DOI: 10.5846/stxb202102230499
王兆峰,许静.土地利用演变对国家公园生态系统服务价值的影响——以三江源国家公园为例.生态学报,2022,42(17):6948-6958.
Wang Z F, Xu J.Impacts of land use evolution on ecosystem service value of national parks: take Sanjiangyuan National Park as an example.Acta Ecologica Sinica,2022,42(17):6948-6958.

土地利用演变对国家公园生态系统服务价值的影响
——以三江源国家公园为例

王兆峰*,许　静
湖南师范大学旅游学院,长沙　410081

摘要:研判土地利用演变对国家公园生态系统服务价值的影响,是推进国家公园生态文明体制建设的重要依据。为厘清土地利用演变对生态系统服务价值的影响效应,基于 2000—2020 年三江源国家公园土地利用数据,首先采用生态系统服务价值修正模型测算生态系统服务价值,继而运用价值变率模型、GIS 空间分析方法刻画三江源国家公园生态系统服务价值演变的空间差异特征,最后引入交叉敏感性系数揭示三江源国家公园土地利用演变对生态系统服务价值的影响趋势。结果表明:(1)20 年间三江源国家公园的土地利用演变表现为荒漠、草地、水体三地类间的互相转换,变化速率最大的时间段在 2015—2020 年,集中发生于长江源园区西北部和北部;(2)从时间序列来看,三江源国家公园的生态系统服务价值呈现“趋好”态势,其中,2015—2020 年的变化量高达 82.42 亿元,草地和水体对园区生态环境贡献较大,土地利用类型的演变与生态系统服务价值存在一定的关联;(3)从空间演变来看,三江源国家公园三园区(长江源、黄河源和澜沧江源)的生态系统服务价值从高值到低值依次为:长江源>黄河源>澜沧江源,呈现出从西北向东南递增的分布特征;(4)土地利用类型演变对生态系统服务价值的影响程度从大到小排序为:荒漠与水体>草地与水体>荒漠与草地,土地利用转型跨度愈大,对生态系统服务价值的影响就愈强。研究时段内土地利用演变对生态系统服务价值影响的交叉敏感性系数呈现先升高后降低的特征,表明生态系统服务价值的变化也会反作用于土地利用对生态系统服务价值影响的敏感性。

关键词:土地利用演变;生态系统服务价值;时空差异;三江源国家公园

Impacts of land use evolution on ecosystem service value of national parks: take Sanjiangyuan National Park as an example

WANG Zhaofeng*, XU Jing
Tourism College of Hunan Normal University, Changsha 410081, *China*

Abstract: Studying and judging the impact of land use evolution on the ecosystem service value of national parks is an important basis for promoting the construction of ecological civilization system of national parks. In order to clarify the impact of land use evolution on ecosystem service value, based on the land use data of Sanjiangyuan National Park from 2000 to 2020, this paper first used the ecosystem service value correction model to calculate the ecosystem service value, and then used the value change rate model, GIS spatial analysis method to describe the spatial difference characteristics of the evolution of ecosystem service value of Sanjiangyuan National Park, finally, the cross sensitivity coefficient was introduced to reveal the impact trend of land use evolution of Sanjiangyuan National Park on ecosystem service value. The results show that: (1) in the past 20 years, the land use evolution of Sanjiangyuan National Park showed the mutual transformation among desert, grassland and water body, the time period with the largest rate of change was from 2015 to 2020, and

基金项目:国家社科基金项目(20BGL292)
收稿日期:2021-02-23;　　**网络出版日期**:2022-05-06
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: jdwzf@ 126.com

concentrated in the northwest and north of the Yangtze River source park; (2) From the perspective of time series, the ecosystem service value of Sanjiangyuan National Park showed a trend of getting better, among them, the change from 2015 to 2020 was as high as 8.242 billion yuan, grassland and water bodies contributed greatly to the ecological environment of the park, there is a certain correlation between the evolution of land use types and ecosystem service value; (3) From the perspective of spatial evolution, the ecosystem service value of the three parks of Sanjiangyuan National Park (the source of the Yangtze River, the source of the Yellow River and the source of the Lancang River) from high to low is the source of the Yangtze River > the source of the Yellow River > the source of the Lancang River, showing the distribution characteristics of increasing from northwest to southeast; (4) The influence degree of land use type evolution on ecosystem service value was in the order of desert and water > grassland and water > desert and grassland. The larger the span of land use transformation, the stronger the impact on ecosystem service value. During the study period, the cross sensitivity coefficient of the impact of land use evolution on ecosystem service value showed the characteristics of first increasing and then decreasing, indicating that the change of ecosystem service value will also react on the sensitivity of land use to ecosystem service value.

Key Words: land use evolution; ecosystem service value; temporal and spatial differences; Sanjiangyuan National Park

党的十九大报告针对改善生态环境目标明确指出,逐步建立并实行国土空间开发保护制度,积极改善主体功能区配套政策,倾力打造国家公园系列的自然保护地[1]。自国家公园体制试点方案推行以来,各试点区严格遵守国土空间用途管制,履行生态修复保护之策,切实践行退耕还林还草、生态廊道建设、矿山生态修复等一系列生态保护工作,近年来取得显著成效,林草植被覆盖率显著提高,生物多样性大幅增加,生态服务功能日益增强,国家公园的生态环境质量出现明显的转折[2]。其中三江源国家公园的草地覆盖率、产草量指标相较于十年前分别提高了 11%、30%以上,水源涵养量年均增幅达 6%以上[3]。作为判断生态环境变化的重要指标之一,生态系统服务价值(ESV)已经被当今科学普遍接受[4],其意指用经济法量化生态系统服务和自然资本。土地利用(LUCC)过程是生态系统中不可或缺的部分,而土地利用演变是土地利用过程中重要一环。“土地利用演变”一词最初起源于 Graingera[5],土地利用演变是指随着经济和社会的发展变化,土地利用类型也会随时间序列的变迁发生相应改变[6—7]。土地利用与生态系统服务价值二者间关系甚密,土地利用的类型、格局、强度可对生态系统服务功能产生直接或间接的影响[8—9],如土地利用演变可对生态系统结构和功能进行部分调整,使得水循环、碳氮循环和土壤更新等生态过程发生变化,导致生态系统服务进一步发生变化[10]。因此,研究土地利用演变对国家公园生态系统服务价值的影响及二者间的相互关系对国家公园的规划管理具有重要的指导意义[11—12]。

系统梳理国内外相关文献发现,研究内容已从 LUCC 对 ESV 的影响[13—14]、不同 LUCC 情景预测下的 ESV 评估[15]向二者的交叉敏感性[16]、基于 ESV 的土地利用格局构建[17]、权衡与协同关系[18—19]等深层次问题拓展;研究方法多采用单位面积价值当量因子[20—21]方法,也有少部分研究涉及单位服务功能价格[22]、情景预测[21—22]、相关分析[23]、回归分析[24]等方法;研究尺度大多为省域[25]、经济带[26]、城市群[21]等中宏观层面;相关研究均表明土地利用演变不仅深刻地影响着生态系统服务价值综合水平[27—28],且对不同类别的生态系统服务影响程度也不同[29—30]。国家公园的生态系统具有原真性和完整性,已被纳入生态红线管控范围,因此对国家公园土地利用演变对生态系统服务价值的影响特征及规律进行剖析,可促进国家公园生态环境的保护及优化,推进生态文明体制建设,实现国家公园可持续发展。现有研究虽较为成熟,但仍存在些许不足:(1)在数据来源上,相关研究的数据较为陈旧,缺乏近年来土地利用动态对生态系统服务价值的影响特征研究,难以反映国家公园现状,不利于今后的土地利用、生态环境等方面管理规划。(2)在研究内容上,现有研究多关注不同地类演变的总量对生态系统服务价值的影响,而忽略了不同地类间净转型的影响,因此缺乏土地利用变化对生态系统服务价值的影响规律及趋势研究。

综上所述,本文将从以下几方面进行完善:(1)选取 2000—2020 年土地利用遥感数据对研究区域的生态系统服务价值进行研究,真实有效地反映研究区域土地利用演变与生态系统服务价值之间的关系。(2)采用交叉敏感性系数研究不同地类间净转型对生态系统服务价值的影响强度,进而对其影响规律及趋势归纳总结,为国家公园或同类型自然保护地管理规划提供理论依据。鉴于此,本文以三江源国家公园为研究对象,搜集青海省土地利用和相关社会经济数据,采用谢高地等[31]的生态系统服务价值修正模型对研究时段内的 ESV 进行测算,并结合 GIS 技术表征其空间特征,进一步使用路昌等[16]新改进的交叉敏感性系数体现三江源国家公园的 LUCC 对 ESV 的影响趋势及变化规律,以期丰富 LUCC 对 ESV 影响机理的现有相关研究理论,为三江源国家公园土地用途管制及生态环境的改善提供决策参考。

1 研究设计

1.1 研究区概况

三江源国家公园位居青藏高原腹地,隶属青海省南部,长江、黄河和澜沧江三江均发源于此,拥有“中华水塔”的美誉,对青海省的生态文明建设具有突出影响。园区按三江发源地可分为长江源、黄河源以及澜沧江源三个分园(图 1),面积约占 12.31 万 km^2。按地区所覆盖的植被来看,三江源国家公园属于青藏高原高寒草甸区向高寒荒漠区的过渡区,必要时可为全国其他地区补给淡水资源。三江源国家公园提供的生态系统服务多样,主要有水源涵养、气候调节、土壤保持与生物多样性,长江源、黄河源园区提供的主要服务类别与整体园区较为一致,而澜沧江园区还兼有气体调节的服务功能,因此三江源国家公园不仅是国家生态安全的重要屏障,亦是中国生态文明建设的高地。但该地区自然状况不容乐观,生态系统安全性极其薄弱,加上近百年土地利用不合理,使得三江源地区冰川退缩、水土流失加剧、水源涵养能力有所衰减,对长江、黄河、澜沧江流域有关地区的生态安全造成极大威胁[32]。因此,识别三江源国家公园土地利用演变对生态系统服务价值的影响,不仅有利于局地自然生态系统的保护,更有利于长江、黄河、澜沧江三大流域中、下游地区生态系统服务的可持续利用。

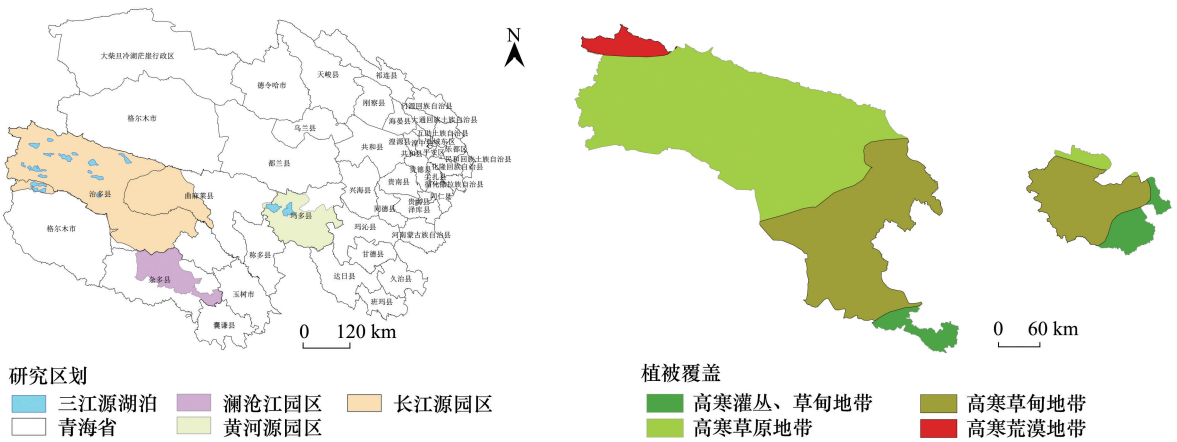

图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

1.2 研究方法

1.2.1 生态服务价值系数修正与价值计算

(1)单位面积农田生态系统农作物产量的经济价值测算

为避免农作物价格波动对价值总量产生的影响,参照《青海省国民经济与社会发展统计公报—2005》,青海省主要农作物包含小麦、玉米、豆类、马铃薯及油料,本文以当地各农作物 2005 年的收购价格为基准,计算出青海省主要农作物平均单产价值,一个当量因子的价值量是上述农作物单产价值的 1/7,其计算模型如下:

$$V_a = \frac{1}{7}\sum_{i=1}^{n}\frac{a_i p_i q_i}{A} \quad i = 1,2,\cdots n \tag{1}$$

式中,V_a表示青海省单位面积农田种植该地某种农作物时产生的经济价值(元/hm^2);i 表示青海省农作物种类,共计五类;p_i表示某年第 i 种农作物在青海省的收购价(元/t);q_i表示青海省每年第 j 种农作物 1 单位面积的产量(t/hm^2);a_i表示青海省第 i 种农作物的总种植面积(hm^2);A 表示青海省五类农作物种植总面积(hm^2)。

(2)生态系统服务价值系数修正

结合三江源国家公园土地利用地图,可将其分为林地、草地、水体、建设用地和未利用地五种地类,但建设用地对环境产生的影响具备累积性的特点,其生态系统服务价值难以完全量化[33],因此,本文研究涉及林地、草地、水体、荒漠这四类土地利用类型。经过上述步骤可确定青海省单位面积农田栽种相应农作物时产生的经济价值,参照谢高地等提出的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”[31],对三江源国家公园的 ESV 系数进行修正,计算公式如下:

$$VE_{ij} = C_{ij}V_a \quad i,j = 1,2,\cdots n \tag{2}$$

式中,VE_{ij}表示三江源国家公园内第 i 种生态系统包含的第 j 种生态服务功能的 ESV 系数(元/hm^2);C_{ij}表示三江源国家公园内第 i 种生态系统包含的第 j 种服务功能相较于青海省 1 单位面积农田经济价值;i 表示三江源国家公园内存在的生态系统类型;j 表示三江源国家公园每种生态系统对应的服务功能;V_a表示青海省 1 单位面积农田栽种农作物时所产生的经济价值(元/hm^2),修正结果如表 1 所示。

表 1　修正后的不同土地利用类型的生态系统服务价值/(元/hm^2)

Table 1　Revised ecosystem service values of different land use types

功能 Function	林地 Forestland	草地 Grassland	水体 Water body	荒漠 Desert
气体调节 Gas regulation	4074.07	931.22	0.00	0.00
气候调节 Climate regulation	3142.86	1047.62	535.45	0.00
土壤形成与保护 Soil formation and protection	4539.68	2269.84	11.64	23.28
水源涵养 Water conservation	3724.87	931.22	23722.74	34.92
废物处理 Waste disposal	1524.87	1524.87	21161.89	11.64
生物多样性 Bio-diversity	3794.71	1268.78	2898.41	395.77
食物生产 Food production	116.40	349.21	116.40	11.64
原材料 Raw material	3026.45	58.20	11.64	0.00
娱乐文化 Entertainment culture	1489.95	46.56	0.00	11.64
价值系数 Value coefficient	25433.85	8427.51	53510.02	488.89

(3)生态系统服务价值

计算公式[34]:

$$\mathrm{ESV} = \sum A_k E_k \tag{3}$$

式中,ESV 表示三江源国家公园的总生态系统服务价值(元/a);A_k表示三江源国家公园内 k 地类的面积(hm^2);E_k表示 1 单位面积的 k 地类对应的生态系统服务价值(元 hm^{-2} a^{-1})。

1.2.2　区域差异性

生态系统服务价值相对变化率是三江源国家公园内生态系统服务价值变化量与土地利用面积变化量之间的比率[35]。

$$L = \frac{L_M}{L_N} = \frac{(M_b - M_a)/M_a}{(N_b - N_a)/N_a} \tag{4}$$

式中,L 表示相对变化率;L_M、L_N分别表示部分区域、整体区域变化率;M_a、M_b分别表示部分区域初期与末期

ESV;N_a、N_b分别表示整体区域初期与末期 ESV。

当$|L|\geqslant 1$时,表明部分区域生态系统服务价值变化量比整体区域多。其中,若$L\geqslant 1$,表明部分区域生态系统服务价值变化趋势与整体区域反向;若$L\leqslant -1$,表明部分区域生态系统服务价值变化趋势与整体区域同向。

当$|L|<1$时,表明部分区域生态系统服务价值变化量比整体区域少。若$-1<L<0$,表明部分区域生态系统服务价值变化趋势与整体区域反向;若$0<L<1$,表明部分区域生态系统服务价值变化趋势与整体区域同向。

1.2.3 交叉敏感性系数

交叉敏感性系数表示两种不同的土地利用类型间的净转化量(即两地类间的转换面积之差)对生态系统服务价值的促进或抑制程度。通常土地利用演变过程存在双向性,因此不同地类之间的净转型才导致生态系统服务价值产生实际变化。计算公式[16]如下:

$$P_{\text{cicskt}} = \frac{(V_{ck} - V_{ct})\Delta S_{kt}}{\Delta P_{\text{ESV}}} \tag{5}$$

式中,P_{cicskt}表示三江源国家公园内第 k 种土地利用类型变换为第 t 种土地利用类型时对应的交叉敏感性系数;V_{ck}表示三江源国家公园第 k 种土地利用类型对应的生态系统服务价值当量因子;V_{ct}表示三江源国家公园第 t 种土地利用类型对应的生态系统服务价值当量因子;$\triangle S_{kt}$表示三江源国家公园 k 地类与 t 地类之间的净转换量;$\triangle P_{\text{ESV}}$表示研究时段内三江源国家公园生态系统服务价值的变化量。若该交叉敏感性系数大于 0,反映了两地类之间的净转型与生态系统服务价值变化量呈正相关,具备促进作用;反之,两者存在负相关关系,具备抑制作用。交叉敏感性系数的绝对值越大,代表生态系统服务价值对两地类间的净转型越敏感;反之,则越不敏感。

1.3 数据来源

本文所使用的各期土地利用数据(2000、2005、2010、2015、2020 年)均来自中国科学院资源环境科学与数据中心(www.resdc.cn),数据的制作是经过人工目视解译各期 Landsat TM/ETM 遥感影像,本研究所下载的遥感影像的空间分辨率为 1000 m。5 个时期所对应的青海省农作物种植总占地面积、主要农作物的占地面积、产量及均价等数据取自《中国统计年鉴》、《青海统计年鉴》、《青海省国民经济与社会发展统计公报》,部分缺失数据由相邻省份的平均值代替。

2 结果分析

2.1 土地利用变化分析

三江源国家公园的土地利用类型主要包括草地、水体以及荒漠,占土地总面积的 99%以上。采用土地利用动态度公式[36]对三江源国家公园 2000—2020 年的土地利用演变情况进行分析,发现 20 年间三江源国家公园土地利用类型的面积发生大幅度变化(表 2),其中,草地、水体、荒漠的变化幅度较大。水体面积变化呈持续性增加的特征,20 年间变化速率最大的时段在 2015—2020 年,升高了 13.80%。其次是荒漠,20 年间荒漠面积连年下降,变动幅度最大的时段也在 2015—2020 年间,下降了 11.8%。草地的面积在 2000—2010 年间未发生显著变化,面积占比浮动在 56.87%左右,浮动率甚微,但在 2010—2015 年草地面积下降了 6252.81 hm^2,2015—2020 年出现明显的增加,增加了 7.5%。按地类转移方向来看,研究地土地利用类型间的转移以荒漠、草地、水体三者间的两两互换为主。2000—2005 年,长江源园区内大片荒漠面积转变为水体,且呈斑块状分布;2005—2010 年间土地利用类型转移方向与前 5 年存在一定的对称性,但变化幅度并无 2000—2005 年明显;2010—2015 年地类转移方向和变化幅度与 2000—2005 年大致相同,2015—2020 年地类转移方向与 2000—2005 年、2010—2015 年均相同,但转移幅度远超 2000—2005 年、2005—2010 年、2010—2015 年三个阶段(图 2),此现象与 2017 年《三江源国家公园的总体规划》相关。三江源国家公园近年来的年降水量呈逐渐增加态势,因此水体面积的增加或与此地区的降水量增加存在一定的关系。

表 2　土地利用变化

Table 2　Land use change

年份 Year	测度指标 Measure index	林地 Forestland	草地 Grassland	水体 Water body	建设用地 Construction land	荒漠 Desert
2000	面积/hm^2	16394.76	7005636.11	754943.79	471.92	4540597.42
	百分比/%	0.13	56.87	6.13	0.00	36.86
2005	面积/hm^2	16394.77	7003470.19	767001.14	471.92	4530706.00
	百分比/%	0.13	56.86	6.23	0.00	36.78
2010	面积/hm^2	16394.77	7004990.34	769720.35	471.93	4526466.64
	百分比/%	0.13	56.87	6.25	0.00	36.75
2015	面积/hm^2	16394.77	6999383.30	799310.48	672.89	4502304.26
	百分比/%	0.13	56.82	6.49	0.01	36.55
2020	面积/hm^2	14555.53	7504143.92	880043.42	560.49	3918530.32
	百分比/%	0.12	60.92	7.14	0.00	31.81
2000——2005	变化量/hm^2	0.01	-2165.92	12057.35	0.00	-9891.42
	动态度/%	0.17	-36098.67	200955.83	0.00	-164857.00
2005——2010	变化量/hm^2	0.00	1520.15	2719.21	0.01	-4239.36
	动态度/%	0.00	25335.83	45320.17	0.17	-70656.00
2010——2015	变化量/hm^2	0.00	-5607.04	29590.13	200.96	-24162.38
	动态度/%	0.00	-93450.67	493168.83	3349.33	-402706.33
2015——2020	变化量/hm^2	-1839.24	499153.58	110323.07	88.56	-607936.32
	动态度/%	-16720.36	4537759.82	1002937.00	805.09	-5526693.82
2000——2020	变化量/hm^2	-1839.23	498507.81	125099.63	88.57	-622067.10
	动态度/%	-8758.24	2373846.71	595712.52	421.76	-2962224.29

2.2　生态系统服务价值时空分析

2.2.1　生态系统服务价值时间变化分析

研究时段内,三江源国家公园生态系统服务价值由 2000 年的 1020.74 亿元增加到 2020 年的 1126.18 亿元,20 年间增加了 105.44 亿元,增加率为 10.33%(表 3)。就生态系统服务价值大小而言,草地>水体>荒漠>林地,其中草地和水体的经济价值对三江源国家公园的总体生态系统服务价值具有较大影响,结合表 2 可知,草地的生态系统服务价值对整体区域的贡献较大的原因在于研究区域内草地的面积占比高达 56%;水体的面积占比虽不高,但在研究时段内水体面积大幅增加且水体生态系统服务价值系数较大(表 1),因此水体的生态系统服务价值对整体区域的贡献也较大。从研究区域来看,草地和水体两地类在研究区域的生态系统服务价值方面扮演着重要的角色。

在研究细分的四个时段内,2000—2005 年间,草地、荒漠的生态系统服务价值分别降低了 0.18、0.05 亿元,而水体的生态系统服务价值增加量为 6.45 亿元,变化幅度较大;2005—2010 年间,草地和水体的生态系统服务价值呈现升高的特征,增加量分别为 0.13、1.46 亿元,荒漠的生态系统服务价值降低了 0.02 亿元,这 5 年间不同土地利用类型生态系统服务价值的变化幅度较小;2010—2015 年间,生态系统服务价值呈走高趋势,变化量高达 16.23 亿元,其中,草地、水体的生态系统服务价值分别升高了 0.52、15.83 亿元,荒漠的生态系统服务价值则降低了 0.12 亿元;2015—2020 年间,生态系统服务价值大幅升高,升高量是前 5 年的 3.43 倍,主要是此研究阶段草地面积突增导致的生态系统服务价值大幅变化。从细分的 4 个研究时段来看,4 个时段整体区域生态系统服务价值大多呈现升高的态势,其中,2015—2020 年生态系统服务价值增幅最大,2005—2010 年生态系统服务价值变化幅度不大。从不同土地利用类型来看,4 个不同时段草地、水体的生态系统服务价值均对整体区域做出了相应的贡献,一方面是因为 2000—2020 年间三江源地区降水量增加,使三江源地区水体流量日渐丰沛[37];另一方面与 2015—2020 年《三江源国家公园总体规划》中——以中低盖度草地的保护和修复为主的条例休戚相关[38]。

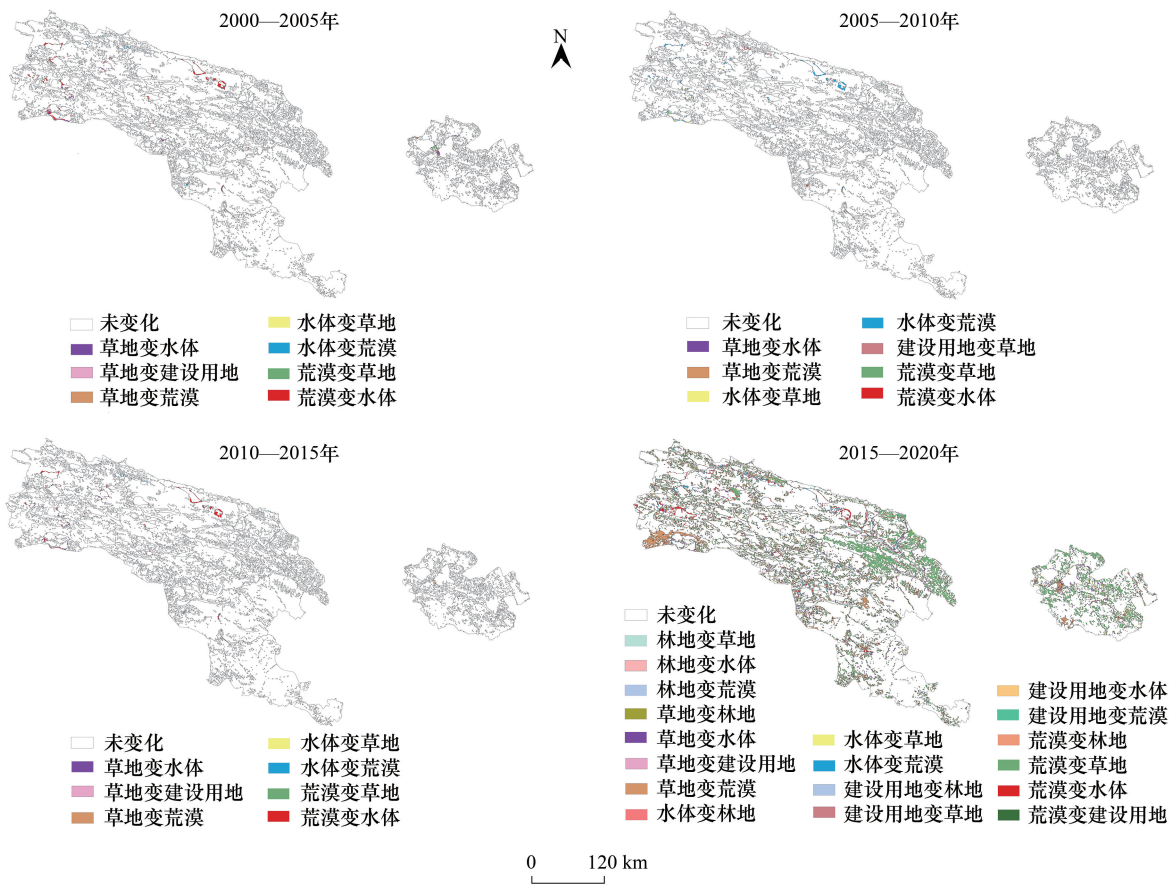

图 2 2000—2020 年土地利用类型演变

Fig.2 Evolution of land use types from 2000 to 2020

表 3 不同土地利用类型的生态系统服务价值及变化/亿元

Table 3 Ecosystem service value and change of different land use types

年份 Year	变化幅度 Change range	林地 Forestland	草地 Grassland	水体 Water body	荒漠 Desert	合计 Total
2000		4.17	590.40	403.97	22.20	1020.74
2005		4.17	590.22	410.42	22.15	1026.96
2010		4.17	590.35	411.88	22.13	1028.53
2015		4.17	590.87	427.71	22.01	1044.76
2020		3.70	632.41	470.91	19.16	1126.18
2000—2005	变化量/亿元	0.00	-0.18	6.45	-0.05	6.22
	变化率/%	0.00	-0.03	1.60	-0.22	0.61
2005—2010	变化量/亿元	0.00	0.13	1.46	-0.02	1.57
	变化率/%	0.00	0.02	0.36	-0.09	0.15
2010—2015	变化量/亿元	0.00	0.52	15.83	-0.12	16.23
	变化率/%	0.00	0.09	3.84	-0.54	1.58
2000—2015	变化量/亿元	0.00	0.47	23.74	-0.19	24.02
	变化率/%	0.00	0.08	5.88	-0.86	2.35
2015—2020	变化量/亿元	-0.47	42.54	43.20	-2.85	82.42
	变化率/%	-11.22	7.21	10.10	-12.97	7.89

2.2.2　生态系统服务价值空间变化分析

在研究时段内,黄河源、长江源园区的生态系统服务价值一直呈现递增的趋势(图 3),黄河源的生态系统服务价值由 2000 年的 203.46 亿元上升到 2020 年的 227.76 亿元,增加了 24.3 亿元,相对变化率 $|L|<1$ 且 $0<L<1$,揭示了黄河源园区与整个研究区域生态系统服务价值变化态势同向,但黄河源园区的生态系统服务价值变化幅度低于整个研究区域;长江源园区的生态系统服务价值由 2000 年的 708.77 亿元升高到 2020 年的 777.46亿元,增加量为 68.69 亿元,相对变化率 $|L|<1$ 且 $0<L<1$,表明长江源园区与整个研究区域生态系统服务价值变化态势同向,长江源园区的生态系统服务价值变化幅度同样低于整个研究区域。澜沧江源园区的生态系统服务价值的相对变化率揭示了该园区的生态系统服务价值与整个研究区域同向变化,但变化幅度也低于整个研究区域的发展态势。长江源园区的相对变化率 L 为 0.46,黄河源园区的相对变化率 L 为 0.34,而澜沧江园区的相对变化率 L 为 0.15,相比较而言,各园区变化幅度从大到小排序为:长江源园区>黄河源园区>澜沧江园区。

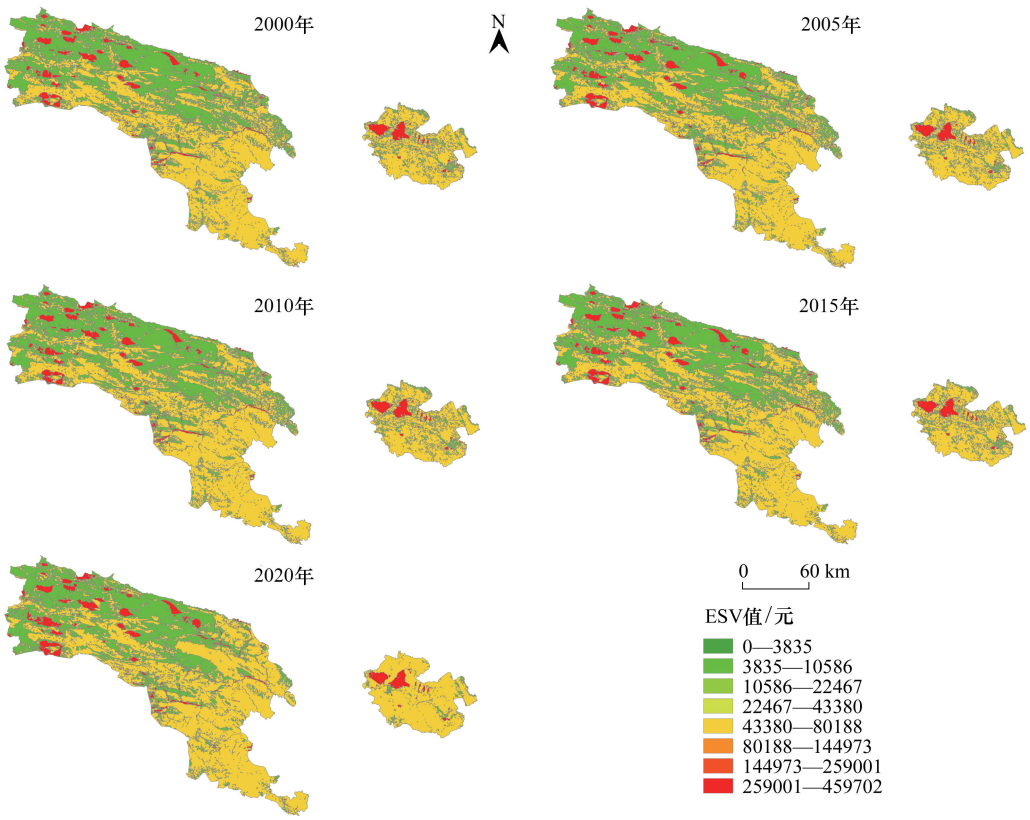

图 3　2000—2020 年三江源国家公园生态系统服务价值专题地图

Fig.3　Thematic map of ecosystem service value of Sanjiangyuan National Park region from 2000 to 2020

由图 3 可知,2000—2020 年三江源国家公园的生态系统服务价值总体发展态势良好,但区域差异性显著,总体呈现东南高、西北低的分布特征,这与三江源国家公园温湿气候的空间格局为沿西北—东南方向的正温湿梯度的特征密不可分。就单个园区而言,长江源园区单位面积的生态系统服务价值差异较大,低值区成片分布,主要集中于长江源西北部和北部;高值区镶嵌其中,分布状破碎,但大都位于西北部;中值区主要遍布于南部。澜沧江源园区内部地区差异性较小,大多属于中值区。黄河源园区地区差异相比于长江源园区较小,中值区成片分布,高值区与低值区镶嵌其中,高值区分布较集聚,位于黄河源西北部,低值区所占面积不多,分布广泛,呈支离破碎状。总体而言,三江源国家公园的生态系统服务价值总体呈现升高趋势,说明研究期内随着土地利用类型的演变,生态系统结构日渐合理化,但其生态系统服务价值空间差异大,具体表现为沿

西北—东南一线生态系统服务价值递增。

2.2.3 土地利用演变对生态系统服务价值的影响

结合上述分析来看,生态系统服务价值的变化与土地利用演变存在显著的相关性。2000—2005 年三江源国家公园部分荒漠面积转变为草地和水体,致使生态系统服务价值增加;2005—2010 年水体和草地面积增加量较少,因此其生态系统服务价值虽升高,但相较于前 5 年和后 5 年,增加率有所降低;2010—2020 年水体、草地面积骤增,导致生态系统服务价值大幅增加。总体来看,土地利用演变对生态系统服务价值的提升及生态系统结构合理化做出了一定的贡献。

为进一步研究土地利用演变对生态系统服务价值的影响强度,本文采用交叉敏感性系数来揭示不同地类间的净转型的影响强度。总体来看,研究时段内生态系统服务价值对水体与其它地类之间的净转型较敏感,其中对水体与荒漠之间的净转型最敏感,其绝对值基本都大于 1,2000—2005 年间荒漠向水体 1%的转换率致使生态系统服务价值提升 4.8%;2005—2010 年水体向荒漠 1%的转换率使得生态系统服务价值产生 8.36%的亏损;2010—2015 年荒漠向水体 1%的转换率,致使生态系统服务价值产生 0.86%的盈余。表 4 数据表明水体与荒漠之间的净转型对生态系统服务价值的变化具有极强的促进或抑制作用,而且水体变荒漠比荒漠变水体所产生的影响更大。生态系统服务价值对水体与草地间的净转型敏感性较弱,绝对值基本都在 1 附近,2000—2005 年间草地向水体转换 1%,生态系统服务价值产生 0.9%的盈余;2005—2010 年间水体向草地 1%的转换率致使生态系统服务价值亏损 1.4%;2010—2015 年草地向水体转换 1%,生态系统服务价值则产生 0.15%的盈余。交叉敏感性系数显示水体变草地所产生的抑制作用比草地变水体所产生的促进作用对生态系统服务价值的影响更大。荒漠与草地之间的净转型对生态系统服务价值变化缺乏弹性。总体来看,土地利用转型跨度愈大,对生态系统服务价值的影响就愈强。

由于本文所用的交叉敏感性系数是采用两地类之间的净转型衡量生态系统服务价值的变化,因此交叉敏感性系数具有对称性,即两地类之间互相转换的交叉敏感性系数的绝对值相等,但作用方向相反。由表 4 可知,2000—2020 年水体与荒漠、水体与草地、荒漠与草地间净转型的交叉敏感性系数均呈现先升高后降低的趋势。结合交叉敏感性的对称性,与 2005—2010 年的水体面积缩小相比,水体向草地、荒漠转换的敏感性不断增加,表明水体骤减对三江源国家公园的生态系统服务价值的影响强度日益增加,生态矛盾日益尖锐。与 2010—2015 年的水体面积扩大和 2015—2020 年草地面积大幅增加相比,相应敏感性系数的减少也能说明随着水体、草地面积增加,生态环境得到改善,在一定程度上可以减缓土地利用演变对生态系统服务价值的影响强度,生态结构日趋合理化,且生态系统合理化水平越高,土地利用演变对生态系统服务价值的影响就越低。

表 4 不同地类净转型的交叉敏感性系数

Table 4 Cross sensitivity coefficient of net transformation of different land types

时间序列 Period	土地利用类型变化 Changes in land use types	交叉敏感性系数 Cross sensitivity coefficient	时间序列 Period	土地利用类型变化 Changes in land use types	交叉敏感性系数 Cross sensitivity coefficient
2000—2005 年	草地变水体	0.953	2010—2015 年	草地变水体	0.147
	荒漠变草地	0.046		草地变荒漠	-0.002
	荒漠变水体	4.817		荒漠变水体	0.856
2005—2010 年	水体变草地	-1.436	2015—2020 年	林地变草地	-0.00251
	水体变荒漠	-8.360		水体变草地	-0.00005
	荒漠变草地	0.022		荒漠变林地	0.00048
				荒漠变草地	0.00068
				荒漠变水体	0.00030

3 结论与讨论

本文采用生态系统服务价值修正模型对三江源国家公园 2000—2020 年的生态系统服务价值进行测算,

并分析比较三江源国家公园生态系统服务价值发展态势及区域差异性,揭示了不同地类之间的转型对生态系统服务价值的作用方向及影响强度,主要结论如下:

(1)总体来看,20 年间三江源国家公园的土地利用演变主要以水体面积的大幅增加和荒漠面积的大幅减少为主,土地利用类型变化呈现“荒漠变水体、草地”的特征,但两地类之间转换存在“反复”现象。从空间变化方面来看,土地利用类型变化以长江源园区西北部和北部变化较显著,黄河源园区的西北部次之。

(2)从研究时段来看,2000—2020 年三江源国家公园的生态系统服务价值呈现不断升高的态势,就各地类代表的经济价值大小而言,草地>水体>荒漠>林地,其中草地和水体两地类所代表的生态系统服务价值在整体占比中贡献较大,结合 20 年间土地利用类型的变化以荒漠变水体、草地为主,发现土地利用类型的演变与生态系统服务价值的水平休戚相关。

(3)从空间来看,20 年间三江源国家公园的生态系统服务价值总体呈增长态势,但三江源国家公园内部差异性显著,主要表现为从西北向东南递增。从价值变化率来看,三个园区与整个研究区域生态系统服务价值变化态势同向,但变化幅度低于整个研究区域,按生态系统服务价值增幅大小排序:长江源>黄河源>澜沧江源。就区域内部差异性而言,长江源园区差异性最明显,黄河源园区次之,澜沧江源园区区域差异较小。

(4)按交叉敏感性系数的绝对值排序:荒漠与水体>草地与水体>荒漠与草地,地类间转型跨度越大,对生态系统服务价值的影响就越深。一般情况下,荒漠向水体、草地的转型及草地向水体的转型对生态系统服务价值的增加起促进作用;水体变荒漠、草地及草地变荒漠则抑制生态系统服务价值水平的提升。研究期内敏感性系数呈现先升高后降低的特征,一方面表明水体、草地景观在三江源国家公园的生态作用日益重要,另一方面表明三江源国家公园的生态结构朝着日渐合理化的方向发展。

三江源国家公园土壤属于青南高原山土区系,土地利用类型较易受侵蚀作用、水土流失影响,转变为荒漠地类,加剧生态恶化。当生态系统服务价值发生变化时,土地利用演变对生态系统服务价值的影响程度也会发生变化,即生态系统服务价值升高会减弱土地利用类型演变对生态系统服务价值的影响;反之,生态系统服务价值降低则会增强生态系统服务价值对土地利用变化的敏感性。草地是保持水土、维持三江源国家公园生态健康的重要基础。因此,三江源国家公园应加强生态保持力度,严格落实退牧还草工程,避免草场退化,与此同时筛选培育出抗逆性强、适应性好的草种,进一步加强三江源国家公园的草地覆盖率,以此提升园区生态系统服务价值,改善生态状况。此外,从三江源区生态系统服务价值水平来看,长江源园区内部差异大,荒漠面积较多,需在荒漠地带种植耐旱、深根系植物,改变园区内土地利用类型,以缩小长江源园区内部差异。因三江源国家公园生态系统较为脆弱,气候变化对其生态系统服务价值存在一定的影响,通过土地利用类型演变提升生态系统服务价值后,生态环境也得到相应地改善。在此基础上,气候变化对生态系统服务价值的影响是否会发生变化,后续将加强此方面的研究。

参考文献(References):

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平指出,加快生态文明体制改革,建设美丽中国. (2017-10-18)[2020-12-16]. http://www.gov.cn/zhuanti/2017-10/18/content_5232657.htm.

[2] 中华人民共和国中央人民政府. 我国国家公园建设取得实质进展. (2019-12-08)[2020-12-16]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-12/08/content_5459442.htm.

[3] 三江源国家公园. 三江源国家公园公报(2019)发布. (2020-03-03)[2020-12-21]. http://sjy.qinghai.gov.cn/article/detail/10700.

[4] 普拉提·莫合塔尔, 海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究——以克里雅绿洲为例. 自然资源学报, 2014, 29(11): 1849-1858.

[5] Graingera. National land use morphology: patterns and possi-bilities. Geography, 1995, 800(3): 235-245.

[6] 龙花楼. 论发展与土地土地利用转型与土地资源管理. 地理研究, 2015, 34(9): 1607-1618.

[7] 龙花楼, 屠爽爽. 土地利用转型与乡村振兴. 中国土地科学, 2018, 32(7): 1-6.

[8] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.

[9] 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展. 生态学报, 2009, 29(11): 6183-6188.

[10] 王永琪, 马姜明. 基于县域尺度珠江-西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究. 生态学报, 2020, 40(21): 7826-7839.

[11] Brander L, Brouwer R, Wagtendonk A. Economic valuation of regulating services provided by wetlands in agricultural landscapes: a meta-analysis. Ecological Engineering, 2013, 56: 89-96.

[12] Rall E L, Haase D. Creative intervention in a dynamic city: a sustainability assessment of an interim use strategy for brownfields in Leipzig, Germany. Landscape and Urban Planning, 2011, 100(3): 189-201.

[13] Zhang F, Yushanjiang A, Jing Y Q. Assessing and predicting changes of the ecosystem service values based on land use/cover change in Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve, Xinjiang, China. Science of the Total Environment, 2019, 656: 1133-1144.

[14] Quintas-Soriano C, Castro A J, Castro H, García-Llorente M. Impacts of land use change on ecosystem services and implications for human well-being in Spanish drylands. Land Use Policy, 2016, 54: 534-548.

[15] Thompson J R, Lambert K F, Foster D R, Broadbent E N, Blumstein M, Almeyda Zambrano A M, Fan Y C. The consequences of four land-use scenarios for forest ecosystems and the services they provide. Ecosphere, 2016, 7(10): e01469.

[16] 路昌, 韩笑, 韩会芹. 山东省土地利用转型与生态服务功能交叉敏感性研究. 农业机械学报, 2020, 51(10): 223-231.

[17] 吴健生, 岳新欣, 秦维. 基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建——以重庆两江新区为例. 地理研究, 2017, 36(3): 429-440.

[18] Kragt M E, Robertson M J. Quantifying ecosystem services trade-offs from agricultural practices. Ecological Economics, 2014, 102: 147-157.

[19] Haase D, Schwarz N, Strohbach M, Kroll F, Seppelt R. Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: an integrated multiscale framework applied to the Leipzig-Halle region, Germany. Ecology and Society, 2012, 17(3): art22.

[20] 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.

[21] 欧阳晓, 贺清云, 朱翔. 多情景下模拟城市群土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以长株潭城市群为例. 经济地理, 2020, 40(1): 93-102.

[22] 孙孝平, 李双, 余建平, 方彦君, 张银龙, 曹铭昌. 基于土地利用变化情景的生态系统服务价值评估: 以钱江源国家公园体制试点区为例. 生物多样性, 2019, 27(1): 51-63.

[23] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 刘焱序, 田璐. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973.

[24] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. Science, 2016, 352(6292): 1455-1459.

[25] 丁梦婷, 裴凤松, 胡引翠, 董硕, 张征南, 刘泽鹏. 基于 LUCC 的江苏省生态系统服务价值时空变化特征研究. 生态学报, 2020, 40(19): 6801-6811.

[26] 刘永强, 龙花楼, 李加林. 长江中游经济带土地利用转型及其生态服务功能交叉敏感性研究. 地理研究, 2018, 37(5): 1009-1022.

[27] 刘浩, 孙丽慧, 吕文魁, 舒昶, 张惠远. 基于土地利用变化的洱海流域生态系统服务价值评估与变化分析. 生态经济, 2022, 38(1): 147-152.

[28] Rossita A, Nurrochmat D R, Boer R, Hein L, Riqqi A. Assessing the monetary value of ecosystem services provided by Gaung-Batang Tuaka Peat Hydrological Unit (KHG), Riau Province. Heliyon, 2021, 7(10): e08208.

[29] Ziaul Hoque M, Islam I, Ahmed M, Shamim Hasan S, Ahmed Prodhan F. Spatio-temporal changes of land use land cover and ecosystem service values in coastal Bangladesh. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2022, 25(1): 173-180.

[30] Mayer A, Jones K, Hunt D, Manson R, Berry Z C, Asbjornsen H, Wright T M, Salcone J, Lopez Ramirez S, Ávila-Foucat S, von Thaden Ugalde J. Assessing ecosystem service outcomes from payments for hydrological services programs in Veracruz, Mexico: future deforestation threats and spatial targeting. Ecosystem Services, 2022, 53: 101401.

[31] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.

[32] 冯晓玓, 黄斌斌, 李若男, 郑华. 三江源区生态系统和土壤保持服务对未来气候变化的响应特征. 生态学报, 2020, 40(18): 6351-6361.

[33] 彭文甫, 周介铭, 杨存建, 赵景峰, 罗怀良. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1053-1062.

[34] 宁龙梅, 王学雷. 基于 RS 和 GIS 的武汉市生态系统服务价值变化研究. 生态环境, 2006, 15 (3): 637-640.

[35] Feng Y X, Luo G P, Lu L, Zhou D C, Han Q F, Xu W Q, Yin C Y, Zhu L, Dai L, Li Y Z, Li C F. Effects of land use change on landscape pattern of the Manas River watershed in Xinjiang, China. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(8): 2067-2077.

[36] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.

[37] 三江源国家公园. 青藏高原变暖变湿,青海发生了哪些变化. (2021-03-23) [2021-04-06]. http://sjy.qinghai.gov.cn/article/detail/13951.

[38] 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.