

文章编号: 2096-1618(2021)01-0073-07

# 近30年来若尔盖高寒湿地变化 及其对区域气候变化的响应

杨越<sup>1</sup>, 文军<sup>1</sup>, 陆宣承<sup>1</sup>, 王欣<sup>2</sup>, 田辉<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国科学院西北生态环境资源研究所 中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**为探究近30年来气候变化对若尔盖高寒湿地面积的影响,利用1987–2016年的5期陆地资源卫星主题绘图仪及陆地资源卫星陆地成像仪观测数据,使用决策树分类的方法提取若尔盖高寒湿地的湿地面积并分析其变化特征;利用1984–2016年若尔盖、玛曲、红原、阿坝4个气象站观测数据分析若尔盖区域气候变化特征,探讨湿地面积与气候因子间的相关性。结果表明:1987–2016年,若尔盖高寒湿地呈现板块化,总面积减少约902.16 km<sup>2</sup>; 1984–2016年,若尔盖高寒湿地区域气候有显著的变暖趋势(0.64 °C/10 a)。气温与湿地面积的相关性最高,其次是降水和相对湿度,表明气温是影响若尔盖高寒湿地面积变化的主导气候因子。

**关键词:**气候变化;陆面过程;若尔盖高寒湿地;气温;响应

**中图分类号:**P461

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2021.01.012

## 0 引言

湿地是地球上最大的碳库,可有效控制空气中CO<sub>2</sub>的含量,在减缓气候变暖方面发挥重要作用;同时,气候变化对湿地的面积和分布等也有重要影响<sup>[1]</sup>。湿地对气候变化敏感,气候变化会引起湿地水文、植物群落及生态等功能的变化<sup>[2]</sup>。若尔盖高寒湿地地处全球气候变化关键区——青藏高原的东北部,其涵养水源、降解污染物及管理温室气体等功能对该区域的气候稳定及生态平衡起关键的屏障作用<sup>[3]</sup>。因此,探究若尔盖高寒湿地变化及其对气候的响应,对服务若尔盖地区经济社会发展和应对该地区气候变化带来的各种风险和灾害具有显著意义。

近年来,国内外学者进行了大量关于气候变化对湿地影响的研究。郭洁等<sup>[4]</sup>利用若尔盖地区气象站数据分析该地区的气候特征,指出近30年来若尔盖高寒湿地气候变化呈暖干化趋势,加速了若尔盖高寒湿地的沙化过程。邢宇<sup>[5]</sup>利用目视解译的方法对4个时期的青藏高原遥感图像进行湿地提取,对湿地变化和气象数据进行图像相关分析,获取湿地变化与气候变化在空间上的响应。燕云鹏等<sup>[6]</sup>利用1975、2000及2007年三期遥感数据,以目视解译的方式分析三江源地区32年来湿地面积变化特点,并获取了湿地面积与

气象因子之间的定量关系。Withey等<sup>[7]</sup>以加拿大西部的大草原坑洼地区为研究区,通过将降水、气温及SPI(标准化降水指数)分别与湿地个数进行相关分析,探究了1955–2007年该地区湿地变化与气候变化的关系。Ouyang等<sup>[8]</sup>以南达科他州的大草原坑洼地区为研究区,探究地表水体面积与帕默尔干旱指数(PDSI)之间的定量关系,并利用模拟PDSI数据对未来地表水体面积做预测。刘春兰等<sup>[9]</sup>对白洋淀湿地的气象数据和湿地水文要素进行相关分析,得到白洋淀湿地持续退化的原因为气温升高、降水减少及其他人为因素的结论。总的来说,结合计算机遥感影像分类技术研究气候变化对湿地影响的工作较少,许多研究以目视解译的手段在遥感数据中获取湿地变化表征参量,这种方法的优点是精度高,但时效性和经济性不高,且非常费时费力。而计算机遥感影像分类技术能大大提高提取湿地表征参量的效率。

从以上研究中可以看出,利用观测资料分析气候变化对湿地的影响,或利用卫星影像目视解译探讨湿地范围变化的研究较丰富,但将结合计算机遥感影像分类技术探究湿地变化对气候变化的响应工作仍需增加。特别是针对若尔盖高寒湿地,这导致若尔盖高寒湿地变化趋势不明晰,缺乏时空尺度定量数据支撑。进一步考虑到黄河源区高寒湿地对黄河流域的重要性,开展若尔盖高寒湿地变化及其对区域气候变化的响应研究尤为重要。基于以上所述,文中拟定探究若

尔盖高寒湿地近 30 年的时空变化趋势,以期望增进对湿地区域气候变化响应的认识。

1 研究区介绍

若尔盖高寒湿地地处四川、甘肃和青海省交界,位于若尔盖、红原、阿坝、玛曲和碌曲等县境内,属黄河流域<sup>[10]</sup>。研究区海拔高度为2360.0~5068.0 m,属高原亚寒带半湿润大陆性季风气候,降水多、湿度大、霜冻期极长,近 33 年的年平均气温为1.4℃~3.6℃,年降水量为660.0~750.0 mm,无绝对无霜期<sup>[11]</sup>。

湿地是指水体向陆地过渡的地物类型。通常将湿地分为沼泽、河流、湖泊、沼泽化草甸和近海及海岸湿地等。考虑到研究区地类特征,将沼泽湿地、沼泽化草甸湿地一同并入沼泽类型,将河流湿地和湖泊湿地划分为水体。研究区域地理位置见图 1,选取若尔盖地区高寒湿地所处的 5 个行政县区为研究区。

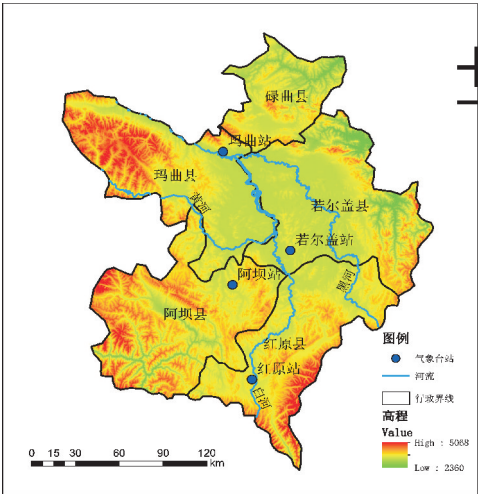


图 1 研究区行政区划及其地形

2 数据与方法

2.1 研究数据及预处理

采用的主要数据包括:陆地资源卫星(landsat)遥感数据、研究区域气象台站观测数据和其他辅助数据等。

2.1.1 遥感数据及预处理

选取的遥感数据为陆地资源卫星数据。陆地资源卫星是美国国家航空航天局(NASA)于 1972 年首次发射又不断更新的系列卫星,自发射以来,被广泛应用于资源调查等领域。由于陆地资源卫星搭载的主题绘

图仪或增强主题绘图仪(thematic mapper/enhanced thematic mapper)和陆地成像仪(operational land imager)属于可见光与被动红外辐射传感器,受天气条件影响较大,因此数据选取不连续。选取研究区 1987、1990、2000、2004 和 2016 年 5 个时相的 landsat TM/landsat OLI 观测数据提取湿地信息,研究区内的大部分湿地位于轨道号为 131036 和 131037 的 landsat 数据上,因此选择数据时,要保证这两幅数据上无云遮盖,其他位置则尽量选取少云或无云的数据。选取的部分影像数据信息见表 1。由于若尔盖地区全年气温较低,为避免冰雪对湿地面积提取的影响,选取的所有卫星数据观测时间均为夏季(5-9 月)。卫星数据来自于美国地质勘探局(USGS)及中国科学院对地观测数据中心。

表 1 部分 landsat 数据轨道号和观测日期

卫星传感器	轨道号	成像日期
landsat TM	131036	1987-05-29
landsat TM	131037	1987-05-29
landsat TM	131036	1994-08-04
landsat TM	131037	1994-08-04
landsat TM	131036	2000-09-21
landsat TM	131037	2000-09-21
landsat TM	131036	2004-09-16
landsat TM	131037	2004-09-16
landsat TM	131036	2009-07-28
landsat TM	131037	2009-07-28
landsat OLI	131036	2016-07-15
landsat OLI	131037	2016-07-15

卫星遥感数据的预处理包括几何校正和大气校正。下载数据为L1 T标准地形产品,在地面站已经过粗校正,但有些地物坐标仍有误差,且未进行大气校正。以中科院对地观测数据中心的 L4 级正射产品为基准,精度控制在 0.3 个像元内。大气校正采用超立方快速视线大气分析大气校正模块(fast line-of-sight atmospheric analysis of hypercubes, FLAASH)进行。FLAASH 模块是基于中等光谱分辨率大气透过率及辐射传输算法和计算模型(moderate spectral resolution atmospheric transmittance algorithm and computer model, MOTRAN)而建立的大气校正模块,通过输入有关传感器和成像时间等的参数,即可获取校正后的数据<sup>[12]</sup>。以上参数可在遥感数据头文件中获得。

2.1.2 气象台站观测数据

采用的气象资料为若尔盖、玛曲、红原及阿坝这 4 个气象站 1984–2016 年逐日的平均气温、20–次日 20 时降水量和相对湿度。由于碌曲站地面观测数据缺失,未选择碌曲气象站的数据进行统计分析。数据来自于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

### 2.1.3 其他辅助数据

采用的辅助数据为:30.0 m×30.0 m 地形数据 ASTER GDEM 及由 ASTER GDEM 提取的坡度数据;分辨率为 1.0 km 的中国 LUCC 数据。DEM 和 LUCC 数据分别来自于地理空间数据云和中科院资源环境科学数据中心。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 基于遥感数据的湿地面积提取

选择沼泽和水体的面积作为湿地表征参量。由于湿地的反射特征复杂,传统分类方法所提取的湿地精度不高。同时,也有一些研究指出,决策树分类等机器学习算法的分类精度总体来说优于监督分类和非监督分类<sup>[13–14]</sup>,所以采用基于 RuleGen 的决策树分类法来完成湿地面积的提取。RuleGen 决策树算法运行原理基于分类回归树算法(classification and regression trees, CART)。CART 是一种二叉树分类方法,基于样本属性生成连续的分类规则。选择用于分类的变量有 DEM、坡度、遥感数据及其衍生变量:中红外波段与近红外波段的比值(SWIR/NIR),缨帽变换得到的湿度(wetness)、亮度(brightness)及绿度(greenness),主成分变化得到的第一主成分(PC1)。

为获取研究区湿地的分布、面积变化等信息,将用于分类的变量合成为多源数据,在多源数据上选取代表地物类型的像元作为训练样本,代入 RuleGen 算法中。由于不同地物的反射特性不同,因而其在遥感数据各个波段和衍生变量上的数值将呈现一定差异。RuleGen 算法根据这一特性,层层计算不同地物在不同变量中的阈值,从而建立决策树分类模型。首先,将用于分类的各分量进行波段合成,整理成多源数据。根据分类需要在多源数据和实际地物间进行对比调查,选取代表地物类型的训练样本和精度验证样本,将训练样本代入 RuleGen 算法中,即可生成适合当前卫星数据的决策树分类规则,执行决策树,得出分类结果后,配合研究区 1.0 km 分辨率的土地利用图,进行斑块修改和补充。对高寒湿地分类工作完成后,再进行地物分类后处理并按像元进行统计,即可提取各地类的实际面积。结合研究区地类特征和研究区遥感数据光学特征,在便于判读的情况下,将研究区地类分为高

覆盖度草地及林地、沼泽、水体和中、低覆盖度草地及其他地类(积雪、云等)。研究区植被覆盖类型有林地和草地。高覆盖度草地指覆盖度大于 50% 的草地,这种草地处于水分充足的区域。中覆盖度草地是覆盖率在 20% ~ 50% 的草地,低覆盖度草地是指覆盖率在 5% ~ 20% 的草地。因植被特殊的光谱反射特性,高覆盖度植被及林地在遥感影像上较容易判读;而由于 Landsat 数据光谱分辨率限制,中覆盖度草地和低覆盖度草地在影像上常常容易混淆,其分类阈值难以设定,在没有先验知识的支持下分类容易产生误差,因此文中将其归为同一类。

### 2.2.2 气候变化特征分析

为对研究区气候背景有一个全面认识,收集整理研究区内玛曲、若尔盖、阿坝及红原这 4 个气象台站 1984–2016 年共 33 年的气象数据,对气象数据进行累加求平均。选取年平均气温、年平均相对湿度及年总降水量这 3 个气候因子,建立时间和气候因子间的线性回归方程,分析研究区气候变化趋势。

### 2.2.3 湿地对气候变化响应分析

以从遥感数据上提取的沼泽面积和水面面积及其总和为因变量,年降水量、年平均气温、年平均相对湿度为自变量,进行关键参量的相关分析。通过湿地面积与各气象要素之间的相关系数,得到湿地变化的主导因子。由于湿地变化较缓慢,其面积等变化是受前期较长时间段的气候因子变化所引起的。

Withey 等<sup>[7]</sup>在探究加拿大西部湿地变化与气候因子的相关性时,设置一年的影响滞后值,即将前一年的气候因子与湿地表征参量进行相关分析;张树清等<sup>[15]</sup>在探究三江源湿地变化与气候因子的相关性时,则设置 3 年的影响滞后值。为此,为探究适用于若尔盖高寒湿地的影响时间滞后值,将遥感数据成像前 1 年、前 2 年、前 3 年的年平均气象数据,分别与湿地表征参量(沼泽面积、水面面积及其总面积)进行相关分析,揭示近 30 年来若尔盖高寒湿地变化对区域气候变化的响应。

## 3 结果与分析

### 3.1 若尔盖高寒湿地面积变化分析

高寒湿地地表物理属性的时空格局变化不仅反映在地表覆盖类型的变化,也反映在不同地表覆盖类型所占区域总面积比例的变化,对一个固定区域后者的变化更显著或突出。应用 RuleGen 生成的决策树对遥



感数据分类,然后做聚类分析等分类后处理,得到研究区的土地利用分类图(图2)。基于此结果,即可获取各地类面积,进而分析各地类变化规律。

由图2分析各地类的覆盖特征及变化特征。研究区内,面积占比最大的是植被,其中包括草地和林地等。高覆盖度草地及林地的面积在1987–2004年持续下降,而自2004年起有回升,这可能与若尔盖县自

1999年起的退耕还林还草工程有关<sup>[16]</sup>。但文中分析其主要原因因为遥感数据成像时间不同。选取的遥感数据时间跨度为5–9月,属于若尔盖草场的生育季<sup>[17]</sup>,牧草生育季的植被覆盖度变化较大,不同年份、不同成像时间的遥感数据无法反映其真实的年际变化规律。此外,遥感数据上的云和积雪也影响植被的分类结果。从分类结果上看,湿地面积整体呈下降趋势。

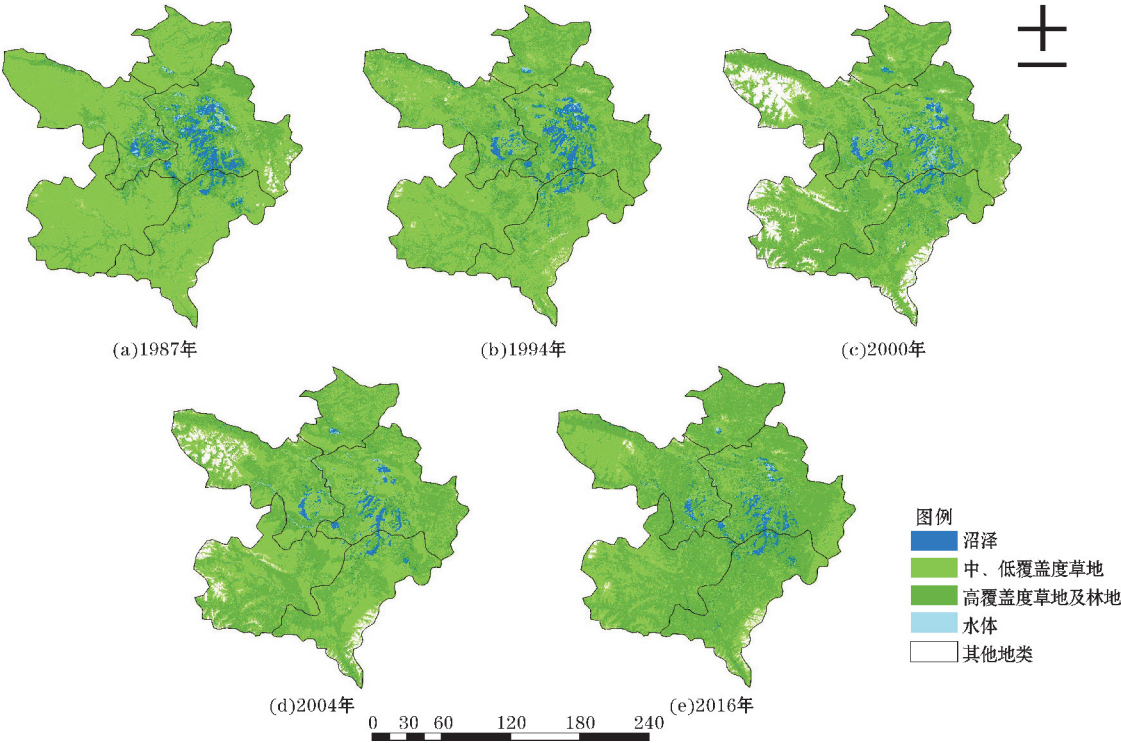


图2 1987、1994、2000、2004 和 2016 年若尔盖高寒湿地土地利用图

不同地表覆盖类型的变化可以由卫星遥感数据通过分类方法获取,而不同地类实际面积可以由地表覆

盖类型分布图统计像元数,再折合成面积。若尔盖高寒湿地核心区域各地类面积统计结果见表2。

表2 不同时期的若尔盖高寒湿地各地类面积统计

参数	1987 年	1994 年	2000 年	2004 年	2016 年
沼泽面积	2065.14	1896.90	1765.55	1122.62	1405.51
水体面积	381.26	345.02	238.21	287.39	138.73
高覆盖度草地及林地面积	6406.92	6906.29	7132.29	6965.52	9784.15
中、低覆盖度草地面积	5039.15	4699.87	4665.49	5486.44	2525.78
其他地类	7.08	51.48	98.01	37.59	45.38

可以看出:1987–2016 年,若尔盖高寒湿地的面积整体呈下降趋势,湿地持续退化。就湿地面积占若尔盖区域总面积的比例来说,其面积占比从17.6%下降到11.1%。30 年沼泽面积共下降659.63 km<sup>2</sup>,水体面积共下降242.53km<sup>2</sup>,湿地总面积下降902.16km<sup>2</sup>。2016 年较 1987 年,湿地、水体的面积分别减少了31.9%、63.6%。1987–2000 年沼泽面积下降速率相

对缓慢,约为23.05 km<sup>2</sup>/a;而 2000–2004 年沼泽面积下降最为严重,以160.73 km<sup>2</sup>/a的趋势显著退化;2004 年后,沼泽面积有所增加,以23.57 km<sup>2</sup>/a的趋势逐渐回升至 2016 年的1405.51 km<sup>2</sup>,30 年间的平均下降趋势为22.75 km<sup>2</sup>/a。水体的面积在 30 年间以每年8.36 km<sup>2</sup>/a的趋势逐渐下降。

3.2 研究区气候变化特征分析

对 4 个气象站 1984–2016 年的年平均气温、年降

水量以及年平均湿度数据求平均,进而得到研究区气候  
变化趋势(图 3)。

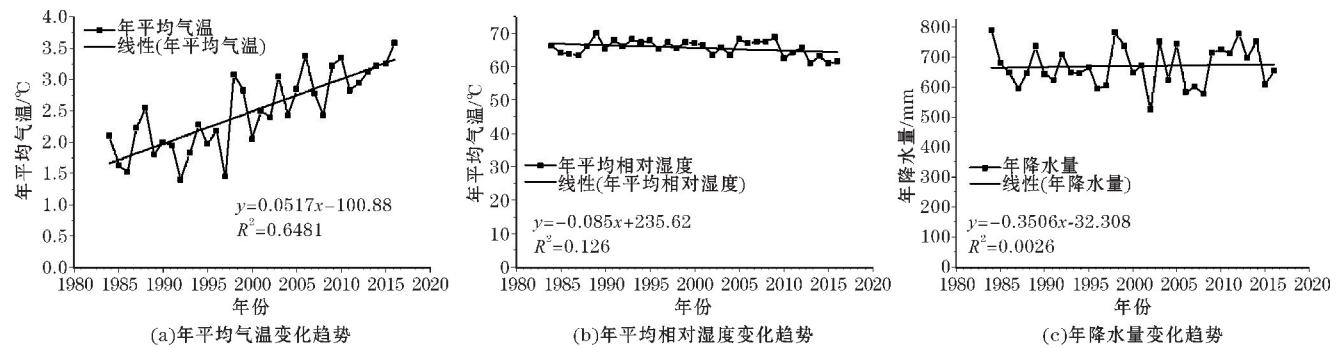


图 3 研究区域站点平均 1984–2016 年各气候因子变化趋势

由图 3 得出:1984–2016 年,研究区年平均气温呈上升趋势,气候倾向率为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。年平均气温最高值出现于 2016 年,为 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;最低值出现于 1992 年,为 $1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对年降水量而言,33 年间呈略微上升的趋势,气候倾向率为 $0.35\text{ mm}/\text{a}$ 。而年平均相对湿度呈下降趋势,变化甚微,气候倾向率为 $-0.085\%/ \text{a}$ ,可将其归因为气温上升。因此,可以说 33 年间年平均相对湿度几乎无变化,绝对湿度肯定有所增加。由于 33 年间平均气温显著上升,而平均相对湿度几乎不变,因此可推测在此期间,平均绝对湿度有所增加。

以上分析表明,若尔盖高寒湿地在 1984–2016 年,气温显著升高,降水量稍有上升,相对湿度变化不大,说明 33 年间若尔盖高寒湿地的气候特征发展呈现出变暖的趋势。

3.3 若尔盖高寒湿地面积与气候因子的关系

为研究若尔盖高寒湿地面积变化的气象主导因子,将若尔盖高寒湿地面积(沼泽面积、水体面积及其总面积)与局地气候因子进行相关分析,结果见表 3。

表 3 若尔盖高寒湿地面积与气候因子相关系数

气候因子	降水			相对湿度			气温		
	前 1 年	前 2 年	前 3 年	前 1 年	前 2 年	前 3 年	前 1 年	前 2 年	前 3 年
沼泽面积	-0.362	0.349	0.594	0.254	0.369	0.392	-0.855	-0.716	-0.790
水体面积	0.124	-0.308	-0.080	0.511	0.498	0.623	-0.880 *	-0.926 *	-0.936 *
总面积	-0.285	0.234	0.494	0.328	0.424	0.471	-0.924 *	-0.815	-0.881 *

注: \* 表示相关系数在 0.05 水平上显著。

根据表 3 分析可知:水体类型(河流、湖泊等)的动态变化与前 3 年的年平均气温相关性最高( $R=-0.936, \alpha=0.05$ ),其次是前 2 年、前 1 年的年平均气温。前 3 年的年平均相对湿度对水体的动态变化也有一定程度的影响,呈中等正相关( $R=0.623$ )。水体与年降水量的相关性较低,说明河流的蓄水排水过程较迅速,降水累积效应对其影响不大。

若尔盖高寒湿地主要地表覆盖类型中,沼泽类型的消长对前 1 年的年平均气温相关性最高( $R=-0.855$ ),其次是前 3 年的年平均气温、前两年的年平均气温。前 3 年的平均年降水量对沼泽的消长也有一定程度的影响( $R=0.594$ )。说明气温对沼泽面积变化影响最大,且影响滞后值最短。同时,降水与沼泽面积的相关系数随影响滞后值的增加而增加,说明降水

对沼泽类型消长的影响缓慢,随时间增加而增加,这也说明若尔盖高寒湿地对黄河源区的水源涵养功能非常显著。

湿地总面积的变化与前 1 年的年平均气温相关性最高( $R=-0.924, \alpha=0.05$ ),呈显著负相关,其次是前 3 年的年平均气温、前 2 年的年平均气温。前 3 年平均年降水量和前 2 年、前 3 年的年平均相对湿度也在一定程度上影响湿地总面积的变化( $R$  为 $0.494$ 、 $0.424$ 及 $0.471$ )。同样说明气温对湿地总面积的消长影响最明显,尤其是前 1 年的年平均气温。且相对湿度和降水对湿地总面积的影响虽不明显,但随着滞后值的增加而逐渐增加,也说明相对湿度和降水对湿地的影响是缓慢且逐年累积的。

通过以上分析可得出:影响若尔盖高寒湿地面积

变化的主导气候因子是气温,其次是降水和相对湿度。同时,气温对湿地的影响滞后值最短,影响最快,前1年的气温提升对湿地变化的影响最大。降水对湿地的影响滞后值最长。由此说明,若尔盖高寒湿地的发育主要受热量控制。前3年的平均年降水较其他时间段的平均年降水对湿地变化的影响最大,说明降水随着时间推移缓慢地影响着湿地面积的变化,由此间接说明,若尔盖高寒湿地具有重要的蓄水功能。

## 4 结论与讨论

利用若尔盖高寒湿地地区的气象观测数据和卫星遥感数据,对若尔盖高寒湿地近30年来湿地主要地表覆盖类型变化及其对气候变化的响应进行研究,得出如下结论:

(1)1987-2016年,若尔盖高寒湿地的各种类湿地的面积都显著下降,呈逐渐退化的趋势;其中沼泽的变化强度最大,其面积在30年间以 $22.75 \text{ km}^2/\text{a}$ 的趋势下降,沼泽的面积从2004年起有所回升,但整体来说仍在下降;其次是水体,在30年间以每年 $8.36 \text{ km}^2/\text{a}$ 的趋势逐渐下降。

(2)若尔盖高寒湿地地区在1984-2016年,区域平均气温明显升高,平均趋势为 $0.64 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ a}$ ,降水量略微上升,相对湿度变化不大,总的来说,气候特征发展趋势为逐渐变暖。

(3)影响若尔盖高寒湿地面积变化的主导气候因子是气温,其次是降水和相对湿度。

(4)气温对若尔盖高寒湿地的影响滞后值最短,影响最快,前1年的气温提升对湿地变化的影响最大,说明研究气温对湿地的作用时,最佳滞后值为1年。降水对湿地的影响滞后值最长,前3年的平均年降水较其他时间段的平均年降水对湿地变化的影响最大,证明降水缓慢地影响着湿地面积的变化。

由于陆地资源卫星对地观测受可见光遥感数据受云的影响较大,最终在30年中选取了5年卫星遥感数据进行研究,样本数较少,可能影响研究的准确性。而由于微波遥感对地观测具有全天候观测优势,在后续研究中,将尝试将可见光数据与微波遥感数据融合,以期获得更多卫星遥感数据以提取更完整的湿地信息,更好地分析其气候效应。

## 参考文献:

- [1] 陈克林,张小红,吕咏. 气候变化与湿地[J]. 湿地科学,2003(1):73-77.
- [2] 郭跃东,何岩,邓伟,等. 扎龙河滨湿地水系统脆弱性特征及影响因素分析[J]. 湿地科学,2004(1):47-53.
- [3] 何菊红. 2000-2014年若尔盖湿地变化监测及驱动因子分析[D]. 成都:成都理工大学,2016.
- [4] 郭洁,李国平. 若尔盖气候变化及其对湿地退化的影响[J]. 高原气象,2007(2):422-428.
- [5] 邢宇. 青藏高原32年湿地对气候变化的空间响应[J]. 国土资源遥感,2015,27(3):99-107.
- [6] 燕云鹏,徐辉,邢宇,等. 1975-2007年间三江源不同源区湿地变化特点及对气候变化的响应[J]. 测绘通报,2015(S2):5-10.
- [7] Patrick Withey, G. Cornelis van Kooten. The effect of climate change on optimal wetlands and waterfowl management in Western Canada[J]. Ecological Economics,2010,70(4).
- [8] Zutao Ouyang, Richard Becker, Wade Shaver, et al. Evaluating the sensitivity of wetlands to climate change with remote sensing techniques[J]. Hydrological Processes,2014,28(4).
- [9] 刘春兰,谢高地,肖玉. 气候变化对白洋淀湿地的影响[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(2):245-250.
- [10] 姜烨,孙建国,谢家丽,等. 近20 a若尔盖湿地水土流失变化的遥感评估[J]. 遥感技术与应用,2013,28(6):1088-1093.
- [11] 胡光印,董治宝,魏振海,等. 近30 a来若尔盖盆地沙漠化时空演变过程及成因分析[J]. 地球科学进展,2009,24(8):908-916.
- [12] 孟庆辉,陈健,盛世杰,等. 基于多时相遥感数据的东亚飞蝗生境分类研究[J]. 遥感技术与应用,2013,28(1):116-121.
- [13] 单玉秀. 湿地遥感信息提取方法研究[D]. 济南:山东师范大学,2011.
- [14] 邹文涛,张怀清,鞠洪波,等. 基于决策树的高寒湿地类型遥感分类方法研究[J]. 林业科学研究,2011,24(4):464-469.
- [15] 张树清,张柏,汪爱华. 三江平原湿地消长与区域气候变化关系研究[J]. 地球科学进展,2001(6):836-841.
- [16] 胡自红,罗麟. 若尔盖县退耕还林还草工程实施成效及面临的问题与对策浅析[J]. 四川林勘设计,2019(3):45-49.

[17] 郭斌,王珊,张菡,等. 若尔盖湿地天然牧草生育期变化特征及其对气候变化的响应[J]. 高原山地气象研究,2018,38(2):49-57.

The Change of the Zoige Alpine Wetland and its Responses  
to Climate Change in the Past 30 Years

YANG Yue<sup>1</sup>, WEN Jun<sup>1</sup>, LU Xuancheng<sup>1</sup>, WANG Xin<sup>2</sup>, TIAN Hui<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Plateau Atmosphere and Environment, Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Northwest Institute of Ecological Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Land Surface Process and Climate Change in the Cold and Arid Region of the Chinese Academy of Sciences Room, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In order to analyze the impact of climate change on the area of the Zoige Alpine wetland in the past 30 years, based on the observation data of Landsat/TM and /Landsat OLI from 1987 to 2016, wetland area of the Zoige alpine wetland was extracted by using the decision tree classification method, and further analyze has been conducted. The climate change characteristics of Zoige area were analyzed by using meteorological data between 1984 and 2016 which is from the four weather stations of Zoige, Maqu, Hongyuan and Aba, the correlation between wetland area and different meteorological elements were explored. The results show that: the Zoige alpine wetland presents modularization, the total area of the Zoige alpine wetland decreased by 902.16km<sup>2</sup> from 1987 to 2016; the climate of the Zoige alpine wetland area has a obvious trend of getting warmer with 0.64 °C per 10a from 1984-2016. The correlation between temperature and wetland area turned to be the highest, followed by precipitation and relative humidity, which suggests that the dominant climate factor affecting the area change of the Zoige alpine wetland was temperature.

**Keywords:** climate change; land surface process; the Zoige alpine wetland; temperature; responses