

长江源区 1980 - 2010 年土地利用变化及影响分析研究

金浩宇^{1,2}, 鞠琴^{1,2}, 曲珍³, 董小涛⁴, 郝振纯^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏南京 210098; 2. 河海大学全球变化与水循环国际合作联合实验室, 江苏南京 210098; 3. 西藏自治区水文水资源勘测局日喀则水文水资源分局, 西藏日喀则 857000; 4. 水利部综合事业局, 北京 100053)

摘要: 长江源区地处我国三江源自然保护区, 作为长江的源头是整个长江开发利用和环境保护的关键一环。从源区土地利用/覆盖角度分析源区自然环境状态变化, 利用 ENVI 和 ArcGIS 软件对 1980 - 2010 年 4 期长江源区遥感数据进行解译, 以土地利用动态度、综合程度指数及转移矩阵作为评价指标。结果表明: 长江源区地貌类型以草地和裸地为主, 建筑用地和耕地最少; 全时段 1980 - 2010 年间, 水域面积减少最多, 裸地面积增加最多, 相对于初期而言源区自然环境有所下降; 1990 - 2000 年间是土地利用开发强度最强的时段, 随着 2000 年三江源保护区的建立, 2000 - 2010 年长江源区土地利用朝着恢复方向发展, 自然环境有所改善。

关键词: 土地利用变化; 遥感影像处理; 长江源区; 动态度

中图分类号: TV213.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)04-0078-08

Land use change and impact analysis in the source region of the Yangtze River from 1980 to 2010

JIN Haoyu^{1,2}, JU Qin^{1,2}, QU Zhen³, DONG Xiaotao⁴, HAO Zhenchun^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Joint International Research Laboratory of Global Change and Water Cycle, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Rikaze Branch of the Tibet Autonomous Region Hydrology Bureau, Rikaze 857000, China; 4. Bureau of Comprehensive Development, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: The Yangtze River source area is located in the Sanjiangyuan Nature Reserve of China. As the source of the Yangtze River, it is a key link in the development and utilization of the Yangtze River and environmental protection. This study analyzed the natural environment state changes from the perspective of land use/coverage in the source area, and analyzed the remote sensing data of the Yangtze River source area from 1980 to 2010 using ENVI and ArcGIS. The land use dynamics, comprehensive degree index and transfer matrix were taken as evaluation indicators. The results showed that the landform types in the Yangtze River source area are mainly grassland and bare land, whereas the construction land and cultivated land are the least. During the period from 1980 to 2010, the area of water decreased the most, and the area of bare land increased the most. Compared with the initial stage, the natural environment of the source area decreased. The strongest period of land use development happened in the period of 1990 to 2000. With the establishment of the Sanjiangyuan Nature Reserve in 2000, the land use in the Yangtze River source area in 2000 - 2010 improved towards the recovery direction.

Key words: land use change; remote sensing image processing; source area of the Yangtze River; dynamic degree

收稿日期: 2019-03-14; 修回日期: 2019-04-24

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0402704); 国家自然科学基金项目(51539003、41323001、51421006)

作者简介: 金浩宇(1994-), 男, 安徽望江人, 硕士研究生, 主要从事水文预报和水资源管理研究。

通讯作者: 鞠琴(1980-), 女, 江苏泰兴人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事流域水文模拟和气候变化影响研究。

1 研究背景

土地利用/覆盖变化(LUCC)主要由人类活动或气候变化引起,“3S”技术的发展对土地利用/覆盖变化的监测起到巨大推动作用^[1-3]。下垫面变化对气候变化、陆地生态系统平衡、地球物理及化学循环过程等都有着重要影响^[4-6]。分析 LUCC 有助于认识和探索土地系统动态变化规律及未来可能的变化趋势^[7-9]。LUCC 越来越成为分析区域生态环境变化、水资源分布变化及人类活动影响的有力手段,李佳鸣等^[10]以内蒙古为例研究了 LUCC 的生态服务价值,韩冬冬等^[11]研究了 LUCC 和气候变化对锡林河径流量的影响,Miedema 等^[12]研究了 LUCC 对森林群落功能性状组合的影响。

长江源区位于青海省东南部,分布着高山、盆地、草原、峡谷、沙漠、湖泊、沼泽、冰川及多年冻土等,为典型的青藏高原地貌^[13-14]。近些年来,长江源区生态环境发生了许多变化,主要表现在:水土流失严重,水源涵养功能减弱,湿地缩小变成旱草滩,土地沙化、草场退化,冰川面积减少,冻土消融等状况^[15-16]。长江源区是国家自然保护区而 LUCC 能反映区域自然环境变化,因此通过 LUCC 分析源区生态环境变化显得十分必要和关键。

2 研究区域概况

长江源区位于青藏高原腹地,属于高原亚寒带半湿润半干旱区。流域冬季长夏季短,绝大部分地区没有绝对无霜期,多年平均气温在 -1.7 ~ 5.5℃,7 月份为气温最高时期,平均气温为 9.7℃,1 月份

平均气温最低,气温在 -13℃。多年平均降水在 200 ~ 400 mm 之间,降水主要集中在 5 - 9 月份,占全年降水量的 90% ~ 95%。流域内植被类型较为简单,主要以高寒草甸和草原为主,下游地区分布有少量面积的森林。由于长江源区地域辽阔,山地垂直植被结构呈现高程差异,山腰以上多以灌丛草甸为主,山腰以下以森林及河谷草原为主。由东向西,随着气候逐渐趋向干旱,西部山区垂直结构更为简单,3000 m 以上高山区为高寒草甸。长江源区地形、水系及气象水文站分布如图 1 所示。

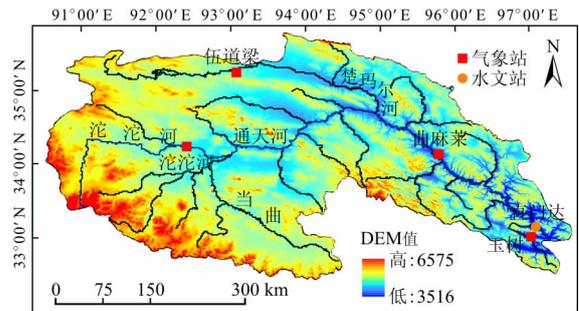


图 1 长江源区地形、水系及气象水文站分布图

3 数据来源及处理

本研究利用 1980 和 2010 年已解译的 Landsat - TM/ETM 卫星数据,其空间分辨率为 1 km 及 1990 和 2000 年未解译的 Landsat5 卫星数据,其空间分辨率为 1km。Landsat 主题成像仪(TM)为 Landsat5 携带的传感器。通过对已下载数据的解压可获得 7 个波段的数据,不同波段对应的波长范围和空间分辨率如表 1 所示。

表 1 Landsat5 卫星数据波段表

波段编号	波段名称	波长范围/μm	地面分辨率/m	主要作用
Band1	蓝波段(Blue)	0.45 ~ 0.52	30	用于水体穿透,分辨土壤植被
Band2	绿波段(Green)	0.52 ~ 0.60	30	分辨植被
Band3	红波段(Red)	0.63 ~ 0.69	30	处于叶绿素吸收区域,对于道路/裸露土壤/植被种类的观测效果良好
Band4	近红外波段(NIR)	0.75 ~ 0.90	30	估算生物量
Band5	短波红外波段 1(SWIR1)	1.55 ~ 1.75	30	分辨道路/裸露土壤/水
Band6	热红外波段(TIR)	10.40 ~ 12.50	60	感应发出热辐射的目标
Band7	短波红外波段 2(SWIR2)	2.09 ~ 2.35	30	对于岩石/矿物的分辨很有用,也可用于辨识植被覆盖和湿润土壤

多波段的遥感影像,不同波段的组合对地物的突显能力也不一样,波段 321 组合为真彩色合成,波段 432 组合为标准假彩色合成,波段 451 组合,信息量最为丰富,TM 影像的光波信息包含 3~4 维结构,相当于亮度、绿度、热度和湿度数据的存储。长江源区不同波段组合下 Landsat TM 影像效果图如图 2 所示。对长江源区地物解译采用监督分类的目视解

译法,该方法需要对地物在不同波段下的颜色值有一定了解,不同地物在光谱空间中分布情况及规律也不同,通过绘制不同地物在光谱空间中分布图(图 3),可以选择适当的波谱组合来选择地物标本。整个长江源区由于自然环境较为恶劣及人类活动影响较小,土地利用种类较少,整体将土地利用种类分为 6 种,即耕地、林地、草地、水域、建筑用地、裸地。

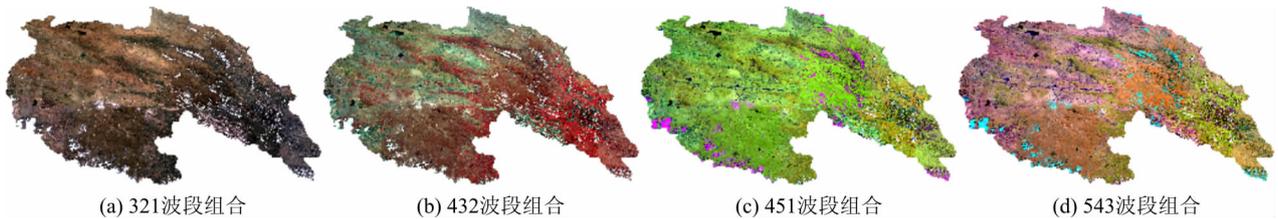


图 2 长江源区不同波段组合下的 TM 影像图

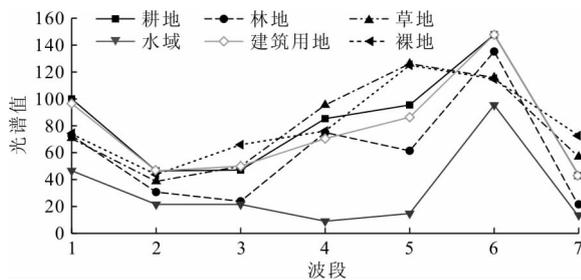


图 3 长江源区不同地物光谱空间分布图

对 1980、1990、2000、2010 年土地利用数据按照统一标准进行分类,分类结果如图 4 所示。从图 4 中可以看出,长江源区土地利用状况从 1980 年至 2010 年并未发生较大改变,其中草地面积最大但多为稀疏草地。裸地面积占比也比较大,尤其在源区北面楚玛尔河和西南面当曲上游占比较多。水域主要是由两部分构成,一是分布在高山源头的冰川,二是零星分布的星子湖。林地主要分布于流域下游的河谷中,但由于长江源区恶劣的气候环境森林面积较小,整体来说长江源区自然环境较为恶劣,经济发展相对落后,耕地和建设用地较少,主要集中在下游自然条件相对温和的地区。

4 研究方法

4.1 土地利用动态度

土地利用动态度用来定量分析区域土地利用类型的变化速率,对 LUCC 的区域性差异及预测未来 LUCC 趋势也有指导意义。常用的有两种指标,即单一土地利用动态度 K 、综合土地利用动态度 LC 。其公式表达如下:

$$K = \frac{U_{lb} - U_{la}}{U_{la}} \cdot \frac{1}{T} \cdot 100\% \quad (1)$$

式中: U_{la} 、 U_{lb} 分别为研究初期、末期同一土地利用类型面积, km^2 ; T 为研究时段, a 。

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \cdot \frac{1}{T} \cdot 100\% \quad (2)$$

式中: LU_i 为初期第 i 类土地利用类型的面积, km^2 ; ΔLU_{i-j} 为时段内第 i 类土地利用类型变化面积的绝对值, km^2 ; T 为时段长,若 T 的单位设定为 a ,则 LC 表示区域内土地利用年动态度。

4.2 土地利用综合程度指数

以土地利用综合程度指数 La 为评价标准分析土地利用变化的生态健康状况。其计算公式如下:

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

式中: A_i 为第 i 级的土地利用程度分级指数; C_i 为第 i 级的土地利用程度百分比。对于不同时期的 La 若 $\Delta La > 0$ 则表示土地利用处于发展时期,否则土地处于调整时期或衰退期, La 越大表示土地利用程度越高。不同土地利用程度分级指数如表 2 所示。

表 2 不同土地利用类型的土地利用程度分级指数

分级	土地利用类型	分级指数
其他土地(A_1)	未利用或暂难以利用地	1
土地自然再生利用级(A_2)	林地、草地、水域及水利设施用地	2
土地的人为再生利用级(A_3)	耕地、园地	3
土地的非再生利用级(A_4)	城镇、居民地、工矿、交通	4

4.3 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是分析一段时期内 LUC 的有利工具,其不仅能表现期初和期末各类土地利用类型面积变化情况,还能显示各土地利用类型相互之间转换面积。其中前后期相同土地利用类型交汇处表示该种土地利用类型未发生变化的面积,其他处表示某一土地利用类型转为另一土地利用类型的面积。土地利用类型转移矩阵的格式如下:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: S_{ij} 为前期的 i 种地类转换成后期的 j 种地类的面积, km^2 ; n 为前后期的土地利用类型数; $i, j (i, j$

$= 1, 2, \dots, n)$ 分别为前期与后期的土地利用类型。

5 结果与分析

5.1 各期土地利用变化格局

表 3 给出了 1980、1990、2000、2010 年土地利用面积情况,长江源区主要地貌类型为草地和裸地,面积分别在 $9.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,占流域总面积在 68% 和 25% 以上,两者占流域总面积在 93% 以上。建筑用地占全流域面积最小,只有 0.02% 左右,其次面积占比较小的是耕地,约占 0.06%,两者面积一共约为 130 km^2 ,占比 0.08% 左右。林地面积有 700 km^2 左右,占流域面积比在 0.50% 左右。包括冰川、湖泊在内的水域面积在 7600 km^2 以上,占流域总面积 5.5% 以上。

表 3 不同年份长江源区土地利用面积及占比

土地利用类型	1980 年	1990 年	2000 年	2010 年
耕地	88.9(0.06)	88.9(0.06)	99.53(0.07)	99.53(0.07)
林地	705.39(0.51)	705.39(0.51)	691.86(0.50)	691.86(0.50)
草地	93871.71(68.12)	93891.03(68.14)	93863.01(68.12)	93892(68.14)
水域	7878.12(5.72)	7758.3(5.63)	7623.02(5.53)	7644.28(5.55)
建筑用地	26.09(0.02)	26.09(0.02)	29.95(0.02)	31.89(0.02)
裸地	35229.79(25.57)	35330.29(25.64)	35492.62(25.76)	35440.44(25.72)

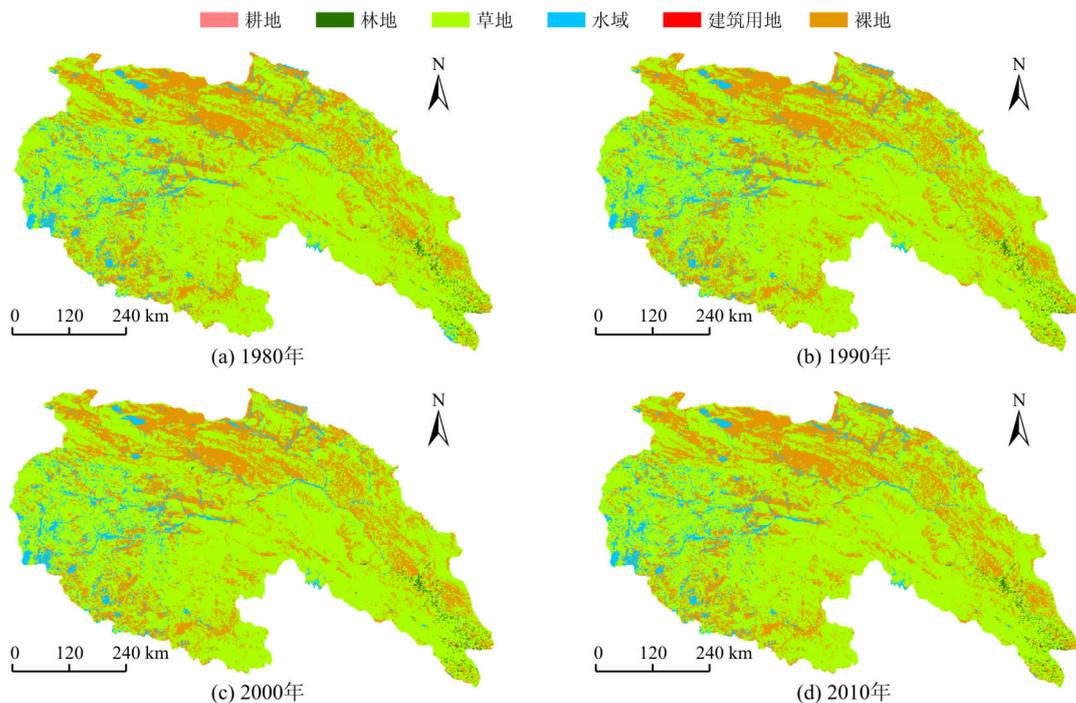


图 4 长江源区土地利用/覆盖变化图

图5为各土地利用类型变化情况柱状图。从图5中可以看出,耕地面积只在1990-2000年间发生变化,面积增加了10.63 km²;林地面积只在1990-2000年间减少了13.53 km²;草地面积在1980-2000年间增加了19.33 km²,在1990-2000年间减少了28.02 km²,在2000-2010年间增加了28.99 km²,全时段草地面积增加了20.29 km²;水域面积在1980-1990年间和1990-2000年间都呈减少趋势,减少面积分别为119.82和135.28 km²,而2000-2010年间水域面积有缓慢增加趋势,增加了21.26 km²,全时段内水域面积减少了233.84 km²;建筑用地在1990-2000年间增加了3.87 km²,在2000-2010年间增加了1.93 km²,全时段内建筑用地增加5.80 km²;裸地面积在1980-1990年间和1990-2000年间都有所增加,增加面积分别为100.49和162.34 km²,而在2000-2010年间裸地面积略有减少,减少面积为52.18 km²,全时段内裸地面积增加了210.65 km²。

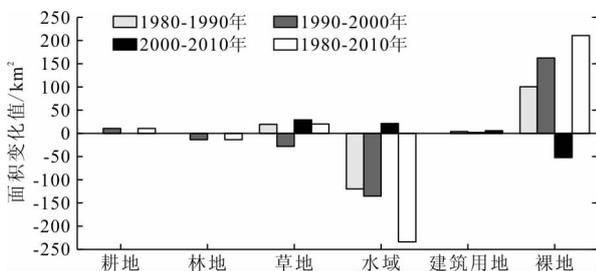


图5 1980-2010年长江源区段各类土地利用变化面积

5.2 土地利用类型动态度

表4为1980-2010年长江源区土地利用类型变化情况。从表4中可以看出,1980-1990年间水域面积变化最快,单一动态度为-1.52%/a,其次是裸地,单一动态度为0.29%/a,草地单一动态度为0.02%/a。1990-2000年间建筑用地单一动态度最大,达到14.81%/a,虽然建筑用地面积只增加了3.87 km²,但由于建筑用地初始基数就小,使得相对变化反而较大,其次是耕地,单一动态度达到了11.96%/a。裸地面积也有增加,其单一动态度为0.46%/a,林地、草地和水域都有不同程度的减少,其单一动态度分别为-1.92%/a, -0.03%/a和-1.74%/a。2000-2010年间建筑用地变化最快,单一动态度为6.45%/a。裸地面积有所减少,单一动态度为-0.15%/a。全时段内相对而言建筑用地和耕地面积变化最快,单一动态度最大分别为22.22%/a和11.96%/a。裸地和草地面积也有不同程度的增加,其单一动态度分别为0.60%/a和0.02%/a。水域和林地面积有不同程度的减少,其单一动态度分别为-2.97%/a和-1.92%/a。从综合动态度数值大小上看,1990-2000年间的土地利用/覆盖变化最大,为0.013%/a。

5.3 土地利用综合程度

源区1980、1990、2000、2010年土地利用综合程度指数如图6所示。

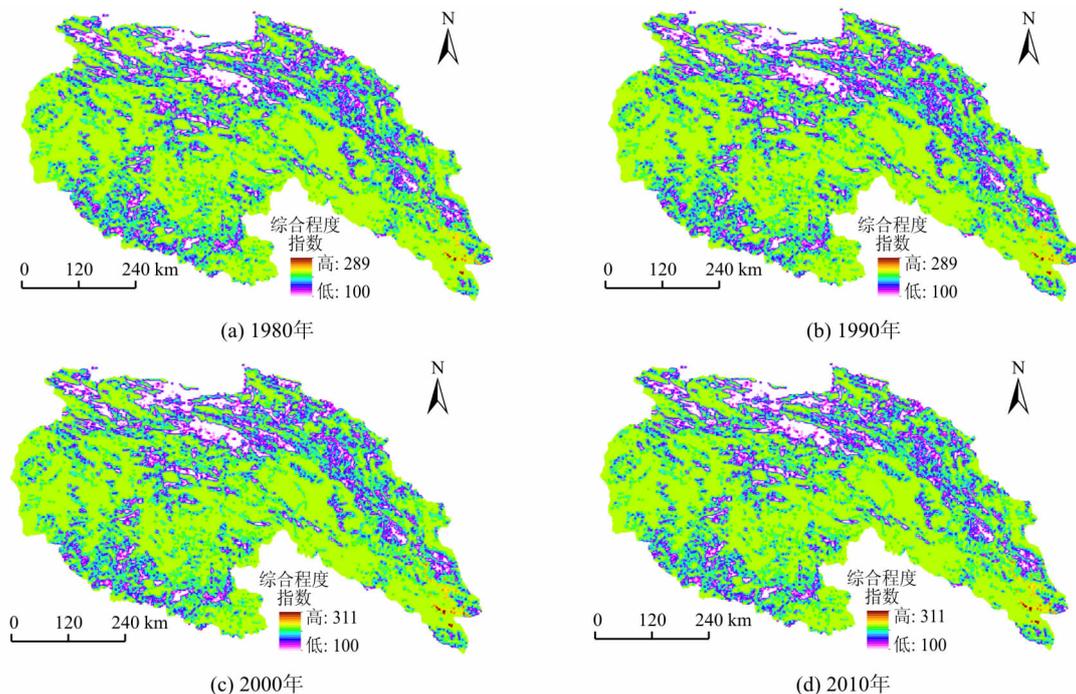


图6 长江源区土地利用综合程度指数

表4 1980-2010年长江源区土地利用类型变化情况

年份	统计类型	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	裸地
1980-1990	变化量/km ²	0	0	19.33	-119.82	0	100.49
	单一动态度(%/a)	0	0	0.02	-1.52	0	0.29
	综合动态度(%/a)	0.009					
1990-2000	变化量/km ²	10.63	-13.53	-28.02	-135.28	3.87	162.34
	单一动态度(%/a)	11.96	-1.92	-0.03	-1.74	14.81	0.46
	综合动态度(%)	0.013					
2000-2010	变化量/km ²	0	0	28.99	21.26	1.93	-52.18
	单一动态度(%/a)	0	0	0.03	0.28	6.45	-0.15
	综合动态度(%/a)	0.004					
1980-2010(全时段)	变化量/km ²	10.63	-13.53	20.29	-233.84	5.80	210.65
	单一动态度(%/a)	11.96	-1.92	0.02	-2.97	22.22	0.60
	综合动态度(%/a)	0.018					

整体上1980-2010年长江源区土地利用综合程度指数在空间上变化不大,土地利用程度较低的区域主要分布在源区北部和西南部,该区域也是裸地分布的集中区域。而土地利用程度较高的区域是源区下游河谷地带,该区域人口较为集中,建设用地较多。源区较大部分被草地、林地和水域覆盖的地区土地利用综合程度指数在170左右。

表5为源区1980、1990、2000、2010年平均土地利用综合程度指数,1980年土地利用程度综合指数最高,为174.56,2000年土地利用程度综合指数最低,为174.36。1980-1990年 $\Delta La < 0$,此时水域面积在减少,裸地面积在增加,反映源区自然环境朝着恶化方向发展。1990-2000年土地利用程度综合指数也在减少,此时林地、草地和水域面积均在减少,裸地面积在增加,反映源区自然环境继续朝着恶化方向发展。2000-2010年土地利用程度综合指数有少量增加,此时草地和水域面积有所增加,裸地面积在减少,反映源区自然环境朝着恢复方向发展。全时段内土地利用程度综合指数在减少,反映出2010年源区自然环境相比于1980年而言环境变差。而2000-2010年源区自然环境的改善很大程度是由于三江源自然保护区的设立,加大了对源区自然环境保护力度的结果。

表5 1980-2010年全区平均土地利用程度综合指数

LUC	1980年	1990年	2000年	2010年	全时段
La	174.56	174.46	174.36	174.4	
ΔLa	-0.1	-0.1	0.04	-0.16	

5.4 土地利用转移变化

表6~9为研究时期内的土地利用转移矩阵。

1980-1990年间耕地、林地、草地和建筑用地没有发生转移,而有124.65 km²的水域转换为草地和裸地,有15.46 km²的裸地转换为草地和水域。新增草地面积为19.33 km²,新增水域面积为4.83 km²,新增裸地面积为115.95 km²,总的变换面积为140.11 km²。

1990-2000年间草地转出面积最大,达218.39 km²,其次是水域,转出面积达177.8 km²。转入类型面积最大的是裸地,面积达258 km²,主要是由草地和水域转入的,其次转入草地的面积也较大,达190.36 km²,主要是由水域和裸地转入的。总流转面积达509.25 km²,是3个时段中土地利用变化最剧烈的时期。

2000-2010年间土地流转情况较弱,只有草地和裸地发生了流转,流入草地的面积最多,达44.45 km²,其次是水域,转入面积有21.26 km²。该时期首次出现转入裸地面积小于转出裸地面积,且裸地大多转为草地,表明该时期长江源区植被有所恢复,生态环境有所改善。

全时段1980-2010年间转出面积最多的是水域,其次是草地,转入面积最多的是裸地,其次是草地。表明长江源区有着朝干旱化发展的趋势,草地面积转出多但转入也多,整体上面积变化不大,裸地面积增大,植被覆盖率减少,长江源区生态环境较初期变差。

表6 1980-1990年长江源区土地利用转移矩阵

km²

1980年	1990年							转出面积
	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	裸地	合计	
耕地	88.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.90	0.00
林地	0.00	705.39	0.00	0.00	0.00	0.00	705.39	0.00
草地	0.00	0.00	93871.71	0.00	0.00	0.00	93871.71	0.00
水域	0.00	0.00	8.70	7753.47	0.00	115.95	7878.12	124.65
建筑用地	0.00	0.00	0.00	0.00	26.09	0.00	26.09	0.00
裸地	0.00	0.00	10.63	4.83	0.00	35214.33	35229.79	15.46
合计	88.90	705.39	93891.03	7758.30	26.09	35330.29	137800.00	140.11
转入面积	0.00	0.00	19.33	4.83	0.00	115.95	140.11	

表7 1990-2000年长江源区土地利用转移矩阵

km²

1990年	2000年							转出面积
	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	裸地	合计	
耕地	86.00	0.00	0.00	0.00	2.90	0.00	88.90	2.9
林地	0.00	690.89	14.49	0.00	0.00	0.00	705.39	14.49
草地	13.53	0.97	93672.65	26.09	0.97	176.83	93891.03	218.39
水域	0.00	0.00	96.63	7580.51	0.00	81.17	7758.30	177.8
建筑用地	0.00	0.00	0.00	0.00	26.09	0.00	26.09	0.00
裸地	0.00	0.00	79.24	16.43	0.00	35234.62	35330.29	95.67
合计	99.53	691.86	93863.01	7623.02	29.95	35492.62	137800.00	509.25
转入面积	13.53	0.97	190.36	42.52	3.87	258	509.25	

表8 2000-2010年长江源区土地利用转移矩阵

km²

2000年	2010年							转出面积
	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	裸地	合计	
耕地	99.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.53	0.00
林地	0.00	691.86	0.00	0.00	0.00	0.00	691.86	0.00
草地	0.00	0.00	93847.55	8.70	1.93	4.83	93863.01	15.46
水域	0.00	0.00	0.00	7623.02	0.00	0.00	7623.02	0.00
建筑用地	0.00	0.00	0.00	0.00	29.95	0.00	29.95	0.00
裸地	0.00	0.00	44.45	12.56	0.00	35435.61	35492.62	57.01
合计	99.53	691.86	93892.00	7644.28	31.89	35440.44	137800.00	72.47
转入面积	0.00	0.00	44.45	21.26	1.93	4.83	72.47	

表9 1980-2010年长江源区土地利用转移矩阵

km²

1980年	2010年							转出面积
	耕地	林地	草地	水域	建筑用地	裸地	合计	
耕地	86.00	0.00	0.00	0.00	2.90	0.00	88.90	2.90
林地	0.00	690.89	14.49	0.00	0.00	0.00	705.39	14.49
草地	13.53	0.97	93645.60	28.02	2.90	180.70	93871.71	226.12
水域	0.00	0.00	97.59	7591.14	0.00	189.39	7878.12	286.98
建筑用地	0.00	0.00	0.00	0.00	26.09	0.00	26.09	0.00
裸地	0.00	0.00	134.31	25.12	0.00	35070.36	35229.79	159.43
合计	99.53	691.86	93892.00	7644.28	31.89	35440.44	137800.00	689.92
转入面积	13.53	0.97	246.39	53.14	5.80	370.09	689.92	

6 结 论

本文通过对长江源区LUCC在时间和空间上的变化,分析了不同土地利用类型的变化情况及其给源区带来的环境影响。主要结论如下:

(1)长江源区土地利用/覆盖类型最多的是草地,其次是裸地类型,建筑用地和耕地面积占全区面积最小,且该地类型主要集中在河谷下游气候环境相对优越的地方。

(2)1980-1990年间水域面积减少最快,1990-2000年间和2000-2010年间建筑用地增加最快。1990-2000年间土地流转程度最大。源区下游人类聚集区土地利用综合程度较高,从时间上看,1980-1990年及1990-2000年土地利用朝着恶化方向发展,而2000-2010年土地利用朝着恢复方向发展,这与2000年开始建立三江源自然保护区,源区自然环境受到保护有很大关系。

(3)土地类型变化主要发生在水域、草地及裸地之间,水域面积在萎缩,转向草地和裸地。草地转出和转入量基本相当,整体上变化不大。1980-2010年间,水域面积减少最多,达233.84 km²,裸地增加面积最多,达210.65 km²,自然环境相对于初期而言变差。

参考文献:

- [1] 宋宏利. 多源土地覆被遥感信息融合及数据重构研究[D]. 北京:中国矿业大学,2013.
- [2] 赵宏飞,何洪鸣,白春昱,等. 黄土高原土地利用变化特征及其环境效应[J]. 中国土地科学,2018,32(7):49-57.
- [3] 李晓兵,陈云浩,喻锋. 基于遥感数据的全球及区域土地覆盖制图—现状、战略和趋势[J]. 地球科学进展,2004,19(1):71-80.
- [4] LIU Jianguo, DIAMOND J. China's environment in a glo-

balizing world[J]. Nature, 2005, 435(7046): 1179-1186.

- [5] 于兴修,杨桂山,王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. 地理科学,2004,24(5):627-633.
- [6] 潘洁晨. 基于遥感图像矿山生态环境破坏信息边界提取方法研究[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(2):96-99.
- [7] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996:1-353.
- [8] 摆万奇,阎建忠,张德铨. 大渡河上游地区土地利用/土地覆被变化与驱动力分析[J]. 地理科学进展,2004,23(1):71-78.
- [9] VERBURG P H, OVERMARS K P, HUIGEN M G A, et al. Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines[J]. Applied Geography, 2006, 26(2):153-173.
- [10] 李佳鸣,冯长春. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及其改善效果研究——以内蒙古自治区为例[J]. 生态学报,2019,39(13):1-10.
- [11] 韩冬冬,朱仲元,宋小园,等. 土地覆被和气候变化对锡林河流域径流量的影响[J]. 水土保持研究,2019,26(2):153-160.
- [12] MIEDEMA L J, CAPMOURTERES V, ANAND M. Impact of land composition and configuration on the functional trait assembly of forest communities in southern Ontario[J]. Ecosphere, 2019, 10(3): e02633.
- [13] 钱开铸. 长江源区水文周期特征及其对气候变化的响应[D]. 北京:中国地质大学,2013.
- [14] 白路遥,荣艳淑. 气候变化对长江、黄河源区水资源的影响[J]. 水资源保护,2012,28(1):46-50+70.
- [15] 陈芳,马英芳,申红艳,等. 长江源区近44年气候变化的若干统计分析[J]. 气象科技,2007,35(3):340-344.
- [16] 王灵军,燕华云. 长江源区径流年内分配时程变化影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报,2011,22(1):174-176.