

1985—2018年查干湖时空变化及其 对降水变化响应分析*

方鹤楠, 何真, 陈茜, 夏天*

(地理过程分析与模拟湖北省重点实验室 / 华中师范大学城市与环境科学学院, 湖北武汉 430079)

摘要:【目的】查干湖是吉林省最大的淡水湖泊, 其形态和面积的时空格局变化对当地生态环境维护和相关产业发展有着重要意义。通过长时间尺度上遥感监测查干湖水体的时空格局变化, 分析其变化特征与规律, 探讨降雨量对湖体的影响, 从而为区域水环境的生态保护与资源合理利用提出针对性建议。【方法】基于查干湖地区 1985—2018 年共 8 景 Landsat 遥感影像数据, 采用 NDWI 水体指数法对查干湖水体进行识别与提取, 通过 ArcGIS 空间分析功能探究查干湖水体的时空格局变化过程。同时, 结合水体面积变化, 利用降水数据探讨气候变化对湖水容量的影响。【结果】1985—2018 年, 查干湖水域空间格局呈波浪形上升变化, 水体时空变化区域主要位于辛甸泡、新庙泡和库里泡, 查干湖主水体多为边缘性的扩张及缩减; 自然降水和“引松入湖”工程是查干湖水体变化的主要因素, 引水工程初期对查干湖蓄水量恢复起重要作用, 随后水域面积慢慢转为自然降水影响。【结论】1985—2018 年来查干湖水域面积受自然降水和引水工程的影响, 未来需要进一步保护该地区的生态系统, 通过自然降水维持该地区的水域生态平衡, 实现查干湖区域的产业发展和生态保护的共同发展。

关键词: 遥感监测; 时空格局; 查干湖; 降水量; 水域面积

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20200107

0 引言

湖泊是全球生态环境中的基本要素和宝贵资源。作为大量生态环境信息的载体, 湖泊长时间参与庞大的生态系统水循环, 对局部小气候起到不可忽视的平衡与调节作用^[1-3]。同时, 气候变化作为湖泊问题的重要驱动因素, 在长时间尺度和区域空间尺度上对全球湖泊面积变化影响显著^[4-5]。近几十年来, 人类活动与气候变化使全球湖泊面临着水面萎缩、水质恶化、湖滨植被退化、旱涝急转、湿地生态环境退化等一系列问题^[6-11], 其中, 湖泊水体空间格局上的扩张与收缩变化直接影响着周边生态环境演化和资源利用情况^[12-16], 因此气候变化影响下的湖泊时空格局研究具有非常重要的意义。

随着遥感技术不断革新与发展, 遥感监测成为湖泊水体提取与面积变化研究的重

收稿日期: 2020-01-10

第一作者简介: 方鹤楠 (1997—), 硕士研究生。研究方向: 水土资源与生态环境。Email: fanghenan@mails.cnu.edu.cn

* 通信作者简介: 夏天 (1981—), 副教授。研究方向: 农业定量遥感、土地资源与环境遥感和空间模型等。Email: xiatian@mail.cnu.edu.cn

* 基金项目: 中央高校基本科研业务费 (CCNU19TS045)

2020年2月

要手段,其中,水体指数模型是水体识别与提取领域使用最广泛的研究方法,近30年不断被国内外学者运用并优化改进,以适应不同地理环境下的湖泊等水域的变化研究。自1996年McFeeters^[17]首次提出归一化水体指数法NDWI(Normalized Difference Water Index),并成功提取了美国中西部内布拉斯加州西部地区的水体信息,NDWI被广泛用于湖泊等水域面积变化研究。淡永利等^[18]通过NDWI提取了2000—2010年武汉市中心城区湖泊景观,并就其变化特征进行分析与预测;陈思源等^[19]采用NDWI对喀斯特地区不同地貌类型的水资源进行分析,并探究其相互定量关系。徐涵秋^[20]在NDWI的基础上改良得出改进型归一化差值水体指数MNDWI(Modified NDWI),并成功提取了福建省福州市水体,相对抑制了土壤和建筑物的干扰,减少了误提现象,取得了良好实验效果。NDWI指数提取水体的算法得到了国内外学者一致认可。降水作为湖泊水量的重要补给方式,是国内外湖泊水域研究的重要方向。文雄飞等^[21]结合同期逐月平均降水量在对洪湖水体面积变化的探讨中提出,洪湖水体面积自1973年起呈下降趋势,并与年降水量、汛期降水量都有极大相关性;闫政新等^[22]对1991—2014年伊塞克湖湖泊面积进行监测并得出,1991—1998年其面积总体减小5.3 km²,而在1998—2014年增大7.3 km²,并发现其变化与气温和降水存在明显正相关关系。查干湖作为吉林省最大的天然湖泊,其宝贵的淡水资源及重要生态服务价值对当地生态环境和经济发展起着至关重要的作用,同时,查干湖通过发展养殖业、旅游业和相关加工型产业使该地区经济得到稳定增长。目前,关于查干湖的已有研究重点集中在生态环境变化与保护、水环境演变特征、补给水量对水质的影响、可持续发展对策等方面^[23-27],对于查干湖水体面积与时空格局变化的研究甚少,针对查干湖相关水情信息和长时间尺度的动态监测研究十分匮乏,导致查干湖周边景观环境保护缺乏具体方向、相关产业排污治理措施缺乏理论支持,难以做到对查干湖区域进行合理开发和有效保护相结合。

文章基于Landsat遥感影像数据,采用能够很好抑制植被等地物信息并能突出水体信息的NDWI归一化水体指数法进行查干湖水体识别与提取,实现该区域长时间序列的动态监测,探讨1985—2018年查干湖水域的时空格局变化趋势。同时,在此基础上探讨水域面积变化与气候变化的相互关系,为研究区生态环境保护及相关产业发展和整治方向提供合理的决策支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

查干湖(123°58'E~124°34'E、45°09'N~45°30'N)位于吉林省霍林河末端,其主要水域处于吉林省西北部的前郭尔罗斯蒙古族自治县境内,西邻乾安县,北接大安市。查干湖区除查干湖主湖区外,还包括新庙泡、辛甸泡、库里泡等附属水域(图1)。在新庙泡与查干湖之间由人工渠贯通并控制水位,查干湖泄水入库里泡后进入嫩江。查干湖的湖底海拔126 m,水深4 m,湖周长104.5 km,最大蓄水量4.15亿m³,东西长38 km,南北

宽 14 km，是全国十大淡水湖之一。查干湖区域总体地形较平坦，地势从东南向东北递减，西南略低。该区域地貌类型可依据其成因和形态特征划分为冲积湖积平原与河谷冲积平原，分别分布于湖区周低洼处与霍林河河谷。

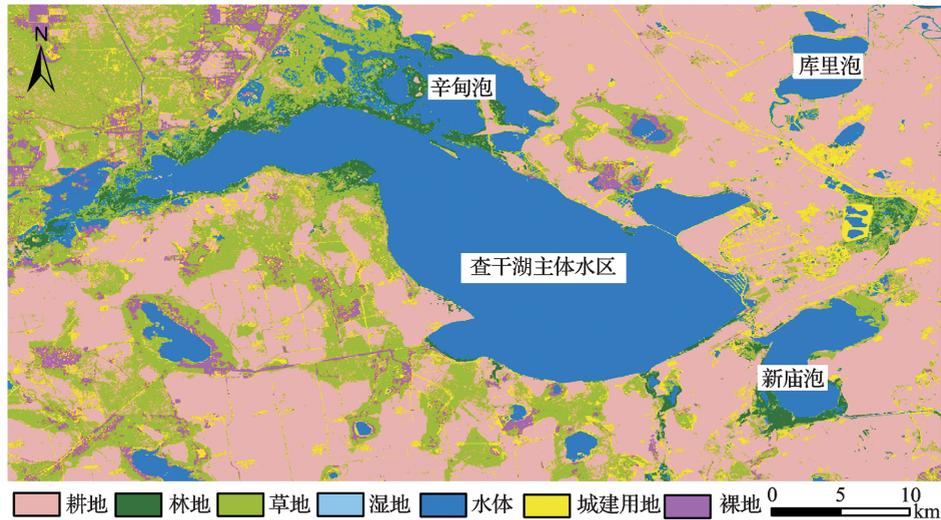


图 1 查干湖及附属水域地区土地覆盖类别图
Fig. 1 Land cover map of Chagan lake and its subsidiary waters

查干湖位于霍林河末端与嫩江的交汇处，属霍林河的堰塞湖泊。20 世纪 70 年代，由于上游霍林河、洮儿河等修建水利设施以及区域干旱的影响，导致查干湖水域面积急剧缩减，查干湖水域面积最小时期仅剩约 80 km² 左右，生态环境极为恶劣。为改善农业生产条件，当地政府自 1976 年 9 月开始修建了全长 53.85 km 的“引松入湖”工程，使查干湖的水域面积不断增加，生态环境得到极大改善。1984 年工程完工开始引水，查干湖的主要水源为松花江水（通过“引松入湖”工程自流水和前郭灌区排水），2007 年“引松入湖”工程已停止向查干湖进行引水。

1.2 研究方法

1.2.1 数据介绍

该文选用了 Landsat 卫星影像，1985—2018 年每隔 5 年选取 1 景影像，其中 1985—2010 年选用 Landsat 5/TM 遥感影像数据，2015 年和 2018 年选用 Landsat 8/OLI 遥感影像数据。这些影像的时间分别为 1985 年 8 月 7 日、1990 年 5 月 17 日、1995 年 9 月 20 日、2000 年 10 月 3 日、2005 年 10 月 17 日、2010 年 9 月 13 日、2015 年 10 月 29 日和 2018 年 4 月 28 日。为了使不同年份水域面积比较更精准，影像数据均选自查干湖流域平水期月份前后。个别年份数据由于影像不全、云层干扰等影响难以进行水体提取，因而选择其他月份。此外，研究所用查干湖区的降水量数据由前郭气象站提供，用以探究水体面积变化与降水因素的相关关系。

1.2.2 水体时空变化及影响分析

该文结合查干湖周围建设用地占地较少的实际情况，选取能够有效抑制植被、土

2020年2月

壤和农田信息的 NDWI 水体指数法进行水体提取, 该指数能够较好地增强水体信息, 同时抑制非水体信息。NDWI^[17] 被应用到多种水体识别与水资源环境的研究中, 公式为:

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

式(1)中, *Green* 为绿色波段波长, *NIR* 为近红外波段波长, 分别对应 Landsat 4—5 中的 2、4 波段和 Landsat 8 中的 3、5 波段。

通过遥感影像识别 1985—2018 年查干湖水域面积, 并进行水域时空变化分析。该文采用 ArcGIS 空间分析方法, 对查干湖每隔 5 年的水体进行时空格局变化分析, 研究查干湖水体面积增加的时空变化过程。同时, 对水域面积与气候变化进行相关性分析, 考虑降水和“引松入湖”工程期间的引水量对于水域面积的影响, 研究蓄水量增减对水域时空格局变化的影响。

2 结果分析

2.1 查干湖面积变化特征

研究按照一定阈值进行 NDWI 运算, 识别出 1985—2018 年 8 景影像数据的查干湖水体, 并通过 ArcGIS 处理将最大连片水体确定为查干湖水域, 得出每个代表时间点的水体面积数值。结果显示, 查干湖的水体面积变化总体呈波浪形变化(图 2), 水体面积在 2000 年和 2010 年两次出现变化拐点。具体变化可以分为 3 个阶段: 第 1 阶段, 1985—2000 年为查干湖水体面积迅速增长期, 15 年间共增长 95.87 km², 其中, 1985—1990 年湖泊水域面积增幅明显, 增长了 52.6 km², 占整个水域面积的 16.7%; 经过 5 年平稳增长后, 查干湖水体面积于 1995 年又开始迅速增长, 到 2000 年共增长 39.7 km², 水域总面积 358.87 km², 达到了近 35 年来的峰值。第 2 阶段, 2000—2010 年为查干湖水体面积缩减期, 仅 10 年时间缩减了 67.01 km², 是整个研究时段内水体面积唯一下降阶段, 且下降幅度较大。第 3 阶段, 2010—2018 年查干湖水体面积重新恢复上升趋势, 8 年间共增长 46.63 km², 近几年出现了小幅下降, 但还是维持在一个较高的水平, 水域面积为 331.23 km²。整体来看, 查干湖水体面积在 1985—2018 年间变动幅度明显, 整体上呈增长态势, 前期增加明显, 后期总体在 300 km² 上下浮动。

2.2 查干湖时空格局变化过程

为研究查干湖水体面积的时空变化格局, 该文通过 ArcGIS 中的 Raster Calculate 模块对自 1985 年以来每隔 5 年的查干湖水体进行空间对比分析, 进一步探讨查干湖及其附属水域 1985—2018 年水体时空格局变化过程(图 3)。从查干湖水体的具体变化趋势来看, 每一个阶段的变化各有特点。下面详细介绍查干湖的增减变化情况: (1) 1985—1990 年, 查干湖区域整体呈现新增趋势, 查干湖附属水体辛甸泡在这个阶段初具雏形, 也是水体扩张的主要部分, 其次在新庙泡与库里泡的南部出现明显的新增水体, 在查干湖水体西部出现少量的破碎水体减少的情况。(2) 1990—2005 年, 查干区域的水域面积增加呈较稳定

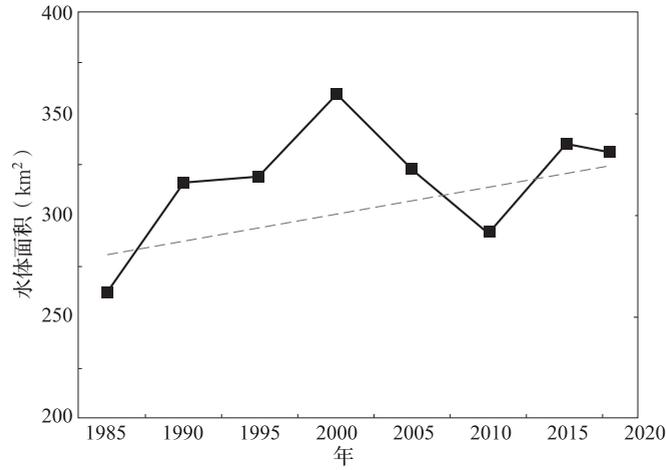


图 2 1985—2018 年查干湖湖区水体面积变化趋势

Fig. 2 Change trend of water area in Chagan lake from 1985 to 2018

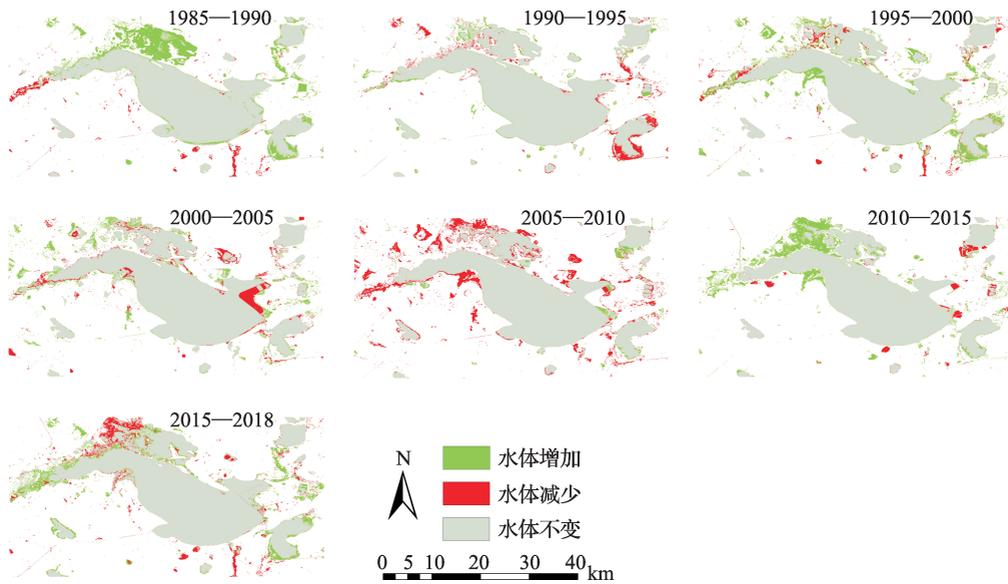


图 3 1985—2018 年查干湖区域水体增减变化情况

Fig. 3 Change of Chagan lake area from 1985 to 2018

的趋势，虽然有少量的新增和较少水域的情况发生，但主要为查干湖周围水泡的少量增加变化，特别是在查干湖区域的东南部新庙泡附近是水域增减的主要变化区域。（3）2005—2010 年，查干湖区域出现明显的减少变化，特别是查干湖主体部分和辛甸泡附近出现了不同程度的水域减少情况。（4）2010—2015 年，查干湖区域水域面积减少的现象出现缓解，辛甸泡重新恢复了水域面积。（5）2015—2018 年，查干湖区域的水域面积变化相对平缓，查干湖主体周围的辛甸泡出现少量水域减少、新庙泡和库里泡少量面积增加外，整个湖区变化不明显。综上所述，查干湖区域的水体面积增幅最大的区域均集中在查干湖西南部和辛甸泡的部分破碎型水域，而减幅最大的区域多集中于查干湖东部水

2020年2月

域和新庙泡。

通过以上分析发现,作为查干湖周边的附属水体与毗连湖泊,辛甸泡、新庙泡和库里泡在30多年内的水体变化基本决定着查干湖总体水体的时空格局变化大方向。由于附属水体水深较浅,受自然环境因素影响明显,水体边缘变化幅度大,很容易出现水体干涸或与主水体连片的情况,其中,辛甸泡是查干湖区水体变化幅度最大的水域,其西北部存在大量破碎型小水域,在查干湖水体增减变化上发挥重要作用。辛甸泡在1985年之前水域范围较小,1985年后该区域大范围增加,成为3个附属毗连水体中水域面积最大的区域,1990年后面积增减变化保持相对稳定,直到2005年该区域开始与西北部破碎水体相分离,水域面积大幅度缩减,2010年后重新相连。然而,新庙泡通过川头渠道与查干湖相连,对查干湖总体时空格局变化有着阶段性影响。1985—2000年水体变化幅度大,变化区域主要集中于水域南部与东北部,且年际水体增加与减少部分基本吻合,说明该区域水情环境不稳定,易受自然环境因素影响。新庙泡在2000年后水体变化基本趋于稳定,只有南部水域一直有着微小的边缘性新增趋势。库里泡位于查干湖东北方向4 km处,是3个附属水体中最易发生格局变化的水域。与辛甸泡、新庙泡相比,库里泡水域面积最小且距查干湖主水体距离最远,基本在每一个研究时段都有着与上一时段相反的水体面积变化,变化水域多集中于北部,形态较破碎。

2.3 降雨量与查干湖面积关系分析

降雨量是查干湖区域最直接的补给水源方式,该文将进一步探讨降雨量与查干湖面积变化的关系。近35年来,查干湖区域的水体面积变化表明该区域的水储量并不稳定,但整体水域面积呈扩张趋势。该文采用1985—2018年第3季度(7—9月)查干湖流域的累积降雨量数据和同时期的水体面积数据进行统计分析(图4)。结果显示,研究区第3季度降雨量和水体面积大体上呈现一定相关关系。1985—1995年查干湖水域面积与降水量呈相反的趋势,水域面积由最初约270 km²升至320 km²,而降雨量从最初的400 mm降至150 mm;随后1995—2018年两者变化的趋势基本一致,呈现出先增加再减少后又增加的趋势变化,水域面积基本维持在300~350 km²的范围,降雨量虽然较1995年有所提高,但增幅并不明显。从水体面积和第3季度降水量来看,1995年为重要转折点,至20世纪70年代湖面开始缩小,最后接近干涸后,当地政府为改善湖泊环境,开始了“引松入湖”(将松花江水引入查干湖)工程,查干湖前期水域增加主要靠引水工程,而后期随着水位回升、查干湖生态系统恢复,自然降雨变化趋势与查干湖水域面积趋于一致,但有些滞后。为进一步明确“引松入湖”工程(1984—2007年)对查干湖水体面积变化的影响程度,以及自然降水与查干湖水域的关系,进一步研究查干湖区域蓄水量、区域新增降雨和引水工程供给3个方面相互作用关系。

该文估算了1985—2018年查干湖区域蓄水量、蓄水量净变化、受降水影响新增水量和引水工程需水量4方面数据,结合年降水数据进行分析研究,其中,查干湖平均水深按2.5 m估算,平均年水面蒸散发量按923.2 mm估算^[27]。查干湖蓄水量是平均水深与湖面面积的乘积;蓄水量净变化值采用5年变化值;受降水影响新增水量是累积降水量与湖面面积的乘积(不同阶段累积降水量是遥感影像所在月份之前5年之和);引

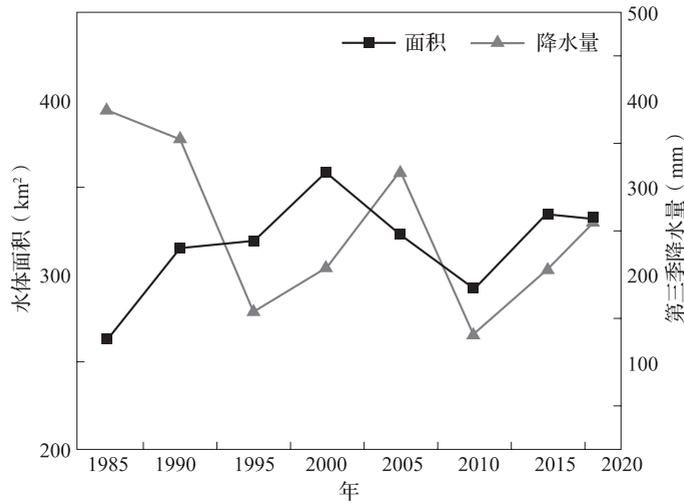


图 4 1985—2018 年查干湖水体面积与第三季度降雨量变化
Fig. 4 Change of Chagan Lake area and rainfall in the third quarter from 1985 to 2018

水工程需水量是蓄水量净变化值与受降水影响新增水量的差值与 5 年累积受蒸散发量影响的消耗水量之和。结果表明（图 5），查干湖蓄水量净变化值在 1985—2018 年呈波动变化态势，可以分为 3 个主要变化阶段。第一阶段为 1985—2000 年，期间查干湖蓄水量净变化值均为正值。其中，1990—1995 年净增长值变化呈下降态势，结合累积降水量和引水工程需水量的总体变化情况来看，累积降水量与上一个 5 年数据相比减少较多，但引水工程需水量变化不大，说明该时段湖泊蓄水量的净变化值下降受引水工程和降水因素共同影响，因引水工程蓄水量增长趋势较缓，蓄水量净变化值下降幅度明显，所以引水工程在此阶段对查干湖蓄水量的影响起主导作用。1995—2000 年增长态势迅速回升，在累积降水量几乎不变的情况下，湖泊蓄水量净变化值随着引水工程需水量的增加而明显提高，同样说明引水工程对查干湖蓄水量变化影响显著。第二阶段为 2000—2010 年，期间查干湖蓄水量净变化值均为负值。2000—2005 年湖泊蓄水量净变化值达到最低点，较上一时期共减少了 1.892 亿 m³，期间累积降水量变化与上一时段基本持平，引水工程需水量降幅明显，说明累积降水量对蓄水量净变化值的影响不大，引水工程的作用逐渐开始减弱。随后 2005 年湖泊蓄水量开始缓慢回升，引水工程需水量保持下降趋势，说明该时段降水因素影响逐渐显现。第三阶段为 2010—2018 年，期间查干湖蓄水量净变化值波动幅度较大，前期呈现显著回升态势，于 2015 年达到新的高点，蓄水量净变化值较上一时期增加了 1.845 亿 m³，基本与 2000 年的变化水平持平，随后又出现较大幅度的下降，这与该时段累积降水量变化趋势十分相近，说明查干湖区域恢复生态功能，虽然没有了引水工程的补给影响，自然降水仍然能够维持该区域的水量平衡。总体来看，1985—2010 年查干湖蓄水量变化与引水工程需水量变化趋势基本一致，引水工程在建成初期发挥非常重要的作用，在此期间降水因素对蓄水量净变化的影响不大，随着后期引水工程的作用减弱，2010 年后查干湖蓄水量净变化值主要受降水因素的影响。

2020年2月

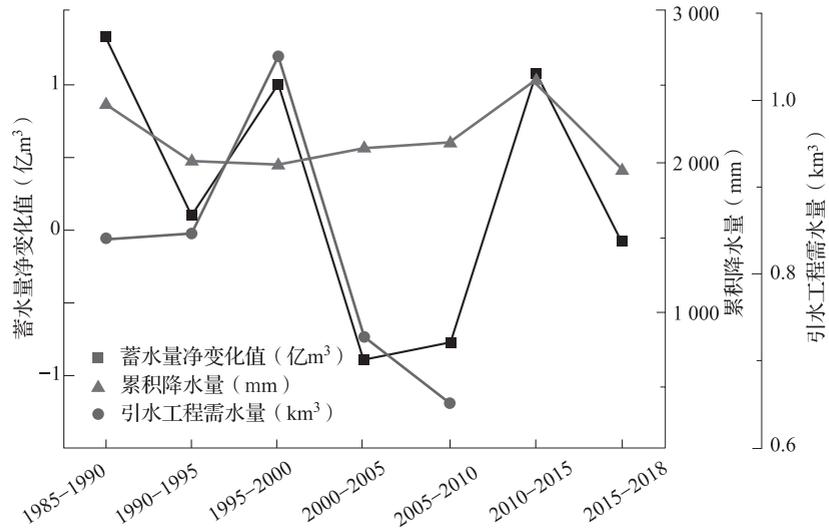


图5 查干湖1985—2018年蓄水量净变化、累积降水量和引水工程需水量变化
 Fig. 5 Net change of water storage, accumulated precipitation and water demand of diversion project of Chagan Lake from 1985 to 2018

3 结论与讨论

该文基于1985—2018年吉林省查干湖区域8景Landsat遥感影像,采用归一化水体指数法(NDWI)识别并提取查干湖水体信息,通过地理空间分析方法研究查干湖过去近35年的时空格局变化过程,并分析气候变化和“引松入湖”工程对查干湖区域水域面积的影响,得出以下几方面结论。

(1) 查干湖区域水体面积1985—2018年整体呈波浪式上升趋势,该地区1990年后水域面积维持在300 km²左右,其中在2000年和2010年出现拐点。空间上,该地区变化区域主要集中在周边3个水域(北部辛甸泡、东部新庙泡和东北部库里泡),周边小型破碎水体阶段性的干涸或与湖泊相接,新增水域主要出现在辛甸泡,增幅十分明显,而新庙泡和库里泡出现小面积的频繁增减变化。

(2) 查干湖区域的降水量总体呈下降趋势,通过分析发现查干湖区域水体面积受到自然降水和“引松入湖”工程的影响显著,其中,1985—2010年受“引松入湖”工程影响,查干湖水域得到较好恢复,而2005年后,随着入湖工程补给减弱,自然降水成为影响查干湖水体面积主要因素,直接影响查干湖区域的水域面积。

(3) 查干湖区域水体受自然降水和“引松入湖”工程的影响,在湖水接近干涸时只能依靠引水工程恢复生态功能,随后自然降水成为该地区水域面积的主要调节因素。引水工程在恢复查干湖区域生态功能中起决定性作用,后期水域面积的变化直接与自然降雨量具有较强的正相关关系。

“引松入湖”工程在完成初期较好地恢复了查干湖区域的水域面积和生态环境,实现了工程的初衷。“引松入湖”工程后期至今,查干湖区域的水体面积变化与降水量



呈较明显的正比例关系。近年来，随着查干湖区域恢复生态系统功能，该区域的水域面积主要受自然降水影响，特别是毗邻查干湖主体的 3 个附属水域受降水因素影响显著，随着降雨量的增减，其周边小型破碎水体出现不同程度的相接或干涸。未来查干湖区域的水域将主要依靠自然降雨进行补给，辛甸泡、新庙泡和库里泡 3 个附属水域的大小盈枯变化是查干湖时空格局的指示器，查干湖水域面积的增减也将主要表现在这 3 个水体区域。因此，气候变化和查干湖地区的生态环境将直接决定未来该地区的水域面积变化。基于此，查干湖区域需要进一步加强生态环境保护，维持该地区的生态平衡，围绕保护水资源生态治理与防护，加强相关保护政策实施力度，合理安排依赖这些水域的养殖业和旅游业，实现查干湖区域的产业发展和生态保护共同发展。

参考文献

- [1] 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. *冰川冻土*, 2006(5): 623-632.
- [2] 梁斌, 齐实, 李智勇, 等. 青藏高原湖泊面积动态变化及其对气候变化的响应. *山地学报*, 2018, 36(2): 206-216.
- [3] 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化. *第四纪研究*, 2003(1): 41-52.
- [4] 秦伯强. 气候变化对内陆湖泊影响分析. *地理科学*, 1993(3): 212-219.
- [5] 周驰, 何隆华, 杨娜. 人类活动和气候变化对艾比湖湖泊面积的影响. *海洋地质与第四纪地质*, 2010, 30(2): 121-126.
- [6] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准. *中国环境监测*, 2002(5): 47-49.
- [7] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价. *生态学报*, 2004(10): 2091-2099.
- [8] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略. *湖泊科学*, 2010, 22(6): 799-810.
- [9] Otwande Andrea, Samson Ojung-A-Okoth, Cyrilus Otulo-Wandera, et al. Analysis of seasonal time series with missing observations of fish harvesting in lake Victoria, Kenya. *Mathematical Theory and Modeling*, 2014, 14(4): 131-141.
- [10] Hanna Soszka, Kolada Agnieszka, Gołub Małgorzata. Changes of water quality in benchmark lakes in the Polish national monitoring network in the 1999-2004 period. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2010, 39(2): 153-159.
- [11] Heike Kaden, Peeters Frank, Lorke Andreas, et al. Impact of lake level change on deep-water renewal and oxic conditions in deep saline Lake Van, Turkey. *Water Resources Research*, 2010, 46(11): W11508.
- [12] 骆成凤, 许长军, 曹银璇, 等. 1974—2016 年青海湖水面面积变化遥感监测. *湖泊科学*, 2017, 29(5): 1245-1253.
- [13] 闫政新, 郭万钦. 1991—2014 年中亚伊塞克湖湖泊面积变化遥感监测. *测绘与空间地理信息*, 2018, 41(2): 142-146.
- [14] 梁斌, 齐实, 李智勇, 等. 青藏高原湖泊面积动态变化及其对气候变化的响应. *山地学报*, 2018, 36(2): 206-216.
- [15] Lyubov-E Burlakova, Karatayev Alexander-Y, Padilla Dianna-K. Changes in the distribution and abundance of *Dreissena polymorpha* within lakes through time. *Hydrobiologia*, 2006, 571(1): 133-146.
- [16] Huan Xie, Luo Xin, Xu Xiong, et al. New hyperspectral difference water index for the extraction of urban water bodies by the use of airborne hyperspectral images. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2014, 8(1): 085098.
- [17] SK McFeeters. The use of the Normalized Difference Water Index(NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [18] 谈永利, 王宏志, 张欢, 等. 2000—2010 年武汉市中心城区湖泊景观变化. *生态学报*, 2014, 34(5): 1311-1317.
- [19] 陈思源, 陆丹丹, 吴水亭. 喀斯特地区的高分一号与 Landsat8 遥感影像归一化水体指数定量比较. *大气与环境光学学报*, 2020, 15(2): 125-133.
- [20] 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. *遥感学报*, 2005(5): 589-595.
- [21] 文雄飞, 蔡斌, 陈蓓青, 等. 基于 Landsat 卫星数据的洪湖水体遥感监测研究. *人民长江*, 2012, 43(8): 43-47.
- [22] 闫政新, 郭万钦. 1991—2014 年中亚伊塞克湖湖泊面积变化遥感监测. *测绘与空间地理信息*, 2018, 41(2): 142-146.
- [23] 李然然, 章光新, 张蕾. 查干湖湿地浮游植物与环境因子关系的多元分析. *生态学报*, 2014, 34(10): 2663-2673.
- [24] 李然然, 章光新, 魏晓鸿, 等. 查干湖湿地水环境演变特征分析. *地理科学*, 2014, 34(6): 762-768.
- [25] 段洪涛, 张柏, 宋开山, 等. 查干湖叶绿素 a 浓度高光谱定量模型研究. *环境科学*, 2006(3): 3503-3507.



2020年2月

- [26] 苏保健, 董建伟. 查干湖引松渠道补给水量对年内水质参数的影响. 吉林水利, 2009(4): 7-10.
[27] 孙爽, 章光新, 黄志刚, 等. 吉林省西部查干湖水文情势分析. 湿地科学, 2014, 12(1): 43-48.

Spatial-temporal change of Chagan Lake and response to precipitation change from 1985 to 2018

Fang Henan, He Zhen, Chen Xi, Xia Tian^{*}

(Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation/College of Urban & Environmental Sci.
Central China Normal University, Hubei Wuhan 430079, China)

Abstract: [**Purpose**] Chagan Lake is the largest fresh water lake in Jilin Province. The spatial and temporal pattern change of its shape and area has great significance to the local ecological environment maintenance and the development of related industries. In this paper, the temporal and spatial pattern changes of Chagan Lake are monitored by remote sensing on a long-term scale. Based on the analysis of its changing characteristics, this paper discusses the impact of rainfall on the lake, so as to provide targeted suggestions for the ecological protection of regional water environment and the rational utilization of resources. [**Method**] Based on the Landsat remote sensing image data of 8 scenes from 1985 to 2018 in the study area, Chagan Lake was identified and extracted by NDWI water index method. And the spatial and temporal pattern change process of Chagan Lake is explored by ArcGIS spatial analysis function. At the same time, the influence of climate change on lake water capacity is discussed by using precipitation data and water area change. [**Result**] The water spatial pattern of Chagan Lake changed significantly from 1985 to 2018, with a normal growth trend in overall. The changed areas are mainly located in Xindian, Xinmiao and Kuli Lake, while the main changing process of Chagan Lake is mostly characterized as an expansion and a marginal reduction. Natural precipitation and water diversion project are the main factors for the change of Chagan Lake. During 1984-2007, water diversion projects played an important role in retaining the water storage capacity of Chagan Lake. Subsequently, the change of lake water area gradually changed to be mainly affected by natural precipitation. [**Conclusion**] In the past 35 years, the water area of Chagan Lake has been affected by natural precipitation and water diversion projects. In the future, it is necessary to further protect the ecosystem of the area, maintain the ecological balance of the water area through natural precipitation, and realize the common development of industrial development and ecological protection in Chagan Lake.

Key words: remote sensing monitoring; spatiotemporal pattern; Chagan Lake; precipitation; water area