

Remote Sensing Monitoring and Analysis of the Area Change of Nearly 30a Qilu Lake

Guangcai Huang, Qihuan Cheng

School of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan
Email: GuangcaiHuang2019@outlook.com

Received: Oct. 25th, 2019; accepted: Nov. 7th, 2019; published: Nov. 14th, 2019

Abstract

As one of the nine plateau lakes in Yunnan Province, Qilu Lake plays an important role in regional economic development and ecological environment security. At present, there are few long-term and high-density monitoring studies on the change of Lake area in this area. In this paper, time series TM, OLI remote sensing image and HJ-1A are used as data sources to extract the annual MNDWI index of Qilu Lake from 1987 to 2017. Combined with the Otsu algorithm to achieve automatic threshold setting, the annual Lake area data of Qilu Lake in the past 30 years are finally obtained. Through analysis, it is found that: 1) in the past 30 years, the area of Qilu Lake has been reduced in general, especially in 1987-1989 and 2011-2013, when the lake was greatly disturbed, the area of the lake has been significantly reduced; 2) the spatial changes of Qilu Lake show that the periphery of the Lake has been reduced, the west and southwest have been seriously reduced, and the northeast, the east and the southeast have been relatively less affected.

Keywords

MNDWI, OTSU, Water Area, Remote Sensing Monitoring, Qilu Lake

近30a杞麓湖面积变化遥感监测分析

黄广才, 成其换

云南师范大学旅游与地理科学学院, 云南 昆明
Email: GuangcaiHuang2019@outlook.com

收稿日期: 2019年10月25日; 录用日期: 2019年11月7日; 发布日期: 2019年11月14日

摘要

作为云南九大高原湖泊之一的杞麓湖在区域经济发展与生态环境安全中扮演着重要的角色。目前针对该

地区湖泊面积变化的长时间、高密度的监测研究较少, 本文以时间序列TM、OLI遥感影像以及HJ-1A为数据源, 提取了杞麓湖1987~2017逐年的MNDWI指数, 结合OSTU算法实现自动阈值设置, 最终得出了近30年杞麓湖逐年的湖泊面积数据。通过分析发现, 1) 近30a中, 杞麓湖面积总体呈现缩减的趋势, 尤其是1987~1989年和2011~2013年湖泊受到重大干扰, 湖泊面积显著缩减; 2) 杞麓湖在空间上的变动表现为湖泊外围均有所缩减, 西部和西南部缩减严重, 东北方向和正东方向以及东南方向受到的影响相对较小。

关键词

MNDWI, OTSU, 水体面积, 遥感监测, 杞麓湖

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水是一切生命赖以生存的基础, 也是人类生活和社会经济生产活动不可缺少与不可替代的重要资源[1]。湖泊作为陆地水圈的重要组成部分, 参与自然界的水分循环[2], 湖泊水域的变化是其所在流域水量平衡的综合结果, 对气候变化和人类活动的影响具有高度敏感性[3]。湖泊的萎缩或扩张能够真实地反映区域气候与环境的变化状况, 是全球气候变化的敏感指示器[4]。此外, 湖泊的缩小和消亡, 不仅会导致湖泊生态功能的退化, 而且可能影响该地区农业和工业的发展, 甚至威胁城市生活用水安全[5]。作为云南九大高原湖泊之一的杞麓湖对当地的生态环境和社会经济起着十分重要的作用, 因此对杞麓湖水体面积进行长时间、高密度的遥感监测具有重要的科学意义及现实意义。能为政府及相关部门对湖泊的开发、保护以及治理提供决策支持。

遥感技术具有覆盖范围广、更新周期短、可获取信息量大以及受限制条件少等优势, 已经逐渐成为资源环境监测的重要手段之一[6]。随着近年来中高分辨率卫星的快速发展和可用的遥感影像数量的增多, 遥感技术作为水体动态监测的一种有效方式, 已广泛用于地表水体的提取[6] [7] [8]。常用于湖泊水体面积监测的遥感数据主要有 NOAA/AVHRR、MODIS、Suomi NPP-VIIRS、Landsat、SPOT、HJ-1A/B、ASTER、Sentinel 2、ZY-3、QuickBird、IKONOS、RapidEye、GF-1/2、Worldview 等多光谱数据。这其中又以中等分辨率 Landsat 系列数据在水体监测应用中使用最为广泛, 主要原因是 Landsat 数据不仅具有较高的空间分辨率(30 m)、免费获取的政策, 并且该数据有长达 40a 的连续观测影像。自遥感技术出现以来, 国内外已经开发了许多水体提取的方法, Frazier [9]使用单个红外波段进行阈值设置以分离水体, 该方法虽然简单易于实现, 但是难以消除阴影及水体边界过渡区域的影响; Acharya [10]利用决策树的方法, 在韩国北汉江进行了水体提取测试, 并取得了较好的效果, 但此类方法的构建较为复杂, 普遍适用性不强; 提取水体的另一种简单有效的方法是水体指数法, 现阶段国内外学者已经开发了多种水体指数用于水体的提取。如: Crist [11]以 TM 数据的 6 个波段构建了 TCW 指数, 相比单波段阈值法能够更好的划分岸线, 但是在山体阴影区域效果不够理想; Mcfeeters [12]基于中红外与近红外的归一化比值提出了归一化差异水体指数(NDWI), 在 21 世纪的前 10 年 NDWI 被广泛使用; 徐涵秋[13]使用短波红外波段替代 NDWI 中的近红外波段, 提出了改进的归一化差异水体指数(MNDWI), 取得了更稳定可靠的结果, 现已广泛应用于近年的许多研究中; Feyisa [14]开发了一个名为自动水体提取指数(AWEI)的新指数, 用于从 Landsat

时间序列中提取水体, 该指数包含 AWEInsh 和 AWEIsh 两个指数, 前者在没有阴影的情况下效果较好, 后者能有效的消除阴影的影响, 但不能很好的区分具有高反射率地表的屋顶和冰雪。尽管目前已经开发了许多用于提取水体的指数, 但由于研究区和传感器的差异, 目前没有一种方法能完美的适用于所有研究区。因此, 针对不同的研究区和数据, 在方法的选取上往往有所不同。

当前对云南高原上湖泊变化遥感监测的研究相对较少, 特别是长时间序列的研究更是甚少, 且监测的时间间隔多为 5 年及以上, 这不利于湖泊水体面积动态的全面监测。因此本文旨在通过 Landsat 时间序列数据采用 MNDWI 水体指数结合 OSTU 算法实现自动阈值设置提取湖泊水体, 最终得出近 1987~2017 年杞麓湖逐年的湖泊面积数据, 并结合降水、气温、蒸散发量以及人为活动等资料对湖泊面积的时空变化进行综合分析。

2. 研究区及数据源

2.1. 研究区概况

云南高原是中国四大高原之一云贵高原的组成部分, 位于我国西南地区, 地势西北高东南低, 属亚热带季风气候。云南高原地区湖泊众多, 作为云南九大高原湖泊之一的杞麓湖位于云南省玉溪市通海县, 海拔约 1796.2 m, 属于典型的高原湖泊, 为断层陷落湖, 湖泊长轴呈东西向。杞麓湖是该地区重要的水资源, 该湖流域是通海县社会经济发展的主体, 是通海县生存发展的基础, 通海人民把杞麓湖称为“母亲湖”, 杞麓湖流域位置示意图见图 1。

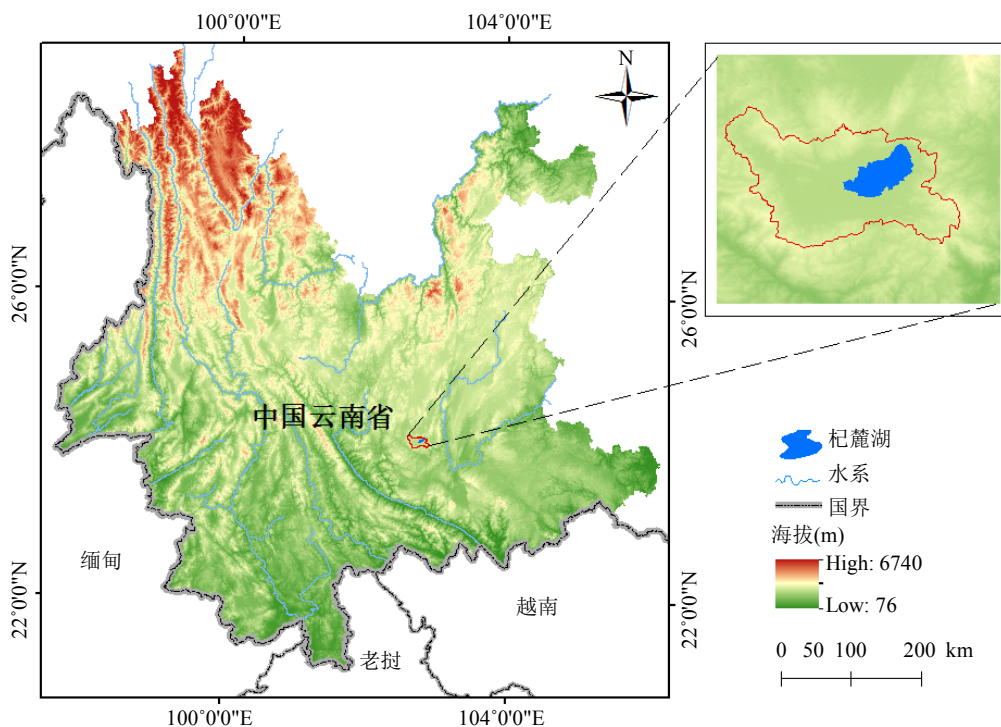


Figure 1. The location of Qilu Lake Basin

图 1. 杞麓湖流域位置示意

2.2. 数据源及预处理

本研究以 Landsat TM/OLI 遥感影像数据作为提取湖泊面积的主要数据源, 时间跨度为 30a

(1987~2017年), 由于 Landsat-7 ETM+ 扫描行校正器故障导致该研究区在 2011年11月3日~2013年4月12日期间无可用的 Landsat 数据, 因此, 我们使用了同样具有 30 m 空间分辨率的 HJ-1A/B CCD 数据代替。其中, Landsat 系列数据来自美国地质勘探局网站(<https://glovis.usgs.gov/>)发布的标准正射产品; HJ-1A/B 数据从中国资源卫星应用中心(<http://www.cresda.com/>)下载。由于云南干湿季分明, 一年中 90% 左右的降水都集中于雨季(5~10月), 而干季(11月至次年4月)的降水总量仅占全年的 10%左右[15]。另外综合考虑到该研究区雨季可使用的遥感影像数据十分有限, 为确保每年至少有 1 景可用数据, 因此所选用数据均为 11 月至次年 4 月, 遥感影像数据源及卫星传感器特性如表 1 所示。我们选取 1987~2017 各年份干季(11月~次年4月)遥感影像提取的湖泊面积逐年平均值, 每年拥有的干季面积数据在 1~5 个不等, 最终构建一条时间上连续的逐年湖泊面积时间序列曲线。

在提取湖泊水体面积之前, 需对遥感影像数据进行预处理。对 Landsat TM/OLI 数据进行了辐射定标和 FLAASH 大气校正, 由于数据较多, 因此这个过程是通过 ENVI/IDL8.5 编程批处理实现, 根据影像数据不同行列号设置不同的大气模型、气溶胶模型以及海拔等参数。HJ1A/B 数据的辐射定标和大气校正也是在 ENVI5.3 软件下完成的, 其中辐射定标及大气校正所需要的定标参数及光谱响应函数均来自于中国资源卫星应用中心网站(<http://www.cresda.cn/CN/Downloads/dbcs/index.shtml>)。此外, 还以该地区 Landsat 正射影像为底图影像, 每景影像均匀的选取约 16 个控制点, 这些控制的为易于识别的道路交叉口及其他地表, 采用多项式模型和最邻近法重采样对 HJ-1A/B 数据进行了几何精校正。

Table 1. Remote sensing data sources and sensor features

表 1. 研究区遥感数据源及卫星传感器特性

获取日期	卫星传感器	条带号	行编号	影像数量	空间分辨率/m	数据源
1986/11/01~2011/11/02	Landsat TM	129	043	69	30	https://glovis.usgs.gov/
2011/11/03~2013/04/12	HJ1A/B			4	30	http://www.cresda.com/
2013/04/13~2017/04/30	Landsat OLI	129	043	12	30	https://glovis.usgs.gov/

3. 水体提取方法

基于 Landsat 数据提取水体的关键是增强水体信息和区别易于混淆的非水体信息[15]。水体指数法是目前最受关注的水体识别方法, 尽管近年来国内外学者开发了多个用于提取地表水体的指数, 但利用指数法提取水体信息一直存在阈值设定是否合理的问题。因此, 本文采用 MNDWI 水体指数并结合 OSTU 算法自适应地确定最佳分割阈值用于 Landsat 数据上提取湖泊水体, 能够更精确的提取水体信息。OTSU [16]是一种自适应阈值确定方法, 是由日本学者大津(Nobuyuki Otsu)提出, 又称最大类间方差法, 是在最小二乘原理的基础上推导而来的。其基本思想是基于影像的直方图计算各灰度级的发生概率, 并以某一阈值变量 t 将构成图像的所有像素分为两类, 然后求取每一类的类间方差, 选取使得两组类间方差最大时的 t 值, 作为二值化处理的最佳阈值。

改进的归一化差异水体指数(MNDWI)是徐涵秋[13]对归一化差异水体指数(NDWI)的波段组合进行了修改而得到的, 是提取水体最典型, 运用广泛的方法之一。该指数的基本原理是: 土壤、建筑物等地类的反射率从近红外波段到中红外波段是骤然增强的, 反之, 水体在中红外波段的反射率继续降低, 这将使得水体与建筑物的反差明显增强, 大大降低了二者的混淆、减少背景噪音, 从而有利于水体专题信息的提取。因此提出了改进的归一化差异水体指数 MNDWI, 其公式为:

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{Green} - \text{MIR}}{\text{Green} + \text{MIR}} \quad (1)$$

试中, Green 为代表绿光波段; MIR 代表中红外波段。

影响归一化差异水体指数提取效果的主要因素为山体地形阴影的误分, 但我们研究区湖泊位于城市居民区中间, 不存在地形阴影, 因此选用 MNDWI 水体指数提取湖泊信息可取得较好结果。

4. 结果与分析

4.1. 杞麓湖面积变化特征分析

根据 1987~2017 年不同时段逐年遥感影像数据提取的湖泊面积来看(图 2), 杞麓湖面积变化总体呈现缩减的趋势, 具体可表现为五个阶段: 1987~1989 年湖泊面积显著下降阶段; 1989~2011 年相对平稳阶段; 2011~2013 年迅速缩减阶段; 2013~2016 年相对稳定阶段; 2016~2017 明显回升阶段。在近 30 年中, 杞麓湖平均面积为 34.856 km², 最大面积年份为 1987 年, 高达 46.439 km², 最小面积为年份为 2016 年, 缩减至 23.959 km², 由此可知, 杞麓湖在 1987~2017 年期间, 湖泊面积变动较大, 最小面积仅占最大面积的 51.59%。

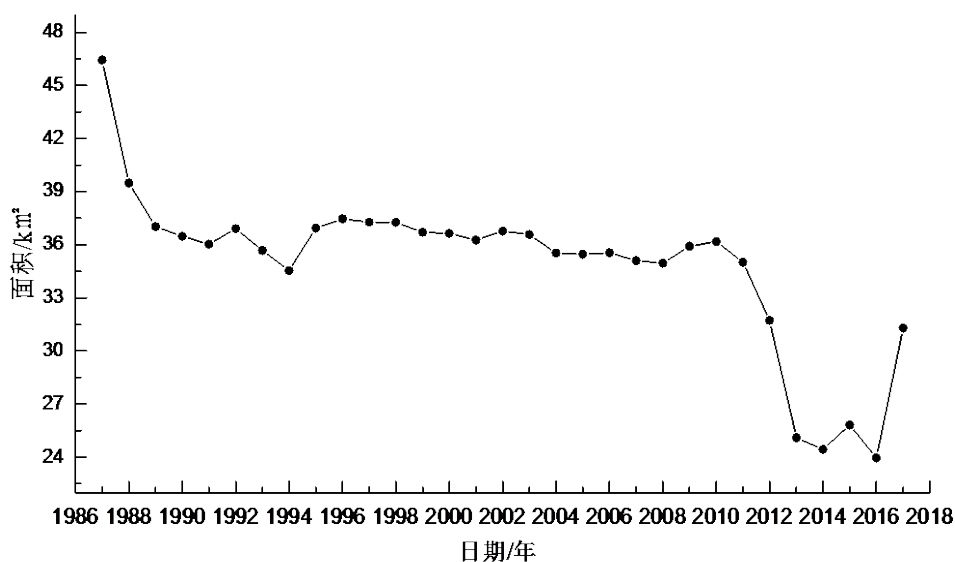


Figure 2. Area changes of Qilu Lake from 1987~2017

图 2. 1987~2017 年杞麓湖面积变化趋势

4.2. 杞麓湖空间变化特征分析

湖泊在其变化发展的过程中, 除了表现在面积时间序列的变化外, 还表现在空间上的变化, 这与湖泊的地理位置、湖盆构造特征、气温及降水等因素密切相关[17]。为了直观地显示杞麓湖的空间变化, 我们将杞麓湖 1987~2017 年各年份中面积最大的湖面叠加分析, 如图 3 所示。近 30a 湖泊水域变化明显, 主要变动区域为湖泊的正西方向和西南方向, 湖泊东北方向、正东方向以及东南方向虽然也有所缩减, 但缩减区域有限, 变动范围较小。

4.3. 湖泊面积变化原因分析

为了查明杞麓湖面积缩减的原因, 我们查阅了云南省年鉴、水利志以及相关文献记载得出, 造成杞麓湖面积缩减的原因可分为自然因素和人为因素。自然因素主要表现为降雨量多少的变化, 例如造成 1987~1989 年湖泊面积显著下降的原因则是由于 1985~1986 年该地区连续降雨淹没湖泊周边农田所致,

降雨结束后, 农田滞水并未及时排泄, 故将农田误识别为湖泊所致; 造成 2011~2013 年迅速缩减的原因也是由降雨较少导致, 2009~2013 年云南省全省遭遇多年难遇的连续性干旱灾害, 导致 2011~2013 年湖泊面积迅速缩减。人为因素是导致杞麓湖面积缩减的另一个主要因素, 主要表现在: 1) 杞麓湖流域内人口密集, 且湖泊周边均为大面积农业耕作用地, 日益增多的人口和农业灌溉用水量日益增大; 2) 村民在杞麓湖周边围堤围垦, 人为对湖泊空间形态造成极大影响, 尤其是 2009~2013 年干旱导致村民围湖开垦现象极其严重, 这也是 2013 年旱灾结束后, 湖泊面积迟迟不见回升的主要原因; 3) 随着城市化进程的加快, 杞麓湖周边新建了许多大型工程, 如泛亚铁路隧道工程、公路修建等工程破坏了原有的地下水水平衡, 导致部分泉眼骨戒, 加剧干旱的进程。

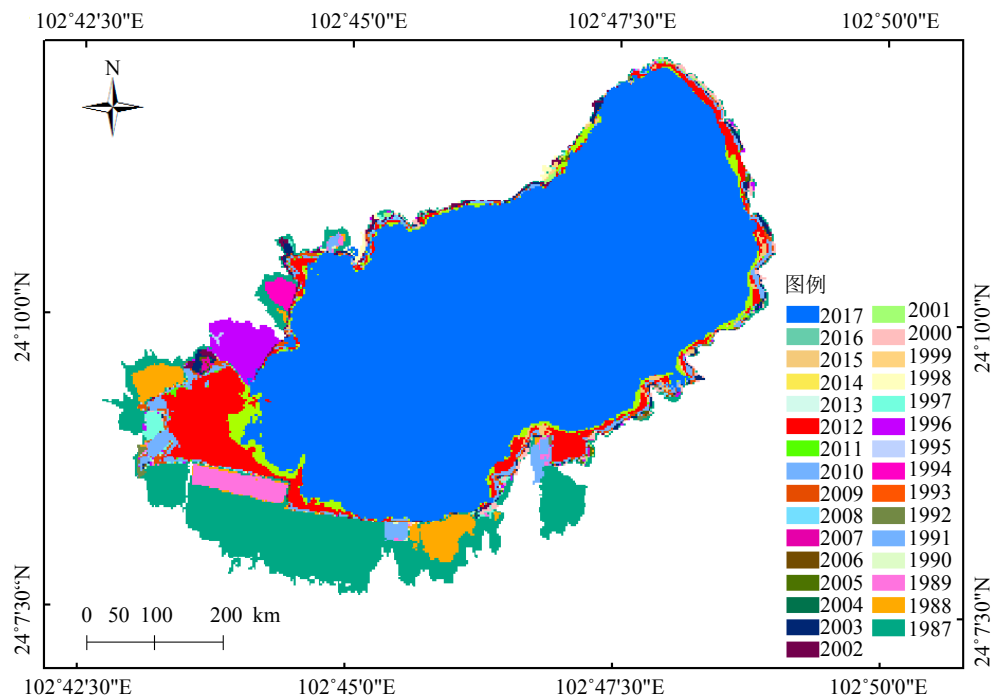


Figure 3. Spatial changes of Qilu Lake from 1987 to 2017

图 3. 1987~2017 年杞麓湖空间变化

5. 结论

本文基于近 30 年的 Landsat 遥感影像数据, 提取了杞麓湖湖面的 MNDWI 指数, 并结合 OTSU 算法实现水体的自动识别, 通过 ENVI/IDL 编程实现设定去除小于某湖泊面积的像元数, 最终获得杞麓湖近 30a 湖泊面积变化数据, 并通过对湖泊面积的时间和空间变化分析得出以下结论: 1) 近 30a 中, 杞麓湖面积总体呈现缩减的趋势, 主要经历了 1987~1989 年和 2011~2013 年两次显著的缩减, 缩减幅度较大; 2) 杞麓湖在空间的变动上表现为西部和西南部缩减严重, 东北方向和正东方向以及东南方向受到的影响相对较小。

6. 展望

由于在研究时段内, 可使用的无云质量较好的遥感影像数据主要集中在云南的干季, 因此所选用的数据均为 11 月~次年 4 月。今后可结合多传感器时空融合技术或雷达遥感影像数据获取湖泊水体面积, 以面的分析其全年的变化特征, 更加准确的捕捉湖泊扰动事件。

参考文献

- [1] 沈冰, 黄红虎. 水文学原理 [M]. 第2版. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [2] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(3): 394-401.
- [3] 丁永建, 刘时银, 叶柏生, 等. 近 50a 中国寒区与旱区湖泊变化的气候因素分析[J]. 冰川冻土, 2006, 28(5): 623-632.
- [4] 王苏民. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [5] 王洪道. 中国湖泊资源[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [6] Luo, K. and Tao, F. (2016) Monitoring of Forest Virtual Water in Hunan Province, China, Based on HJ-CCD Remote-Sensing Images and Pattern Analysis. *International Journal of Remote Sensing*, **37**, 2376-2393. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1176275>
- [7] Huang, C., Chen, Y., Zhang, S. and Wu, J. (2018) Detecting, Extracting and Monitoring Surface Water from Space Using Optical Sensors—A Review. *Reviews of Geophysics*, **56**, 333-360.
- [8] Tulbure, M.G., Broich, M., Stehman, S.V. and Kommareddy, A. (2016) Surface Water Extent Dynamics from Three Decades of Seasonally Continuous Landsat Time Series at Subcontinental Scale in a Semi-Arid Region. *Remote Sensing of Environment*, **178**, 142-157. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.034>
- [9] Frazier, P.S. and Page, K.J. (2000) Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **66**, 1461-1468.
- [10] Acharya, T.D., Lee, D.H., Yang, I.T. and Lee, J.K. (2016) Identification of Water Bodies in a Landsat 8 OLI Image Using a j48 Decision Tree. *Sensors*, **16**, 1075. <https://doi.org/10.3390/s16071075>
- [11] Crist, E.P. (1985) A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data. *Remote Sensing of Environment*, **17**, 301-306. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90102-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90102-6)
- [12] Mcfeeters, S.K. (1996) The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [13] 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[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- [14] Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R. and Proud, S.R. (2014) Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, **140**, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- [15] 刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 等. 春末初夏异常环流对云南雨季开始期的影响[J]. 干旱气象, 2007, 23(3): 17-22.
- [16] Otsu, N. (1979) A Thresholding Selection Method from Gray-Level Histogram. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **9**, 62-66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- [17] 万玮, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 近 30 年来青藏高原羌塘地区东南部湖泊变化遥感分析[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 874-881.