引文格式：陈林,邓越. 四川省大型湖泊和水库水体长时序时空变化分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(7): 72-75. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.07.016

四川省大型湖泊和水库水体长时序时空变化分析

陈　林[1]，邓　越[1*]
（1. 成都大学 建筑与土木工程学院，四川 成都 610106）

摘　要：采用2000—2020年欧盟委员会联合研究中心发布的逐年地表永久水体和季节水体数据集，分析了四川省30个大型湖泊和102个大型水库（水体面积在1 km²以上）的水体时空变化特征，探究了水体与降水和陆地水储量的关系。研究结果表明，2000—2020年大型湖泊和水库整体均呈永久水体面积增加、季节水体面积减少的变化趋势；从个体尺度来看，12个大型湖泊的永久水体面积显著增加，7个大型湖泊的季节水体面积显著减少，89个大型水库的永久水体面积显著增加，43个大型水库的季节水体面积显著减少。大型湖泊和水库的永久水体与年降水量、陆地水储量均存在较高的正相关性，相关系数分别达到0.68和0.90。

关键词：永久水体；季节水体；大型湖泊水库；时空变化；四川省
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）07-0072-04

Long Time Series Spatio-temporal Change Analysis of Water Bodies of Large Lakes and Reservoirs in Sichuan Province

CHEN Lin[1], DENG Yue[1]
(1. School of Architecture and Civil Engineering, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: We used the Joint Research Center of European Commission yearly permanent and seasonal water body dataset from 2000 to 2020 to analyze the spatio-temporal changes of water bodies in 30 large lakes and 102 large reservoirs (water areas more than 1 km²) in Sichuan Province. Then, we investigated the relationships between water bodies and precipitation and terrestrial water storage. The results indicated that from 2000 to 2020, both large lakes and large reservoirs showed an increasing and a decreasing trend in permanent and seasonal water bodies, respectively. At the individual scale, 12 large lakes showed a significant increase in permanent water body, 7 large lakes showed a significant decrease in seasonal water body, 89 large reservoirs showed a significant increase in permanent water body, and 43 large reservoirs showed a significant decrease in seasonal water body. The permanent water bodies of large lakes and reservoirs had a high positive correlation with annual precipitation (correlation coefficient is 0.68) and terrestrial water storage (correlation coefficient is 0.90).

Key words: permanent water body, seasonal water body, large lake and reservoir, spatio-temporal change, Sichuan Province

地表水体通常泛指陆表水体，包括河流、湖泊、水库坑塘等，是陆地水循环过程的重要组成部分[1-3]。水体空间分布的动态变化不仅影响洪水调节、气候调控和生境栖息等生态系统服务，而且为人类社会提供了陆地水资源最主要、最直接的来源[4-5]。2017年联合国可持续发展目标的第六目标明确指出将“水相关生态系统的空间范围”作为评价指标之一[6]。遥感卫星为监测地表水体时空变化提供了一系列低、中、高分辨率的数据来源，是目前地表水体动态变化监测的主要数据源[7-9]。欧盟委员会联合研究中心利用Google Earth Engine云平台和Landsat卫星生成了全球30 m分辨率的长时序逐年地表水体分类数据集[10]。该数据集的一个重要特色是根据地表水体出现的频率，将其分为永久水体和季节水体，可为研究地表水体时空变化提供新的视角。因此，本文拟采用该数据集，从永久水体和季节水体两个方面挖掘四川省地表水体长时序时空变化特征。

1　数据来源

本文从PIE-Engine平台下载获取四川省2000—2020年逐年的JRC地表水体数据集。四川省大型湖泊和水库数据来源于Wang X[11]等发布的中国大型湖泊和水库数据集（水体面积在1 km²以上）。本文将中国大

收稿日期：2023-03-13。
项目来源：四川省教育厅2022年省级大学生创新创业训练计划资助项目（S202211079072）。
第一作者简介：陈林（2002—），本科，研究方向为湿地遥感，E-mail：1502240672@qq.com。
通信作者：邓越（1995—），博士，讲师，研究方向为湿地遥感，E-mail：dengyue@cdu.edu.cn。

型湖泊和水库矢量多边形数据与四川省行政区划图进行空间位置相交关系判断，获得位于四川省内的30个大型湖泊和102个大型水库；并采用2020年30 m全球地表覆盖数据GlobeLand30产品提取四川省大型湖泊和大型水库水体。降水数据为全球降水测量第6版的2001—2020年逐月降水数据和热带降雨观测卫星的2000年逐月降水数据，用于分析其与大型湖泊和大型水库水体的相关性。另外，本文根据邓珊珊[12]等发布的全球陆地水储量异常时空分布重建数据集，分析了四川省陆地水储量变化与大型湖泊和水库水体的相关性。该数据为距平值，距平基准期为1981年1月—2020年6月。由于2020年数据仅到2020年6月，因此本文仅利用2000—2019年的数据。

2　研究方法

本文主要采用一元线性回归趋势法分析时间序列数据的变化趋势[13]，即

$$y=a+x\times t$$

式中，y为时间序列数据；t为时间；a为截距。

回归方程式的R^2可表示回归方程的拟合程度，值越大，表示拟合程度越好；且根据线性回归F检验的P值可判断变化趋势是否显著，当$P<0.05$时，表示趋势显著。皮尔逊相关系数描述了两个变量之间的关系和相关方向，可用于检测两个连续型变量之间的线性相关程度[14]。本文采用皮尔逊相关系数计算地表水体面积与降水和陆地水储量异常的相关性。

3　研究结果与分析

3.1　JRC数据和GlobeLand30数据的对比

本文对比了JRC数据和GlobeLand30数据在四川省大型湖泊和大型水库水体提取上的差异，由于GlobeLand30数据仅包含水体类型，因此先计算JRC数据的永久水体和季节水体综合，再与GlobeLand30数据进行对比，结果见图1，可以看出，两种数据具有高度的一致性，二者的R^2可达0.995，平均偏差为0.21 km^2。JRC数据考虑了水体的季节性波动情况，而GlobeLand30数据并未考虑，因此根据JRC数据得到的水体面积比根据GlobeLand30数据得到的多。

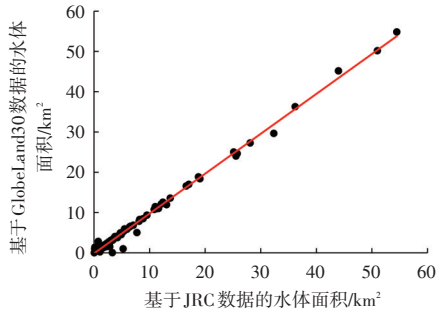


图1　JRC数据和GlobeLand30数据的水体面积对比

3.2　全局尺度的大型湖泊和水库水体变化趋势

2020年四川省大型湖泊和水库水体面积统计见图2，可以看出，大型湖泊的永久水体和季节水体面积分别占四川省永久水体和季节水体面积的6.32%和0.58%；大型水库的永久水体和季节水体面积分别占四川省永久水体和季节水体面积的32.23%和5.48%。

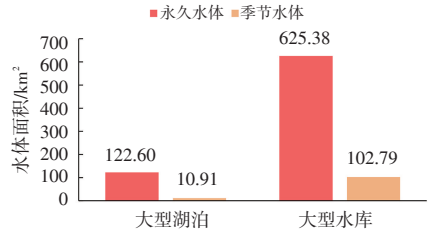


图2　2020年四川省大型湖泊和水库面积统计

进一步分析2000—2020年四川省大型湖泊和水库面积变化趋势发现（图3），大型湖泊的永久水体面积呈显著增加趋势，每年增加面积约为0.36 km^2，而其占四川省永久水体面积的比例却呈显著下降趋势；大型湖泊的季节水体面积波动较大，呈不显著的下降趋势，而其占四川省季节水体面积的比例却

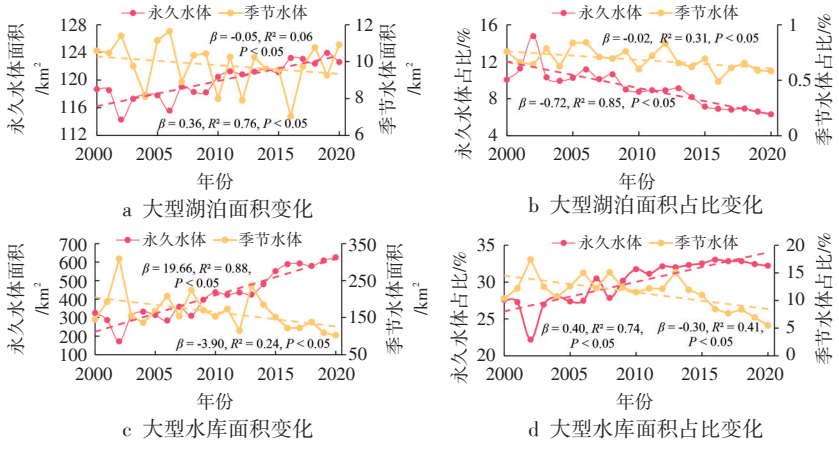
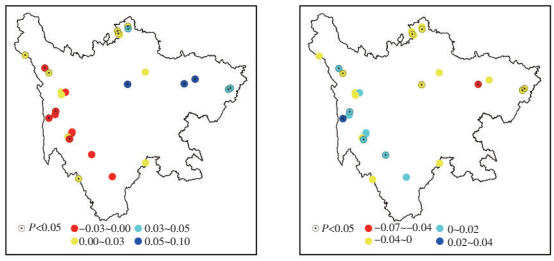


图3　2000—2020年四川省大型湖泊和水库水体变化趋势

呈显著下降趋势。对于四川省大型水库而言，其永久水体面积和占四川省永久水体面积的比例均呈显著增加趋势，每年分别增加19.66 km²和0.40%，其季节水体面积和占四川省季节水体面积的比例均呈显著下降趋势，每年分别下降3.9 km²和0.30%。

3.3 个体尺度的大型湖泊和水库水体变化趋势

由图4可知，在30个大型湖泊中，19个湖泊的永久水体面积呈增加趋势，仅12个呈显著增加趋势，主要位于川东区域；11个湖泊的永久水体面积呈减少趋势，仅4个呈显著减少趋势，主要位于川西区域；11个湖泊的季节水体面积呈增加趋势，仅5个呈显著增加趋势，主要位于川西区域； 19个湖泊的季节水体面积呈减少趋势，仅7个呈显著减少趋势，主要位于川东区域。

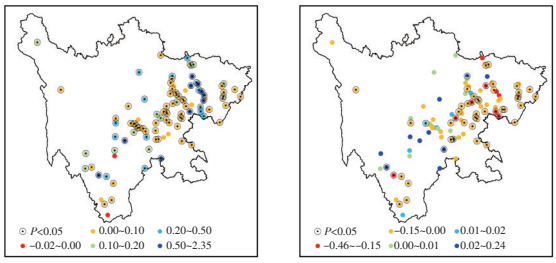


a 永久水体 b 季节水体

图4 2000—2020年四川省大型湖泊永久水体、季节水体面积变化趋势图

审图号：GS(2019)3333

由图5可知，在102个大型水库中，100个水库的永久水体面积呈增加趋势，且89个呈显著增加趋势；62个水库的永久水体面积增加趋势强度在0.01 km²/a内；28个水库的季节水体面积呈增加趋势，仅5个呈显著增加趋势；74个水库的季节水体面积呈减少趋势，且43个呈显著减少趋势；64个水库的季节水体面积减少趋势强度在−0.15 km²/a以上，可以发现永久水体面积增加的大型水库区域大致对应季节水体面积减少的大型水库区域。



a 永久水体 b 季节水体

图5 2000—2020年四川省大型水库永久水体、季节水体面积变化趋势图

审图号：GS(2019)3333

3.4 大型湖泊和水库水体变化与降水的关系

由图6可知，2000—2020年四川省年降水量呈显著增加趋势，增加速率为9.83 mm/a，降水的增加导致非水体和季节水体转换为永久水体的可能性增加，研究发现无论是大型湖泊还是大型水库，年降水量与它们永久水体的相关系数均呈正值，分别为0.63和0.68；大型湖泊季节水体变化与降水的相关系数较低，仅为−0.03，大型水库季节水体变化与降水的相关系数为−0.55。若同时考虑永久水体和季节水体，大型湖泊和大型水库的水体面积与年降水的相关系数为0.68和0.60；若同时考虑大型湖泊和大型水库，则它们的永久水体和季节水体面积与年降水的相关系数为0.68和−0.55。

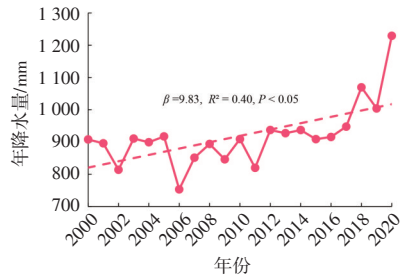


图6 2000—2020年四川省年降水量变化趋势

3.5 大型湖泊和水库水体变化与陆地水储量的关系

由图7可知，2000—2019年四川省陆地水储量呈显著增加趋势，增加速率为0.59 cm/a，湖泊和水库水体是陆地水储量的重要组成部分，湖泊和水库水体增加，则陆地水储量增加；反之，则陆地水储量减少。研究发现无论是大型湖泊还是大型水库，陆地水储量与它们永久水体的相关系数均呈正值，且相关系数可达0.83和0.9；大型湖泊季节水体变化与陆地水储量的相关系数较低，为−0.34，大型水库季节水体变化与陆地水储量的相关系数为−0.43。若同时考虑永久水体和季节水体，大型湖泊和水库水体面积与陆地水储量的相关系数为0.78和0.92；若同时考虑大型湖泊和大型水库，则它们的永久水体和季节水体面积与陆地水储量的相关系数为0.90和−0.43。

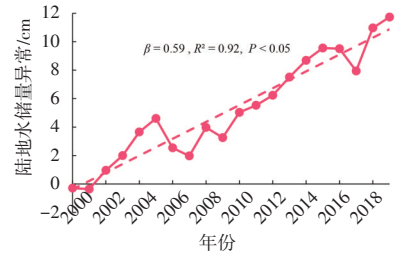


图7 2000—2019年四川省陆地水储量异常变化趋势以及与地表水体的相关系数

4 结 语

本文采用地表水体数据集、中国大型湖泊和水库数据集、降水数据集和陆地水储量数据集，分析了

2000—2020年四川省30个大型湖泊和102个大型水库（水体面积在1 km^2以上）的水体时空变化特征，并探究了水体与降水和陆地水储量的关系。

1）大型湖泊和水库对于四川省地表水体具有较高的贡献率。2020年四川省大型湖泊和水库的永久水体面积占四川省永久水体的38.55%，季节水体面积占四川省季节水体的6.06%。

2）2000—2020年大型湖泊整体上呈永久水体面积增加、季节水体面积减少的变化趋势。30个大型湖泊中，12个湖泊的永久水体面积呈显著增加趋势，主要位于川东区域；4个湖泊的永久水体面积呈显著减少趋势，主要位于川西区域。

3）2000—2020年大型水库整体上呈永久水体面积增加、季节水体面积减少的变化趋势。89个大型水库的永久水体面积呈显著增加趋势，43个大型水库的季节水体面积呈显著减少趋势，在空间分布上永久水体面积增加的大型水库区域大致对应季节水体面积减少的大型水库区域。

4）大型湖泊和水库的永久水体与年降水量、陆地水储量均存在较高的正相关性，相关系数分别达到0.68和0.90。年降水量的显著增加是大型湖泊和水库水体面积增加的重要因素，四川省大型湖泊和水库水体的变化对于陆地水储量变化具有重要影响。

本文采用的主要数据为JRC水体数据，其不确定性是最重要的。首先，JRC水体数据是根据Landsat遥感数据提取的，其空间分辨率为30 m，因此无法捕捉小于30 m×30 m的水体分布，可能导致低估水体提取结果；其次，JRC水体分类数据是根据地表水体出现的频率，将地表水体分为永久水体和季节水体，由于云的污染，不同区域可获得的清晰影像数量存在差异，从而导致不同区域的地表水体出现频率可能不具有对比性。遥感影像时空融合算法通过融合高空间分辨率、低时间分辨率遥感影像与低空间分辨率、高时间分辨率遥感影像，生成同时兼具高空间分辨率和高时间分辨率的遥感影像，可极大改善对快速变化的地表水体的遥感监测结果[15-16]，如Ye X[17]等融合MODIS和Landsat影像，生成每8 d 30 m分辨率的遥感影像，并计算与分析鄱阳湖水体出现的频率。遥感影像时空融合监测水体将是后续拓展的方向。

参考文献

[1] Huang C, Chen Y, Zhang S, et al. Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water from Space Using Optical Sensors: A Review[J]. Reviews of Geophysics, 2018, 56(2):333-360

[2] 周岩，董金玮. 陆表水体遥感监测研究进展[J]. 地球信息科学学报，2019，21(11):1 768-1 778

[3] 汤秋鸿，张学君，戚友存，等. 遥感陆地水循环的进展与展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版)，2018，43(12):1 872-1 884

[4] Deng Y, Jiang W, Tang Z, et al. Long-term Changes of Open-surface Water Bodies in the Yangtze River Basin Based on the Google Earth Engine Cloud Platform[J]. Remote Sensing, 2019, 11(19):2 213

[5] 王美雅，徐涵秋，付伟，等. 城市地表水体时空演变及其对热环境的影响[J]. 地理科学，2016，36(7):1 099-1 105

[6] Deng Y, Jiang W, Wu Z, et al. Assessing Surface Water Losses and Gains Under Rapid Urbanization for SDG 6. 6. 1 Using Long-term Landsat Imagery in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China[J]. Remote Sensing, 2022, 14(4):881

[7] 骈蔚然，张莉，耿晴. 基于山地水体指数的水体边界提取方法[J]. 地理空间信息，2022，20(3):25-29

[8] 经波，宁文怡. 基于阈值分割与决策树的SAR影像水体信息提取[J]. 地理空间信息，2021，19(3):46-49

[9] 岑铭. 基于GEE平台的广西地表水时空特征分析[J]. 地理空间信息，2023，21(2):17-22

[10] 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(7 633):418-422

[11] Wang X, Xiao X, Qin Y, et al. Improved Maps of Surface Water Bodies, Large Dams, Reservoirs, and Lakes in China[J]. Earth System Science Data, 2022, 14(8):3 757-3 771

[12] 邓珊珊，刘苏峡，莫兴国，等. 全球陆地水储量异常时空分布重建数据集(1981-2020) [J/OL]. (2023-02-03) [2023-03-04]. https://www. geodoi. ac. cn/WebCn/doi. aspx?Id=3226，全球变化数据仓储电子杂志(中英文)，DOI:10. 3974/geodb. 2023. 02. 03. V1

[13] 姜瑶，徐宗学，王静. 基于年径流序列的五种趋势检测方法性能对比[J]. 水利学报，2020，51(7):845-857

[14] 孙思琦，陈永喆，王聪，等. 华北地区生态保护与恢复的水资源效应研究[J]. 中国工程科学，2022，24(5):97-106

[15] Huang C, Chen Y, Zhang S, et al. Surface Water Mapping from Suomi NPP-VIIRS Imagery at 30 m Resolution Via Blending with Landsat Data[J]. Remote Sensing, 2016, 8(8):631

[16] Heimhuber V, Tulbure M G, Broich M. Addressing Spatio-temporal Resolution Constraints in Landsat and MODIS-based Mapping of Large-scale Floodplain Inundation Dynamics[J]. Remote Sensing of Environment, 2018, 211: 307-320

[17] Ye X, Meng Y, Xu L, et al. Net Primary Productivity Dynamics and Associated Hydrological Driving Factors in the Floodplain Wetland of China's Largest Freshwater Lake[J]. Science of the Total Environment, 2019, 659:302-313