

1985—2020 年太湖月尺度高精度水体面积提取分析*

张莘琛 祝一诺 叶爱中[†]

(北京师范大学地理科学学部, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 陆地表层系统科学与可持续发展研究院, 北京)

摘要 本研究选取太湖作为研究对象, 使用长期高分辨率水体掩膜数据集, 通过水体分类增强算法纠正数据中受到云、云阴影、地形阴影等污染的像素。本研究提供了长达 30 多年(1985—2020 年)的太湖月尺度水覆盖图和水体面积数据, 其中水体面积平均值为 2 421.00 km², 数据方差较算法纠正前锐减, 平均面积增强率达 20.76%, 验证结果可靠。这些数据可以用来支持水资源分析和科学管理, 并为维护该区域的生态平衡和持续利用水资源提供科学依据和数据支撑。

关键词 太湖; 月尺度; 水体面积

中图分类号 TP79

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2023057

0 引言

水资源是人类赖以生存和发展的重要资源, 是地球上最珍贵的自然资源之一。水资源具有广泛而重要的作用, 不仅影响着人类的生活, 也对生态系统的健康与稳定产生影响, 与人类活动息息相关。尽管地表淡水仅覆盖地球表面的 0.8% 左右, 但它却为近 78%^[1] 的城市居民提供生活用水, 也是人类社会经济用水的重要来源, 为社会经济可持续发展提供了重要支持。

在环境监测方面, 水面积是反映自然水资源的重要指标之一, 具有对于河流、湖泊、水库、海洋等水体的水资源管理、生态环境监测、水污染治理等方面的重要意义^[2-4]。此外, 水面积的提取也是灾害监测的重要手段之一, 例如对于洪水、地质灾害、海啸等^[5] 自然灾害的及时监测和评估, 以便采取有效的救援和应对措施。此外, 水面积提取的研究可以为城市规划、交通建设、水利工程等基础设施建设提供支持和参考, 对提高城市和生活品质、促进经济发展等方面产生积极作用。

水体面积提取是遥感领域中的一个重要研究课题, 是一项具有重要意义的研究工作^[6-7]。它可以为自然资源管理、环境保护、灾害监测、城市规划等方面提供支持和参考^[8-10]。利用光学遥感数据(Landsat、MODIS 等卫星数据), 通过不同的算法(水体指数法、归一化水体指数法、基于决策树的水体提取法等)提取水体面积已经被广泛应用于全球各地的水体面积提取。

国内外众多研究人员通过遥感数据开展了水体动态监测工作。例如: Klein 等^[11] 提出了使用中分辨率成像光谱仪(MODIS)的全时间分辨率, 根据光谱信息和动态阈值生成每日 250 m 的内陆水体全球数据集的方法; Khandelwal 等^[12] 使用 MODIS 多光谱数据以 500 m 空间分辨率绘制已知水库的全球面积范围和时间变化图; Gao 等^[13] 研究了从 1992—2010 年 34 个全球水库, 从 5 个卫星高度计的组合中获得高质量的地表高程数据, 并通过将基于 MODIS 的估计值与基于卫星高度计的水库高程估计值相结合, 得出了每个水库的高程-面积关系。此外, 也有研究人员使用其他遥感技术提取水体面积, 如基于 Landsat 卫星图像的 SMDPSO 方法提取白洋淀水域面积^[14], 以及基于 Landsat8 OLI 数据的青海湖水体边界自动提取方法等^[15]。

然而, 遥感数据时常会受到云、云阴影等污染及其他因素的影响, 这给水体面积提取和监测等工作带来许多问题, 且现有的研究大多针对固定水体年度变化的分析, 忽略了月尺度上季节变化对水体面积的影响。Pekel 等^[16] 利用长期 Landsat 任务生成了 1984—2015 年全球地表水数据集, 可以用来提取任何陆地卫星所探测到的月时间序列中水库、湖泊的水体面积。然而, 由于云、云阴影、地形阴影、照明度和扫描线校正器故障等影响, 数据中一部分像素被归类为“*No data*”, 这可能导致一些水库、湖泊的结果被严重低估。在这种情况下, 如果直接丢弃受污染的像素, 可能会导致数据缺失严重, 因此需要采用其他措施来

* 第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK0405), 国家自然科学基金资助项目(42171022)

[†] 通信作者: 叶爱中(1978—), 男, 教授, 博士。研究方向: 水文集合预报研究。E-mail: azye@bnu.edu.cn

收稿日期: 2023-05-03

保证数据质量. 一些相关研究已经采用了高程信息^[17-18]和多时相分析^[19-20]来纠正受污染像素的分类, 但是还缺乏可以准确纠正不同类型污染像素的算法.

在湖泊水体研究方面, Zhang 等^[21]从气候和人为因素量化了中国湖泊多年变化的原因, 发现气候因子在中国湖泊变化中起了主导作用; Benson 等^[3]使用湖泊总表面积作为气候变化的指标, 提出湖泊对水文平衡变化响应的适当量具既不是湖泊深度, 也不是湖泊体积, 而是湖泊表面积; Du 等^[8]研究了 20 世纪中国长江中游湖区变化, 结果表明, 虽然近百年来湖泊数量变化不大, 但湖区面积却大幅减少了 58.06%; Cui 等^[10]研究了 19 世纪末以来中国长江流域中下游湖泊动态, 研究发现, 1875—2008 年湖泊面积大幅减少, 减少了 7 841.2 km²(42.64%).

太湖是中国东部最大的淡水湖泊之一^[22-23], 其水体面积在不同的季节和年份中存在着显著的变化. 对太湖月尺度水体面积进行监测和分析, 可以更好地了解太湖的水资源状况, 及时发现水污染和水质变化等环境问题^[24]. 并且, 水体面积的变化与气候因素密

切相关, 提取太湖月尺度水体面积可以为气候研究提供有价值的信息, 揭示太湖周边气候变化规律. 太湖生态系统丰富多样, 水体面积的变化会影响太湖生态系统的结构和功能^[22, 25], 提取太湖月尺度水体面积可以更好地了解太湖生态系统的变化趋势, 为保护太湖生态系统提供科学依据. 此外, 对太湖月尺度水体面积进行监测和分析, 可以更好地指导水资源的合理利用和管理. 综上所述, 太湖月尺度水体面积的提取对于环境监测、气候研究、生态研究和水资源管理等方面都具有重要的意义.

1 研究区域、数据及方法

1.1 研究区域 太湖位于江苏省南部和浙江省北部的交界处, 是长江中下游地区最大的淡水湖泊之一^[25-27]. 太湖面积广阔, 由南湖、中湖和北湖 3 个部分组成, 如图 1 所示, 太湖湖面呈典型的水网状分布. 其中: 南湖水域面积较小, 水深约 2.5 m; 中湖面积最大, 水深较深, 最深处可达 4.5 m; 北湖水域面积相对较小, 但水深较大, 最深处可达 8.6 m.

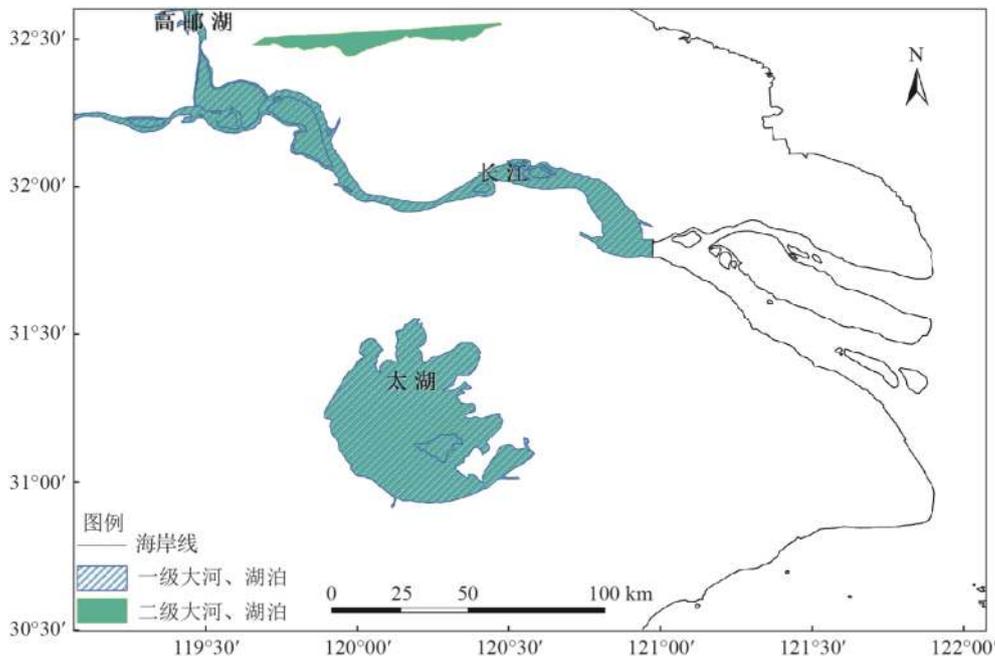


图 1 研究区域

太湖水源主要来自周边地区的雨水和长江水, 它是长江水系的重要组成部分^[28-30]. 太湖的水质受到了人类活动的影响, 如污染和过度开发利用, 但在近年来, 太湖水环境得到了一定的改善和保护, 其中包括对污染源的治理和生态修复工程等. 吴浩云等^[31]分析了流域降雨、进出湖水量等与太湖水位的互馈关系, 通过水位调整, 提出了太湖调度功能区划图. 吴小靖等^[26]研究了环太湖出入湖水量的变化, 发现太

湖湖体的交换周期明显缩短, 影响了东太湖的来水水质.

此外, 太湖是一个重要的生态系统和水资源供应地. 湖区拥有丰富的水生动植物资源^[25, 30, 32], 其中包括了许多珍稀濒危物种, 如太湖鲢鱼、长江鲟等. 太湖还是重要的水利枢纽, 有多条主要河流和运河从太湖流出, 如苏州河、太仓河、太湖渚和南浔河等, 这些河流为周边地区提供了丰富的水资源^[32-33], 支撑了当

地的经济和社会发展. 太湖月尺度水体面积提取是对其进行水资源管理和生态环境监测的重要手段之一, 可以为太湖的管理、保护和可持续利用提供重要的数据支持.

1.2 数据说明 在本研究中, 通过使用 Python API 从 Google Earth Engine 云平台调用和下载 JRC(Joint Research Centre) Monthly Water History v1.3 数据集提供的月尺度全球水体数据^[34], 可以方便地获取大规模的全球水体信息, 为遥感领域的专家学者提供了极大的便利. Google Earth Engine 是一个基于云端的行星级地理空间分析平台, 不仅可以在线调用和处理大量地理空间数据集, 还支持结果的快速可视化和分享, 可以帮助用户更高效地完成遥感数据的采集和处理, 同时也为数据科学家和环境科学家等跨领域研究者提供了一个强大的工具. 使用 Google Earth Engine 可以节省大量时间和计算资源, 从而加快研究进程, 提高研究效率^[35]. JRC Monthly Water History v1.3 数据集包含了 1984—2020 年的月度水体历史数据, 数据源为 Landsat、Sentinel 等多源遥感数据, 覆盖了全球范围内的湖泊、河流和水库等水体. 数据集提供了不同的数据格式(GeoTIFF、NetCDF 和 Zarr)和分辨率(30 和 250 m), 同时还提供了多种水体分类算法和质量评估指标. 此外, 该数据集通过 40 124 个控制点的验证, 整体错分误差 $<1\%$ 、漏分误差 $<5\%$ ^[16], 该数据集在水资源管理、生态环境保护、气候变化等领域具有重要的应用价值, 数据具有很高的可靠性并已得到广泛认可和应用.

总之, 作为全球范围内经过验证的连续水体数据集, JRC Monthly Water History v1.3 集有望提供信息以支持水体资源的管理决策^[16]. 本研究使用了从 1985 年 1 月—2020 年 12 月 JRC Monthly Water History v1.3 数据集, 分辨率为 30 m. 数据集只有 1 个波段, 有 3 种可能取值, 分别为 0、1、2, 其中 0 表示 No data, 1 代表非水体, 2 代表水体. 数据地理坐标系为 GCS_Krasovsky_1940, 投影坐标系为 Krasovsky_1940_Albers, 是一种具有二次纬度校正的投影, 又称“正交等概率割圆锥投影”和“双轴纬度等概率圆锥投影”, 由于其等面积性质, 可以保证计算出的面积值与真实面积值的误差很小. 通过该数据集来提取太湖的月尺度水体面积, 并且可以通过比较不同时间段的数据来分析太湖的水体变化情况.

1.3 研究方法 本研究使用基于水体分类增强算法纠正的水体提取方法. 通过叠加全球地表水数据集^[34]提供的所有月度水覆盖图像, 得到水发生值数据. 每个像素值代表该像素在近 30 多年期间被水覆盖的频

率(以百分比表示). 算法假设所有大于等于某一水发生阈值的像元都应该是水像元. 水体分类增强算法分为 5 步: 1) 读入栅格数据; 2) 计算污染率, 过滤极度污染/高质量图像; 3) 计算数据计数阈值、发生阈值; 4) 遍历栅格像素, 大于等于发生阈值的像素分类为水体; 5) 输出栅格数据及统计值.

在水体数据集和水发生值数据的基础上, 以太湖矢量数据作为掩膜数据进行栅格裁剪, 获得 1985—2020 年太湖区域水体数据集和水发生值数据. 接下来, 在水体分类增强算法的过程中过滤受污染严重的图像. 如果掩膜内 No data 像素的百分比 $\geq 95\%$, 则图像会因极度污染而被丢弃; 如果百分比 $<5\%$, 图像将被视为高质量图像并且不会对其进行增强^[36]. 完成过滤后, 计算关键阈值. Zhao 等^[36]在实现水体分类增强算法中计算关键阈值时, 首先计算像素计数的平均值, 然后乘以加权因子 ω 以生成“计数阈值”, 经过试验发现加权因子 ω 为 0.17 时对大多数水库表现良好. 接下来识别大于或等于计数阈值的第 1 个像素计数, 将其定义为“发生阈值”. 最后执行水体分类的增强. 发生阈值可以帮助我们更准确地识别哪些像素点代表水体. 如图 2 为 2008 年 4 月水发生值直方图, 该水体数据集的水发生阈值为 81. 在该数据集中, 水发生值大于等于发生阈值的像素均会被重新分类为水体, 以此来增强水体的检测和提取, 获得增强后水覆盖图和水体面积数据.

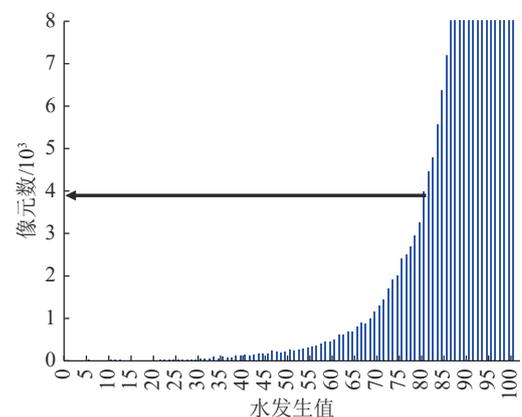


图 2 水发生值直方图

如图 3 是以 2008 年 4 月太湖水体数据集和水发生值数据为例绘制的水体增强流程图, 其中图 3-a 为原始水体栅格数据集图像, 经过提取 No data 像元获得待增强区域掩膜. 图 3-b 为水发生值栅格图像, 提取大于等于发生阈值的像元作为掩膜, 作为待分类增强为水像元区域掩膜, 其中颜色代表该像元的水发生值, 颜色越靠近红色, 表示近 30 年水发生值越大, 接近 99%, 越靠近绿色则表明该像元下水发生值越小.

图 3-c 为经过水体分类增强算法处理后,太湖水体覆盖图栅格。

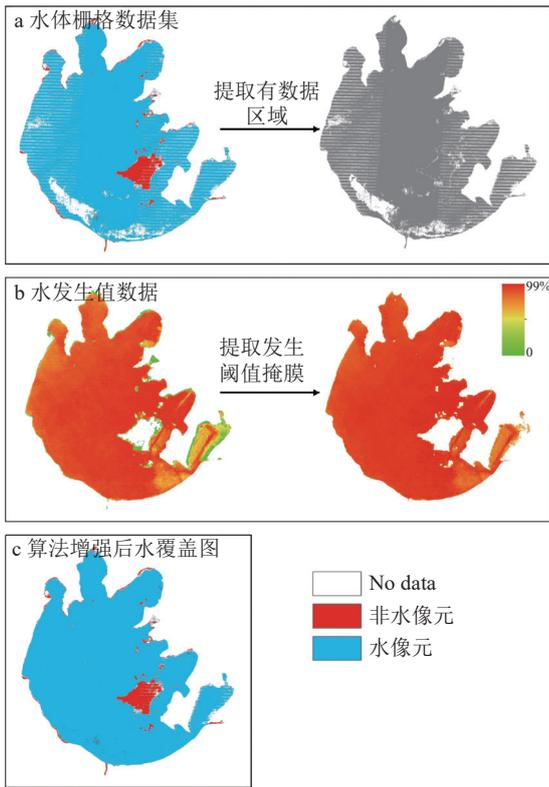


图 3 水体增强流程

使用上述算法,可以根据原水体数据集准确计算太湖水体面积。但当掩膜区域 $>95\%$ 的像素为 No data 时,我们认为其受到极度污染而丢弃该月份数据,因而无法估计该月的水体面积。对此,在水体面积提取结束和水体分类增强后,使用插值法填补该月缺失的水体面积估计值。

2 结果与讨论

2.1 水体提取结果对比分析

通过使用水体数据集并结合水发生值数据和水体分类增强算法,得到近 30 年太湖水体面积的时空变化,从而更准确地评估太湖水体的变化趋势。通过使用分类增强算法,可以更准确地检测水体,降低了云、云阴影、照明度和地形阴影等因素的对水体面积造成的低估,因此可以得到更可靠的结果。

实验发现,通过水发生值使用水体分类增强算法进行水体提取,水体提取结果得到了明显的纠正,由原水体数据集得到的近 30 年月尺度平均水体面积约为 $2\,004.85\text{ km}^2$,经算法增强并插值填补后为 $2\,421.00\text{ km}^2$,增强率达 20.76% 。经水体分类增强算法纠正后,太湖水体面积得到明显恢复,月尺度水体面积平均值与真

实值相符。

图 4 分别为 1996 年 6 月、1999 年 11 月、2005 年 9 月、2010 年 4 月、2019 年 1 月水体分类增强前后,太湖区域的水体栅格数据。由图 4-a 所示的 1996 年 6 月太湖水体面积前后对比情况可以看出,太湖南侧及中部可能受到云、云阴影等影响或污染,导致该区域水体数据识别到水的数据不全,水体面积仅为

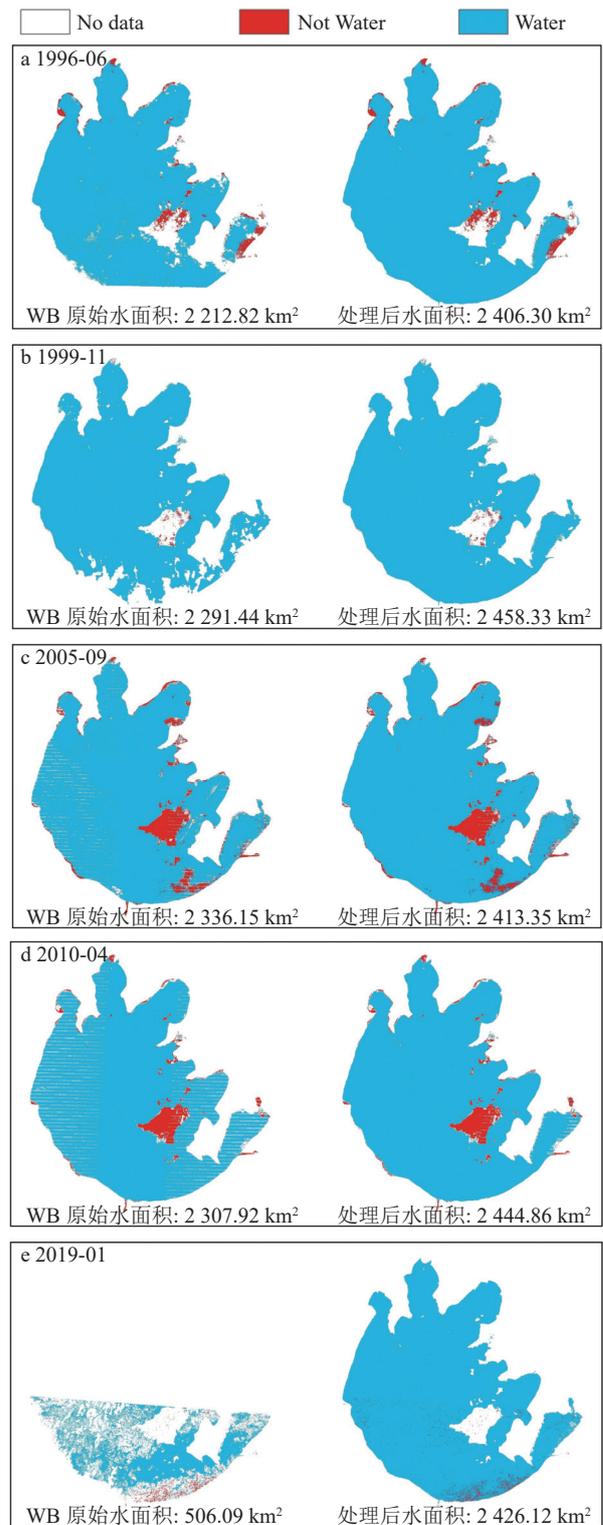


图 4 水体分类增强算法处理前后太湖水体面积

2 212.82 km². 经过水体分类增强算法纠正后, 较好地恢复了该月份真实水体面积, 为 2 406.30 km². 从算法处理前后对比图中不难发现(图 4-b), 太湖四周由于受到云、云阴影等污染, 该区域水体数据部分受到云或云阴影的影响缺失, 且对非水区域也没有很好的识别.

从 2005 年 9 月(图 4-c)、2010 年 4 月(图 4-d)太湖区域水体原始数据的影像图中可以发现, 可能受到卫星传感器成像等的影响, 水体识别数据中出现大量条纹状数据污染, 经过水体分类增强算法提取后, 水体识别得到了较好的恢复. 由图 4-e 可以明显看出, 2019 年 1 月太湖水体面积的数据大量缺失, 可能受到照明度及卫星传感器等的影响所致, 数据污染率达到 89.73%, 通过水体分类增强算法的提取后, 太湖水体面积的污染情况得到了明显改善, 由原先的 506.09 km² 经算法增强得到 2 426.12 km², 较好地还原了该月份太湖真实水体面积.

通过处理前后栅格数据的图像和水体提取结果数据对比, 水体分类增强算法较好地将太湖月尺度水体数据进行了分类优化和缺失数据的恢复, 能够有效批量化对月尺度及更精细尺度的数据进行水体面积提取.

2.2 月尺度水体面积变化分析 使用水体分类增强算法对水体原始数据进行纠正和水体面积提取时, 可以根据污染水覆盖图准确计算水体的表面积. 但是当水体数据集 >95% 的数据为 No data 时, 该图像因极度污染被舍弃, 无法估计该月份的水体表面积. 因此, 在水体增强算法对水体原始数据进行增强后, 对缺失月份水体面积进行插值处理.

表 1 为算法处理前后太湖月尺度水体面积的统计数据. 由于大量异常值的影响, 太湖月尺度原水体面积平均值为 2 004.85 km², 明显低于真实值. 通过对有效月份数据的水体面积增强算法处理, 剔除了水体数据集中数据缺失超过 95% 的月份, 得到有效月份栅格分类数据 308 张, 月尺度水体面积平均值为 2 416.15 km², 与真实值更加相近.

表 1 处理前后太湖月尺度水体统计数据

数据类型	原水体	算法处理后水体	插值后水体
有效月份数	321	308	432
缺失月份数	111	124	0
平均值/km ²	2 004.85	2 416.15	2 421.00
中位数/km ²	2 321.63	2 424.26	2 430.26
方差	478 699.47	2 489.23	2 206.87
最小值/km ²	0.008 1	2 160.82	2 160.82
最大值/km ²	2 490.26	2 491.05	2 496.63

对缺失月份数据进行插值处理后, 太湖月尺度水体面积平均值为 2 421.00 km², 方差由 2 489.23 缩小到 2 206.87. 从图 5 中太湖月尺度水体面积折线图可以看出, 有较多异常值数据影响了原始水体数据集月尺度水体面积, 且其波动范围较大(0.008 1~2 490.26). 其中横坐标为从 1985 年 1 月—2020 年 12 月数据. 通过水体分类增强算法纠正后太湖月尺度水体面积的提取结果, 水体面积数据更加集中, 更好地还原了月尺度下太湖水体面积的真实值. 数据平均值为 2 421.00 km², 方差为 2 206.87, 最大值为 2 496.63 km², 最小值为 2 160.82 km².

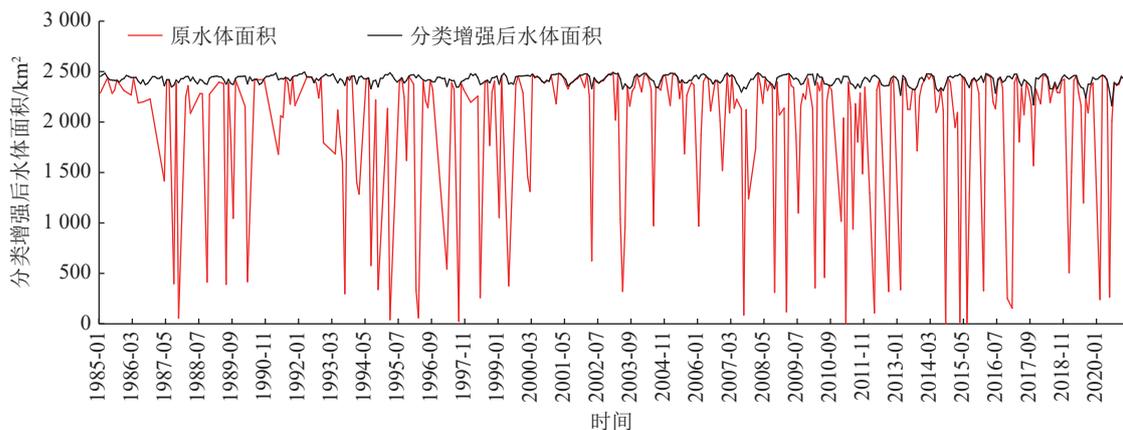


图 5 太湖月尺度水体面积

由图 6 太湖近 30 年月平均水体面积显示, 水体数据集中各月份水体面积整体均低于处理后水体面积, 表明水体分类增强算法在各个月份均表现出较好

的增强提取效果. 其中夏季月份整体水面积较冬季更小, 这可能是由于人为调控而导致. 考虑季节性降水对太湖水体面积所带来的影响. 太湖周边地区存

在多个水闸^[37-39],用于调节太湖水位和控制洪涝灾害.其中最重要的水闸是位于太湖出口的太湖闸,也是国家一级水利工程.此外,太湖还有苏州河口水闸、杨家埠水闸、长泾水闸等^[40-41].太湖水位的调控主要依靠这些水闸的开闭以及相关的水利工程控制.当太湖水位过高时,水闸会开启,通过引导水流来降低水位;当水位过低时,则会关闭水闸,防止水体流失.此外,太湖周边的河道和水库等也会参与到水位调节中来^[38,42].这些措施的目的是保持太湖的水位稳定,同时保护太湖的生态环境和水资源.

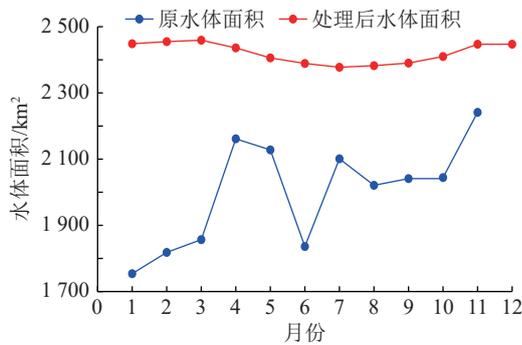


图 6 太湖近 30 年月平均水体面积

本研究中,使用水体分类增强算法来分析太湖的水体提取结果和月尺度水体面积变化,实验结果显示,该算法能够较好地还原该地区水体面积的真实值,从而获得了 1985—2020 年太湖月尺度水覆盖图和水体面积数据.此外,水体分类增强算法可以大大提高水体面积提取的效率和准确性,较好地还原该地区月尺度下水体面积的真实值.

3 结论

长期高分辨率水体数据集提供了全球地表水覆盖率的记录,然而由于 Landsat 图像受到云、云阴影、照明度、地形阴影等多种类型的数据污染,直接从中提取给定区域获得水体面积等数据并不准确,无法为水资源分析和科学管理等决策提供有力支撑.

本研究通过水体分类增强算法来修复受污染的水域数据,较好地还原了太湖月尺度水体面积的真实值,可以获得较高质量的面积估计,针对缺失月份数据进行插值填补,获得 1985—2020 年太湖月尺度水覆盖图和水体面积数据,其中数据方差由 478 699.47 锐减到 2 206.87,水体面积平均值为 2 421.00 km²,增强率达 20.76%.

本研究通过水体分类增强算法,在长期高分辨率水体数据集的基础上,对太湖月尺度水体面积进行了纠正,最终获得 1985—2020 年太湖月尺度水覆盖图

和水面积数据.本次研究也有一些不足,如在水体分类增强算法中计算计数阈值的加权因子方面,仍沿用 Zhao 等^[36]算法研究时验证的数值,虽然算法的计数阈值已经过相关的验证,但并未针对太湖地区近 30 年数据设计不同的计数阈值进行对比研究.此外,本研究未针对不同年份太湖月尺度水体变化的规律和趋势进行更加详细的分析,在未来的研究中可以进一步拓展,以提取太湖月尺度水体面积,可以更好地了解太湖生态系统的变化趋势,指导水资源的合理利用和管理,为保护太湖生态系统提供科学依据.研究过程中所使用的数据处理代码均进行了高内聚、低耦合设计,有利于根据未来的需要高效复用到其他研究区域.通过水体分类增强算法的实现,研究提供的 30 多年太湖月尺度水体面积数据,可为水资源分析与科学管理提供详细的数据支撑.

4 参考文献

- [1] MCDONALD R I, WEBER K, PADOWSKI J, et al. Water on an urban planet: urbanization and the reach of urban water infrastructure[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 27: 96
- [2] 赵克华, 郑朝晖, 李金宵, 等. 基于无人机正射影像的河道水域动态监测模型的研究: 以浙江省宁波市鄞州区为例[J]. *水利水电技术*, 2019, 50(10): 77
- [3] BENSON L V, PAILLET F L. The use of total lake-surface area as an indicator of climatic change: examples from the Lahontan Basin[J]. *Quaternary Research*, 1989, 32(3): 262
- [4] ABATZOGLOU J T, DOBROWSKI S Z, PARKS S A, et al. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 170191
- [5] WANG Y L. Social-ecological impacts of concurrent reservoir inundation and reforestation in the Three Gorges region of China[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2010, 100(2): 243
- [6] LEHNER B, LIERMANN C R, REVENGA C, et al. High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2011, 9(9): 494
- [7] LETTENMAIER D P, ALSDORF D, DOZIER J, et al. Inroads of remote sensing into hydrologic science during the WRR era[J]. *Water Resources Research*, 2015, 51(9): 7309
- [8] DU Y, XUE H P, WU S J, et al. Lake area changes in the middle Yangtze region of China over the 20th century[J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(4): 1248
- [9] WOOLWAY R I, KRAEMER B M, LENTERS J D, et al. Global lake responses to climate change[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, 1(8): 388

- [10] CUI L J, GAO C J, ZHAO X S, et al. Dynamics of the lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin, China, since late nineteenth century[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, 185(5): 4005
- [11] KLEIN I, GESSNER U, DIETZ A J, et al. Global WaterPack: a 250 m resolution dataset revealing the daily dynamics of global inland water bodies[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 198: 345
- [12] KHANDELWAL A, KARPATNE A, MARLIER M E, et al. An approach for global monitoring of surface water extent variations in reservoirs using MODIS data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 113
- [13] GAO H L, BIRKETT C, LETTENMAIER D P. Global monitoring of large reservoir storage from satellite remote sensing[J]. *Water Resources Research*, 2012, 48(9): W09504.1
- [14] WANG X Y, WANG W J, JIANG W G, et al. Analysis of the dynamic changes of the Baiyangdian Lake surface based on a complex water extraction method[J]. *Water*, 2018, 10(11): 1616
- [15] 李生生, 王广军, 梁四海, 等. 基于 Landsat-8 OLI 数据的青海湖水体边界自动提取 [J]. *遥感技术与应用*, 2018, 33(4): 666
- [16] PEKEL J F, COTTAM A, GORELICK N, et al. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes[J]. *Nature*, 2016, 540: 418
- [17] LI S M, SUN D L, GOLDBERG M, et al. Derivation of 30-m-resolution water maps from TERRA/MODIS and SRTM[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 134: 417
- [18] SUN F D, SUN W X, CHEN J, et al. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2012, 33(21): 6854
- [19] YAMAZAKI D, TRIGG A M, IKESHIMA D. Development of a global ~ 90 m water body map using multi-temporal Landsat images[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 171: 337
- [20] ZHANG S, GAO H L, NAZ B S. Monitoring reservoir storage in South Asia from multisatellite remote sensing[J]. *Water Resources Research*, 2014, 50(11): 8927
- [21] ZHANG G Q, YAO T D, CHEN W F, et al. Regional differences of lake evolution across China during 1960s-2015 and its natural and anthropogenic causes[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 221: 386
- [22] 胡庆芳, 朱荣进, 王银堂, 等. 太湖流域典型洪水的降水和水位要素解析 [J]. *水利水运工程学报*, 2022(5): 40
- [23] 杨素, 万荣荣, 李冰. 太湖流域水文连通性: 现状、研究进展与未来挑战 [J]. *湖泊科学*, 2022, 34(4): 1055
- [24] 潘鑫, 杨子, 杨英宝, 等. 基于高分六号数据提取太湖蓝藻方法的对比及适用性分析 [J]. *湖泊科学*, 2022, 34(6): 1866
- [25] 朱颖, 王杉, 冯育青. 近 30 年太湖流域湿地生态系统服务价值对景观格局变化的响应: 基于“退田还湖”工程的实施 [J]. *中国园林*, 2022, 38(1): 88
- [26] 吴小靖, 柳子豪, 金美华, 等. 环太湖出入湖水量变化背景下东太湖水环境的水文影响要素 [J]. *净水技术*, 2023, 42(2): 62
- [27] 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
- [28] 毛锴楠. 基于多目标优化的水环境治理研究: 以太湖流域为例 [D]. 南京: 南京大学, 2022: 71
- [29] 荆思佳, 肖薇, 王晶苑, 等. 1958—2017 年太湖蒸发量年际变化趋势及主控因子 [J]. *湖泊科学*, 2022, 34(5): 1697
- [30] 梁永春, 尹芳, 赵英芬, 等. 基于 Landsat 8 影像的太湖生化需氧量遥感反演 [J]. *生态环境学报*, 2021, 30(7): 1492
- [31] 吴浩云, 刘敏, 金科, 等. 多目标驱动的太湖调度水位研究 [J]. *湖泊科学*, 2023, 35(3): 1009
- [32] 蔡梅, 钱旭, 王元元, 等. 太湖入、出湖区磷的特征及其影响因素分析 [J]. *湖泊科学*, 2022, 34(5): 1493
- [33] 陈争, 王秀珍, 吕恒, 等. 太湖实测水温多时间尺度变化特征及影响因素 [J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(12): 4793
- [34] GORELICK N, HANCHER M, DIXON M, et al. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202: 18
- [35] ZHU Y N, YE A Z, ZHANG Y H. Changes of total and artificial water bodies in inland China over the past three decades[J]. *Journal of Hydrology*, 2022, 613: 128344
- [36] ZHAO G, GAO H L. Automatic correction of contaminated images for assessment of reservoir surface area dynamics[J]. *Geophysical Research Letters*, 2018, 45(12): 6092
- [37] 严剑卫, 蔡惠飞, 陆红芳, 等. 江苏省太湖地区水闸闸门漏水检测技术需求分析 [J]. *江苏水利*, 2018(1): 55
- [38] 戈礼宾, 张泉荣, 黄利亚. 太湖进出水量变化及水量平衡初步分析 [J]. *江苏水利*, 2007(11): 33
- [39] 宋怡. 太湖流域北部地区传统聚落景观空间格局研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2020: 125
- [40] 王红霞. 浅谈吴中区东太湖大堤节制闸设计 [J]. *湖南水利水电*, 2014(3): 13
- [41] 王旭强, 郑鱼洪, 王红方, 等. 世界灌溉工程遗产文化与工程建设融合浅析: 以太湖大钱水闸改造工程为例 [J]. *中国水利*, 2022(9): 61
- [42] 尤林贤, 史益鲜, 钟惠钰. 水闸工程倒流预测及日平均流量推算的探索 [J]. *水利水电工程设计*, 2022, 41(3): 18

Extraction of high-precision water area of Taihu Lake on the monthly scale from 1985 to 2020

ZHANG Xinchun ZHU Yinuo YE Aizhong

(State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing, China)

Abstract As an important resource for human survival and development, water resources play an important role in maintaining the health and stability of ecosystems and sustainable social and economic development. With continued progress and development of remote sensing technology, it is of great significance to carry out dynamic monitoring and analysis of water bodies through remote sensing for scientific management and sustainable development of water resources. Interferences from clouds, cloud shadows, and other factors often make it difficult to obtain water area data with high temporal resolution. Long-term high-resolution water mask dataset is examined in this work, water classification enhancement algorithm was applied to correct pixels polluted by clouds, cloud shadows, terrain shadows, to provide a monthly water cover map and water area data of the Taihu Lake from 1985-2020. The average water area was found to be 2 421.00 km², the data variance was sharply reduced compared with before correction. The averaged area enhancement rate was reliably only 20.76%. These data could be used to support water analysis and management, to provide support for maintaining ecological balance and sustainable use of water resources in this region.

Keywords Taihu Lake; monthly scale; water body area

【责任编辑:刘先勤】