

西藏自治区那曲地区湖泊提取及面积动态变化研究

张琪曼¹, 杨景飞²

(1. 兰州资源环境职业技术大学测绘与地理信息学院 兰州交通大学测绘与地理信息学院, 甘肃 兰州 730021; 2. 甘肃省有色金属地质勘查局天水矿产勘查院, 甘肃 天水 741020)

摘要: 湖泊是一种重要的水体, 其分布、组成与功能在很大程度上决定了该区域水环境质量, 因此对它进行合理地开发和利用显得尤为关键。本文以西藏自治区那曲市为例, 选取2000-2020年Landsat TM\OLI影像和中国气象台资料网络的气候信息年数据; 采用NDWI、AWEI、监督分类最大似然法和面向对象等方法提取那曲市湖泊水体, 计算湖泊面积, 探究那曲市湖泊面积变化影响因素, 为那曲市湖泊环境保护提供科学的理论依据。研究结果表明: (1) 通过对四种方法的对比分析得出, 监督分类法是最适合本研究湖泊提取的方法; (2) 在研究的 84个湖泊中, 研究时间段内湖泊面积增加了3019.495km², 其中面积增大的有74个, 面积持续减少的共有10个, 主要集中在申扎县、班戈县、色尼区和安多县, 面积共减少了70.962km², 其余湖泊未见明显变化; (3) 气温变化、降水量、蒸发量三者共同作用影响湖泊面积的变化, 研究表明年降水量是造成湖泊面积变化的主要因素。

关键词: 水体提取; 精度评价; 面积变化; 影响因素分析

Study on Lake extraction and area dynamic change in Naqu area, Tibet Autonomous Region

ZHANG Qiman¹, YANG Jingfei²

(1. Lanzhou Resources and Environment Vocational and Technical University Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730021, China; 2. Tianshui Mineral Exploration Institute of Gansu Nonferrous Metal Geological Exploration Bureau, Tianshui 741024, China)

Abstract: Lakes are an important water body, and their distribution, composition and function largely determine the quality of the water environment in the region, so it is particularly important to develop and utilize them rationally. Taking Nagqu City in the Tibet Autonomous Region as an example, this paper selects the annual data of Landsat TMOLI images from 2000 to 2020 and the climate information data of China Meteorological Observatory Data Network: NDWI, AWEI, supervised classification maximum likelihood method and object-oriented methods were used to extract the lake water body in Nagqu City, calculate the lake area, and explore the influencing factors of lake area change in Nagqu City, so as to provide a scientific theoretical basis for the environmental protection of Nagqu City. The results of the study show that: (1) Through the comparative analysis of the four methods, it is concluded that the supervised taxonomy is the most suitable method for lake extraction in this study. (2) Among the 84 lakes studied, the lake area increased by 3019.495km² during the study period, of which 74 increased in area and 10 continued to decrease in area, mainly concentrated in Shenzha County, Bangor County, Xeni District and Amdo County, with a total area decrease of 70.962km², and the remaining lakes did not show significant change. (3) The combination of temperature change, precipitation and evaporation affects the change of lake area, and the study shows that annual precipitation is the main factor causing the change of lake area.

Key words: Water extraction; Accuracy evaluation; Area change; Analysis of influencing factors

基金项目: 2021 年院级校企协同创新项目“无人机热红外遥感交叉辐射定标研究” 编号: Y2021C-03 ;
2021 年甘肃省高等学校创新基金项目“基于无人机遥感的可可西里地表温度反演” 编号 2021A-251 。
作者简介: 张琪曼 (1991—), 女, 大学本科, 讲师, 研究方向为摄影测量与遥感。Email: 357727025@qq.com

引言

地表水是地球上最为活跃、最为重要的一种资源,其时间、空间上的变迁,深刻地影响着整个生态环境,也深刻地影响着人类社会。湖泊作为地表水资源的主要载体之一,生态效益和经济效益价值较高,对地表的水资源供给、气候调节、生物多样性保护有巨大作用^[1]。我国疆域广阔,湖泊众多,湖泊的面积变化受到复杂的自然和经济因素影响^[2]。不同地区的湖泊面积变化原因不同,即使在同一地区的湖泊,面积变化的原因也大不相同。因此,探究引起湖泊面积变化的影响因素对保护湖泊环境至关重要。

藏北高原的主体部分主要为那曲地区,该地区是世界上海拔最高、面积最大的内流区。虽然境内湖泊分布丰富,但是由于地理位置特殊性,当地自然条件恶劣,湖泊对人类活动没有较大影响,大部分湖泊都是由气候因子所决定,而湖泊的演变过程则是一个很好的反映。叶庆华等学者研究发现1974至2003年,西藏玛旁雍错河流域由于气候变暖、年降水量下降、蒸发量增大而导致冰川、湖泊的消退速度显著加快^[3];吴艳红等学者的研究发现,在1970至2000年,由于全球变暖的原因,该区域温度整体上升,影响了纳木错流域湖泊和冰川之间的动态平衡,加速了冰川的消融速度,冰川消融加剧和融水增加直接导致了湖泊总面积的扩大速度^[4];类延斌等学者研究发现,冬季和夏季降水量的增加和蒸发量的减少是青藏高原中部兹格塘错湖面积增加的主要原因^[5]。而在其它区域如青海南部和甘肃中部也有类似趋势。然而,对不同时期湖泊动态变化规律的研究则较为缺乏。同时,由于地域和自然条件的复杂性,影响湖泊面积变化的主要因素也多种多样。综上所述,现阶段的大量相关研究主要集中在某个湖泊某个流域内湖泊的变化分析,缺少大尺度湖泊面积变化规律与相关影响因素领域的分析研究。因此,本文为进一步探究大尺度湖泊面积变化趋势的主要影响因素和相关解决方案,对我国湖泊治理和生态环境保护提供可靠理论依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

那曲地区位居青藏高原腹地,地理位置位于东经83°41'14"-95°10'46",北纬30°27'25"-35°39'13"(图1),该地区与新疆、青海接壤;南部

与念青唐古拉山接壤,地形西高东低,由西向东倾斜;西高、中平、东低是当地的地形特征。中部和西部幅员辽阔,地势平坦,丘陵盆地山麓浑圆状,北部为高原无人区,是昆仑山和唐古拉山脉,山地纵横交错,有起伏的丘陵、冰川和山峰。南部与日喀则、拉萨、那曲地区毗邻。境内山峦起伏,沟壑纵横,气候温和湿润;西部属于高寒阴湿山区,海拔高达4000米以上,平均海拔4500米左右,年均气温在10℃左右,全年温度适中,主要河流有怒江、扎加藏布、热振藏江、麦地藏布等,湖泊有纳木错、色林错、昂孜错、格仁错、当勇错、大泽错、多格错。据《那曲区2015年鉴》显示,2014年全区总人口49.59万人,人口密度为每平方公里1.41人,全区土地面积总面积约为59318.68万亩(3954.58万平方公里),占全区总面积的比重为32.9%。该区属高原亚寒带干旱季风型^[6]。

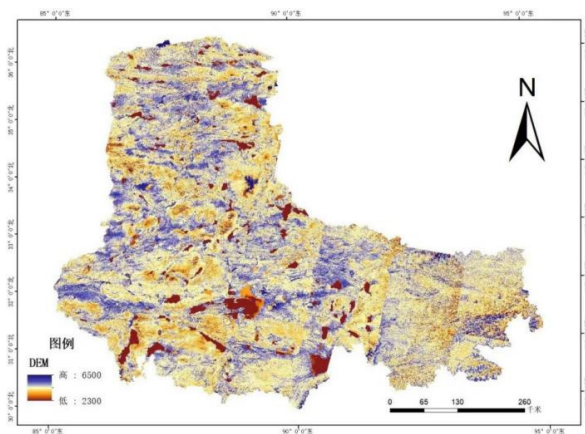


图 1 行政区划图

1.2 数据来源

本文研究数据源为美国地质勘探局 (United States Geological Survey, USGS) 网站 (<http://earthexplorer.usgs.gov>) 下载的那曲地区Landsat卫星系列TM数据和OLI数据,遥感数据采集传感器类型为LandSat4-5TM和LandSat8 OLI,空间分辨率为30m,其中TM影像第6波段热红外波段为120m,OLI影像第8波段全色波段为15m。收集期主要为8月至10月的无冰期,共收集了2000年、2010和2020年三个时期的65景遥感影像,平均每期10a。对这些不同时期的卫星遥感数据进行了对比分析,由于图像采集的时间限制,2000至2010年的图像选择了LandSat5TM型传感器(表1),2020年的数据选择了LandSat8OLI传感器类型(表2)。

表1 LandsatTM-5波段信息

波段	波段范围	分辨率/米
1	0.45~0.52	30
2	0.52~0.60	30
3	0.63~0.69	30
4	0.76~0.90	30
5	1.55~1.75	30
6	10.04~12.50	>120
7	2.08~2.35	30

表2 Landsat-8 OLI波段信息

Landsat8	类型	波段范围	分辨率/米
Band1	蓝色波段	0.43~0.45	30
Band2	蓝绿波段	0.45~0.51	30
Band3	绿波段	0.53~0.59	30
Band4	红波段	0.64~0.67	30
Band5	近红外	0.85~0.88	30
Band6	短波红外1	1.57~1.65	30
Band7	短波红外2	2.11~2.29	30
Band8	全色波段	0.50~0.68	15
Band9	短波红外波段	1.36~1.39	30

1.3 数据处理

(1) 辐射定标

辐射标定主要是为减少或消除遥感影像数据的大气辐射效应^[7]。在不同时间、不同传感器采集到的影像计算地面物体的光谱辐射强度或光谱反射系数时，为减少或消除遥感影像数据的大气辐射效应，必须将其亮度灰度值转化为绝对辐射亮度。本文利用ENVI5.3 软件中“Radiometric Calibration”工具进行遥感影像辐射定标。

(2) 大气校正

大气修正是把大气上层的辐射强度值转化为地面反射的太阳辐射亮度值，从而有效地克服了由于传感器灵敏度、大气等因素引起的太阳辐射差异，从而得到了实际地物的反射率。虽然辐射标定与大气修正后的图像直观表现相差不大，但是地面波谱曲线存在较大差异，而大气修正后的地表物谱曲线与实际情况更加接近真实值。本文利用FLAASH校正模块对LandsatTM5遥感影像进行大气校正。

(3) 图像镶嵌

依据一定的数学基础将多幅图像拼接成一个大面积的无缝图像。图像镶嵌既可以是同一地区不同时间同一传感器拍摄的影像，也可以是不同时期的不同传感器拍摄的影像，但两者必须在同一坐标系内^[8]。图像的拼接需要遵循一定的数学规律，在镶嵌时，要求合适的地图投影，规定的坐标信息，

同时影像数据空间分辨率一致、波段数保持一致。同时要求镶嵌过程中尽量不产生误差，镶嵌方法要合理可行，对相邻点不能作任意处理，采用适当方式将镶嵌结果与原图配准。最后还要保证镶嵌前后的数据一致性。当影像是镶嵌之后，拼接的对比度一定要一致，颜色色调一定要一致。

(4) 图像裁剪

图像裁剪是当影像覆盖面超出研究区域时，由使用者对影像进行裁剪，以剔除研究区无关的内容^[9]。规则裁剪是指按照要求的地理坐标、图像文件或者矢量文件等，直接对影像进行裁剪。不规则裁剪是通过已知的指裁剪文件，或者可根据需求在影像上随意画出ROI文件。本文通过数据处理软件对那曲市的行政区划矢量文件对影像进行不规则裁剪。如图2所示表现裁剪后那曲市的行政区不同时期的遥感影像图。

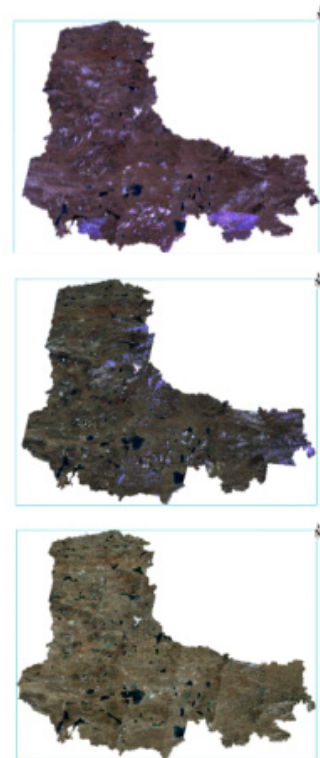


图2 2000、2010、2020年裁剪影像结果

2 研究方法

2.1 水体提取的方法

2.1.1 归一化差异水体指数 (NDWI)

1996年Mcfeeters^[10]提出了归一化差异水体指数 (NDWI)，它是利用遥感图像中的绿、近红外

两个波段,通过比值运算,提取出水体中的信息,从而达到突出水体的目标信息的目的,同时减弱非水体目标信息的表达。表达式为:

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{nir}}{\rho_{green} + \rho_{nir}} \quad (1)$$

式中, ρ_{green} 为绿光波段地物反射率, 对应TM影像的第二波段; ρ_{nir} 为近红外波段地物反射率, 对应TM影像的第四波段。

2.1.2 AWEI

Feyisa^[11]等针对之前水体信息提取存在的分类精度低、阈值选取相对不固定等因素提出了自动水体提取指数法,表达式为:

$$AWEI_{sh} = 4(\rho_{green} - \rho_{swir1}) - (0.25\rho_{nir} + 2.75\rho_{swir2}) \quad (2)$$

$$AWEI_{sh} = \rho_{blue} + 2.5\rho_{green} - 1.5(\rho_{nir} + \rho_{swir1}) - 0.25\rho_{swir2}$$

式中, ρ_{green} 为绿光波段地物反射率, 对应TM影像的第二波段; ρ_{blue} 为蓝光波段地物反射率, 对应TM影像的第一波段; ρ_{nir} 为近红外波段, 对应TM影像的第四波段; ρ_{swir1} 和 ρ_{swir2} 均为短波红外波段, 对应TM影像的第五波段和第七波段。

2.1.3 监督分类最大似然法

监督分类, 又称训练分类法, 是指通过使用自身可以识别的样本象元, 对其它未知类型的象元进行识别。在数据集中, 按照用户自定义的训练样本进行分类。然后, 根据新的图像特征和已有的知识, 对已标记的图像进行进一步的分析, 得到对应的类别。训练样本类型是由单一波普或像素组成的, 训练区一般都是根据所感兴趣的范围来选取, 尽量选取单一地物的像元。利用极大似然法对其进行分类, 其工作原理是假定各象类的数理统计均为正态分布, 然后求出样本象素为训练样本的似然度, 再将其归入最似然度的类别^{[12]-[13]}。

2.1.4 面向对象法

本文通过对研究区遥感影像的纹理特征、光谱特征和空间特征以及形状特征综合分析, 采用面向对象法进行研究。由于影像分割是依据多个同质性像元进行分割, 消除了“同物异谱”和“同普异

物”对象对分类精度的影响, 减少和避免了传统分类中的混合像元、光谱混淆以及“椒盐现象”等问题。本文采用 ENVI5.3软件的ENVIFX(Feature Extraction)模块对那曲地区水体目标进行提取, 该模块操作简单, 在运行过程中可以实现水体提取效果的随时查看。同时, 结合模块自带的光谱特征、纹理特征、几何特征分析, 通过添加多种数据辅助, 提取多条水体规则, 有利于更好的提取水体目标, 得到更好的水体目标提取效果。提取方法和提取效果如图3所示。

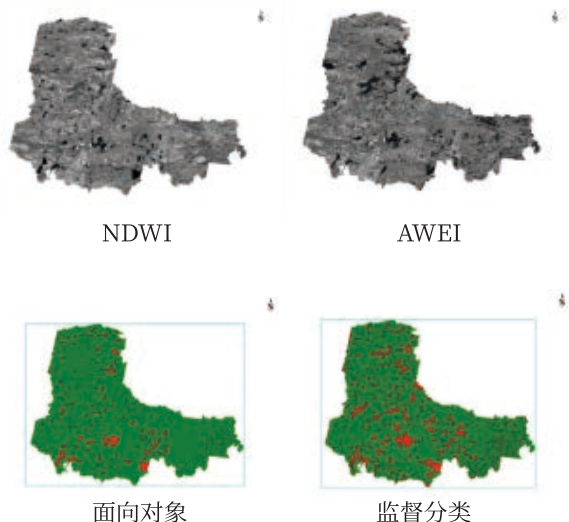


图3 提取方法和提取效果图

2.2 相关分析法

本文采用Pearson相关系数对那曲市的湖泊面积与气候、降水量两因子之间的关系。Pearson相关系数又称积矩相关系数, 主要用于衡量两个或多个变量之间的相关性。公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

相关系数R绝对值越大, 变量之间的相关程度越高; 相关系数距离1或-1越近, 则表明强正相关或负相关, 相关系数距离0越近则相关性越差。如表3所示。

表3 相关系数范围

相关系数绝对值范围	$0 \leq R \leq 0.3$	$0.3 < R \leq 0.5$	$0.5 < R \leq 0.8$	$0.8 < R < 1$	$ R = 1$
相关性强弱	无相关或微弱相关	低度相关	中度相关	高度相关	完全相关

注: 当 P 当 Pearson 显著性 (P 值) 小于 0.01, 则表明变量在 0.01 置信水平 (双侧) 上显著相关, 当 P 值小于 0.05, 则表明变量在 0.05 置信水平 (双侧) 上显著相关。

2.3 精度评价

精度评价是遥感监测中判断水体提取方法好坏的主要指标和理论依据。结合本研究区选取的水体提取方法。本文精度评价指标采用混淆矩阵,通过建立实验数据的混淆矩阵,选取了总体精度,卡帕系数、错分误差和漏分误差的方法分别对四种不同的提取方法对的湖泊提取结果进行精度评定。在对常用的二元分类来中,其混淆矩阵是2乘2的,如表4。

表4 二元分类混淆矩阵

	预测值1	预测值0
真实值1	TP	FN
真实值0	FP	TN

TP = True Postive = 真阳性;
 FP = False Positive = 假阳性;
 FN = False Negative = 假阴性;
 TN = True Negative = 真阴性。

表5 2000、2010、2020年水体精度评价

水体提取模型	总体分类精度 (%)	Kappa系数 (%)	制图精度 (%)	用户精度 (%)	错分误差 (%)	漏分误差 (%)
面向对象	84.12	66.44	81.81	50.65	49.35	18.19
AWEI	88.96	75.88	83.33	68.73	31.27	16.67
NDWI	92.33	83.97	92.31	84.16	15.84	7.69
监督分类	96.25	92.01	92.31	91.67	8.33	7.69

Kappa系数是一种用于判定分类精确度的统计方法,是在一致性检验中常用的参数。Kappa数值越接近于1,说明表示性越好,反之则表示越差。

$$Kappa = \frac{M \sum x_{ii} - \sum (x_{+i} \times x_{i+})}{M^2 \sum (x_{+i} \times x_{i+})} \quad (4)$$

式中, z是误差矩阵的行数; x_{ii} 是主对角线上的数值; x_{+i} 和 x_{i+} 分别是第i行的和与第i列的和; M是样点总数。

$$N = \frac{y}{x} \quad (5)$$

式中, N是总体分类精度; y是准确的像元数; x是总数。

从表5中可以看出,在4种不同的水体提取模型中,面向对象的总体分类精度、Kappa系数、制图精度和用户精度都是最差的,分别为84.12%,66.44%,81.81%,50.65%,其中错分率和漏分率也最高,分别为49.35%和18.19%,这表明面向对象在抽取水体的过程中会受到山影、云雾等因素的影响,与其它方法相比,精度最低,不适合抽取研究区的水体。相比而言,AWEI在总体分类

精度、Kappa系数、制图精度、用户精度等方面都有了很大的提升,但错分误差却高达31.27%。NDWI和有监督分类在总体分类精度、Kappa系数、制图精度、用户精度等方面都有很好的提高,总体分类精度可达92%,Kappa系数均在0.8以上,且其制图精度和用户精度均高于0.8,表明这两种方法在那曲市的水质中的应用效果更好。此外,两种方法的制图精度和用户精度也都较高,说明这两种水体提取方法在对于那曲市湖泊水体的提取效果较好。综合考虑六种评价指标,可以得出2000、2010和2020年那曲市影像中面向对象、AWEI、NDWI和监督分类4中水体提取模型的精度高依次排列为监督分类>NDWI>AWEI>面向对象。

3 那曲地区湖泊动态变化

3.1 湖泊信息的提取

本文采用以上实验得到的最优法监督分类方法,并与ENVI5.3软件中的波段运算工具(Band Math、Classification Workflow)相结合,对那曲地区3个阶段的水体进行了采集,并使用ArcGIS目视剔除河流、零星水体等干扰信息,提取了各个时段湖的范围,绘制了3个阶段那曲区域的湖泊分布图,并对那曲市湖泊面积进行统计。结果如图4、图5、图6所示。



图4 2000年湖泊分布图

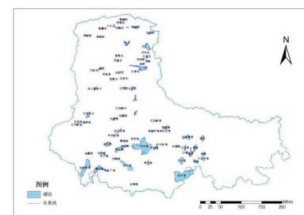


图5 2010年湖泊分布图

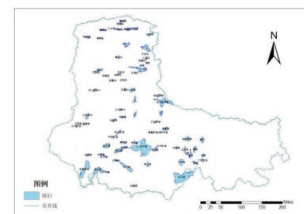


图6 2020年湖泊分布图

表6 不同时期湖泊面积分布 (km²)

名称	2000年	2010年	2020年	名称	2000年	2010年	2020年
色林错	1974.217	2346.003	2462.186	长湖	45.258	49.277	49.303
纳木错	1905.092	2031.653	2036.161	雪环湖	43.572	30.813	50.881
当惹雍错	832.447	840.689	859.816	切改布错	40.570	38.725	64.592
格仁错	422.942	520.771	470.127	日干配错	39.529	41.390	43.798
多尔索洞错	378.295	401.540	711.453	张乃错	37.738	40.451	44.726
吴如错	354.988	383.786	341.150	江错	37.450	40.154	39.875
昂改错	305.142	418.022	459.869	永波湖	37.203	41.356	40.803
达则错	240.085	271.817	332.876	甲热布错	35.620	44.609	48.004
兹格塘错	210.999	234.508	239.945	仙鹤湖	33.814	46.745	62.235
巴木错	198.909	247.019	245.179	确旦错	27.863	11.808	29.340
错那	181.632	188.458	183.375	浩波湖	26.424	4.648	22.108
依布茶卡	173.372	185.736	177.264	银波湖	23.437	46.723	63.303
班戈错	166.922	124.517	128.673	雪梅湖	23.036	54.784	72.602
其香错	160.440	184.835	173.586	纳木卡错	21.352	28.337	27.044
蓬错	150.751	181.862	174.859	崩则错	19.239	12.894	89.286
崩错	142.468	152.500	140.857	瀑塞尔错	18.456	33.379	35.759
懂错	138.237	149.741	147.454	恒梁湖	18.333	21.582	24.368
令戈错	105.859	114.838	137.358	琵琶湖	15.964	7.844	13.874
果忙错	96.316	113.616	116.368	映天湖	15.398	16.650	17.630
恰规错	91.292	90.046	85.498	洋那朋错	13.799	18.086	17.090
向阳湖	86.776	107.017	121.158	园湖	12.106	18.847	14.480
玛尔果茶卡	82.744	89.648	90.670	托把湖	7.329	7.261	9.069
乃日平错	76.142	91.490	89.250	玉瓶湖	7.039	5.493	6.420
玉液湖	75.973	118.922	144.769	元宝湖	6.789	7.443	51.367
诺尔玛措	73.169	111.162	96.330	孔孔茶卡	6.604	47.047	49.838
错愕	72.841	83.391	83.292	水乡湖	6.420	14.543	19.691
孜桂错	72.747	93.894	70.655	友谊湖	5.801	9.999	8.801
马尔下错	72.183	88.232	103.902	播委错	5.459	7.849	9.414
赛布错	64.758	86.698	97.919	美菊湖	4.929	15.313	98.132
每日切错	64.433	70.260	98.670	控错	4.350	4.787	5.457
达如错	60.987	56.975	69.551	吓先错	4.124	7.059	8.473
得雨湖	60.201	54.515	67.159	日根错	3.125	4.539	5.513
雪景湖	59.377	41.271	87.135	丽疆湖	2.214	1.814	0.000
多庆错	58.224	57.560	63.441	地瓜湖	1.861	1.798	1.722
戈芒错	56.301	58.499	62.762	月形湖	1.166	2.595	2.928
错尼	55.642	92.017	105.327	1	363.199	472.816	493.159
东恰错	54.550	69.361	68.289	2	113.797	165.582	219.296
朋彦错	53.467	71.692	77.734	3	216.747	345.195	422.972
涌波错	51.182	63.473	91.305	4	30.414	108.927	122.624
龙尾湖	48.613	56.576	59.954	5	58.462	89.247	102.448
当穹错	48.104	60.879	66.407	6	102.240	120.320	150.826
帕度错	47.151	76.525	84.221	7	11.422	11.692	11.912
总面积 (km ²)					11175.622	12982.435	14195.117

3.2 湖泊面积变化

为对那曲地区不同时期湖泊面积的变化进行直观的对比, 本文通过采用湖泊增加率指标对湖泊面积进行定量分析。

表7不同时期湖泊总面积变化

时间	2000年	2010年	2020年
面积	11175.622	12982.435	14195.117
增加面积	/	1806.813	1212.682
面积增加率	/	0.162	0.093

根据表7可知, 那曲地区湖泊总面积逐渐扩大, 研究时段湖泊平均面积为12784.390km²。2000年至2010年, 该地区的湖泊总面积扩大了1806.813km², 由11175.622km²增加到12982.435km², 总体面积高于湖泊总面积平均值, 面积增加率为16.2%。其中湖泊面积增加最大的是色林错, 增加了371.786km², 增加最小的是7号湖, 增加了0.27km²; 面积减小最大的是色班戈错, 减小了42.405km², 面积减小最小的是地瓜湖, 减小了0.063km²; 其余湖泊面积无明显

变化。2010年至2020年，湖泊总面积持续扩大，2020年湖泊总面积增加至14195.117km²，相比2010年，湖泊总面积增加了1212.682km²，增加率为9.3%，增速放缓。湖泊面积增加最大是多尔索洞错，增加了309.913km²，面积增加最小的是长湖，增加了0.026km²；面积减小最大的是格仁错，减小了50.644km²，面积减小最小的是地瓜湖，减小了0.076km²；其余湖泊面积无明显变化。

4 湖泊面积变化的影响因素分析

由上节结果可见2000年至2020年那曲市湖泊面积整体呈现扩张态势，但个别湖泊面积萎缩态势也较为明显，本文从气温变化与降水量两方面进行探讨。

4.1 气温

对高原湖泊而言，人为活动较少与温度和面积呈正相关。通过对那曲市的在线调查，本文选取那曲市的年平均气温作为主要气候因素指标，并将其进行分析处理，最后得出那曲地区的气候变化特征以及变化趋势。这些数据来自国家气象科学数据中心的气候信息年数据集。获选的气象站为那曲站，如图7所示。

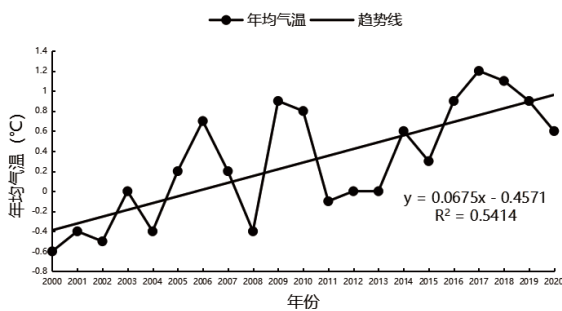


图7 那曲市年均气温变化趋势

由图7可见，2000年至2020年那曲市的平均气温整体呈增长趋势，多年气温的平均值为0.3℃，2000年至2010年的11年间，2006年、2009年及2010年的年均气温高于多年气温平均值，其余年份均小于平均值，其中，年均气温最小值为2000年的-0.6℃；2011年至2020年的10年间，绝大多数年份的气温都高于多年气温平均值，仅2011、2012和2013年气温略低于平均值，而年均气温最大值为2017年的1.2℃。

通过对结果的分析可知，气温对湖泊面积的

变化呈正相关，由于那曲市的大多数年份气温低于其平均值，所以气温对湖泊面积的缩减率减低，湖泊面积可能保持不变或有逐年递增的趋势。综上分析，那曲市2000年至2020年年平均气温变化对那曲市湖泊面积变化有一定的影响作用，但是对那曲市湖泊总面积的变化的影响较小。

4.2 年降水量

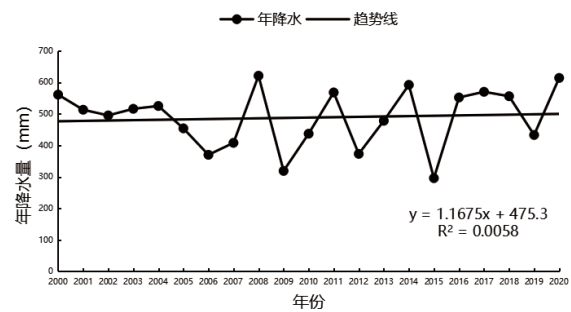


图8 那曲市年均降水量变化趋势

由图8可知，2000年至2020年20年间，那曲市降水量呈现曲折的变化特征，年降水量的变化波动性较大，但从整体上看，年降水量有逐年增加的趋势，根据历年降水量得出平均降水量为488mm，年降水量最大值出现在2008年，为621mm左右，而降水量最小值出现在2015年，为296mm左右。

4.3 年蒸发量

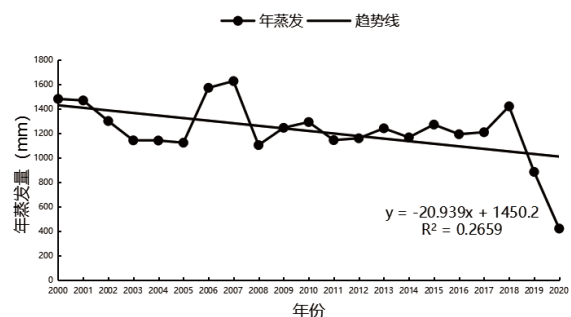


图9 那曲市年均蒸发量变化趋势

由图9可知，年蒸发量呈线性减少趋势，平均每年减少20mm左右，历年蒸发量平均值为1220mm左右，21年中有10年的蒸发量高于历年平均值，其中2007年的蒸发量达到最大，为1627mm，其余的10个年份蒸发量都小于历年平均值，2020年降至最低，为423mm。2020年较2000年相比，蒸发量减少了1058mm。

4.4 降水量和蒸发量的差值

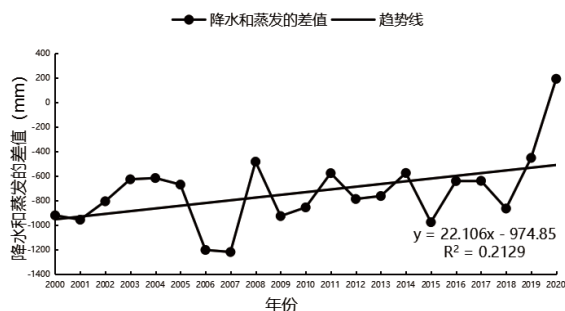


图10 那曲市降水量和蒸发量差值的变化趋势

由图10可知，降水量和蒸发量差值的变化趋势总体呈上升趋势，多年水分盈亏量的平均值为-732mm，最大值出现在2020年，为190.8mm，最小值出现在2007年，为-1218.6mm，2020年较2000年相比，降水量和蒸发量的差值增加了1111mm。

4.5 湖泊面积影响因素的相关性分析

为全面了解那曲市的湖泊动态，对那曲市著名的湖泊和其它未知的湖泊进行了调查。应用SPSS软件对湖泊面积和影响因子进行Pearson相关性分析。从表8中可以看出，那曲市的湖泊面积的变化与气温、降水、蒸发、降水和蒸发的差值等因素有关。

表8 年平均气温、年降水量与湖泊面积的相关性

	年均气温	年降水量	年蒸发量	降水量和蒸发量的差值
相关性	0.595	0.990**	-0.838	0.648
显著性	0.595	0.091	0.367	0.551

(1) 2000年至2010年间，那曲市的平均气温增加，但是有几年的气温略低于年平均气温，总体温度还是处于上升的趋势。降水量减少，蒸发量减少，但降水和蒸发量的差值增加，气候逐渐向暖湿化方向发展，再加因气温升高导致雪山冰雪融化补给湖泊，从而导致那曲市湖泊面积逐渐增加。

(2) 2010年至2020年间，那曲市年均气温继续升高，降水量增加，蒸发量减少，降水和蒸发量的差值增加，由于降水量的逐年增加，气温相对较低，气候逐渐向冷湿化方向发展，湖泊的总面积随着降雨量的增加而增加。

综上所述，在2000年至2010年间，气温变化是影响那曲市湖泊面积扩张的主要因素，由于降水

量的影响在这十年间的波动性较大。所以在这十年间，湖泊面积的扩张的主要因素是气温。在2010年至2020年间，气温虽然总体保持上升的趋势，但上升的幅度不大，对于湖泊面积的扩张影响较小。而降水量的增加和雪山融水及时补充湖泊水量是那曲市在这十年间的湖泊面积增加的主要原因。由表8可知，年降水量与湖泊面积的相关性为0.990，且通过了0.05的置信度检验，所以，那曲市在2010年至2020年间的湖泊面积增加，降水量主要影响因素，气温为次要影响因素，是二者共同作用下的结果。

5 结论

本文以那曲市为研究区域，选取2000年、2010年Landsat TM和2020年Landsat8OLI影像，以2010年为例，比较不同提取方法的优缺点，并采用提取精度最高的监督分类最大似然法提取那曲市不同时期的湖泊并计算其面积，分析那曲市湖泊面积的变化情况，结合那曲市2000年至2020年的自然数据和社会数据，探究那曲市湖泊面积变化影响因素。结论如下：

(1) 利用NDWI、AWEI、监督分类最大似然法和面向对象法4种方法对那曲市2000年、2010年、2020年3期影像进行湖泊信息提取，结果表明监督分类的总体分类精度、Kappa系数、制图精度和用户精度都要高于其余3种水体提取方法，且错分误差和漏分误差也为最低，因此，监督分类法是最适合本研究湖泊提取的方法。

(2) 2000年至2020年那曲市湖泊总面积逐年增加，面积增加了3019.495平方公里。此外，那曲市84个湖泊中，面积增大的湖泊有74个，面积持续减小的湖泊共10个，主要集中在申扎县、班戈县、色尼区和安多县，面积共减少了70.962平方公里，其余湖泊未见明显变化。

(3) 气温变化、降水量及蒸发量三者共同作用影响湖泊面积的变化。那曲市年降水量及蒸发量的影响是引起湖泊面积变化主要原因，温度与湖泊的变化相比，其波动幅度很小，相反降水量的多少则会影响湖泊面积的缩减和扩张。因此，综上所述，那曲市降水量的影响是造成湖泊面积变化的主要因素。

本文选取NDWI、AWEI、监督分类最大似然法和面向对象法4种水体提取方法对那曲湖泊进行提取，并对比四种方法的优势和不足，监督分类提取精度最高，为之后的研究分析提供强有力的保

障。由于那曲市的湖泊资源较为丰富,湖泊数量相对较多,目前对于该研究区的研究多集中在土地利用变化和针对个别湖泊的研究,而对于那曲市整体湖泊面变化的研究少之又少,本文不仅研究了那曲市湖泊总面积的变化情况还从气温和降水两个方面探究引起那曲市湖泊面积变化的影响因素。为那曲市湖泊环境保护提供科学的理论依据。

参考文献:

- [1] 谢聪.土地利用变化影响下的中国湖泊动态遥感监测研究[D].武汉大学,2019.15-16.
- [2] 闫立娟,郑绵平,魏乐军.近40年来青藏高原湖泊变迁及其对气候变化的响应[J].地学前缘,2016,23(4):310-323.
- [3] 叶庆华,姚檀栋,郑红星,等.西藏玛旁雍错流域冰川与湖泊变化及其对气候变化的响应[J].地理研究,2008,27(5):1178-1191.
- [4] 吴艳红,朱立平,叶庆华,等.纳木错流域近30年来湖泊-冰川变化对气候的响应[J].地理学报,2007,62(3):301-311.
- [5] 类延斌,张虎才,王牲,等.青藏高原中部兹格塘错1970年来的湖面变化及原因初探[J].冰川冻土,2009,31(1):48-54.
- [6] 西藏那曲地区草地变化特征及驱动力分析_拉巴的湖面变化及原因初探[J].冰川冻土,2009,31(1):48-54.
- [7] 冉丹阳.基于Landsat影像的绵阳市水体提取及应用研究[D].四川师范大学,2020.20-21.
- [8] 张艳超.基于遥感影像水体提取方法研究[D].西北大学,2016.36-38.
- [9] 聂欣然.基于Landsat TM/OLI影像的南昌城区湖泊面积提取与动态变化研究[D].东华理工大学,2018.13-15.
- [10] McFeeters S K. The use of the normalized difference water index(NDWI) in the delineation of open water feature[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(7):1425-1432.
- [11] Feyisa G L, Meilby H, Fensholt R, et al. Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery[J]. Remote Sensing of Environment, 2014,140(1):23-35.
- [12] 马良寅,雷程翔,贺法川,等.基于卫星遥感图像的农作物分类算法[J].吉林大学学报(信息科学版),2020,38(5):624-631.
- [13] 郑逢斌,李坡涛,韩林果.基于高分二号影像的城区水体提取方法研究[J].河南大学学报(自然科学版),2020,50(02):213-220.