

文章编号: 2096-1618(2024)04-0470-07

近20年若尔盖高原陆地水储量变化分析

张麓, 仙巍, 樊松林, 杨增平
(成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225)

摘要:黄河上游若尔盖高原湿地区多年来存在湿地退化萎缩的趋势, 维持若尔盖地区的陆地水储量对湿地区生态环境保护和经济发展有重要意义。为更好地分析近20年来的若尔盖高原地区陆地水储量时空分布和变化情况, 运用GRACE重力卫星数据, 进行降尺度处理后, 结合统计方法, 对若尔盖高原地区2003–2020年的陆地水储量时空分布及其与降水的关系进行讨论和分析。研究结果表明: 研究时段内, 若尔盖陆地水储量呈上升趋势, 增长速率为1.37 cm/a, 且有明显季节性变化特征; 小波分析显示11 a为陆地水储量变化的第一主周期; 空间分布上, 水储量有从东部地区向西部地区逐渐降低的趋势。计算降水与水储量变化之间的相关性系数为年际尺度0.497和年内尺度0.402, 两者为中等相关关系, 降水是陆地水储量变化的主要驱动因子之一。

关键词: GRACE; 陆地水储量; 若尔盖高原
中图分类号: P426.61⁺4 **文献标志码:** A
doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2024.04.012

0 引言

陆地水储量(terrestrial water storage, TWS)是指地表垂直剖面内所有不同形式的水分的总和, 主要由地表水储量(如河流水、湖泊水、湿地水以及水库蓄水等)、土壤水储量、地下水储量以及冰川积雪和植被冠层含水量共同组成^[1], 是全球水循环的重要组成部分。水储量变化(terrestrial water storage change, TWSC)是指区域水储量相对多年平均水储量的偏移情况^[2], 可以反映流域输入水量与输出水量之间的水量平衡关系, 是全球水循环观测的重要参数。水资源不仅是人类赖以生存的基础性自然资源, 也是关系着国家经济和社会发展的战略性经济资源^[3], 陆地水储量及其变化的相关研究对更加合理地开发和保护水资源, 减缓水资源供需矛盾具有重要意义。

近年来, 重力卫星观测技术高精度的重力场变化信息显著提高了水储量变化监测的精度和时空分辨率, 为水储量变化研究提供了便利。GRACE(gravity recovery and climate experiment)重力卫星计划实施后, 国内外一些学者基于GRACE数据开展了水储量变化相关研究。美国北部高平原地区、欧洲中部地区、美国加州中央河谷地区等, 以及中国贵州喀斯特地区、华北京津冀地区、青藏高原等区域都进行了陆地水储量变化反演研究, 并取得了一定成果。胡小工等^[4]利用GRACE数据从不同侧重点分析了长江流域水储量的变化, 研究表明长江

流域水储量的周年变幅可达3.4 cm等效水高。Scanlon等^[5]和Framiglietti等^[6]在加利福尼亚峡谷, Henry等^[7]在非洲马里南部的研究也都证明了GRACE数据具有监测更小尺度水储量变化的能力。

若尔盖高原是世界上最大的高原高寒湿地之一, 是黄河上游源区重要的水源涵养地和补给地^[8], 对黄河流域的生态平衡具有重要作用。多年来, 在人类活动和全球气候变暖的双重影响下, 若尔盖高原湿地出现了储水性破坏、面积萎缩等问题。湿地退化的直接结果就是水储量的减少, 但目前对若尔盖地区水储量的研究很少, 对湿地水储量定量分析的研究不多见。因此, 分析和研究若尔盖高原地区水资源的变化对黄河上游的生态环境保护和经济社会发展都有重要作用。

本研究将基于GRACE重力卫星数据来反演陆地水储量, 采用随机森林算法模型进行空间降尺度, 分析若尔盖高原地区陆地水储量的时空变化特征。由于降水是水循环中最重要的一环, 本研究将结合降水数据, 探究陆地水储量变化与降水之间的关系, 为若尔盖地区水储量研究提供方法参考和数据支持。

1 研究区概况

若尔盖高原位于青藏高原东北部(图1), 西临巴颜克拉山, 东抵岷山, 南至邛崃山, 是一块四面环山且非常完整的丘状高原^[9], 区位坐标为101°36'E ~ 103°25'E, 32°21'N ~ 34°08'N。行政区域涉及四川省西北部的若尔盖县、红原县、阿坝县, 青海省东南部的久治县以及甘肃省西南部的玛曲县、碌曲县。

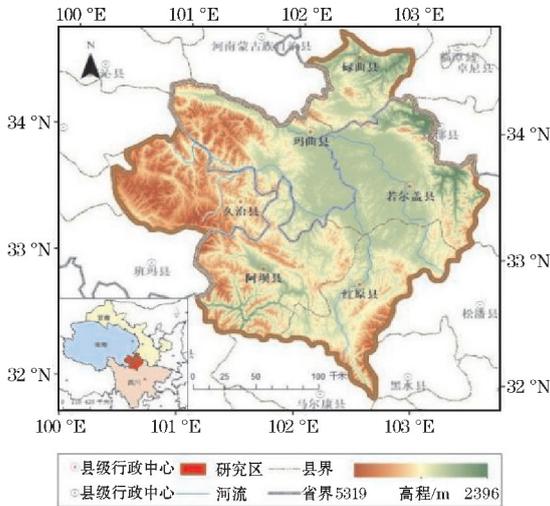


图1 研究区地理位置

若尔盖高原气候受青藏高原影响强烈,为典型的大陆性高原寒温带湿润季风气候,四季变化不明显但干湿季节显著^[10]。年均降雨量 600 ~ 800 mm,5-10 月为雨季,降水量占全年降水的 84%。若尔盖高原是黄河上游重要的水源涵养区,境内河流众多,流域面积在 100 km² 以上的河流有白河、黑河、沃木曲河,其中白河、黑河总流域面积为 6.78 × 10³ km²。河流水网体系密度大,为 60 km/100 km,流速缓慢,河曲发育。黄河在若尔盖县界流程 87 km,平均比降 0.30%,集水面积 6.78 × 10³ km²。黄河水系还分布着众多小沼泽和牛轭湖、海子等小湖泊,总水面积 48.8 km²^[11]。

2 数据与方法

2.1 数据基础

2.1.1 水储量数据

选取来自美国德克萨斯大学空间研究中心 (https://www2.csr.utexas.edu/grace/RL06_mascons.html) 的 GRACE/GRACE-FO CRS RL06 Mascon V02 产品,时间分辨率为 1 月,空间分辨率为 0.25° × 0.25°。时间跨度为 2003 年 1 月至 2020 年 10 月的 214 个月。由于 GRACE 卫星传感器问题,某些月份数据存在缺失,使用该月份前后两年相同月份的平均值进行线性插补^[12]。另外,2017 年 7 月至 2018 年 5 月,GRACE 和 GRACE-FO 之间存在 11 个月的数据缺失,中国区域基于降水重构陆地水储量变化数据集 (doi: 10.11888/Hydro.tpd.270990) 补充了这段时间的数据。

2.1.2 降水数据

选用来自国家气象科学数据中心 (<https://data.cma.cn/>) 的若尔盖高原若尔盖县、红原县、阿坝县、久治县、玛曲县、碌曲县 6 个县级气象观测站点 2002-2019 年的月均降水量数据,使用反距离权重插值法对各站点的降水数据进行空间插值,以获得连续的空间格网数据。

2.2 研究方法

2.2.1 随机森林

最初基于监测全球重力场,反映全球水储量变化情况的,建立了 GRACE 重力卫星计划。因此,GRACE 数据主要被应用在全球尺度、流域尺度等大尺度的水储量研究中。其原始分辨率对于进行若尔盖高原这样较小尺度区域的陆地水储量变化的研究分析存在困难,所以需要首先对 GRACE 数据进行降尺度处理。

随机森林算法是融合 Bagging 与决策树算法得到的一种集成学习算法^[13]。基础单元为决策树,是将若干棵决策树整合成森林用来预测最终结果的方法。随机森林算法通过自助法重采样技术,对原始数据样本集进行随机采样生成新的样本数据集,然后根据自助样本集生成多个分类树组成随机森林。在对决策树每个节点进行分裂时,特征子集的选择采用随机方法,然后比较不同情况下产生的误差,能检测到内在估计误差、分类能力和相关性决定选择特征的数目,以可选特征空间中信息增益最大为划分标准,最终根据需求生成模型结果。由于两个随机性的引入,随机森林不容易出现过拟合问题,对数据集的适应能力强,且具有良好的抗噪声能力。对于存在大量缺失的数据,也能保持较高的准确性。

本文使用随机森林算法进行 GRACE 数据的降尺度处理,原数据分辨率为 0.25°,基于随机森林模型建立的回归关系,将 1 km 空间分辨率的输入特征应用于模型中,得到 1 km 空间分辨率的若尔盖高原水储量变化数据。

2.2.2 小波分析

小波分析是 1974 年最先由法国人 J. Morlet 提出,可以将一维序列信号转变成以时间和尺度为坐标的二维图像信号^[14],实现时间序列周期性变化的多尺度详细分析,常在水文和气候变化过程的分析研究中。本文使用小波分析方法探讨若尔盖高原陆地水储量变化的多时间尺度变化特征。

进行小波分析之前,首先需要建立小波函数。本文采用 Morlet 小波作为基础小波函数,其表达式:

$$\psi(t) = e^{-t^2/2} e^{ict}$$

式中, $\psi(t)$ 为基础小波函数, i 为虚数, c 为常数。

对于时空域上的有限连续序列 $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$,其小波变换:

$$W_f(a,b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

式中, $W_f(a,b)$ 为小波变换系数, $f(t)$ 为连续序列或平方可积函数, $\bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 与 $\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 实部相同,虚部相反。实际应用中,还需要对连续小波进行离散化处理。得到小波系数后,获取小波系数实部,可以绘制反映尺度

因子、时间因子关系的小波系数实部等值线图,分析时间序列的时频分布特征。

小波方差 $\text{Var}(a)$ 也具有重要意义,它能够根据小波变化得到的有效信号的震荡尺度分解出主要周期变化,得到的小波方差图能够直观反映时间序列各尺度波动及能量随尺度的变化。小波方差是由小波变换系数的平方在时间变化域上对平移尺度进行积分而得到的,即:

$$\text{Var}(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a, b)|^2 db$$

2.2.3 皮尔逊相关性分析

皮尔逊相关性分析方法是用来度量两个变量之间的线性相关程度,在统计学中,皮尔逊相关系数可以定义为两组变量的协方差除以对应变量序列的标准差的乘积。其表达式:

$$r = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

式中, n 为样本数量, X, Y 为进行相关性分析的两组变量。本文使用皮尔逊相关系数分析年际和年内尺度下若尔盖高原陆地水储量变化与降水量之间的相关关系, X 为若尔盖高原不同年份和月份的陆地水储量变化量, Y 为若尔盖高原地区不同年份和月份的降水量。

r 的取值范围为 $-1 \sim 1$, $r=1$ 时,代表两组变量之间为完全正相关关系, $r=-1$ 时,两组变量之间呈完全负相关关系, $r=0$ 时,两组变量线性无关,具体的相关系数与相关性强度的对应关系如表 1 所示。皮尔逊相关系数的假设检验部分用到的是 T 检验方法,当 p 值小于 0.01 或 0.05 时,可以认为通过了显著性检验。

表 1 相关系数与相关强度

相关系数	相关性强度评价
0 ~ 0.2	极弱相关或无相关
0.2 ~ 0.4	弱相关
0.4 ~ 0.6	中等程度相关
0.6 ~ 0.8	强相关
0.8 ~ 1.0	极强相关

3 结果分析

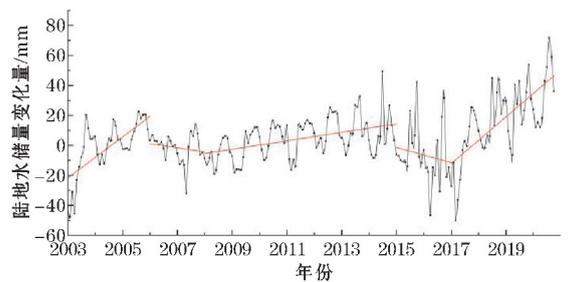
3.1 若尔盖高原水储量的时间变化特征

湿地的退化和萎缩已经成为全球性的湿地变化大趋势,若尔盖高原作为中国最大的湿地保护区之一,也同样出现了沙化等退化现象。为更好地了解若尔盖高原地区的陆地水储量随时间的变化特征,将 2003-2020 年的 214 条陆地水储量数据分别从年际、年内和周期角度进行分析。

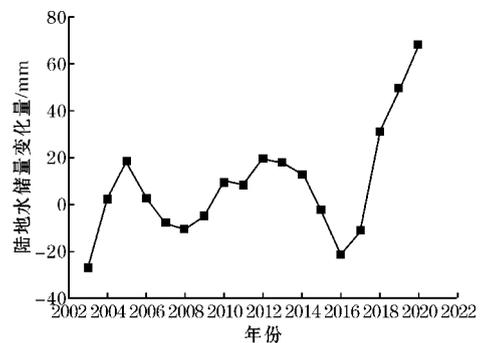
3.1.1 年际变化特征

2003 年以来,若尔盖高原陆地水储量总体上呈现出上升趋势(图 2a),上升速率为 0.13 cm/a。在 2003-2005 年,若尔盖水储量处于上升趋势,上升速率达到 1.37 cm/a;2006-2007 年,陆地水储量表现为缓慢下降的趋势,下降速率为 -0.27 cm/a;2008-2014 年,陆地水储量再次缓步上升,上升速率为 0.28 cm/a;2015-2016 年,水储量的下降速率为 -0.51 cm/a;2017-2020 年,水储量有较大幅度增长,上升速率为 1.56 cm/a。在研究时段内,若尔盖高原陆地水储量为 -50.05 ~ 71.92 mm,其中,陆地水储量最小值出现在 2017 年 3 月,最大值出现在 2020 年 8 月。由图 2(a)可以看出,陆地水储量整体呈现明显的季节性波动,每年的春季会出现亏损最值,盈余最值则在秋季。

由图 2(b)可以看出,研究时段内,2003 年陆地水储量处于亏损状态,是研究时段中的第 1 个谷值,等效水高 -26.73 mm。2003-2005 年,陆地水储量持续增加,在 2005 年达到第 1 个峰值,等效水高 18.14 mm。其后一直到 2008 年,陆地水储量都处于下降的状态,且在 2007 年由盈余转为亏损,2008 年为研究时段内第 2 个谷值,等效水高 -10.34 mm。2009 年开始,到 2012 年为止,陆地水储量再次出现上升趋势,2010 年时陆地水储量再次开始盈余,2012 年等效水高为 19.57 mm,是研究时段内的第 2 个峰值。2013-2016 年,陆地水储量下降,2016 年下降至第 3 个谷值,等效水高 -21.55 mm。2015 年起,陆地水储量开始亏损,2017 年陆地水储量再次呈增长趋势,2018 年由亏损转为盈余,到研究时段末的 2020 年达到最大值,等效水高 67.81 mm。



(a) 陆地水储量逐月变化



(b) 陆地水储量逐年变化

图 2 陆地水储量年际变化特征

3.1.2 年内变化特征

计算研究时段内每年各月份的平均值来分析若尔盖高原陆地水储量的年内变化特征。由图3可以看出若尔盖高原陆地水储量在一年内的变化情况。从年内变化的时间序列来看,若尔盖高原陆地水储量随季节发生周期性变化,水储量高值出现在夏秋季节,低值主要发生在春冬季节。一年内各月份水储量变化量平均值范围在 $-19.53 \sim 35.48$ mm。从上一年的10月至第二年的3月份为止,陆地水储量一直呈现减少的趋势,2月份开始减少至亏损状态,3月降低至最小值,等效水高 -19.53 mm。3-4月开始小幅度出现增长,4-7月增长速率大幅提升,6月开始由亏转盈,6月至次年1月一直呈现盈余状态,10月陆地水储量达到一年中的盈余峰值,等效水高 35.48 mm。

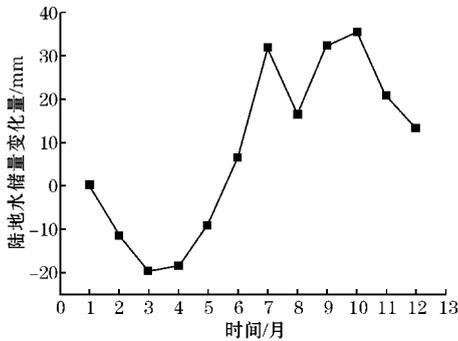
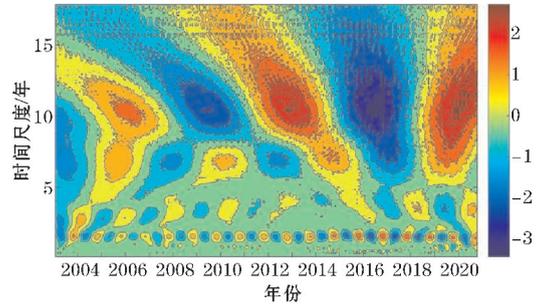


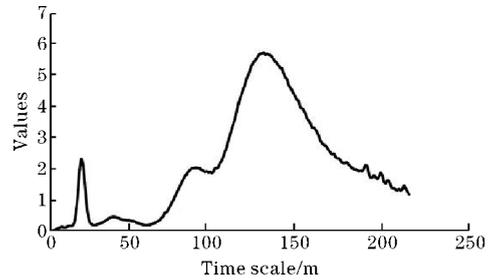
图3 陆地水储量年内变化特征

3.1.3 周期变化特征

对研究时段内214个月的若尔盖高原陆地水储量变化量数据做小波分析,探究陆地水储量的长时间的变化特征。小波分析结果(图4a)表明,近20年的研究时段内,陆地水储量变化量在发展演变过程中存在3个明显的振荡周期。从小尺度的周期来看,对应时频分布图的下部,陆地水储量存在1~2 a左右的小尺度振荡周期,2003-2020年若尔盖高原水储量盈亏交替变化规律明显,周期性十分鲜明。从中尺度的周期来看,对应时频分布图的中部,陆地水储量存在6~8 a左右的中尺度振荡周期,2005-2013年经历了4次盈亏交替。从大尺度的周期来看,对应时频分布图的上部,陆地水储量存在9~13 a左右的大尺度振荡周期,若尔盖高原陆地水储量在2003-2020年出现了6次盈亏交替变化,2003-2004年水储量在亏损状态,2005-2007年为陆地水储量盈余期,2008年过渡至亏损期,2011年转亏为盈,到2014年新的盈余期结束,2015-2018年再次进入一个新的震荡周期的亏损期,2019年到研究时段末是盈余期。另外,在时频分布图上可以看到,3 a左右也存在一个振荡周期,但周期性较不明显,不再深入讨论。从图4(b)的小波方差图可以看出,研究时段内的峰值分别对应3个振荡周期1.5 a、7 a和11 a,由于峰值越高,周期的震荡信号越强,则11 a为若尔盖高原陆地水储量变化的第一主周期。



(a)时频分布图



(b)小波方差图

图4 2003-2020年若尔盖高原陆地水储量变化的小波分析

3.2 若尔盖高原水储量的空间变化特征

3.2.1 年际变化特征

通过2003-2020年若尔盖高原陆地水储量年际变化的空间分布(图5)可以更直观地看出若尔盖高原各个区域的陆地水储量分布和变化情况。2003-2005年若尔盖高原北部地区较南部地区陆地水储量增加更多,是水储量的主要盈余区。2006-2009年,玛曲、久治两个行政区域的陆地水储量盈亏状况变化显著,区域水储量处于隔年增加或减少的状态。2010-2014年,陆地水储量的盈亏具有明显自东向西的变化趋势,盈余幅度由东向西逐渐减少。2015-2017年,陆地水储量的变化自东向西表现为逐渐亏损且亏损幅度较盈余幅度大。2018-2020年,从整个区域总体呈现的陆地水储量盈余状态来看,若尔盖地区水储量盈余地区主要在区域南部,亏损地区主要在区域北部,若尔盖东北部地区有明显的负值变化。

3.2.2 年内变化特征

计算2003-2020年各年月平均值得到若尔盖高原陆地水储量年内变化的空间分布情况(图6)。按照3、4、5月为春季,6、7、8月为夏季,9、10、11月为秋季,12、1、2月为冬季的标准将一年划分四季。由图6可以看出,春季若尔盖高原陆地水储量大多处于亏损状态,春季中的3月与5月南部地区亏损状况较北方地区明显较好,北部的碌曲县和玛曲县亏损最为严重。夏季随着降雨量的增加,若尔盖高原陆地平均水储量均为正值,久治县和玛曲县西部的盈余较其他区域少。秋季若尔盖高原全区整体上仍大致盈余,与东部地区相比,西部区域的水储量增加仍然较少。冬季若尔盖高原陆地水储量持续下降,若尔盖南部的阿坝、红原的大部地区亏损状态不如北部地区剧烈。

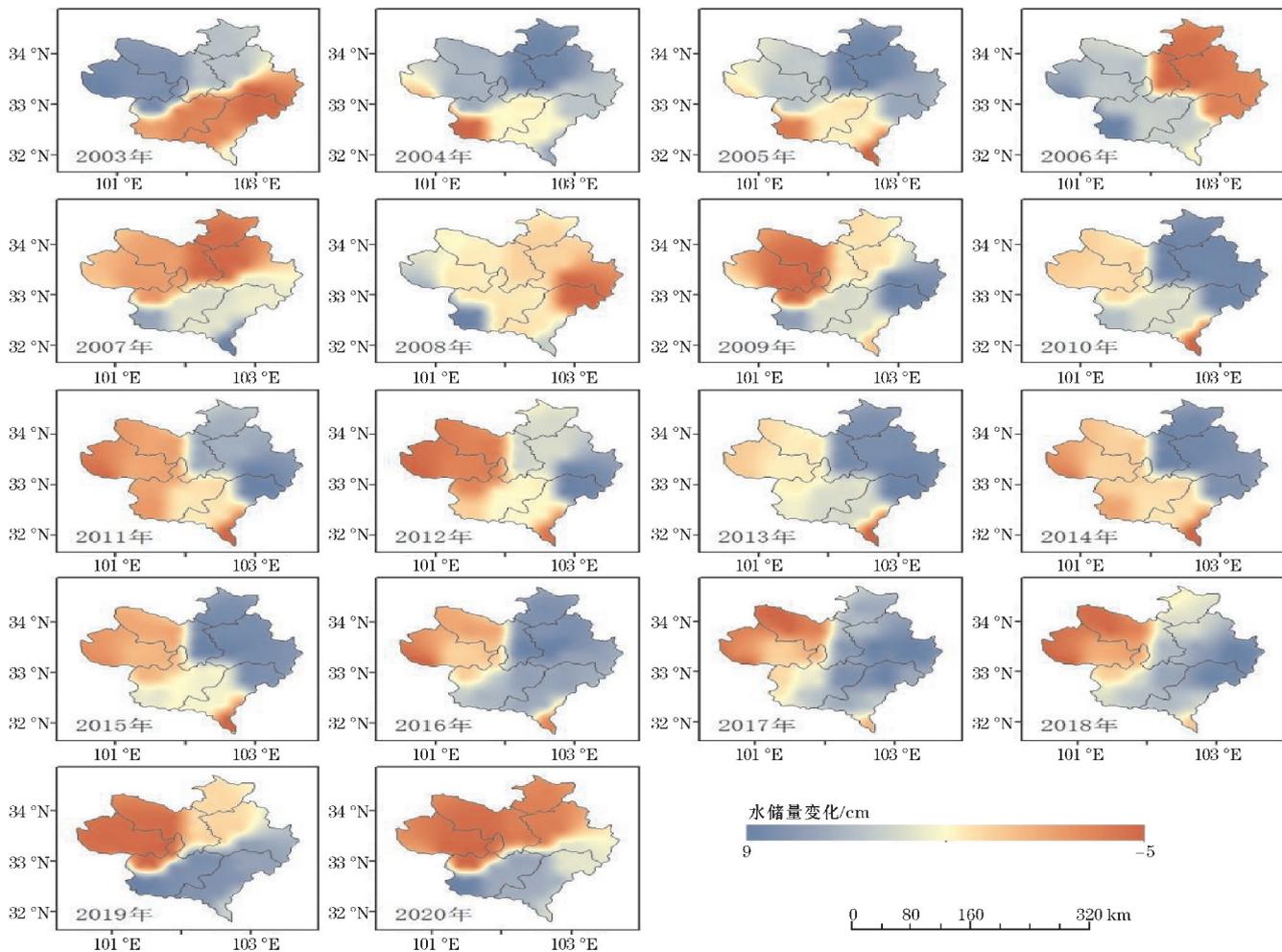


图5 陆地水储量年际变化空间分布

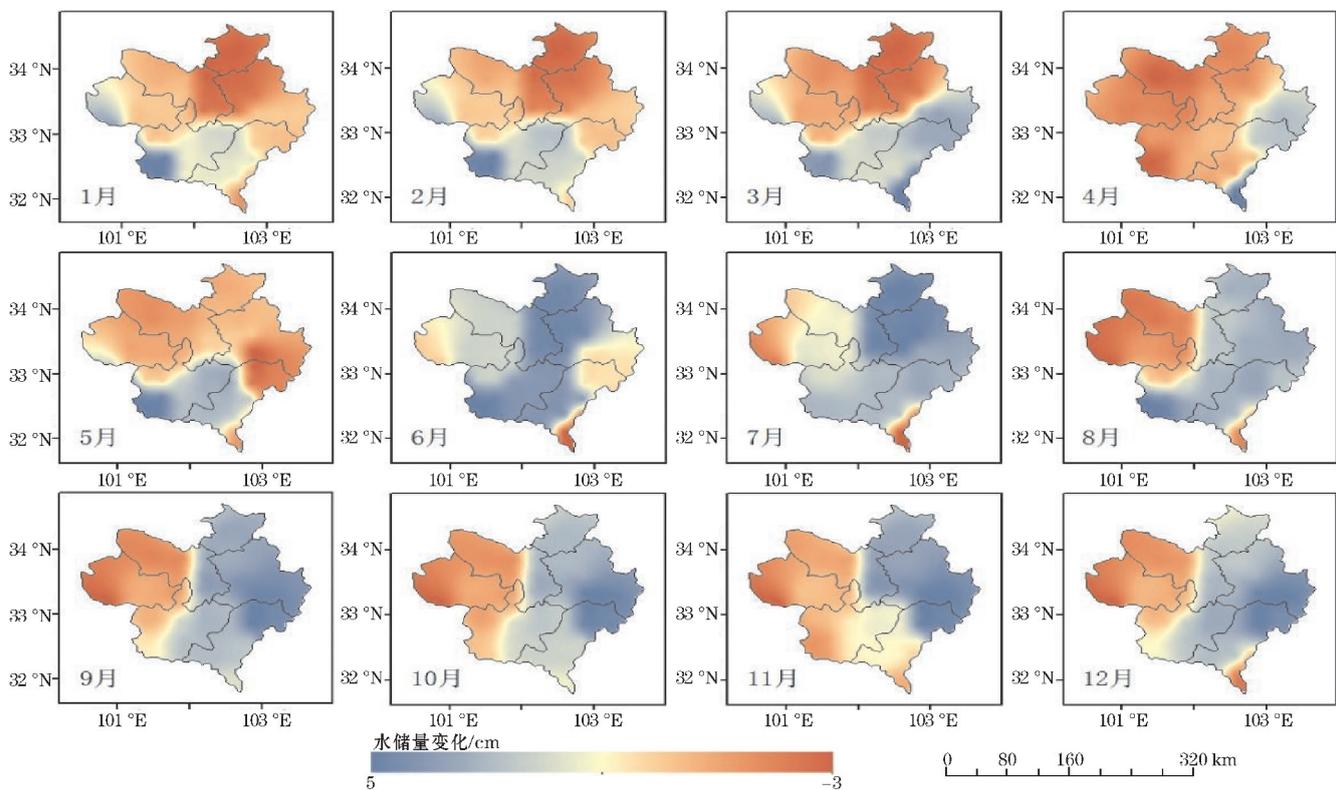


图6 陆地水储量年内变化空间分布

3.3 若尔盖高原水储量和降水的相关性

气候因素和人类活动都会对陆地水储量变化产生影响,其中降水是水文过程的重要组成部分,也是陆地水储量的主要来源^[15]。本研究采用若尔盖高原地区气象站点记录的降水数据与 GRACE 反演的陆地水储

量变化量做对比分析。图7(a)中实线为若尔盖高原水储量变化量,虚线为降水量。为进一步探讨降水对陆地水储量变化的影响,依据月数据计算陆地水储量变化量与降水量的年际变化和年内变化,结果分别如图7(b)和图7(c)所示。并且据此计算陆地水储量变化量与降水量的皮尔逊相关系数。

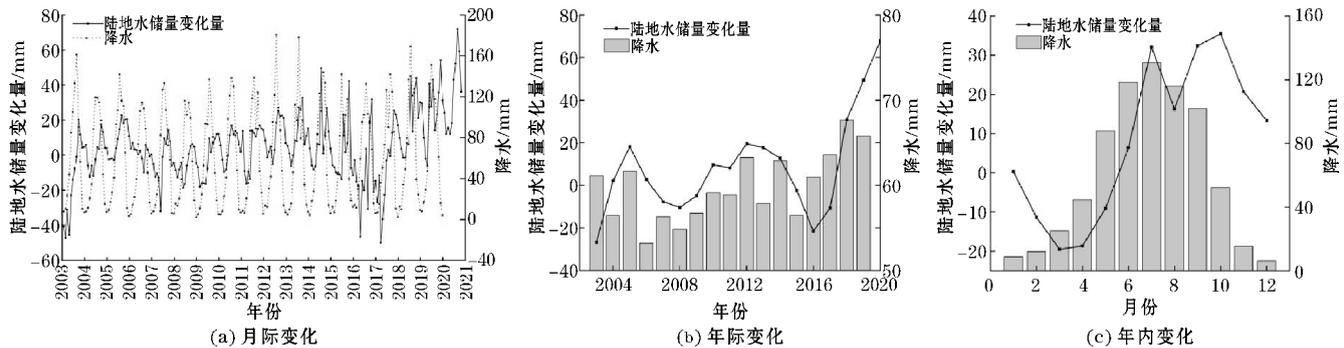


图7 陆地水储量变化量与降水量变化特征

由图7(a)可知,降水量的高值集中在每年的7、8月,低值则大致集中在每年的12、1月,降水量的最大值出现在2012年7月,最小值发生在2008年12月。陆地水储量变化量的高值集中在每年的10月,低值集中在每年的3月。陆地水储量变化量存在明显的滞后现象,大约较降水量滞后2-3个月,出现这种滞后现象的主要原因是土壤截留,研究区域出现降水后,降水将在一段时期内留存在区域内,当月的陆地水储量变化值会包含该月前留存的降水部分。另外,随着降水量的增加和减少,陆地水储量变化量也会出现相似的变化规律。

由图7(b)可以看出,若尔盖高原陆地水储量变化量与降水量的年际变化趋势较为吻合,计算得到的皮尔逊相关系数为0.497,具有中等程度的相关性。若尔盖高原陆地水储量在2003-2005年有上升趋势,接着持续降低至2008年,与降水的变化趋势吻合,陆地水储量在2008年出现一个波谷,在2012年出现一个波峰,这一规律与降水量变化相符合,2016-2020年,陆地水储量与降水量也都一致处于增长状态。

图7(c)显示,在年内尺度下,若尔盖高原陆地水储量与降水量的变化趋势基本一致,但存在明显的时滞性,陆地水储量变化量的最大值出现在10月,而降水量的最大值发生在7月。年内变化尺度下计算的皮尔逊相关系数为0.402,陆地水储量与降水量的变化存在中等程度的相关性。

4 结论与讨论

本文基于 GRACE 重力卫星数据分析 2003-2020

年来若尔盖高原地区的陆地水储量变化情况。首先使用随机森林算法对 GRACE 反演得到的水储量数据进行降尺度处理,得到合适的空间分辨率数据;再从时间变化和空间变化两个方面来讨论陆地水储量的变化特征;最后结合降水数据分析陆地水储量变化与降水量的相关性。研究结果显示:

(1) GRACE 反演的的水储量变化时间序列整体呈明显的上升趋势,最小值为-50.05 mm,最大值为71.92 mm。一年中,陆地水储量会有明显季节性变化,夏秋季节陆地水储量高,春冬季节水储量低,最大值在10月,最小值在3月。2003-2020年214个月的研究时段下,11 a为第一主周期,此时间尺度下,陆地水储量发生了6次盈亏交替的变化。

(2) 在陆地水储量变化的空间分布上,基本呈现从东向西水储量盈余逐渐减少或逐渐亏损的变化状态,且南部地区的陆地水储量增长较为明显。

(3) 陆地水储量与降水量的时间变化趋势较为吻合,但由于土壤截留等原因,存在大约2-3个月的滞后。年际尺度下,陆地水储量变化与降水的相关系数为0.497,年内尺度下为0.402,两者存在中等程度的正相关关系。

参考文献:

- [1] 胡宝怡,王磊. 陆地水储量变化及其归因: 研究综述及展望[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52(5): 13-25.
- [2] 张锐. 华北平原水储量变化及其影响机制分析[D]. 北京: 首都师范大学, 2013.

- [3] 刘晶, 鲍振鑫, 刘翠善, 等. 近20年中国水资源及用水量变化规律与成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2019(4): 31-41.
- [4] 胡小工, 陈剑利, 周永宏, 等. 利用GRACE空间重力测量监测长江流域水储量的季节性变化[J]. 中国科学: 地球科学, 2006, 36(3): 225-232.
- [5] Scanlon B R, Longuevergne L, Long D. Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley, USA [J]. *Water Resources Research*, 2012, 48(4): W04520.
- [6] Famiglietti J S, Lo M, Ho S L, et al. Satellites measure recent rates of groundwater depletion in California's Central Valley [J]. *Geophysical Research Letters*, 2011, 38(3): L03403.
- [7] Henry C M, Allen D M, Huang J. Groundwater storage variability and annual recharge using well-hydrograph and GRACE satellite data [J]. *Hydrogeology Journal*, 2011, 19(4): 741-755.
- [8] 唐玉凤. 若尔盖高原湿地地表水储量变化研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [9] 杜华明. 若尔盖湿地水资源水环境问题研究[D]. 成都: 四川师范大学, 2007.
- [10] 王翠翠. 若尔盖高原沼泽湿地退化风险评估及其演变分析[D]. 武汉: 中国地质大学(北京), 2015.
- [11] 段焕娥, 闫浩文, 杨树文, 等. 1994-2015年若尔盖湿地水体空间变化分析[J]. *测绘科学*, 2016, 41(12): 116-119.
- [12] 何国庆. 基于GRACE RL06数据探测华北平原水储量变化[J]. *地理空间信息*, 2022, 20(6): 55-59.
- [13] 谢萍, 张双喜, 金涛勇, 等. 武汉市GRACE水储量变化与气象干旱关联趋势分析[J]. *排灌机械工程学报*, 2023(6): 624-629.
- [14] 李名语. 联合层次聚类与非线性回归模型的GRACE地下水储量变化降尺度反演方法[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
- [15] 张林, 沈云中, 陈秋杰, 等. 红柳江区区域陆地水储量变化及其驱动因素分析[J]. *测绘学报*, 2022, 51(4): 622-630.

Analysis of Changes in Terrestrial Water Storage in the Zoige Plateau in the Past 20 Years

ZHANG Chi, XIAN Wei, FAN Songlin, YANG Zengping

(College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: There has been a trend of degradation and shrinkage in the wetland of the Zoige Plateau in recent years. Maintaining the terrestrial water storage in the Zoige Plateau is of great significance for ecological environmental protection and economic development in the wetland. To comprehensively analyze the spatiotemporal distribution and changes in terrestrial water storage in the Zoige Plateau region over the past 20 years, the GRACE gravity satellite data after scale decline combined with statistical methods are used to discuss and analyze the temporal and spatial distribution of terrestrial water storage and its relationship with precipitation in the Zoige Plateau from 2003 to 2020. reveal an upward trend in land water reserves in Zoige during the study period, with a growth rate of 1.37 cm/a and significant seasonal variations. The wavelet analysis shows that the first major period of terrestrial water storage change in Zoige is 11 years. In terms of spatial distribution, water reserves have a trend of gradually decreasing from the eastern region to the western region. The correlation coefficient between precipitation and changes in water storage is calculated to be 0.497 on an interannual scale and 0.402 on an interannual scale, with a moderate correlation. Precipitation is one of the main factors for changes in terrestrial water storage.

Keywords: GRACE; terrestrial water storage; Zoige Plateau