



青藏高原湿地遥感监测与变化分析

郎芹¹ 牛振国² 洪孝琪¹ 杨鑫莹¹

1 西南大学地理科学学院,重庆,400715

2 中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室,北京,100101

摘要:青藏高原是中国湿地分布较为集中的地区之一,也是全球变化的敏感区。了解青藏高原湿地分布与变化对湿地保护和全球变化研究具有重要意义。基于Landsat 8 OLI (operation land imager)数据,使用面向对象分类方法和人工解译相结合的方式得到2016年青藏高原湿地分布数据,结合2008年湿地分类数据以及高程、流域界线等辅助数据,分析了青藏高原的湿地分布现状和2008—2016年的湿地变化情况。结果表明:①2016年青藏高原研究区湿地总面积为115 584 km²。其中,湖泊湿地面积为48 737 km²,沼泽湿地面积为34 698 km²,河流湿地面积为15 927 km²,洪泛湿地面积为15 035 km²,人工湿地面积为1 188 km²。②2008—2016年,青藏高原湿地总面积增加3 867 km²,主要表现为湖泊、河流和洪泛湿地的增加,但同时沼泽湿地减少5 799 km²。③青藏高原的湿地分布与变化表现出显著的区域差异性。自然湿地的分布及面积变化集中在4~5 km高程范围内,而人工湿地的变化则集中在2~4 km高程范围内;湖泊和洪泛湿地的增加集中在内流区,河流的增加及沼泽的减少集中在外流区。④青藏高原的气温和降水均呈上升趋势,与湿地总体变化呈正相关;各流域冰川面积的变化与湿地变化也具有相关性;人为因素对青藏高原的湿地变化以消极作用为主。该研究为青藏高原环境变化研究与湿地保护提供了有益支持。

关键词:青藏高原;面向对象分类;湿地遥感;湿地变化

中图分类号:P237

文献标志码:A

湿地是自然界中最富生物多样性的生态系统,在维持平衡、保持生物多样性和涵养水源、蓄洪防旱、调节气候、补充地下水等方面均起到重要作用。青藏高原是中国湿地分布最为集中的地区之一,其湿地生态系统较少受到人类活动的干扰,对全球气候变化的反应敏感,在全球气候变化研究中被视为先兆区或预警区^[1]。

已有部分学者针对青藏高原或其局部区域如若尔盖高原、拉萨河流域等部分湿地类型进行过研究。如Yao等^[2]利用Landsat TM影像分析了1990—2009年若尔盖高原地区泥炭沼泽面积的变化,认为沼泽泥炭地面积变化与气候趋势呈正相关关系,但相关性不显著,而人类活动可能是影响泥炭地面积变化更重要的因素。王春连等^[3]以2006年中巴遥感影像为数据源,提取拉萨河流域湿地类型矢量数据,结果表明,高寒草甸湿地景观是流域湿地基质景观,占湿地总面积的77.7%。Niu等^[4]基于美国陆地卫星(Landsat

MSS/TM/ETM+)和中巴资源卫星(CBERS-02B)影像数据,对中国2008年的湿地分布及1978—2008年的湿地变化进行了初步分析,得出青藏高原湿地是中国自然湿地分布的主要区域之一;气候变化是导致青藏高原湿地变化的主要驱动力;青藏高原湿地总面积的增加与中国其他区域湿地减少现象形成显著差异。

由于青藏高原湿地分布集中,类型多样,传统基于像元的分类方法难以充分利用湿地的光谱及空间结构特征,容易出现“椒盐”现象,从而降低了湿地的自动分类精度,增大了人工解译的工作量;相比之下,面向对象的分类方法则能较好地弥补基于像元分类的不足。冯文卿等^[5]利用SPOT5多光谱影像,基于eCognition软件进行多尺度分割、对象特征优选,提出了利用模糊综合评判进行面向对象的遥感影像变化检测方法。也有部分学者将面向对象的方法用于湿地信息的提取,充分利用分类对象的光谱和空间特征,

收稿日期:2019-09-10

项目资助:中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA19030203);国家自然科学基金(41231427)。

第一作者:郎芹,硕士生,主要从事遥感技术与陆表监测研究。langqin_joy@163.com

通讯作者:牛振国,博士,研究员。niu zg@radi.ac.cn

从而提高了分类精度。如路春燕等^[6]以 ENVI-SAT ASAR、Landsat TM 与高程数据为数据源,利用面向对象与决策树分类相结合的遥感影像分类方法提取了小兴安岭西部不同泥炭沼泽类型的空间分布信息。

为从整体上理解最新的青藏高原湿地对全球变化的响应,本文基于 2016 年 Landsat 8 OLI (operation land imager) 遥感数据,采用面向对象分类方法并结合人机交互解译,得到了最新的青藏高原湿地分布数据。在此基础上分析了青藏高原湿地分布的空间特征,并对 2008 年以来青藏高原湿地的变化情况进行了研究。

1 研究区概况

青藏高原西起帕米尔高原,东接秦岭,南自东喜马拉雅山脉南麓,北迄祁连山西段北麓,总面积约 261.5 万 km²,约占中国陆地面积的 1/4。青藏高原平均海拔 4 km 以上,为东亚、东南亚和南亚许多大河的发源地;高原上湖泊众多,有纳木错、青海湖等。青藏高原被称作北半球气候变化的“启张器”和“调节器”。该区的地表变化不仅直接影响了中国东部和西南部气候的变化,而且对北半球具有巨大影响,甚至对全球的气候变化也具有明显的敏感性、超前性和调节性。本文研究区为中国境内的青藏高原(见图 1),纬度范围为 26°17′23″N~41°41′18″N,经度范围为 73°56′10″E~104°50′50″E。

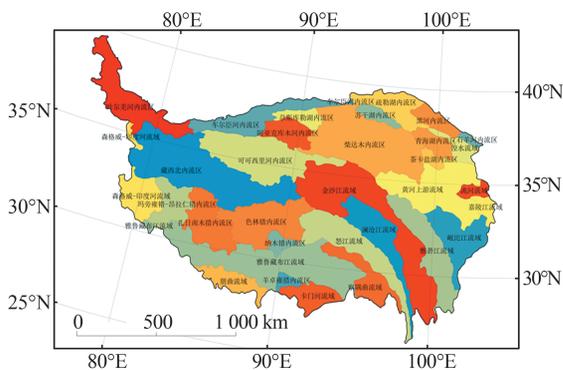


图 1 青藏高原流域分布图

Fig.1 Distribution Map of Tibetan Plateau Basins

2 数据和方法

2.1 数据源

2.1.1 遥感影像及分类数据

Landsat 8 OLI 遥感影像数据来自地理空间数据云网站。选取除热红外和全色波段以外的

其他波段,空间分辨率为 30 m。根据 OLI 数据的可获得性和云量,同时为满足洪泛湿地、河流等湿地类型动态性监测和分类的需要,分别选取丰水期(7月—10月)与枯水期(12月—次年3月)影像。总共选取了以 2016 年为基准年的遥感影像数据 282 景。

研究区 2016 年的湿地分类数据主要基于 2016 年 Landsat 8 OLI 影像数据,经过数据预处理后,使用 eCognition 软件进行面向对象分类得到。2008 年的湿地分类数据源于 Niu 等^[4]的中国湿地分类数据。两期湿地分类数据构建的分类系统及遵循的解译标志相同,空间分辨率匹配且相同区域影像的获取时相总体一致,故可用于湿地的变化分析。

2.1.2 其他辅助资料及数据

辅助专题数据主要包括研究区流域边界数据、高程数据和验证样本点。流域数据采用的是白磊^[7]的青藏高原小流域划分图。其中,流域名称为“××内流区”的是内流区,流域名称中未指明为内流区的均为外流区。高程数据使用的是 ASTER GDEM V2,空间分辨率为 30 m。用于分类验证的 14 310 个矢量样本点数据采样于 Google Earth 的高分辨率影像。

2.2 湿地分类方法

根据 Niu 等^[4]建立的湿地遥感分类体系并结合研究区特征,将青藏高原湿地分为河流、湖泊、洪泛湿地、沼泽湿地及人工湿地 5 类。对原始影像进行辐射校正、几何校正及影像裁切等预处理后,通过 eCognition 软件对预处理后的遥感影像进行分割。为保障主干河流、大湖泊(面积大于 1 km²)等被分割成完整的对象以便于结合形状特征进行提取,先将分割尺度设置为 800,再以 200 为分割尺度进行二次精细分类,主要提取河流支流及面积小于 1 km²的湖泊和人工湿地。粗分类时,将归一化水体指数阈值设为 0.1,能够较好地将水体特征明显的地物提取出来;细分类时,将水体指数阈值调整为 -0.05,同时引入坡度指标,避免与非湿地(如山地阴影)混淆。最后将分类数据进行拼接,得到 2016 年的青藏高原湿地分类数据。

为降低人为主观因素的影响,提高精度的可信度,使用 eCognition 软件中的 Error Matrix Based on TTA Mask 方法进行精度验证,得到精度评价混淆矩阵,如表 1 所示。结合流域、高程、冰川和人为因子进一步分析湿地变化的机制,并

对不同流域湿地面积、高程等数据进行空间分析。

表1 2016年青藏高原湿地分类精度评价

Tab.1 Accuracy Evaluation of Classification Result for the Wetlands in the Tibetan Plateau of 2016

类别	样本数						总计	用户精度/%
	非湿地	沼泽湿地	湖泊	河流	洪泛湿地	人工湿地		
非湿地	4 433	342	313	413	303	2	5 806	76.4
沼泽湿地	107	1 486	42	30	43	0	1 708	87.0
湖泊	49	8	2 935	10	3	0	3 005	97.7
河流	46	16	7	2 264	34	3	2 370	95.5
洪泛湿地	72	25	25	38	1 080	0	1 240	87.1
人工湿地	0	0	0	0	0	181	181	100.0
总计	4 707	1 877	3 322	2 755	1 463	186	14 310	
制图精度/%	94.2	79.2	88.4	82.2	73.8	97.3		
Kappa系数							0.77	
总体精度							0.82	

3 结果与分析

3.1 湿地分布现状

2016年湿地分类总体精度为0.82, Kappa系数为0.77。人工湿地特征明显便于提取,且数量较少,经人工核查后,精度极高,未被误分到其他类型。分类误差主要来源于非湿地和湿地的混淆,这是由于非湿地和湿地交界处存在大量混合的分割对象,降低了分类精度。洪泛湿地的误差主要源于其季节性特征,易与其他类型的自然湿地(河流、湖泊及沼泽湿地)混淆。

2016年青藏高原湿地总面积为115 584 km²。其中,湖泊湿地面积最大,其次是沼泽湿地,二者构成了青藏高原湿地的主体,共占湿地总面积的72.2%。河流及洪泛湿地面积相近,人工湿地在5类湿地中面积占比最小。2016年各流域湿地面积及类型构成比例如图2所示。在32个流域中,湿地总面积最大的是柴达木内流区,湿地密度最大的是青海湖内流区,湿地面积及密度最小的流域均为石羊河内流区。

3.2 湿地变化分析

3.2.1 湿地变化总体特征

2008—2016年,湿地总体变化特征表现为增加,面积增加了3 867 km²,总体变化率为3.5%。青藏高原湿地面积统计结果如图3所示。由图3可知,2008年及2016年研究区的主要湿地类型均为湖泊,且湖泊在所有湿地类型中所占比重小幅上升,湖泊增加面积为2 135 km²;河流与洪泛湿地的面积、变化趋势及变化幅度均相近,增加面积分别为3 239 km²和3 792 km²;沼泽湿地是唯一

表现为面积萎缩的湿地,减少面积为5 799 km²;人工湿地占比小,其面积变化不大,仅增加500 km²,但变化率最高。由此可见,青藏高原地区湿地始终以自然湿地为主导,但人工湿地的变化率极高,人为因素的影响也不容小觑。

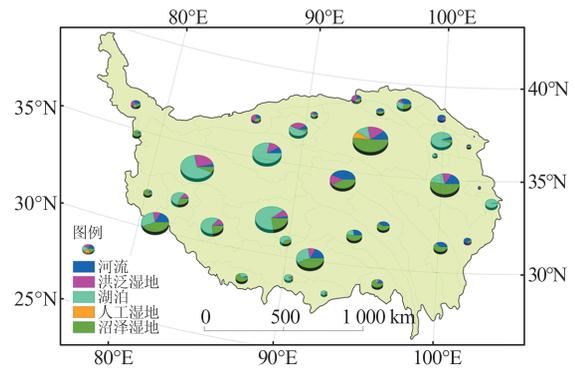


图2 2016年青藏高原各流域湿地类型组成

Fig. 2 Composition of Wetland Types of the Tibetan Plateau Basins in 2016

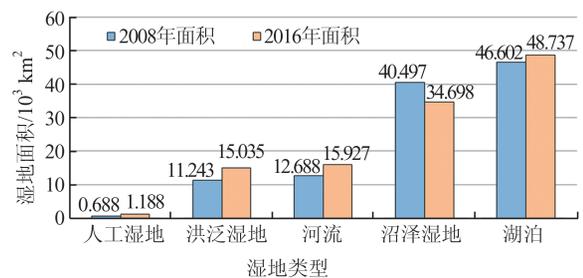


图3 青藏高原湿地面积统计

Fig. 3 Statistics of Wetlands' Areas in the Tibetan Plateau

3.2.2 各流域湿地变化特征

2008年以沼泽为主要湿地类型的流域最多(13个);2016年以湖泊、河流为主要湿地类型的

流域最多(11个)。湿地增加的流域有 18 个(11 个为内流区),减少的有 14 个(7 个为内流区)。藏西北内流区的湿地增加最为显著,增加面积为 2 208 km²;黄河上游流域湿地减少得最多,减少面积为 3 431 km²。青藏高原各类湿地在不同流域表现为不同的变化特征(见图 4、图 5)。其中,图 4(a)中,2008 年各流域中洪泛湿地面积最大的是柴达木内流区,面积为 1 971 km²;2016 年各流域中洪泛湿地面积最大的为藏西北内流区,面积为 3 133 km²。图 4(b)中,2008 年以洪泛湿地为主要湿地类型的流域共 4 个,且在这 4 个流域中洪泛湿地在洮河流域占比最高;2016 年以洪泛湿地为主要湿地类型的流域为 1 个,即车尔臣河内流区,故车尔臣河内流区为 2016 年洪泛湿地占比最高的流域。

洪泛湿地在藏西北内流区增加最大,在金沙江流域减少得最多;河流在雅鲁藏布江流域增加最大,在藏西北内流区减少得最多;沼泽湿地在森格威-印度河流域增加最大,在黄河上游流域减少得最多;湖泊在藏西北内流区增加最大,在柴达木内流区减少得最多;人工湿地的变化集中在柴达木内流区、车尔臣河内流区、杂斯库勒湖内

流区、黄河上游流域以及雅鲁藏布江流域,其中柴达木内流区人工湿地增加面积最大,减少得最多的是黄河上游流域。

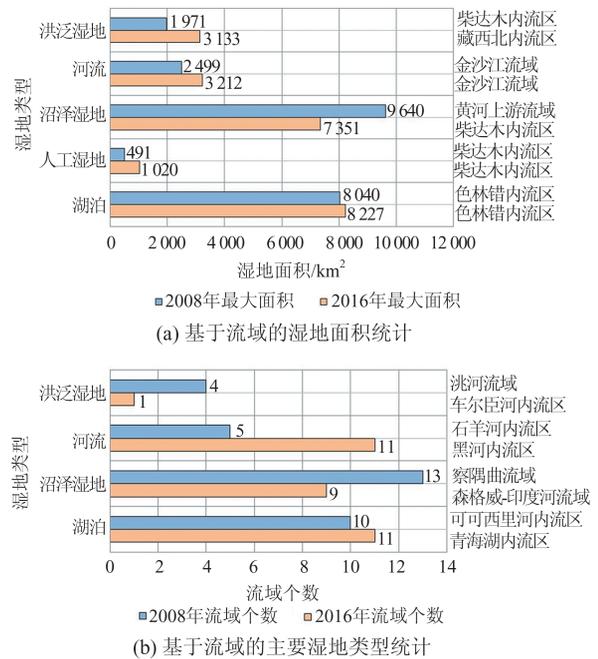


图 4 基于流域的湿地面积统计和主要湿地类型统计
Fig.4 Statistics of Wetlands' Areas and Main Wetland Types Based on Basins

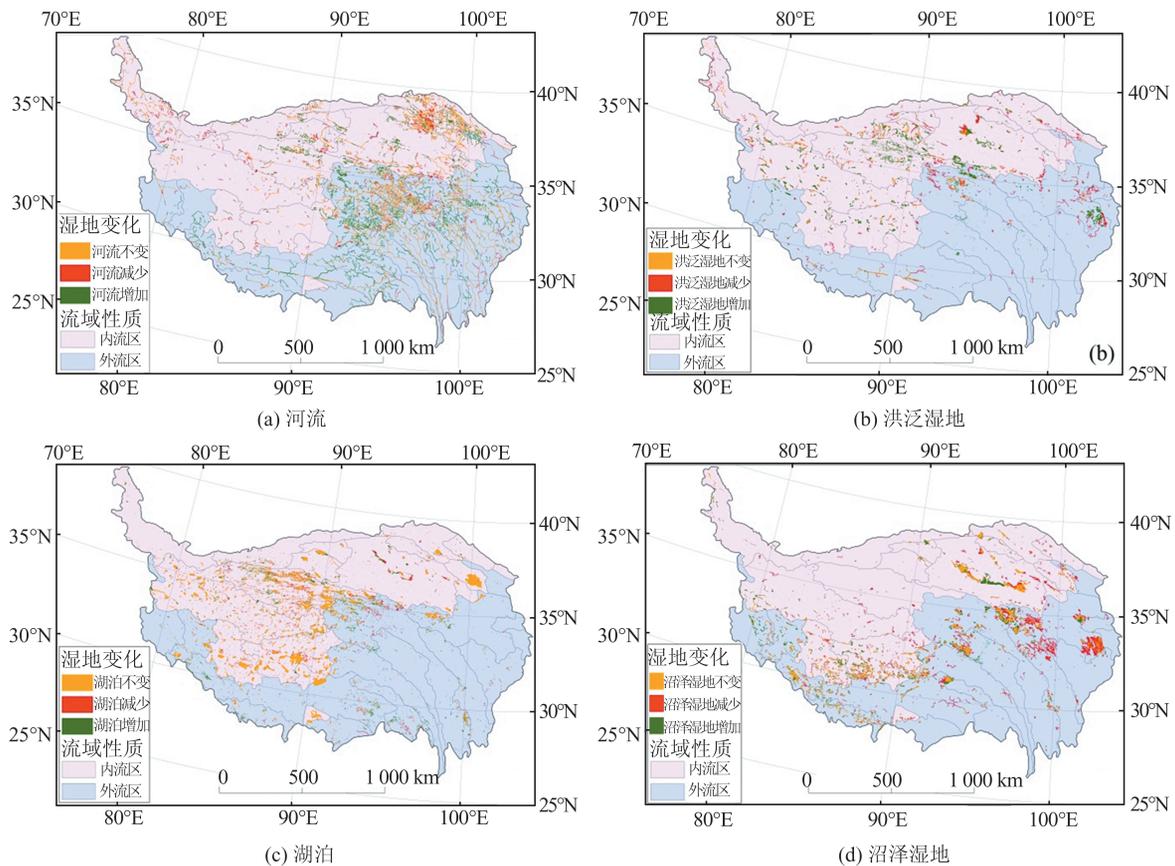


图 5 2008—2016 年青藏高原不同湿地的变化
Fig.5 Changes of Different Wetlands in the Tibetan Plateau in 2008—2016

对青藏高原的优势湿地类型(湖泊)的变化作进一步分析发现,湖泊湿地面积的增大主要集中在面积大于500 km²的大型湖泊湿地,其变化统计结果如表2所示。由表2可知,2008—2016年,面积小于1 km²的湖泊大幅增加,而1~500 km²的中小型湖泊表现为萎缩,尤其是面积小于100 km²的湖泊湿地,面积和数量都呈现减少的特

征。这些减少或消失的中小型湖泊湿地主要分布在可可西里河内流区和藏西北内流区,减少面积分别为534 km²和324 km²。500~1 000 km²的湖泊增加了2个,经核实是西金乌兰湖和阿其克库勒湖扩张后面积突破500 km²所致。2016年面积大于500 km²的湖泊有14个。湖泊面积及数量分级统计见表3。

表2 青藏高原大型湖泊(面积大于500 km²)的变化统计

Tab. 2 Variation Statistics of Large Lakes (with an Area Greater than 500 km²) in the Tibetan Plateau

湖泊名称	湖泊类型	省级自治区	主要补给方式	2008年面积/ 2016年面积/ 变化面积/		
				km ²	km ²	km ²
青海湖	微咸水湖	青海	地表径流、湖面降水	4 227	4 516	289
色林错	微咸水湖	西藏	地表径流	2 274	2 380	106
纳木错	微咸水湖	西藏	地表径流、湖面降水	2 014	2 035	21
扎日南木错	微咸水湖	西藏	地表径流、湖面降水	1 006	1 000	-6
阿牙克库木湖	盐湖	新疆	冰雪融水径流	810	996	186
当惹雍错	微咸水湖	西藏	地表径流	831	844	13
鄂陵湖	微咸水湖	青海	地表径流、湖面降水	659	661	2
乌兰乌拉湖	微咸水湖	青海	地表径流、湖面降水	594	657	63
哈拉湖	咸水湖	青海	地表径流、冰雪融水径流	609	622	13
扎陵湖	淡水湖	青海	地表径流、湖面降水	531	564	33
西金乌兰湖	盐湖	青海	地表径流	485	564	79
阿其克库勒湖	盐湖	新疆	地表径流	469	548	79
羊卓雍错	微咸水湖	西藏	地表径流	561	542	-19

注:数据来源于文献[8]

表3 湖泊面积及数量分级统计

Tab. 3 Classification Statistics of Lakes' Areas and Numbers

面积范围 /km ²	2008年		2016年	
	总面积 /km ²	数量	总面积 /km ²	数量
<1	1 919	19 941	2 197	26 993
1~10	2 798	932	2 700	869
10~100	10 495	314	10 405	299
100~500	16 490	78	16 453	78
500~1 000	5 565	8	6 998	10
>1 000	9 521	4	10 001	4

3.2.3 湿地在不同高程内的分布与变化

以0.5 km为间隔将研究区6.5 km高程数据分为13个高程级别,以研究高程与湿地分布及湿地变化的关系。受地貌和水热等组合条件的影响,2008年和2016年的湿地总体上集中分布在4.5~5.0 km高程范围内,占比分别为45.9%和48.8%。人工湿地集中分布在2.0~3.5 km高程范围内,自然湿地集中分布在4.0~5.0 km高程范围内。

湿地总体变化主要分布在2.5~5.5 km的高

程范围内,其中4.5~5.0 km高程范围内的湿地增加最为显著,增加面积为5 012 km²;而3.0~3.5 km高程范围内的湿地减少最为显著,减少面积为2 270 km²。河流湿地面积在4.5~5.0 km高程范围共增加了846 km²。洪泛湿地在4.5~5.0 km高程范围的面积增加了2 401 km²。湖泊湿地在4.5~5.0 km高程范围内面积增加了1 336 km²;而在2.5~3.0 km高程范围内减少了459 km²。沼泽湿地则在3.0~3.5 km高程范围内面积减少3 655 km²。人工湿地面积在2.5~3.0 km高程范围内增加了657 km²(见图6)。

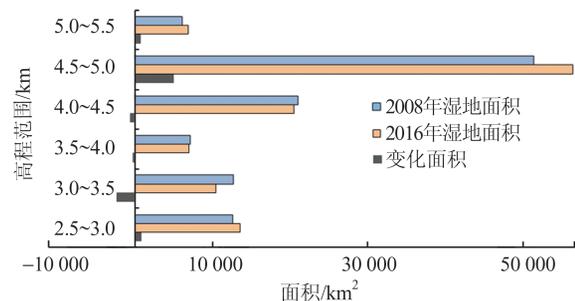


图6 不同高程段的湿地面积及变化面积

Fig. 6 Wetland Areas and Change Areas of Different Elevation Sections

3.3 湿地变化因子讨论

3.3.1 流域性质

不同类型湿地的变化状况因流域性质的不同呈现出空间分布的差异性(见表4)。外流区的河流湿地呈增加趋势,而洪泛湿地、人工湿地呈减少趋势;内流区的洪泛湿地、湖泊以及人工湿地呈增加趋势。但是沼泽湿地不论在内流区还是外流区,都呈现出明显的面积减少状态。

表4 基于流域的湿地变化面积统计

Tab.4 Statistics of Wetland Change Areas Based on Basins

流域特征	变化特征	湿地变化面积/km ²				
		河流	洪泛湿地	湖泊	人工湿地	沼泽湿地
内流区	增加	844	4 807	2 213	619	976
	减少	502	484	568	1	1 659
	净变化	342	4 323	1 645	618	-683
外流区	增加	2 957	700	506	0	775
	减少	59	1 231	16	118	5 891
	净变化	2 898	-531	490	-118	-5 116

3.3.2 气候因子

青藏高原对全球气候变化十分敏感,分析气候因子的影响对青藏高原湿地生态系统具有重要意义。王智颖^[9]的研究发现,青藏高原1998—2015年平均气温呈上升趋势;1970—2015年间各区年均降水整体呈上升趋势。可见在本研究的时空范围内,研究区的气温和降水都呈现上升趋势,与本文湿地总体的增加呈正相关。温度上升与湖泊、河流及洪泛湿地的变化均呈正相关,而与沼泽湿地的变化呈负相关,可见温度升高在一定程度上能够促进湖泊、河流及洪泛湿地的扩张,但加剧沼泽湿地的退化。降水整体上升的趋势同样与湿地总体变化呈正相关,降水的增加能够补充各类湿地水量,有助于减缓湿地退化。

3.3.3 冰川

20世纪以来,气温的迅速升高导致世界范围内的冰川不断缩减,进一步影响了水循环以及生态循环^[10]。对于冰雪融水补给的湿地,冰川的变化与其直接相关。Song等^[11]的研究表明,在降水、土壤水分蒸发、蒸腾损失总量和冰川消融共同作用下,青藏高原湖泊有所扩张。王松涛等^[12]研究发现,2006—2010年,阿牙克库木湖面积增长了11.6%;同时,研究区冰川面积缩减了7.2%。这与阿牙克库木湖面积变化呈相同趋势,即其面积变化与冰川消融关系密切。在表2的湖泊变化分析中,补给方式主要为冰雪融水补给的阿牙克库木湖面积从2008—2016年8 a时间里增加了

185.4 km²,面积变化显著,与冰川的退缩趋势相关。黄启厅^[13]以新疆中部的博格达峰地区和北部的阿尔泰山友谊峰地区为研究区,发现1972—2010年冰川呈消退趋势,而冰湖呈扩张趋势,且冰川退缩对中小规模冰湖面积增长的影响更为突出。

总结近几年青藏高原有关冰川-湿地变化的研究文献,并对照本文研究,发现全球变暖导致青藏高原冰川退缩,冰川退缩进一步促进了湿地扩张(尤其是对湖泊扩张的影响更为显著),反映了青藏高原湿地与冰川变化的响应机制及其对全球变化的响应。

3.3.4 人为因素

虽然青藏高原湿地生态系统的演变以自然因子为主导,但人类活动的加剧对湿地的直接影响也逐渐体现。如位于柴达木内流区区域的乌兰县,政府对盐业资源的支持与开发^[14]促使柴达木流域盐湖周边的部分荒漠化土地被开发成盐田。青藏高原旅游业的发展在引进巨大客流量带来经济效益的同时,也给湿地生态系统带来了巨大的压力。除此之外,青藏高原的多数居民以畜牧业为主要经济来源,过度放牧破坏了当地植被,加剧了土地沙化,进而加速了沼泽湿地的退化,破坏了湿地的生态功能。但是,国家在青藏高原部署的许多生态保育工程也促进了湿地面积和生态功能的恢复。

4 结 语

本文通过2008年和2016年两期的湿地分类数据,结合流域、高程以及冰川因子对研究区的湿地分布及变化进行监测与分析,得出如下结论:

1)采用面向对象的分类方法,通过建立不同尺度的分割层逐层提取,能够充分利用分割对象的空间形状特征。同时,基于两期数据确定洪泛湿地等季节性湿地类型,提高了湿地解译的精度。

2)2016年青藏高原湿地总面积为115 584 km²,其中,湖泊和沼泽湿地构成了青藏高原湿地的主体。2008—2016年的8 a间,湿地总体上增加3 867 km²,变化率为3.5%,主要表现为湖泊湿地的增加,但沼泽湿地表现为减少。青藏高原湿地集中分布在4.5~5.0 km的高程范围内。4.5~5.0 km高程范围,湿地增加9.8%;而3.0~3.5 km高程范围,湿地减少17.9%。

3)除沼泽湿地外,流域性质与其他湿地类型的变化具有相关性。温度和降水与湿地的总体变化呈正相关,但其响应机理需要进一步探讨。

由于湿地具有较为明显的季节性特征,本文仅基于双时相 Landsat 影像提取出的湿地边界数据稳定性不够,要更为精确地提取此类湿地,今后可将时间序列数据提取季节性湿地的相关方法^[15]应用于青藏高原地区。由于研究区覆盖范围广,可获取的数据(如连续的气象、温度、冰川等数据)相对较少。对湿地变化的驱动力分析参考了相关研究文献,但对湿地变化的机理需要开展专门的调查和更加可靠的数据和方法。

参 考 文 献

- [1] Bai Junhong, Ouyang Hua, Xu Huifeng, et al. Advances in Studies of Wetlands in Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(4): 1-9 (白军红, 欧阳华, 徐惠风, 等. 青藏高原湿地研究进展[J]. 地理科学进展, 2004, 23(4):1-9)
- [2] Yao L, Zhao Y, Gao S J, et al. The Peatland Area Change in Past 20 Years in the Zoige Basin, Eastern Tibetan Plateau [J]. *Frontiers of Earth Science*, 2011, 5(3):271-275
- [3] Wang Chunlian, Zhang Yili, Wang Zhaofeng, et al. Analysis of Landscape Characteristics of the Wetland Systems in the Lhasa River Basin [J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1 634-1 642 (王春连, 张懿翎, 王兆锋, 等. 拉萨河流域湿地系统景观格局多尺度分析[J]. 资源科学, 2010, 32(9): 1 634-1 642)
- [4] Niu Z G, Zhang H Y, Wang X C, et al. Mapping Wetland Changes in China Between 1978 and 2008 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(22): 2 813-2 823
- [5] Feng Wenqing, Zhang Yongjun. Object-Oriented Change Detection for Remote Sensing Images Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(7): 875-881 (冯文卿, 张永军. 利用模糊综合评判进行面向对象的遥感影像变化检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(7): 875-881)
- [6] Lu Chunyan, Wang Zongming, Jia Mingming, et al. Peatland Extraction Based on ENVISAT ASAR, Landsat TM and DEM Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(2): 185-192 (路春燕, 王宗明, 贾明明, 等. 基于 ENVISAT ASAR、Landsat TM 与 DEM 的泥炭沼泽信息提取方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(2): 185-192)
- [7] Bai Lei. Study on the Wetland Transition and Change Mechanism in Tibetan Plateau Based on Small Watershed Level [D]. Changchun: Jilin University, 2010 (白磊. 基于小流域的青藏高原湿地变迁及其机理研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010)
- [8] Wang S M, Dou H S. Records of Lakes in China [M]. Beijing: Sciences Press, 1998 (王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998)
- [9] Wang Zhiying. Multi Source Remote Sensing Monitoring of Lake Environmental Factors in Qinghai Tibet Plateau and Its Response to Climate Change [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2017 (王智颖. 青藏高原湖泊环境要素的多源遥感监测及其对气候变化响应[D]. 济南: 山东师范大学, 2017)
- [10] Wang Yifan. Variation Regularity and Causes of Typical Glaciers in the Tibetan Plateau in Recent 40 Years [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017 (王一凡. 近40年青藏高原典型冰川变化规律及成因[D]. 北京: 中国地质大学, 2017)
- [11] Song C Q, Huang B, Richards K, et al. Accelerated Lake Expansion on the Tibetan Plateau in the 2000s: Induced by Glacial Melting or Other Processes? [J]. *Water Resources Research*, 2014, 50(4): 3 170-3 186
- [12] Wang Songtao, Jin Xiaomei, Gao Mengmeng, et al. Dynamic Changes of the Ayakekumu Lake and Its Response to Glacial Ablation [J]. *Yellow River*, 2016, 38(7): 64-67 (王松涛, 金晓媚, 高萌萌, 等. 阿牙克库木湖动态变化及其对冰川消融的响应[J]. 人民黄河, 2016, 38(7): 64-67)
- [13] Huang Qiting. Study on Remotely Sensed Monitoring of the Synergic Evolution of Alpine Glacier-Glacier Lakes and Their Response Mechanism to the Climate Change in the Arid Areas [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2017 (黄启厅. 干旱区山地冰川_冰湖协同演变遥感监测与气候响应机制研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017)
- [14] Wulan County Development and Reform Economic Bureau. Summary of the 2010 Work of Wulan County Development and Reform and Economic Bureau and Work Arrangements for 2011 [R]. Wulan County, 2011 (乌兰县发展改革和经济局. 乌兰县发展改革和经济局2010年工作总结及2011年工作安排部署[R]. 乌兰县, 2011)
- [15] Xu Panpan, Niu Zhenguo, Tang Ping. Comparison and Assessment of NDVI Time Series for Seasonal Wetland Classification [J]. *International Journal of Digital Earth*, 2018, 11(11): 1 103-1 131

Remote Sensing Monitoring and Change Analysis of Wetlands in the Tibetan Plateau

LANG Qin¹ NIU Zhenguo² HONG Xiaoqi¹ YANG Xinying¹

¹ School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

² State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Tibetan Plateau is a region with more concentrated wetland distribution in China, which has always been a sensitive region of global change, and its wetland distribution and change are of great value to the study of the change of water resources and environments in China. Based on Landsat 8 OLI (operation land imager), we adopt the method of object-oriented classification and manual interpretation to obtain the wetland distribution of the Tibetan Plateau in 2016, and the wetland classification data in 2008, as well as the auxiliary data of elevation and watershed boundary. The present situation of wetland distribution and wetland changes in the Tibetan Plateau from 2008 to 2016 were analyzed. The results show that: ① In 2016, the total area of the Tibetan Plateau wetland was 115 584 km², the area of lake wetland was 48 737 km², marsh wetland area was 34 698 km², river wetland area was 15 927 km², flood wetland area was 15 035 km², constructed wetland area was 1 188 km². ② From 2008 to 2016, the total area of wetland in the Tibetan Plateau increased 3 867 km², mainly from the increase of lake, river and flood wetland and the decrease of the marsh wetland. ③ In different watersheds and altitudes, the distribution and variation of wetland in the Tibetan Plateau showed significant regional differences. ④ Both temperature and precipitation in the Tibetan Plateau showed upward trends, which was positively correlated with the overall change of the wetlands; the change of glacier area in drainage basins had a certain correlation with the wetland change; human activities mainly played a negative role in the wetland change of the Tibetan Plateau. This paper provides a useful support for the study of environmental change and wetland conservation in the Tibetan Plateau.

Key words: the Tibetan Plateau; object-oriented classification; wetland remote sensing; wetland change

First author: LANG Qin, postgraduate, specializes in remote sensing technology and surface monitoring. E-mail: langqin_joy@163.com

Corresponding author: NIU Zhenguo, PhD, professor. E-mail: niuzg@radi.ac.cn

Foundation support: Chinese Academy of Sciences Strategic Guidance Technology Special Category A (XDA19030203); the National Natural Science Foundation of China (41231427).

引文格式: LANG Qin, NIU Zhenguo, HONG Xiaoqi, et al. Remote Sensing Monitoring and Change Analysis of Wetlands in the Tibetan Plateau[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(2):230-237. DOI:10.13203/j.whugis20180277(郎芹, 牛振国, 洪孝琪, 等. 青藏高原湿地遥感监测与变化分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(2):230-237. DOI:10.13203/j.whugis20180277)