态系统服务价值 10 年间(2005—2015 年)增加了 48.1×10^8 元,主要是因为不同覆盖度草地之间存在转化,即高覆盖度草地面积增加,低覆盖度草地面积减小。这折射出玛多县草地质量稳步提高、草地结构趋于优化、草地生态治理初见成效^[45]。因此,今后在土地资源利用过程中,严格禁止鄂陵湖、扎陵湖等水域及沼泽化草甸等生态用地的开发,合理布局和适度利用草地资源等生产生活用地,适时建立和划定建设用地生态红线,是玛多县优化土地利用方式的科学之路。

生态系统服务价值估算具有相当大的复杂性^[46-47]。一方面,必须明确评估生态系统服务价值不是给玛多县一个绝对准确的价格标签,重要的是探究土地利用演变过程中生态系统服务价值的边际变化^[48]。生态系统服务价值评估结果和价值边际变化映射的土地利用格局演化同等重要。另一方面,黄河源区玛多县承担着为黄河中下游地区乃至全国提供生态产品的艰巨重任,如若其生态系统服务退化和丧失将直影响土地利用结构优化配置^[49]和人类福祉。可喜的是,2005 年以来,玛多县生态系统服务价值呈增加趋势,生态系统朝着有序方向演化。同时,对于当地已解决温饱问题的牧户来说,脱贫致富的诉求和追求高品质生活的愿望极为强烈,然而当地牧民生计主要依赖于高寒草地资源,放牧是牧民利用草地资源的主要方式。牧民有生产、生活等生计之需,当地政府有生态保育草地资源之责。寻求土地资源生态服务价值优化提升和牧民致富奔小康愿望之间存在着“剥离现象”,亟待解决。因此,在“顶层设计”和“基层匹配”土地资源利用本地化模式时,明确“生态优先”发展定位的主攻方向,找准经济发展与草地、湖泊、河流等生态资产保护的契合点,统筹生态、生活、生产要素,配套建立并发挥生态补贴政策的联动效能,是谋求玛多县可持续发展的根本路径。

此外,本研究针对 2005 年三江源生态保护和建设工程实施以来玛多县土地利用演变进行了分析,未就土地利用变化的驱动机制、气候变化响应等进行深入探讨,也将是下一步工作的重点。同时,本研究尝试厘清了 2005 年以来玛多县土地利用变化和生态系统服务价值演化趋势。鉴于此,适时开展基于格网方法^[50]的土地利用与生态系统服务价值研究或许可以更好的揭示二者的内在关联机制。

3.2 结论

本研究基于玛多县在黄河流域乃至全国的生态地位,探讨了 2005—2015 年玛多县土地利用变化与生态系统服务价值演变过程,结论如下:(1)草地是玛多县的主体土地利用类型,10 年间玛多县土地利用结构变化显著,高覆盖度草地、建设用地面积增加明显,分别增加了 38.30% 和 3.85 倍,低覆盖度草地、林地分别降低了 44.29% 和 86.55%,水域、未利用土地变化幅度不大。(2)10 年间(2005—2015 年)林地、低覆盖度草地的单一土地利用动态度分别为 -8.65%、-4.43%,高覆盖度草地、中覆盖度草地的单一土地利用动态度分别为 3.83%、2.83%,土地利用类型变化表现为由林地、低覆盖度草地向高覆盖度草地、中覆盖度草地转移;前期(2005—2010 年)林地、低覆盖度草地减少迅速,后期(2010—2015 年)建设用地急速扩张,后期土地利用转移总面积仅是前期转移总面积的 43.16%。(3)10 年间玛多县生态系统服务价值(ESV)呈增长趋势,ESV 从 2005 年的 911.24×10^8 元增长到 2010 年 940.97×10^8 元,增长了 3.26%,2010—2015 年玛多县 ESV 略有减少,减少了 2.10×10^8 元;11 种单项生态系统服务价值中,水文调节、调节气候、生物多样性、净化环境、水资源供给是玛多县

ESV 贡献量的主要构成部分,其中水文调节的 ESV 贡献量维持在 53.70%—55.24%。(4)10 年间水域面积比例在 8.21%—8.31%之间波动,但是 ESV 贡献比例一直保持在 50%左右,2005 年、2010 年、2015 年水域 ESV 分别为 452.19×10^8 元、 448.21×10^8 元和 446.59×10^8 元;未利用土地和高覆盖度草地 ESV 贡献量分别为 16.85%—17.26%和 13.78%—18.50%,低覆盖度草地 ESV 呈现减少趋势,10 年间减少了 44.29%。

参考文献 (References):

- [1] Valbuena D, Verburg P H, Bregt A K. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2008, 128(1/2): 27-36.
- [2] 李丹,梅晓丹,张玉娟,王帅,王家凯. 绥芬河市土地利用变化的时空格局研究. *测绘科学*, 2019, 44(3): 78-85.
- [3] 李屹峰,罗跃初,刘纲,欧阳志云,郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. *生态学报*, 2013, 33(3): 726-736.
- [4] 江凌,肖隼,饶恩明,王莉雁,欧阳志云. 内蒙古土地利用变化对生态系统防风固沙功能的影响. *生态学报*, 2016, 36(12): 3734-3747.
- [5] 王晓东,蒙古军. 土地利用变化的环境生态效应研究进展. *北京大学学报:自然科学版*, 2014, 50(6): 1133-1140.
- [6] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [7] 谢高地,张彩霞,张雷明,陈文辉,李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [8] 柳冬青,张金茜,巩杰,钱彩云. 陇中黄土丘陵区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉时空关系研究——以安定区为例. *生态学报*, 2019, 39(2): 637-648.
- [9] 杨清可,段学军,王磊,金志丰. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例. *地理科学*, 2018, 38(1): 97-106.
- [10] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [11] 王航,秦奋,朱筠,张传才. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2017, 37(4): 1286-1296.
- [12] Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson Å, Chapin III F S, Lambin E F, Lenton T M, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber H J, Nykvist B, de Wit C A, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder P K, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell R W, Fabry V J, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley J A. A safe operating space for humanity. *Nature*, 2009, 461(7263): 472-475.
- [13] Long H L, Liu Y Q, Hou X G, Li T T, Li Y R. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: implications for urban planning in the new developing area of China. *Habitat International*, 2014, 44: 536-544.
- [14] 王朔,张荣群,乔月霞. 银川平原湿地时空变化信息的可视化分析. *测绘科学*, 2017, 42(11): 56-61, 73-73.
- [15] 童小容,杨庆媛,毕国华. 重庆市 2000—2015 年土地利用变化时空特征分析. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(11): 2481-2495.
- [16] 肖思思,吴春筠,储金字. 1980-2005 年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析. *农业工程学报*, 2012, 28(23): 1-11, 293-293.
- [17] 徐广才,康慕滨,李亚飞. 锡林郭勒盟土地利用变化及驱动力分析. *资源科学*, 2011, 33(4): 690-697.
- [18] 马晴,李丁,廖杰,韩杰. 疏勒河中下游绿洲土地利用变化及其驱动力分析. *经济地理*, 2014, 34(1): 148-155.
- [19] 白元,徐海量,凌红波,傅彦仪. 塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1912-1920.
- [20] 刘祗坤,吴全,苏根成. 土地利用类型变化与生态系统服务价值分析——以赤峰市农牧交错带为例. *中国农业资源与区划*, 2015, 36(3): 56-61.
- [21] 钟业喜,朱治州. 长江经济带土地利用及其生态系统服务价值演变研究. *江西师范大学学报:哲学社会科学版*, 2018, 51(3): 100-107.
- [22] 徐志涛,陈鹏飞,周世健,诸云强,石雅娇. 白洋淀流域土地覆被变化及其生态服务价值评价. *生态科学*, 2018, 37(6): 83-90.
- [23] 熊倡英,师学义. 黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以长河流域为例. *水土保持研究*, 2018, 25(2): 335-340.
- [24] Kozak J, Lant C, Shaikh S, Wang G X. The geography of ecosystem service value: the case of the Des Plaines and Cache River Wetlands, Illinois. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 303-311.
- [25] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,李苑菱,杨琦,陈小花. 海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析. *生态学报*, 2019, 39(7): 2366-2377.
- [26] 徐媛银,郭冻,薛达元,孙思琦. 赣南地区土地利用格局及生态系统服务价值的时空演变. *生态学报*, 2019, 39(6): 1969-1978.
- [27] 戴文远,江方奇,黄万里,廖李红,姜坤. 基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究——以福州新区为例. *自然资源学报*, 2018, 33(12): 2098-2109.

- [28] 张天海,田野,徐舒,唐立娜,郭蔚. 滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2018, 38(21): 7572-7581.
- [29] 魏慧,赵文武,张骁,王新志. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例. 生态学报, 2017, 37(11): 3830-3839.
- [30] 姚檀栋,陈发虎,崔鹏,马耀明,徐柏青,朱立平,张凡,王伟财,艾丽坤,杨晓新. 从青藏高原到第三极和泛第三极. 中国科学院院刊, 2017, 32(9): 924-931.
- [31] 国土资源部. GB/T 21010—2017 土地利用现状分类. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [32] 周浩,雷国平,杨雪昕. 三江平原典型流域土地利用格局变化与空间分异研究. 农业机械学报, 2017, 48(5): 142-151.
- [33] 许茜,李奇,陈懂懂,贺福全,陈昕,赵新全,赵亮. 三江源土地利用变化特征及因素分析. 生态环境学报, 2017, 26(11): 1836-1843.
- [34] 徐苏,张永勇,窦明,花瑞祥,周宇建. 长江流域土地利用时空变化特征及其径流效应. 地理科学进展, 2017, 36(4): 426-436.
- [35] 陈春阳,戴君虎,王焕炯,刘亚辰. 基于土地利用数据集的三江源地区生态系统服务价值变化. 地理科学进展, 2012, 31(7): 970-977.
- [36] 邵全琴,樊江文,刘纪远,黄麟,曹巍,徐新良,葛劲松,吴丹,李志强,巩国丽,聂学敏,贺添,王立亚,邴龙飞,李其江,陈卓奇,张更权,张良侠,杨永顺,杨帆,周万福,刘璐璐,祁永刚,赵国松,李愈哲. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估. 地理学报, 2016, 71(1): 3-20.
- [37] 徐剑波,宋立生,赵之重,胡月明,刘畅. 近 15 a 来黄河源地区玛多县草地植被退化的遥感动态监测. 干旱区地理, 2012, 35(4): 615-622.
- [38] 张帅,邵全琴,刘纪远,徐新良. 黄河源区玛多县土地利用/覆被及景观格局变化的遥感分析. 地球信息科学, 2007, 9(4): 109-115, 128-128.
- [39] 宋昌素,肖赓,博文静,肖洋,邹梓颖,欧阳志云. 生态资产评价方法研究——以青海省为例. 生态学报, 2019, 39(1): 9-23.
- [40] 苏萍,边玲玲,王卷乐. 玛多县生态环境承载力计算与评价. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(S1): 90-93.
- [41] 乔斌,何彤慧,苏芝屯. 典型生态保育区农户对环境变化的感知研究——基于宁夏党家岔湿地自然保护区的农户调研. 干旱区资源与环境, 2019, 33(1): 65-71.
- [42] 乔斌,张彦仁,何彤慧. 精准扶贫背景下自然保护区周边社区发展路径构建——基于宁夏党家岔湿地自然保护区的案例论证. 资源开发与市场, 2018, 34(5): 633-637.
- [43] 赵串串,张愉笛,张藜,王媛. 黄河源区玛多县湿地生态健康评价. 安徽农业大学学报, 2017, 44(1): 108-113.
- [44] 吴大千,刘建,贺同利,王淑军,王仁卿. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析. 农业工程学报, 2009, 25(8): 256-261.
- [45] 牛天林,刘雪华,李周园,高韵扬,德科加,王迅,史惠兰. 1990-2009 年间黄河源区玛多县草地格局时空变化. 环境科学与技术, 2013, 36(S2): 438-442.
- [46] 李琳,林慧龙,高雅. 三江源草原生态系统生态服务价值的能值评价. 草业学报, 2016, 25(6): 34-41.
- [47] 张舟,吴次芳,谭荣. 生态系统服务价值在土地利用变化研究中的应用: 瓶颈和展望. 应用生态学报, 2013, 24(2): 556-562.
- [48] Grêt-Regamey A, Bebi P, Bishop I D, Schmid W A. Linking GIS-based models to value ecosystem services in an Alpine region. Journal of Environmental Management, 2008, 89(3): 197-208.
- [49] Gascoigne W R, Hoag D, Koontz L, Tangen B A, Shaffer T L, Gleason R A. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA. Ecological Economics, 2011, 70(10): 1715-1725.
- [50] 欧维新,王宏宁,陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化. 生态学报, 2018, 38(17): 6337-6347.