

Analysis of Lake Area Change in Tianjin, China from Based on Landsat Images

Yanlin Peng

Hebei Armed Police Corps, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Global climate change and human activities have had a significant impact on lake ecosystems, leading to a continuous reduction in lake area. This phenomenon poses a serious threat to the ecological security of the surrounding environment and has become a key environmental issue facing contemporary humans. In view of this, implementing precise and timely dynamic monitoring of lakes is particularly crucial. It not only helps to scientifically develop and rationally utilize lake resources, but also has important significance for the effective supervision and protection of lake resources. The emergence of water extraction technology and remote sensing dynamic monitoring technology has provided a solid technical foundation for the study of lake dynamic changes. Based on Landsat series data, comparing NDWI, MNDWI, and MBWI water extraction models, it was found that the MBWI water extraction model had better performance for water extraction in Tianjin. The MBWI water index method was used to extract lakes from 1999, 2009, and 2019 to analyze the changes in lake area in Tianjin. The lake area in Tianjin was approximately 1636km² in 1999, 1280km² in 2009, and 847km² in 2019; From 1999 to 2009, the lake area in Tianjin decreased by 356km² over a ten-year period. From 2009 to 2019, the lake area in Tianjin decreased by 433km² over a ten-year period; The change index of lake intensity from 1999 to 2009 was 2.18, and the change index of lake intensity from 2009 to 2019 was 3.38, indicating that the rate of lake reduction in Tianjin has been increasing.

Keywords

lake area change; water extraction; Landsat

基于 Landsat 影像的天津市湖泊面积变化分析

彭彦霖

武警河北总队, 中国·河北 石家庄 050000

摘要

全球气候变化和人类活动对湖泊生态系统产生了显著影响, 导致湖泊面积不断缩减, 这一现象对周边的生态环境安全构成了严重威胁, 成为当代人类面临的关键环境问题。鉴于此, 实施精确且及时的湖泊动态监测显得尤为关键, 它不仅有助于科学地开发和合理利用湖泊资源, 还对湖泊资源的有效监管和保护具有重要意义。水体提取技术与遥感动态监测技术的诞生, 为湖泊动态变化研究提供了坚实的技术基础。根据Landsat系列数据, 对比NDWI、MNDWI、MBWI三种水体提取模型, 发现对于天津市水体提取使用MBWI水体提取模型效果较好, 利用MBWI水体指数法提取1999年、2009年、2019年的湖泊来分析天津市湖泊面积变化情况。得出1999年天津市湖泊面积约为1636km², 2009年天津市湖泊面积约为1280km², 2019年天津市湖泊面积约为847km²; 1999—2009年, 十年间天津市湖泊面积减少356km², 2009—2019年, 十年间天津市湖泊面积减少433km²; 1999—2009年湖泊强度变化指数为2.18, 2009—2019年湖泊强度变化指数为3.38, 说明天津市湖泊减少速度一直在增加。

关键词

湖泊面积变化; 水体提取; Landsat

1 引言

湖泊作为地球地理环境中不可或缺的组成部分, 扮演着陆地与大气间水循环的关键角色。它们的存在与消亡、形态的合并与分裂、面积的扩张与缩减, 以及由此引发的生态系统演变, 均是气候变迁、水文活动、地质构造变动和人类

行为相互作用的产物。湖泊的这些变化不仅直接映射出区域气候、水文条件和人类活动的现状, 而且它们本身也是研究区域气候变异及其环境响应的宝贵信息源^[1]。因此, 深入探究湖泊动态变化对于理解地下水资源和河流流量的平衡至关重要^[2]。

遥感技术在湖泊动态监测方面发挥着不可替代的作用, 其优势在于能够实时、宏观、经济地捕捉湖泊变化, 提供客观准确的数据。由于湖泊信息常受周围环境因素的复杂影响, 传统的光谱分析方法往往难以达到研究所需的精度。因此,

【作者简介】彭彦霖(1997-), 男, 中国河北定州人, 硕士, 助理工程师, 从事遥感影像处理与GIS空间建模研究。

许多研究者转而采用人工矢量化技术来收集湖泊数据^[3-5]。随着技术的进步,近年来遥感技术在水体信息提取方面取得了显著发展。例如,徐涵秋在2005年针对土壤和建筑物的干扰,对归一化差异水体指数(NDWI)进行了改进,提出了MNDWI,有效降低了建筑物的干扰^[6]。冯沛华等人在2016年通过综合NDVI、NDWI和MNDWI三种指数,发展了一种优化的水体信息提取模型,进一步提高了提取精度^[7]。

近年来基于遥感技术开展对天津市湖泊资源的研究较少,所以本研究的结果将有助于引起人们对天津市湖泊资源保护的意识,有助于资源的利用与开发以及优化管理等,对研究区生态可持续发展具有重要意义。

2 研究区与数据收集

2.1 研究区概况

天津,这座位于华北平原北端的城市,东面与渤海相接,北面则依靠着燕山山脉。地理坐标跨越东经116° 43' ~118° 04' 和北纬38° 34' ~40° 15'。而市中心则位于更为精确的经纬度坐标:东经117° 10',北纬39° 10'。天津属于暖温带的半湿润季风气候区,位于北温带之内。这里的气候以季节变化明显为特点:春季天津地区以风大干燥为特点,降水量相对稀少;而夏季则转变为炎热潮湿的气候,此时雨量显著增多。在冬季的六个月中,受西北风影响,气温较低且降水量减少;而夏季六个月,随着太平洋副热带高压的强化,主导风向转为偏南,导致气温显著上升,同时降水量也随之增加。天津市所记录的年度平均气温维持在大约14℃的水平。在一年中最热的7月,平均气温可升至28℃,而历史记录中的极端最高气温曾达到41.6℃。相对地,在冬季的1月,平均气温降至-2℃,而该月记录的最低气温曾低至-17.8℃。年均降水量介于360~970mm之间,主要集中在7—9月。这些气候特征为天津地区的水文条件和湖泊动态提供了重要的背景信息。

2.2 数据收集与预处理

在本项研究中,我们精心挑选了1999年、2009年和2019年三个不同年份的遥感影像资料,共计九幅图像。这些图像数据均源自Landsat系列卫星的传感器,具体包括Landsat 5搭载的TM传感器以及2019年Landsat 8配备的OLI传感器。在进行影像选取时,我们专注于轨道号122-33、123-32和123-33,同时确保所选的影像资料能够覆盖每年7月至9月,这一时期是天津降水量较为丰富的季节。为了确保影像数据的质量与适用性,我们采用了ENVI 5.3软件对这些Landsat 5 TM和Landsat 8 OLI的卫星影像进行了一系列的预处理工作,包括辐射定标、大气校正、影像拼接和裁剪等步骤。通过这些细致的处理,我们成功获取了覆盖天津市区域的高质量遥感影像,为后续的湖泊面积变化分析奠定了坚实的基础。

3 研究方法

3.1 遥感影像预处理

辐射定标,卫星传感器接收的电磁波信号首先被转换为电信号,随后经过量化处理,转化为离散的灰度值。这些灰度值在影像中仅表示相对大小,并不具备确切的物理意义。因此,在处理此类数据时,必须实施传感器层面的校正措施。具体而言,辐射定标过程涉及将遥感影像中获取的观测数据转换为辐射亮度值,或与地表光谱反射率相关的相对数值。

在遥感影像处理中,太阳辐射在太阳、地表物体与卫星传感器之间的传输路径长度存在差异,这种差异使得影像中不同区域的地物像素灰度值可能受到不同程度的大气影响。因此,在进行遥感信息提取之前,必须消除大气对地物的影响,以确保获取的遥感影像更接近地物的真实状态。这一消除大气影响的步骤,被定义为大气校正。通过这一过程,可以有效减少大气对遥感影像的干扰,从而提高信息提取的准确性和可靠性。

为了获得覆盖天津市全域的Landsat影像,论文采用了图像拼接技术。具体操作包括:首先,对三幅经过辐射校正和大气校正的遥感影像进行整合。这一过程借助ENVI 5.3软件的Seamless Mosaic功能模块实现,通过设定影像的叠加顺序和透明度参数,并选用适当的重采样方法。随后,利用直方图匹配技术对拼接后的图像进行色彩均衡处理,同时对自动生成的接边线实施羽化处理,以优化视觉效果。最终,输出拼接完成的图像结果。结果如图1所示,根据上述步骤本文获取了1999年、2009年、2019年三期遥感影像。

3.2 三种水体提取方法

受到归一化差异植被指数(NDVI)的启发,McFeeters开发了一种创新的指数——归一化差异水体指数(NDWI)^[8]。该指数经过精心构建,旨在有效运用TM影像内绿光波段与近红外波段的特性,以有效抑制植被信号并突出水体特征。NDWI的计算公式定义如下:通过对比绿光波段与近红外波段的反射率差异,该指数能够显著增强水体的识别能力。NDWI公式如下:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

在式(1)中,绿光波段,在陆地卫星TM影像中被标识为第二波段,而在陆地卫星OLI影像中则被标记为第三波段;至于近红外波段(NIR),在TM影像中占据第四波段的位置,而在OLI影像中则对应于第五波段。

在遥感技术领域,对水体的准确识别至关重要。基于水体在不同波段的反射特性,改进的归一化差异水体指数(MNDWI)应运而生。该指数通过分析绿光波段与中红外波段的反射率差异,利用水体在这些波段的持续减弱和中红外波段的强烈吸收特性,以及近红外至中红外波长范围内,建筑物反射率呈现出显著的迅速提升现象,构建了一个优化

的归一化比值模型。这种模型显著提高了水体与建筑物之间的对比度，有效降低了它们之间的混淆可能性。MNDWI 的计算公式如下：

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (2)$$

式(2)中，我们特别关注了两个关键波段：绿光波段 (Green) 和中红外波段 (MIR)。在 TM 影像的波段分配中，绿光波段与第二波段相对应，而中红外波段则与第五波段相匹配。针对 OLI 影像，我们选择使用短波红外波段 1 (SWIR1) 作为替代方案，该波段在 OLI 影像中位于第六波段的位置。

这种波段的选择和应用，是为了在不同的遥感影像数据中实现对水体特征的准确捕捉和分析。

MBWI 算法的核心在于对遥感影像特定波段实施归一化差值运算，其目的在于凸显水体特性，同时显著抑制低反射率噪声的干扰^[9,10]。这一算法利用波段间的光谱差异，优化了水体的识别能力。MBWI 的计算遵循以下公式：

$$MBWI = \begin{cases} 2b_2 - b_3 - b_4 - b_5 - b_7 & \text{Landsat 5} \\ 2b_3 - b_4 - b_5 - b_6 - b_7 & \text{Landsat 8} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中，b 为对应波段的光谱反射值。



图 1 1999 年、2009 年、2019 年 Landsat B3 (R)、B2 (G)、B1 (B) 合成影像

3.3 湖泊变化幅度

湖泊的演变过程涵盖了空间形态的转变、面积的增减以及水质的变化。在这些变化中，面积的变动是最先被观察到的，它直接关联到湖泊整体的规模变化。深入分析湖泊面积的总量变化，有助于我们更准确地把握湖泊演变的总体趋势和空间分布的模式。湖泊变化的幅度可以通过以下公式进行量化表达：

$$L_1 = U_b - U_a \quad (4)$$

$$L_2 = (U_b - U_a) / T \quad (5)$$

在式(4)和式(5)中， L_1 量化了湖泊在研究时间段内的整体变化幅度。当 L_1 的值大于零时，这表明湖泊面积经历了增长；如果 L_1 的值小于零，则意味着湖泊面积遭遇了缩减。 L_2 则衡量了湖泊面积在这段时间内每年的平均变化率。如果 L_2 的值呈现负数，这反映出湖泊面积呈现逐年下降的趋势。在这两个公式中， U_a 代表研究开始时的湖泊面积，而 U_b 代表研究结束时的湖泊面积。 T 代表整个研究时间跨度的年数。通过这些参数，可以精确计算出湖泊面积变化的总幅度和年均变化幅度，为湖泊的动态监测和管理提供科学依据。

3.4 湖泊强度变化指数

论文采用了湖泊变化强度指数，对不同时间段内各个湖泊的相对变化程度进行定量分析。此指数作为一种定量工

具，用于评估湖泊面积变动程度的相对强度。通过这一指标，我们能够更准确地评估湖泊面积变化的剧烈程度。湖泊变化强度指数的计算公式如下：

$$C = 100 \times \Delta A_{ba} / (A_a \times \Delta t) \quad (6)$$

式(6)中： C 指标反映了湖泊变化的剧烈程度； ΔA_{ba} 量化了从年份 a 至年份 b 这一研究周期内湖泊面积的变动幅度； A_a 代表了年份 a 时刻湖泊的总覆盖面积； Δt 揭示了年份 a 与年份 b 之间的时间间隔。

4 结果与分析

4.1 水体提取结果分析

以 2019 年 Landsat 影像为例，分别利用式(1)~式(3)提取天津市水体，对比 NDWI、MNDWI、MBWI 三种水体提取方法的优势和不足，通过多次试验选取经验阈值，选出最好的提取结果，将提取的水体转换为二值图，提取结果如图 2 所示。在水体和建筑物的分离上，MBWI 的效果要好于 MNDWI、NDWI，MNDWI 对裸地和水体的分类效果较差，对裸地信息抑制效果最好的也是 MBWI。

从 2019 年天津市遥感影像上随机选择 480 个水体和非水体检验样本，利用 ENVI 的 Confusion Matrix 模块构建混淆矩阵计算出总体分类精度、Kappa 系数、制图精度、用户精度、错分误差和漏分误差 6 项指标来评价各水体提取模型的提取精度，各水体提取精度评价结果如表 1 所示。

表 1 2019 年天津市水体提取精度评价

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 / (%)
NDWI	67.2917	0.48	97.94	59.37	40.31	4.45
MNDWI	72.1097	0.69	97.64	90.12	12.88	6.38
MBWI	95.2083	0.9042	98.75	92.22	7.78	1.25

根据表 1 的数据，我们可以确认，在探讨三种水体提取技术的效能时，MBWI 技术在关键性能指标——总体分类精度与 Kappa 系数方面，均展现出最优的表现，达到了 95.2083% 和 0.9042，可以得出 MBWI 的提取结果图的提取精度较高，其他两种水体提取技术的表现并不理想。制图的精确度对水体提取的完整性具有决定性影响，而用户精度则揭示了提取结果图中实际水体信息的像元比例。MBWI 方法在用户精度方面表现最为优异，如表 1 所示。用户精度越高则错分误差越小，水体提取模型在提取了水体的同时也存在错误提取其他非水体信息。综合考虑 3 种水体提取模型，本次研究选取 MBWI 水体提取模型进行研究。

4.2 天津市湖泊面积空间分布

根据以上步骤，使用 MBWI 水体提取模型对天津 1999

年、2009 年、2019 年共 3 景遥感影像进行水体提取，经过一系列的实验与调整，首先对遥感影像进行了细致的比较分析，将图像转换为二值格式。随后，借助 ArcGIS 软件，将这些栅格数据转换为矢量形式。通过人工视觉解译的方法，剔除了其中的河流部分。最终，成功地获得了 1999 年、2009 年以及 2019 年天津市湖泊的空间分布图，如图 2~ 图 4 所示。

4.3 天津市湖泊面积变化

对天津市湖泊面积进行统计，结果如表 2 所示。从表中数据可以看出，1999 年到 2019 年天津市湖泊面积不断下降，1999 年天津市湖泊面积为 1636km²，到了 2019 年湖泊面积为 847km²，一共下降了 789km²，从图 5 的变化趋势来看，天津市湖泊面积减少较为严重。

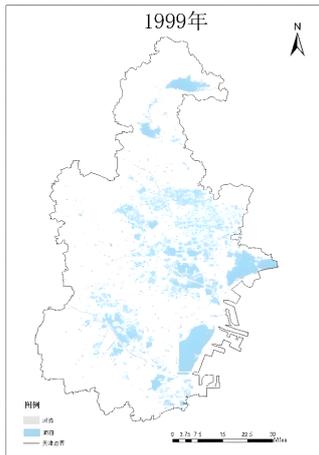


图 2 1999 年天津市湖泊空间分布图

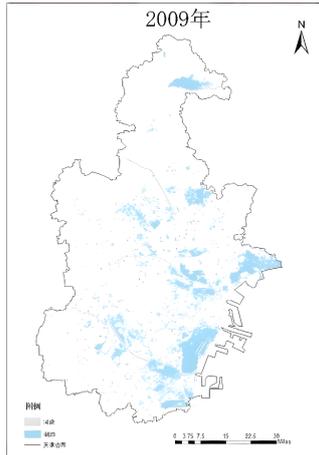


图 3 2009 年天津市湖泊空间分布图

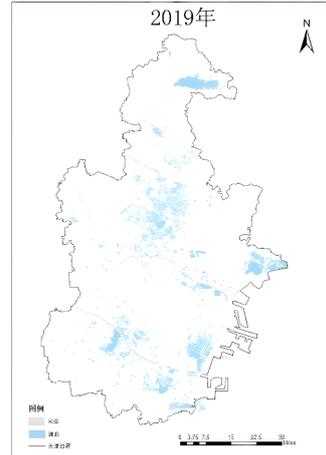


图 4 2019 年天津市湖泊空间分布图

表 2 1999—2019 年天津市湖泊面积变化

年份	湖泊面积 /km ²
1999	1636
2009	1280
2019	847

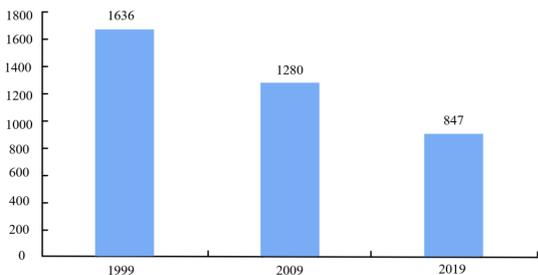


图 5 1999 年、2009 年、2019 年天津市湖泊面积变化柱状图

为了深入探究天津市在 1999 年至 2019 年间湖泊面积的演变特性，本研究依据特定公式，对天津市湖泊面积的总变化幅度、年度变化幅度及变化强度指数进行了详尽计算。计算结果已详细列于表 3 中。从表 3 中数据得出，天津市每年湖泊面积呈现减少趋势，2009—2019 年这 10 年的下降速度要高于 1999—2009 年。

表 3 天津市湖泊变化总幅度、湖泊年变化幅度以及湖泊变化强度指数

年份	湖泊变化总幅度 L1/km ²	湖泊变化总幅度 L2/km ²	湖泊强度变化指数 C/%
1999—2009	356	35.6	2.18
2009—2019	433	43.3	3.38

通过对天津市湖泊面积的空间分布图进行综合叠加分

析,我们成功绘制出了1999年至2019年间该市湖泊面积变化的详细分布图,该图示于图6中,天津市湖泊缩减主要集中在天津市的宁河区。

5 结论

论文选取1999年、2009年、2019年共3期Landsat遥感影像,对比NDWI、MNDWI、MBWI三种水体提取模型,研究发现对于天津市水体提取使用MBWI水体提取模型较好,论文通过采用MBWI水体指数法进行水体提取,并辅以GIS技术的融合应用,结合人工目视解译的手段,对天津市湖泊面积进行了精确的提取工作,深入分析天津市湖泊面积的动态变化。论文主要结论如下:

①1999年天津市湖泊面积约为1636km²、2009年天津市湖泊面积约为1280km²,2019年天津市湖泊面积约为847km²,天津市湖泊面积呈现下降趋势。

②1999—2009年,十年间天津市湖泊面积减少356km²。2009—2019年,十年间天津市湖泊面积减少433km²。1999—2009年湖泊强度变化指数为2.18,2009—2019年湖泊强度变化指数为3.38,说明天津市湖泊减少速度一直在变快。

③天津市湖泊面积空间分布图进行叠加分析,可以看出天津市湖泊面积缩减严重,天津市湖泊缩减主要集中在天津市的宁河区。

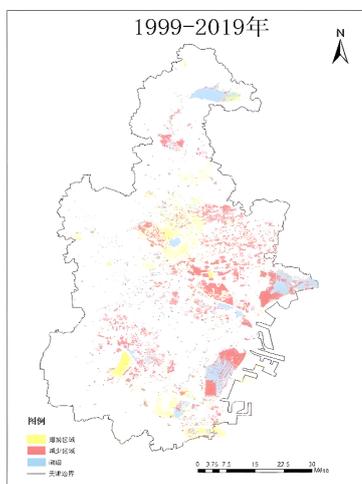


图6 1999—2019年天津市湖泊面积变化分布图

6 不足与展望

由于时间关系,论文仅仅选择1999—2019年时间段中1999年、2009年、2019年三个时期的数据,时间跨度较大,不能精确反映1999—2019年天津市的湖泊面积变化情况;经过反复测试,通过MBWI水体提取模型虽然精度较高,但对于一些云雾遮盖区域仍会出现误提现象,经过目视解译满足实验要求,但目视解译所需时间较长,未来希望通过更加丰富的处理流程,极大减少目视解译过程;本次湖泊提取,是将提取出的所有水体,通过目视解译删除河流区域,剩下的视为湖泊,其中会包含水田等水体,而水田大多通过引流使得田地充满水,所以水田受人造因素影响较大,导致其影响湖泊总面积,在今后的研究中应该将此部分水域进行剔除,更好地反映天津市湖泊面积变化情况。

参考文献

- [1] 戴小琳,傅铁.湖泊湿地修复工程应注意的问题及对策措施[J].人民长江,2011,42(15):69-72.
- [2] 李新国,江南,朱晓华,等.近三十年来太湖流域主要湖泊的水域变化研究[J].海洋湖沼通报,2006(4):17-24.
- [3] 车涛,晋锐,李新,等.近20年来西藏朋曲流域冰湖变化及潜在溃决冰湖分析[J].冰川冻土,2004,26(4):397-402.
- [4] 栗亚宁,陈艳梅,冯朝阳,等.1975—2010年辉河自然保护区湖泊面积变化规律及成因分析[J].河北师范大学学报,2015,39(2):173-179.
- [5] 张淑萍,张虎才,陈光杰,等.1973—2010年青藏高原西部昂拉仁错流域气候、冰川变化与湖泊响应[J].2012,34(2):267-276.
- [6] 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.
- [7] 冯沛华,刘振华,胡月明.基于TM遥感优化模型的地表水体信息提取[J].科技通报,2016,32(8):176-181.
- [8] McFeeters S K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17(7):1425-1432.
- [9] 王小标,谢顺平,都金康.水体指数构建及其在复杂环境下有效性研究[J].遥感学报,2016,22(2).
- [10] Wanga X, Xiea S, Zhanga X, et al. A robust Multi-Band Water Index (MBWI) for automated extraction of surface water from Landsat 8 OLI imagery[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2018,68:73-91.