

近 30 年三江源地区湖泊变化图谱与面积变化*

李 晖¹, 肖鹏峰¹, 冯学智¹, 万 玮¹, 马荣华², 段洪涛²

(1: 南京大学地理信息科学系, 南京 210093)

(2: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘 要: 以近 30 年的 40 景 Landsat MSS/TM/ETM +、CBERS CCD 遥感影像为数据源, 采用植被指数法结合人工目视解译, 分为四个时期对三江源地区湖泊进行了遥感水体检测。选取面积在 15km² 以上、总面积占研究区湖泊总面积的 90% 左右的 24 个湖泊作为典型湖泊, 建立该地区湖泊的变化图谱, 并引入湖泊萎缩强度指数对湖泊的面积变化及空间分布特征进行分析。结果表明, 以第三时期(1999 - 2002 年)为界, 这 24 个湖泊总体上经历了先萎缩后扩张的过程, 且萎缩的程度大于扩张的程度, 近 30 年来湖泊总面积缩小了 65.76km²。本研究结论可为三江源地区对气候变化响应研究提供参考, 并对区域水资源合理利用提供科学依据。

关键词: 三江源地区; 湖泊变化图谱; 面积变化; 遥感; 湖泊萎缩强度指数

Lake changes in spatial evolution and area in source region of Three Rivers in recent 30 years

LI Hui¹, XIAO Pengfeng¹, FENG Xuezhi¹, WAN Wei¹, MA Ronghua² & DUAN Hongtao²

(1: *Department of Geographic Information Science, Nanjing University, Nanjing 210093, P. R. China*)

(2: *Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China*)

Abstract: This paper presents the changes of lakes in the source region of Three Rivers (the Yangtze, Yellow and Nujiang Rivers) in recent 30 years by using the methods of GIS and remote sensing. Time slices of 40 images of Landsat MSS/TM/ETM + and CBERS CCD are divided into four stages of the last 30 years. Each area of the 24 lakes is more than 15km² and the overall area is more or less 90% of the entire lake area in the Three Rivers. Firstly, the vegetation index method is used to detect the lakes from the images, and manual interpretation is consistent to modify the detection. Then the spatial evolutions of 24 lake variations are built up based on the water body boundaries. Finally, the index of the lake loss intensity is introduced to analyze changes of lake area and the distribution. The result presents that the total area of all 24 lakes declined from the first stage to the third stage (1999 - 2002), and then increased slightly during the fourth stage. However, the amount of reduced area is more than increases and the total area has lost 65.76 km² during recent 30 years. The present study provides benefit to understand the regional response to climatic change and utilize the water resources reasonably in the Source Region of Three Rivers.

Keywords: Source region of Three Rivers; lake spatial evolution; area change; remote sensing; index of the lake loss intensity

三江源地区是指长江、黄河和澜沧江源头地区, 被誉为“中华水塔”, 位于青藏高原的腹地、青海省南部, 平均海拔在 3500m 以上, 气候恶劣, 地形复杂。地理位置介于北纬 31°39' - 36°12', 东经 89°45' - 102°23', 总面积 36.3 × 10⁴ km², 有着世界上海拔最高、面积最大、分布最集中的湿地^[1]。作为青藏高原的重要组成部分, 三江源地区独特的地理环境和天气气候条件, 对我国、东亚甚至全球气候变化都有极其重要的影响^[2]。高原湖泊作为青藏高原水循环的一个关键因子, 其水量与水位变化表征着流域内水量平衡变化过程及其气候与环境的变化过程^[3-4]。

目前, 国内外学者针对三江源地区的研究较多集中于水土流失、气候、土地覆被等方面^[2,5], 对于湖泊变

* 科技部基础性工作专项“中国湖泊水质、水量和生物资源调查”项目(2006FY110600)资助。2009 - 11 - 19 收稿; 2010 - 04 - 28 收修改稿。李晖, 女, 1985 年生, 博士研究生; E-mail: lih666@163.com.

S63022、错达日玛、盐湖、海丁诺尔. 其中 S63022 因无湖泊名称, 以第一次全国湖泊调查所给编码作为湖泊名称.

2 遥感数据的收集与处理

2.1 研究区遥感数据收集

陆地卫星影像是湖泊变迁研究较理想的信息源, 为真实地反映三江源地区 24 个湖泊的演变过程, 本文收集并选择了研究区 1975 - 2006 年的多期、多类型、多光谱遥感影像为基础数据, 根据遥感影像时相集中年份, 将湖泊变化分为四个时期, 第一时期为 1976 - 1977 年 8 景 Landsat MSS 影像; 第二时期为 1990 - 1995 年 8 景 Landsat TM 影像; 第三时期为 1999 - 2002 年 9 景 Landsat TM/ ETM + 影像; 第四时期为 2004 - 2006 年 15 景 CBERS CCD 影像. 为了使遥感分析结果具有可比性, 尽量选用不同年份时相相近的遥感影像. 其中, 受获取数据有限的制约, 除第一时期 MSS 影像选取了 11 月份到 4 月份数据, 其它三个时期均选用了丰水期的 5 - 10 月份数据. 数据具体见表 1.

表 1 遥感影像的类型和接收日期
Tab. 1 Dates and types of remote sensing images

	第一时期	第二时期	第三时期		第四时期
影像类型	Landsat MSS	Landsat TM	Landsat ETM +	Landsat TM	CBERS CCD
分辨率	79m	30m	30m	30m	20m
轨道号与接收日期	144/35-19770222	134/35-19900830		134/35-20010703	18/60-20050908、18/61-20050908
	144/36-19770118	134/36-19940724		135/35-20000707	19/60-20060809、19/61-20060809
	145/35-19770419	135/35-19900821		135/36-20020830	21/60-20060803、22/60-20060828
	145/36-19761126	135/36-19940731	134/36-20010703	136/35-19990914	23/60-20040730、23/62-20040730
	146/36-19770102	136/36-19940503	138/36-20011003	136/36-19990930	24/60-20060915、24/61-20060915
	148/35-19761111	137/35-19940503		137/35-20000603	24/62-20060915、25/61-20040914
	148/36-19761111	137/36-19950817		137/36-20010926	25/62-20040914、26/61-20040816
	149/36-19761112	138/36-19920815			26/62-20050910

2.2 遥感影像处理

由于水体的提取对面积精度要求较高, 投影采用双标准纬线等面积圆锥投影 (Albers Conic Equal Area). 本文借助配准后的 Albers 投影 1975 年版和 1976 年版的 1:10 万地形图作为工作底图, 在影像上选取道路交叉点、道路和河流的交叉点、地形特征点等同名点, 对遥感影像进行几何精纠正. 每景影像不少于 20 个控制点, RMS 误差控制在 1 个像元以内, 以保证湖泊边界提取的精度. 由于个别地形图缺失, 对应影像在纠正的过程中, 为避免变形, 分块进行几何精纠正. 为了统一显示效果和正确解译, 本文对该 40 景影像均采用了标准假彩色合成.

3 湖泊水体检测及面积计算

研究区内部分湖泊为盐湖, 其水体光谱特征与淡水湖泊的光谱特征存在较大差异^[14], 表面为盐壳, 湖泊边界在影像上的表现并非十分清晰, 仅仅利用水体指数检测水体可能会造成面积测算不准确. 故本文对三江源湖区湖泊的解译与面积测算首先采用植被指数进行水体检测, 然后结合人工目视解译对检测结果进行修正, 最后对检测结果检查并进行面积计算.

3.1 遥感影像水体检测

利用遥感检测水体的关键是将水体与周围地物区别开来, 以准确地确定水体面积. 水体检测的方法一般可分为单波段法和多波段法. 单波段法主要选取遥感影像中的近红外波段并辅以阈值来提取水体^[15]. 多波段法则主要利用多波段的优势综合提取水体信息, 并可分为谱间分析法和比值法^[16]. 比较典型的多波段法有 McFEETERS 提出的水体指数 (NDWI)^[17], 以及改进的归一化差异水体指数 (MNDWI)^[18], 但这些水体指数无法抑制与水体无关的背景信息.

根据全彩荣等对盐湖光谱特征的分析^[14],采用其对西台吉乃尔湖水体提取的方法,将度量植被类型的归一化植被指数(*NDVI*)作为提取水体的主要因子.获得 *NDVI* 图像以后,研究区内湖泊边界的提取主要分为三种情况:①对于绝大部分具有清晰边界的湖泊,可以从 *NDVI* 图像上清晰地分辨其边界,如图 2 中鄂陵湖所示;②对于部分湖泊边界同背景对比度不强,其在 *NDVI* 图像中,边界需要做相应的人工判别确定,如图 2 中冬给错纳湖中白色圈内所示;③对于表面被盐壳或冰水覆盖的湖泊,其边界的确认还需要结合相应的地形图及其他季相的遥感影像资料进行人工判译,如图 2 错江钦所示.此处因印刷需要,已将假彩色遥感影像处理为灰度图像.

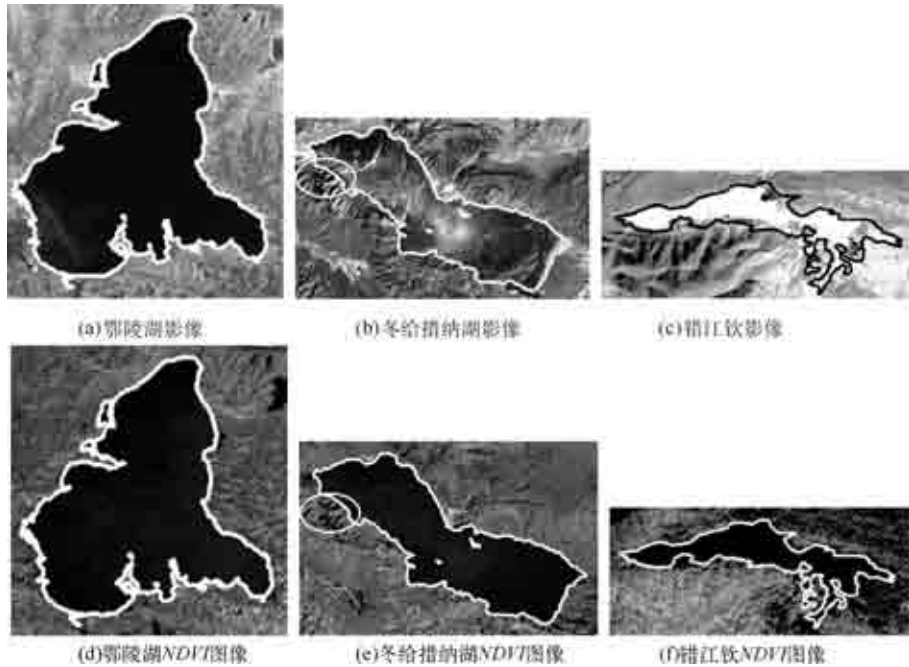


图 2 湖泊遥感影像及对应的 *NDVI* 图像
Fig. 2 Remote sensing images and *NDVI* of three lakes

3.2 湖泊解译及面积计算

对于湖泊边界的确定及面积的计算根据如下原则确定:湖泊周围的盐壳,结合相应的地形图判断是否计入湖泊面积;湖泊周围的小型水体,按照地形图、《中国湖泊名称代码》进行判断是否计入该湖泊;湖泊内岛屿不计入湖泊面积.

按照以上原则,对遥感图像水体检测结果进行检查修改,并建立 24 个湖泊的属性表,对其进行拓扑检查,并最终转化为多边形,计算湖泊面积.因获取数据限制,文中在不同时期选用了不同传感器和分辨率的遥感数据,但在湖泊面积的提取过程中,本文采用将遥感数据放大至一个像素,结合相应地形图数据对湖泊边界进行修正,以此保证湖泊边界提取精度,并减少因分辨率不同而导致的湖泊面积统计误差.

4 湖泊变化图谱与面积变化分析

4.1 湖泊变化图谱

研究通过对多时期的 Landsat MSS/TM/ETM+、CBERS CCD 影像进行湖泊边界信息的提取^[19],得到 1975 - 2006 年间四个时期湖泊变化过程.由此,建立三江源地区 24 个湖泊变化图谱,作为湖泊面积变化研究的基础.此处因印刷需要,已将遥感影像处理为灰度图像.

7个面积增大湖泊:雅西错、葫芦湖、碗豆湖、阿拉克湖、S63022、盐湖、叶鲁苏湖. 这7个湖泊在四个时期内面积共扩大 32.64km²,但湖泊在四个时期内经历了有张有缩的状态(图3).

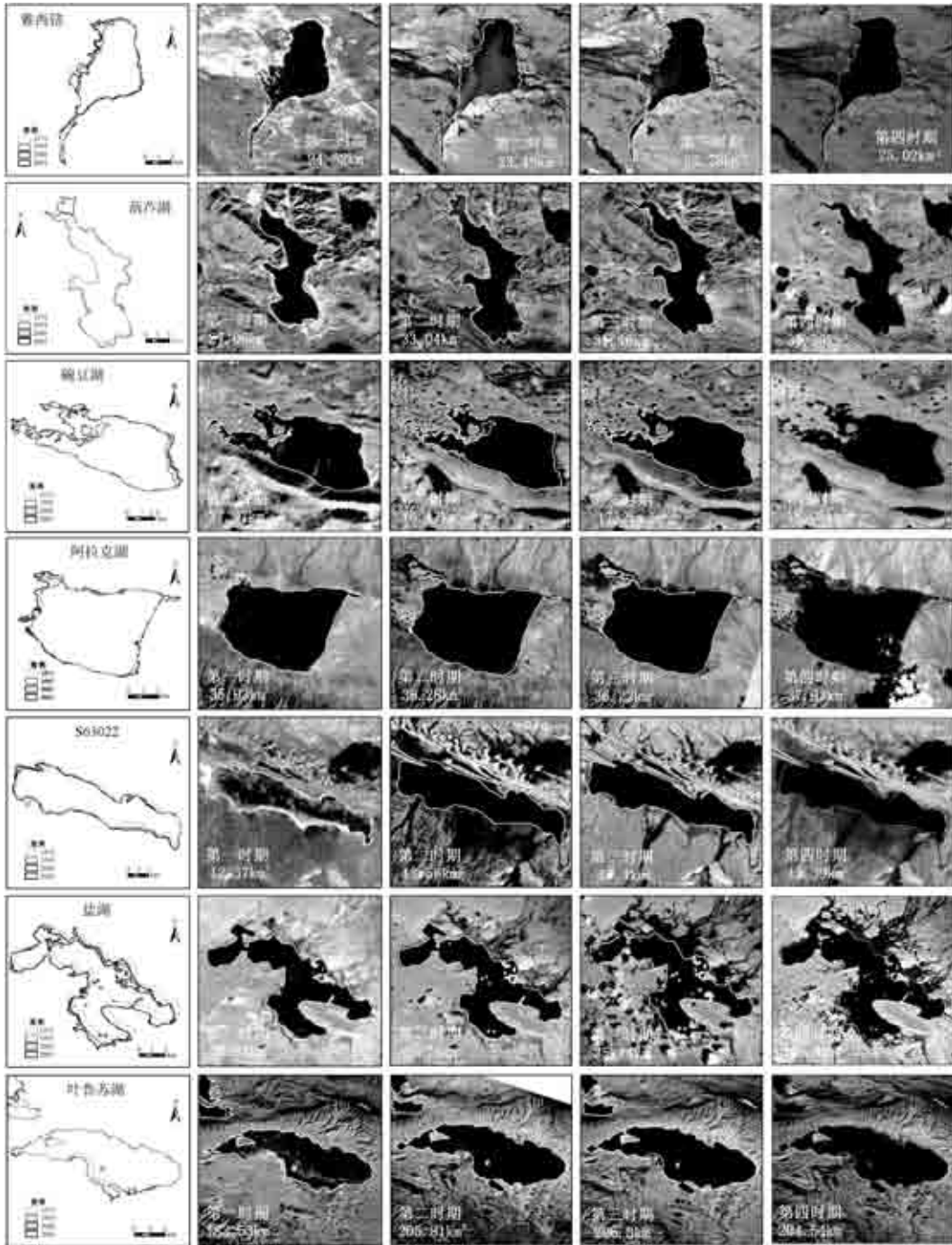


图3 7个面积扩大湖泊变化图谱

Fig. 3 Temporal pedigree of seven lakes expansion boundaries

8个一直处于萎缩状态的湖泊:隆热错、星星海、阿涌尕马错、阿涌吾尔马错、章江头木错、卡巴纽尔多、

玛章错钦、扎陵湖,这 8 个湖泊在四个时期内面积共缩小 58.74km²,详见图 4.

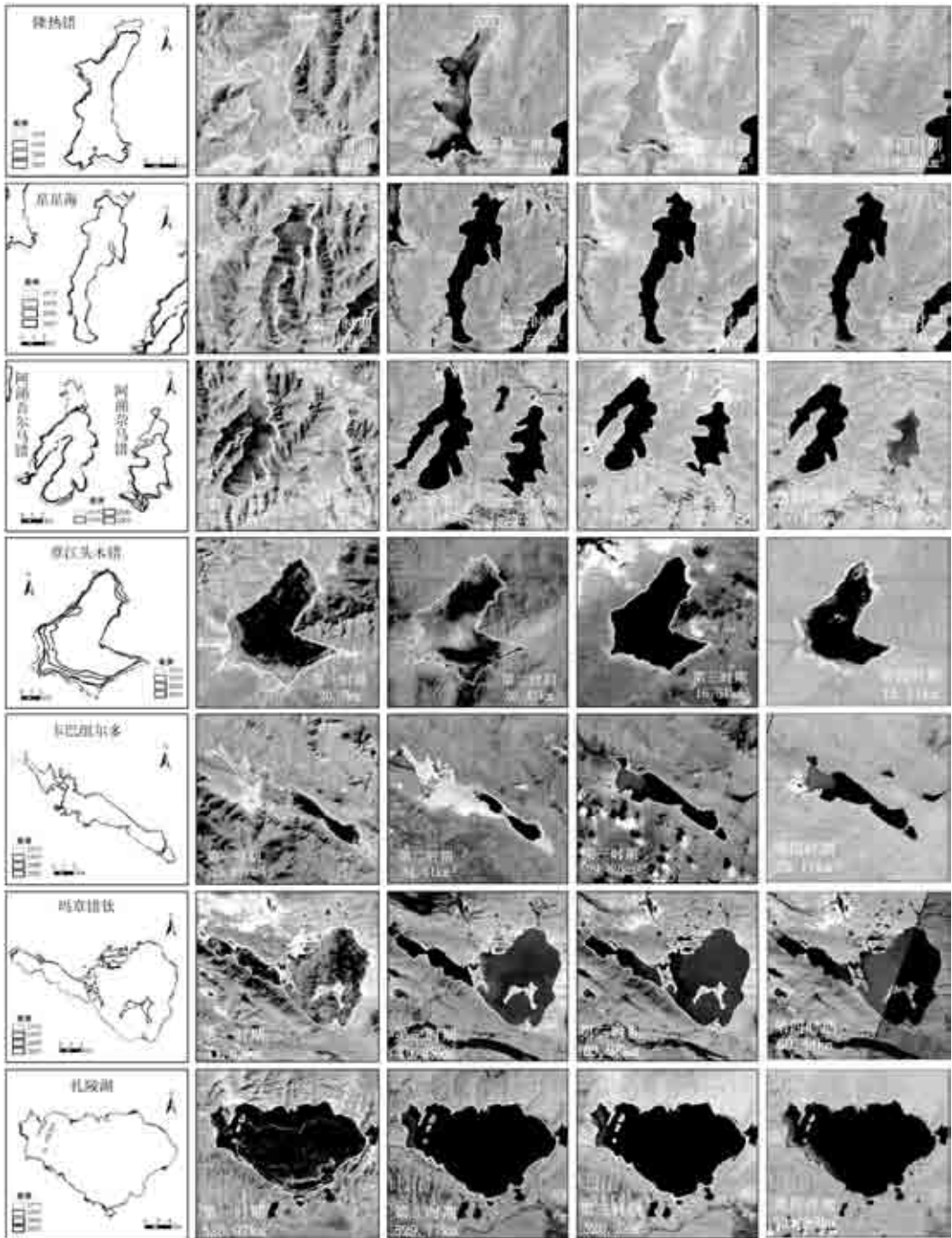


图 4 8 个萎缩湖泊变化图谱

Fig. 4 Temporal pedigree of eight lakes loss boundaries

9 个面积萎缩湖泊:错江钦、尕拉拉错、苟仁湖、海丁诺尔、苦海、特拉什湖、错达日玛、冬给措纳湖、鄂陵湖等 9 个湖泊,面积共缩小 39.66km²,但湖泊在四个时期内经历了有张有缩的状态,详见图 5.

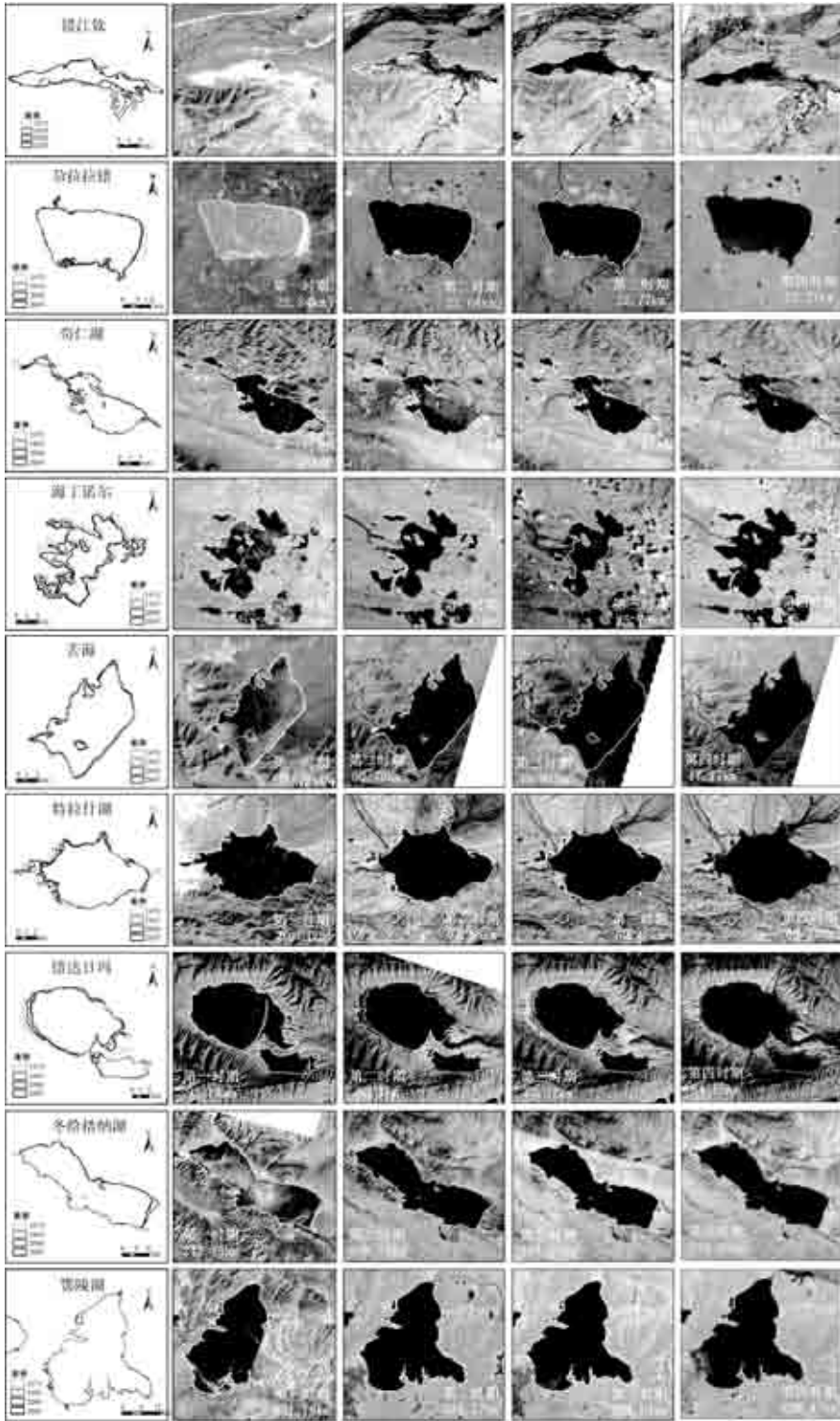


图 5 9 个面积萎缩湖泊变化图谱

Fig. 5 Temporal pedigree of nine lakes loss boundaries

4.2 湖泊面积变化分析

从遥感影像对三江源地区湖泊四个时期近 30 年湖泊时间变化图谱及湖泊面积的统计情况(表 2)来看,研究区内湖泊的总面积经历了先减少后增加的过程,以第三时期为界,前两个时期为减少状态,第三时期以后,全部湖泊的面积呈增加趋势,但增加幅度不大,至第四时期湖泊总面积相比第一时期共减少 65.76km². 同时,大部分湖泊也具有同样的变化过程,即经历了萎缩和扩张的过程.

为了更好地描述不同时期湖泊水面面积的相对变化程度,本文引入湖泊萎缩强度指数(*ILLI*, Index of Lake Loss Intensity)来定量描述湖泊萎缩强弱的相对程度^[20]. 假定某一时期内湖泊萎缩总量为 A , 该时期可以分为 N 个不同发展阶段, 每个阶段的湖泊萎缩量为 A_i , $i = 1, 2, \dots, N$, 则每个阶段湖泊萎缩百分比为 $ILLI = A_i/A$, 当 $ILLI$ 小于 0 时, 表示湖泊扩张, 当 $ILLI$ 大于 0 时, 表示湖泊萎缩, $ILLI$ 的大小表征了湖泊萎缩的相对强度, 具体见表 2.

表 2 四个时期湖泊面积、变化统计及 *ILLI* 数值(km²)

Tab.2 Area, changes and *ILLI* of lakes in four different stages

湖泊名称	第一时期面积	第一、二时期面积变化量	第二时期面积	第二、三时期面积变化量	第三时期面积	第三、四时期面积变化量	第四时期面积	总变化量	第一、二时期 <i>ILLI</i>	第二、三时期 <i>ILLI</i>	第三、四时期 <i>ILLI</i>
错江钦	16.44	4.43	20.87	-1.58	19.29	-2.93	16.36	-0.08	-55.37	19.75	36.62
尕拉拉错	22.84	-0.20	22.64	0.13	22.77	-0.5	22.27	-0.57	0.35	-0.23	0.88
雅西错	24.52	-1.03	23.49	2.29	25.78	-0.76	25.02	0.5	-2.06	4.58	-1.52
阿涌尕马错	24.1	-0.86	23.24	-2.33	20.91	-6.53	14.38	-9.72	0.09	0.24	0.67
阿涌吾尔马错	41.64	-2.73	38.91	-8.94	29.97	-2.8	27.17	-14.47	0.19	0.62	0.19
星星海	31.01	-1.48	29.53	-2.62	26.91	-0.63	26.28	-4.73	0.31	0.55	0.13
隆热错	22.21	-1.97	20.24	-1.82	18.42	-0.2	18.22	-3.99	0.49	0.46	0.05
葫芦湖	27.06	5.98	33.04	-1.58	31.46	-0.07	31.39	4.33	1.38	-0.36	-0.02
苟仁湖	26.58	-2.29	24.29	-0.66	23.63	0.11	23.74	-2.84	0.81	0.23	-0.04
碗豆湖	17.97	-1.5	16.47	0.73	17.2	0.85	18.05	0.08	-18.75	9.12	10.62
苦海	48.34	2.45	50.79	-0.84	49.95	-2.18	47.77	-0.57	-4.3	1.47	3.82
章江头木错	20.7	-0.29	20.41	-3.9	16.51	-0.4	16.11	-4.59	0.06	0.85	0.09
阿拉克湖	35.93	0.35	36.28	-0.06	36.22	1.71	37.93	2	0.18	-0.03	0.86
卡巴纽尔多	35.09	-0.68	34.41	-4.79	29.62	-0.51	29.11	-5.98	0.11	0.8	0.09
S63022	12.37	1.19	13.56	-0.16	13.4	-0.01	13.39	1.02	1.17	-0.16	-0.01
盐湖	36.64	-0.88	35.76	-0.02	35.74	4.6	40.34	3.7	-0.24	-0.01	1.24
海丁诺尔	39.69	-7.08	32.61	-6.86	25.75	10.69	36.44	-3.25	2.18	2.11	-3.29
玛章错钦	71.62	-1.54	70.08	-0.1	69.98	-0.54	69.44	-2.18	0.71	0.05	0.25
特拉什湖	70.04	-8.86	61.18	-0.73	60.45	2.68	63.13	-6.91	1.28	0.11	-0.39
错达日玛	93.14	-12.84	80.3	-3.18	77.12	7.43	84.55	-8.59	1.49	0.37	-0.86
叶鲁苏湖	183.53	22.28	205.81	0.49	206.3	-1.76	204.54	21.01	1.06	0.02	-0.08
冬给措纳湖	243.79	-5.6	238.19	-10.64	227.55	2.71	230.26	-13.53	0.41	0.79	-0.2
扎陵湖	536.97	-7.2	529.77	-3.57	526.2	-2.31	523.89	-13.08	0.55	0.27	0.18
鄂陵湖	631.79	-7.62	624.17	0.47	624.64	3.83	628.47	-3.32	2.3	-0.14	-1.15
总计	2314.01	-27.97	2286.04	-50.27	2235.77	12.48	2248.25	-65.76	0.43	0.76	-0.19
面积扩大湖泊数量	-	6	-	5	-	9	-	7	-	-	-

从 1975 - 2006 年,不同湖泊的 *ILLI* 值明显不同,大部分湖泊呈萎缩状态(表 2). 具体从 4 个方面进行分析:

(1) 从整体上看,四个时期湖泊面积总量呈缩小趋势,其中前三个时期湖泊面积为连续缩小,第四个时期较第三个时期湖泊面积呈扩大趋势(图 6). 面积变大湖泊的数量经历了先减少后增加的过程(图 7),三四时期中面积扩大湖泊数量最多. 对于研究区内的 24 个湖泊,大部分湖泊面积变化在四个时期的变化中经历

了增加和减少的状态,但最终仍表现为萎缩,具体见图 8 和图 9. 从湖泊萎缩强指数上看,对于整个研究区内湖泊,其 *ILLI* 指数从 0.43 到 0.76 最后到 -0.19,其萎缩强度也符合湖泊面积变化趋势,萎缩强度大于扩张强度. 虽然近年来湖泊有微弱的扩张,但整体仍呈萎缩趋势. 湖泊总体面积从第三时期到第四时期面积扩大的原因可能有两个方面:①气候变暖使冰川融化进而导致湖泊水面上升面积扩大. 据文献[21],受全球气候持续变暖等因素影响,长江源区的冰川面积正在加快萎缩,在过去的 30 多年中,长江源头地区的冰川面积整体减少近 233km²,尤其是最近几年间,冰川锐减的势头仍在增大. ②根据文献[6]的研究,2003 年以来,三江源地区开始推行封育草地,减少载畜量,扩大湿地,涵养水源,防治草原退化,实行生态移民等一系列工程项目的实施,源区的生态逐步恢复,使得曾经萎缩的湖泊逐渐扩大,河流湖泊水量逐渐增加.

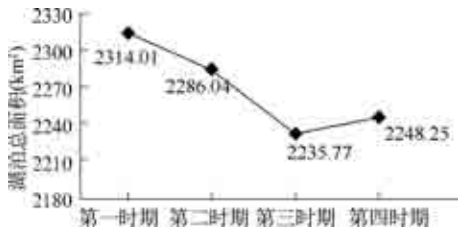


图 6 四个时期湖泊总面积变化

Fig. 6 Area changes of all lakes in four stages

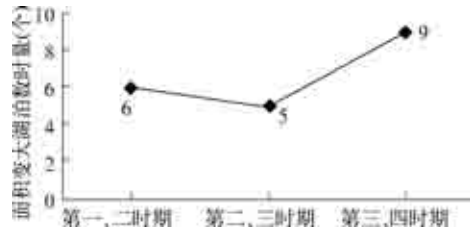


图 7 不同时期面积变大湖泊数量

Fig. 7 The number of expanding lakes in different stages

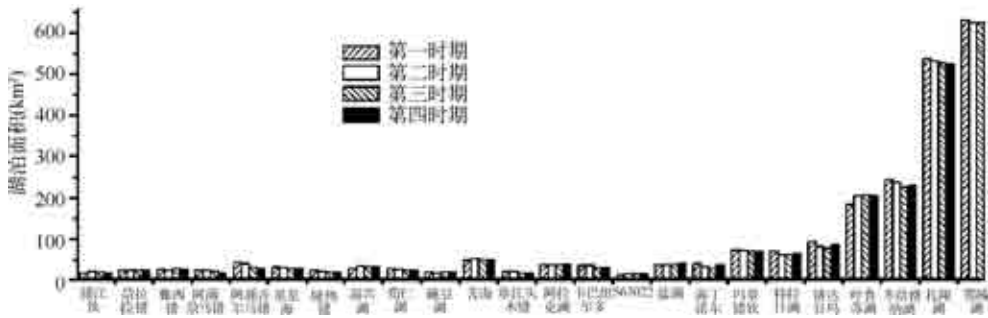


图 8 四个时期湖泊面积对比图

Fig. 8 The comparison of lake areas in four stages

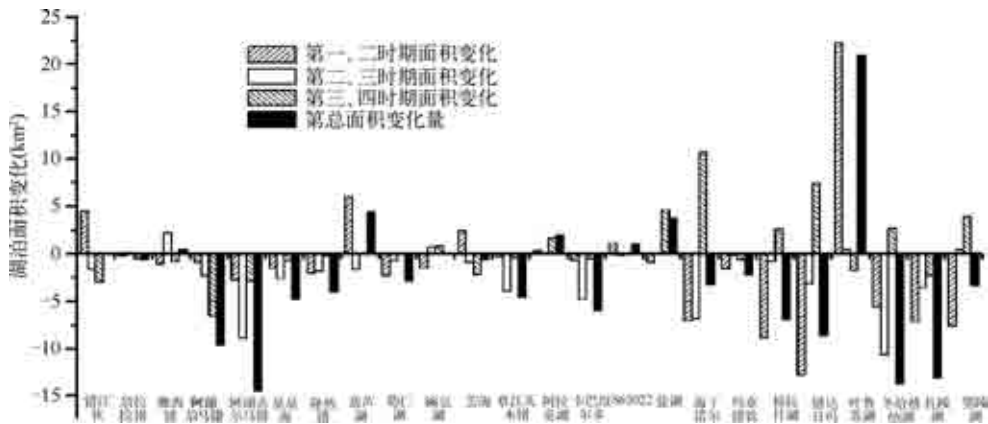


图 9 四个时期湖泊面积变化量对比图

Fig. 9 The comparison of lake area changes in four stages

(2) 雅西错、葫芦湖、碗豆湖、阿拉克湖、S63022、盐湖、叶鲁苏湖等 7 个湖泊第四时期较第一时期湖泊面积扩大,扩大总面积为 32.64km²。其中,尤以叶鲁苏湖扩大最多,扩张面积为 21.01km²,为其第一时期湖泊面积的 11.4%。但在四个时期的变化过程中,这 7 个湖泊 *ILLI* 有正有负(图 10),即每个湖泊在四个时期内既有萎缩又有扩张。通过空间位置分析(图 11),除阿拉克湖外,其他湖泊均处于通天河及其支流区域,即大部分湖泊处于长江源头地区。据沱沱河沿、曲麻莱和玉树藏族自治州的气象资料,近 20 年来年平均气温(统计平均意义下)以每年 0.046℃ 的速率上升,而年内 4 月和 5 月上升速率高达 0.084℃,因此,湖泊面积的扩大可能同近年来长江源头地区气温上升,冰川退缩进而导致湖面上升有一定的关系^[22]。

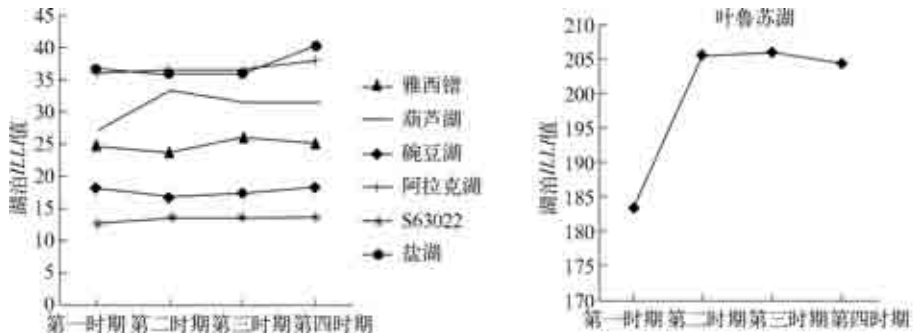


图 10 7 个扩张湖泊 *ILLI* 对比图

Fig. 10 The comparison of *ILLI* of seven expanded lakes

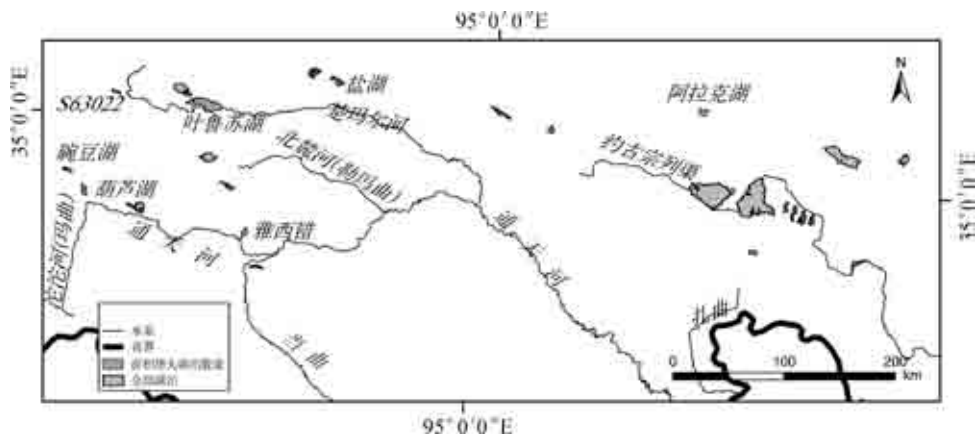


图 11 面积增大湖泊分布图

Fig. 11 Distribution of expansion lakes

(3) 湖泊的 *ILLI* 指数可以看出(表 4),只有星星海、隆热错、阿涌尔马错、阿涌吾尔马错、章江头木错、卡巴纽尔多、玛章错钦、扎陵湖等 8 个湖泊在四个时期中一直处于萎缩状态,萎缩总面积为 58.74km²。每个湖泊在二三时期的萎缩强度均较大(图 12)。根据文献[6]的研究,星星海、隆热错、阿涌尔马错、阿涌吾尔马错主要为大气降水补给,这些年随着气温上升,蒸发量增加,水位有所下降;根据文献[23]的研究,蒸发量增大是扎陵湖水面萎缩的主要影响因素,且湖泊萎缩区域蒸发量下降显著;章江头木错、卡巴纽尔多地理位置相近,二者的萎缩强度及趋势几乎一致。

(4) 通过遥感提取研究区内湖泊变化图谱及湖泊面积和萎缩强度统计,研究区内其他 9 个湖泊第四时期较第一时期相对萎缩,萎缩总面积为 39.66km²,但四个时期内均经历了萎缩和扩张的过程,其萎缩程度大于扩张程度,具体见图 13。根据文献[23]的研究结果,温度、降水和蒸发量共同影响三江源区湿地区域的变

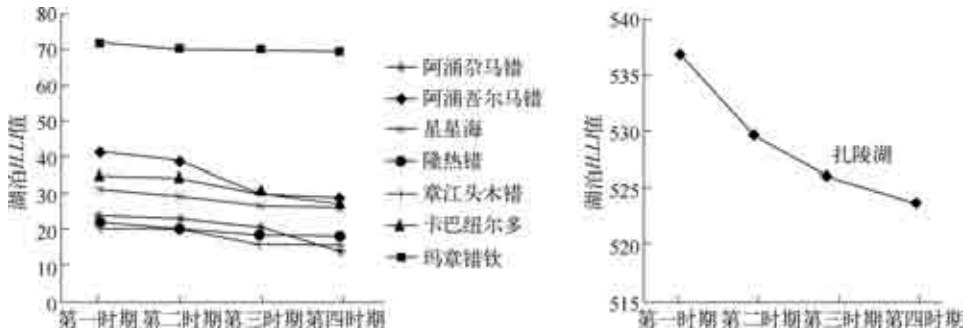


图 12 8 个一直萎缩湖泊 ILLI 对比图

Fig. 12 The comparison of ILLI of eight shrink lakes all through stages

化,其中蒸发量增大是源区湖泊退化的主要因素.其中,鄂陵湖作为黄河源头最大的湖泊,根据《中国湖泊志》记载,其面积为 610.7km^2 ,与扎陵湖一并对黄河源头径流具有滞蓄、调节作用,为青藏高原典型的外流湖泊.鄂陵湖面积在本文研究中有一定的波动,但其萎缩量相对于湖泊面积变化不大,同“鄂陵湖周围区域蒸发量无明显变化,为稳定型湖泊”^[23]的结论相同.

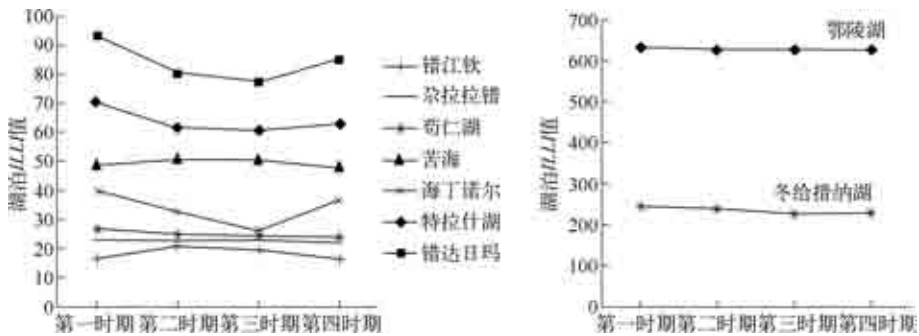


图 13 9 个萎缩湖泊 ILLI 对比图

Fig. 13 The comparison of ILLI of nine shrink lakes

5 结论与讨论

三江源区是欧亚大陆上发育大江大河最多的区域之一,生态环境严酷,海拔高、山势陡峭,源区内湖泊的变迁敏感地记录着气候与环境变化的信息,是全球变化和高原气候变化直接的反映.借助遥感手段分析,研究三江源地区湖泊的变化并建立源区内湖泊变化图谱,对整个三江源地区湖泊及生态资源的保护提供一定的参考,为保障整个三江源区和三江中下游地区的生态安全,维护社会经济可持续发展具有十分重要的意义.

本文借助 40 景多时期多类型遥感影像,选取三江源地区中面积较大的 24 个湖泊为典型湖泊,通过遥感水体监测并结合人工目视解译对湖泊面积进行计算,借助地学信息图谱方法,建立了该地区近 30 年来各湖泊的变化信息图谱;对该地区湖泊总面积进行统计,并引入湖泊萎缩强度指数 (ILLI) 对该地区 24 个湖泊进行萎缩强度分析.同时对该地区的 24 个湖泊在近 30 年间的变化分类进行分析,其中大部分湖泊的变化过程同样经历了有增有减的状态.结果表明:①该地区湖泊在近 30 年间总面积缩小,共缩小 65.76km^2 ,期间经历了先萎缩后扩张的状态,萎缩程度大于扩张程度;②雅西错、葫芦湖、碗豆湖、阿拉克湖、S63022、盐湖、叶鲁苏湖等 7 个湖泊面积有所扩张,扩张总面积为 32.64km^2 ,其中有 6 个湖泊处于长江源头地区,在四个时期内这 7 个湖泊均具有萎缩和扩张的状态;③星星海、隆热错、阿涌杂马错、阿涌吾尔马错、章江头木错、卡巴纽

尔多、玛章错钦、扎陵湖等 8 个湖泊在四个时期一直处于萎缩状态, 萎缩总面积为 58.74km², 其中大部分湖泊在二三时期的萎缩强度较大; ④错江钦、尕拉拉错、苟仁湖、海丁诺尔、苦海、特拉什湖、错达日玛、冬给措纳湖、鄂陵湖等 9 个湖泊萎缩, 萎缩总面积为 39.66km², 在四个时期内有萎缩有扩张。

本文对三江源区内湖泊在近 30 年来的变化进行了分析, 由于获取数据本身的限制, 本文在四个时期的划分上有一定的跨度, 但文献[6]的研究同样表明了三江源区内黄河源区湖泊从第三时期以后有扩张的趋势; 四个时期遥感影像的分辨率有所差异, 但本文选取面积较大的湖泊作为研究对象, 其变化的总体趋势作为研究结果基本可信。同时, 因为缺乏相应的实测资料等, 本文并未结合气象、水文等资料对研究区内湖泊变化原因进行相关分析, 在今后的研究中, 可以进一步结合相关实测数据对湖泊的演变进行分析。

6 参考文献

- [1] 三江源自然保护区生态环境编辑委员会. 三江源自然保护区生态环境. 西宁: 青海人民出版社, 2002.
- [2] 游庆龙, 康世昌, 李潮流等. 三江源地区 1961-2005 年气温极端事件变化. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 232-236.
- [3] 张 磊, 缪启龙. 青藏高原近 40 年来的降水变化特征. 干旱区地理, 2006, 30(2): 240-246.
- [4] 潘保田, 李吉均. 青藏高原——全球气候变化的驱动力与放大器. 兰州大学学报(自然科学版), 1996, 32(1): 108-115.
- [5] 王根绪, 丁永建, 王 建等. 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.
- [6] 吴素霞, 常国刚, 李凤霞等. 近年来黄河源头地区玛多县湖泊变化. 湖泊科学, 2008, 20(3): 364-368.
- [7] 李万寿, 冯 玲, 孙胜利. 扎陵湖、鄂陵湖对黄河源头年径流的影响. 地理学报, 2001, 56(1): 75-82.
- [8] 李万寿. 20 世纪黄河源头水文水资源研究回顾与展望. 青海大学学报(自然科学版), 2000, 18(5): 50-53.
- [9] 陈述彭. 地学信息图谱探索研究. 北京: 商务印出版社, 2001.
- [10] http://news.xinhuanet.com/politics/2009-07/17/content_11721221.htm, 获取时间 20090717.
- [11] 王根绪, 程国栋, 沈永平. 江河源区的生态环境变化及其综合保护研究. 兰州: 兰州大学出版社, 2001.
- [12] 冯永忠, 杨改河, 杨世琦等. 江河源区地域界定研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 11-14.
- [13] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志. 北京: 科学出版社, 1998: 3.
- [14] 全彩荣, 马海州, 周笃珺. 基于 MODIS 数据的西台吉乃尔盐湖水体提取及水域面积的监测. 盐湖研究, 2008, 16(4): 27-31.
- [15] Rundquist D, Lawson M, Queen L *et al.* The relationship between the timing of summer-season rain fall events and lake-surface area. *Water Resources Bulletin*, 1987, 23(3): 493-508.
- [16] 都金康, 黄永胜, 冯学智等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究. 遥感学报, 2001, 5(3): 214-219.
- [17] McFEETERS SK. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [18] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- [19] 李飞雪. 南京市城市扩展信息图谱研究[学位论文]. 南京: 南京大学, 2006.
- [20] 曾忠平, 卢新海. 城市湖泊时空演变的遥感分析——以武汉市为例. 湖泊科学, 2008, 20(5): 648-654.
- [21] <http://www.sciencenet.cn/htmlnews/2009/7/221889.shtml>(2009-07-28).
- [22] 时兴合, 李栋梁, 马 林等. 长江源头地区冰川变化的气候成因研究. 青海气象, 2005, 3: 7-13.
- [23] 赵 静, 姜琦刚, 陈凤臻等. 青藏三江源区蒸发量遥感估算及对湖泊湿地的响应. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(3): 507-513.