

DOI: 10.5846/stxb201807171549

李妍妍, 王景升, 税燕萍, 陈歆, 郑国强, 刘文婧, 包小婷, 王彤. 拉萨河源头麦地卡湿地现状格局及功能动态分析. 生态学报, 2018, 38(24): - .  
Li Y Y, Wang J S, Shui Y P, Chen X, Zheng G Q, Liu W J, Bao X T, Wang T. Analysis of landscape pattern and ecological service function of the Medika wetland reserve. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): - .

## 拉萨河源头麦地卡湿地现状格局及功能动态分析

李妍妍<sup>1</sup>, 王景升<sup>2,\*</sup>, 税燕萍<sup>3</sup>, 陈歆<sup>3</sup>, 郑国强<sup>4</sup>, 刘文婧<sup>5</sup>, 包小婷<sup>5</sup>, 王彤<sup>2</sup>

1 山东省水利科学研究院, 济南 250014

2 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟院重点实验室, 北京 100101

3 西藏自治区环保厅, 拉萨 850000

4 山东建筑大学测绘地理信息学院, 济南 250101

5 中国人民大学环境学院, 北京 100872

**摘要:** 在全球变化的大背景下, 如何保护好高原湿地显得非常迫切。为了有效保护拉萨河源头, 采用遥感影像解译和模型评估方法, 分析了拉萨河源头麦地卡湿地的土地利用格局现状特征和服务功能变化, 结果表明: 麦地卡湿地保护区湿地面积减少 5825 hm<sup>2</sup>, 湿地面积减少以沼泽湿地为主, 草地面积增加 5727 hm<sup>2</sup>, 未利用地面积仅增加 98.5 hm<sup>2</sup>; 近 30 年来因气温和地表温度升高明显, 暖干化的气候变化趋势导致湿地面积萎缩, 天然牧草地面积显著增加; 调节服务是麦地卡湿地保护区主要的生态服务功能, 占总服务价值的 70%, 湿地面积尤其是沼泽湿地面积的萎缩是麦地卡湿地保护区生态服务功能减弱的主要原因。

**关键词:** 麦地卡湿地; 青藏高原; 土地利用格局; 生态服务; 动态分析

## Analysis of landscape pattern and ecological service function of the Medika wetland reserve

LI Yanyan<sup>1</sup>, WANG Jingsheng<sup>2,\*</sup>, SHUI Yanping<sup>3</sup>, CHEN Xin<sup>3</sup>, ZHENG Guoqiang<sup>1</sup>, LIU Wenjing<sup>4</sup>, BAO Xiaoting<sup>4</sup>, WANG Tong<sup>3</sup>

1 Water Resources Research Institute of Shandong Province, Jinan 250014, China

2 Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China

3 Environmental Protection Department of Tibet Autonomous Region, Lasa 850000, China

4 College of Surveying and Geo-Informatics, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China

5 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

**Abstract:** Against the background of global climate change, how to effectively protect the Medika plateau wetland is an urgent question that needs to be addressed. To effectively protect the source of the Lhasa River, this study used the remote sensing image interpretation method and model evaluation method to analyze the characteristics of change in the landscape pattern of the Medika wetland and evaluated changes in its ecosystem services function. The results show that the area of the Medika wetland has decreased by 5825 hm<sup>2</sup>, most of which is marsh wetland. Grassland and unused land area have increased by 5727 hm<sup>2</sup> and 98.5 hm<sup>2</sup>, respectively. Furthermore, the trend of climate warming and drying, indicated by clear increases in temperature and ground temperature over the past 30 years, has led to the shrinking of the wetland area and a significant increase in the area of alpine meadow. The results of ecosystem services function show that the main ecological service function of the Medika wetland reserve is regulation, which accounts for 70% of the total. The shrinking of

基金项目: 西藏自治区重点科技计划项目 (Z2016C01G01/08-004, Z2016C01G01/03)

收稿日期: 2018-07-17; 修订日期: 2018-12-08

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangjsh@igsnr.ac.cn

the wetland area is the primary reason for the weakening of the ecological service function of the Mcdika wetland reserve.

**Key Words:** Mcdika wetland reserve ; Tibetan plateau; landscape pattern; ecosystem services value; dynamic analysis

湿地是陆地与水体系统相互作用形成的特殊的自然综合体<sup>[1-2]</sup>,具有生产、生态和水文等多项功能<sup>[3]</sup>,尤其是对于保护生物多样性具有重要作用。在全球变化的大背景下,随着人口的增加和经济的发展,湿地系统面临的退化和萎缩的风险与日俱增<sup>[4]</sup>。大面积分布于世界第三极-青藏高原的高寒湿地,是在高寒气候背景条件下形成的包含湖泊、河流、沼泽和水库等特殊湿地类型<sup>[5]</sup>,被称为“高原之肾”。青藏高原高寒湿地不仅是重要的生物多样性保护区域,也是中国乃至亚洲生态安全屏障区,青藏高原高寒湿地由于其地理区的特殊性和独特的气候土壤特点,使其在全球变化研究中占有特殊的重要地位<sup>[6-10]</sup>。

拉萨河流域是藏民族的主要聚居区,人口密度相对较大,尤其是拉萨市辖区范围内,农业、建筑业和旅游业相对发达,水资源消耗和污染问题不容忽视。麦地卡湿地是拉萨河的源头,也是黑颈鹤、赤麻鸭等珍稀水禽的栖息地,在维护拉萨河流域气候稳定、调蓄水量、净化水质和保护水源地等方面具有极其重要的作用<sup>[11]</sup>。随着气候变暖和人类活动的加剧,麦地卡湿地出现了湿地退化、草场沙化等生态问题,严重威胁当地生态安全和生物多样性。但是目前关于麦地卡湿地的研究较少,已发表文献仅研究了麦地卡湿地保护区内种子植物资源多样性、环境保护现状以及湿地生态系统经济价值等内容,对湿地保护区景观格局和生态系统服务价值尚未有深入研究。因此,本文希望利用多期遥感数据获得麦地卡湿地保护区土地覆被变化情况,利用修正的生态服务价值评估模型计算湿地保护区生态系统服务价值,分析气候因素对麦地卡湿地的影响,以期对湿地保护提出有效措施,从而加强湿地保护区建设,维护高原生态系统安全。

## 1 研究区概况与数据源

### 1.1 研究区概况

麦地卡湿地保护区位于西藏那曲地区嘉黎县北部措拉乡境内(92°45'55"—93°19'25"E,30°51'04"—31°09'44"N),距拉萨东北方向230 km,那曲县东南方向88 km(图1),保护区面积89237 hm<sup>2</sup>,平均海拔4900 m。气候属高原亚寒带半湿润气候,年均气温-1.7—0.7℃,年均降水量700 mm,干湿季节分明<sup>[11]</sup>。地貌属高原湖盆谷地平原,多湖盆、谷地、山地,区内分布着240多个面积不等的湖泊,其中面积最大的湖泊彭措为拉萨河源头。麦地卡湿地土壤类型多样,主要包括高山寒漠土、高山亚高山草甸土、沼泽土以及新积土和粗骨土,并孕育了丰富的动植物资源,共记载维管束植物304种,动物332种。由于其特殊自然地理环境,麦地卡湿地是藏北地区典型的高原湖泊沼泽草甸湿地,其湿地类型丰富,包含永久性河流、洪泛平原湿地、永久性淡水湖、草本沼泽、沼泽化草甸等5类,不仅是西藏地区的国际重要湿地、国家级自然保护区,也是黑颈鹤(*Grus nigricollis*)、赤麻鸭(*Tadorna ferruginea*)、斑头雁(*Anser indicus*)等珍稀水禽冬季迁徙的重要栖息与繁殖地<sup>[11]</sup>。

### 1.2 数据源与预处理

以1988、1990、1995、2000、2004、2015年生长季(6—10月)Landsat30m遥感影像为基础数据源(数据来源于美国地质调查局USGS官网)。结合土地利用分类现状(GB/T 21010-2017)和全国湿地资源调查技术规程,将研究区土地利用类型划分为湿地、草地、未利用地三大类,并进一步分为河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地、天然牧草地、裸岩石砾地、冰川积雪等6种二级分类。2016年夏季对研究区进行了实地调查,获取了研究区6种土地利用类型解译标志和57个GPS采样点。原始数据在ENVI软件做大气、几何校正后,结合研究区地形、植被分布状况,利用面向对象方法进行解译。解译结果使用混淆矩阵方法检验,结果显示六期影像总体分类精度均大于80%。

选取研究区附近11个站点气象资料进行ANUSPLIN插值(气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网),根据研究区边界提取气象数据平均值。气象资料选取1985年以来的年平均气温、降水、地表温度和相对湿度。

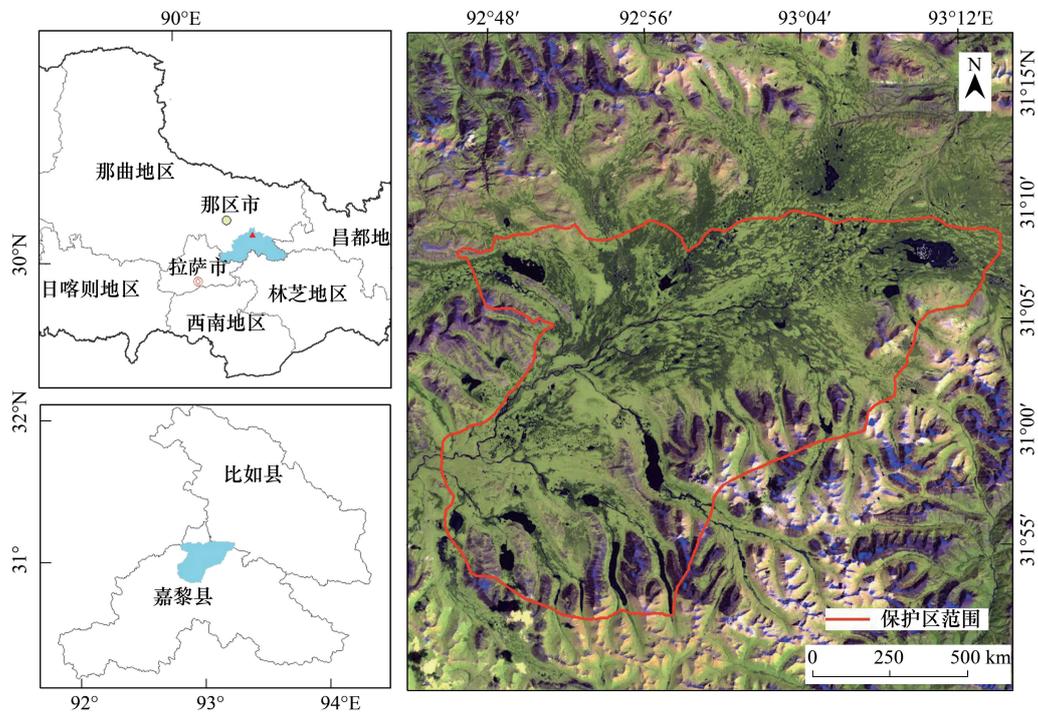


图1 麦地卡湿地保护区地理位置示意图

Fig.1 Location of the Medika wetland reserve

## 2 研究方法

### 2.1 气候要素分析方法

利用回归统计方法分析麦地卡湿地保护区4种气候要素随时间的变化状况,将时间 $t$ 作为自变量,气象因素 $x$ 为因变量,利用二阶方程进行拟合。同时,采用非参数 Spearman 相关分析,计算气象因素与土地覆被之间的相关性。

### 2.2 生态服务价值系数修正与价值计算

#### (1) 生态服务价值系数修正

标准生态系统生态服务价值当量因子经济价值量指 $1\text{ hm}^2$ 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值,结合生态系统服务当量因子,可以表征和量化不同类型生态系统对生态服务功能的潜在贡献能力<sup>[13-14]</sup>。根据谢高地的研究,1个标准单位生态系统生态服务价值当量因子价值量相当于单位面积农田提供的食物生产服务经济价值的 $1/7$ ,参考王源等得到的纳木错流域当量因子生态系统服务价值 $628.6\text{ 元}$ <sup>[15]</sup>,以及谢高地得到的西藏自治区农田生态系统生物量修正因子<sup>[16]</sup>,计算得到麦地卡湿地保护区单位面积农田生态系统当量因子的价值量为 $471.45\text{ 元}$ 。

采用千年生态系统评估(MA)方法,将生态系统服务分为四大类11小类(表1)。在求得研究区单位农田生态系统生产服务价值后,结合“单位面积生态系统服务价值当量表”生态系统二级分类<sup>[17]</sup>,最终得到研究区6类景观生态系统生态服务价值系数表1。

#### (2) 生态系统服务价值计算

牧业是研究区所属嘉黎县的主要产业,研究区内除分散少数村庄外主要是草地景观,缺少农田、森林生态系统。考虑研究区实际状况,河流湿地、湖泊湿地当量值参考文献<sup>[17]</sup>表1中的水系,沼泽湿地参考湿地,裸岩石砾地参考荒漠。生态系统服务价值计算公式:

$$ESV = \sum (A_i \times VC_i) \quad (1)$$

$$ESV_f = \sum (A_i \times VC_{fi}) \quad (2)$$

式中,  $ESV$  和  $ESV_f$  为生态系统服务价值(元)和第  $f$  项功能的服务价值(元);  $A_i$  为研究区第  $i$  类土地利用/覆被类型面积 ( $\text{hm}^2$ );  $VC_i$  和  $VC_{fi}$  为第  $i$  类土地利用/覆被类型单位面积生态系统服务价值系数(元/ $\text{hm}^2$ ) 和第  $i$  类土地利用/覆被类型所对应生态系统第  $f$  项功能的服务价值系数(元/ $\text{hm}^2$ )。

表 1 麦地卡湿地保护区各生态系统服务价值系数

Table 1 Ecosystem services value coefficient table per unit area of different landscape in Medika wetland reserve

生态系统分类 Ecosystem classification	供给服务 Supply service			调节服务 Regulating services				支持服务 Support services			文化服务 Cultural services
	食物生产 Food production	原料生产 Raw materials	水资源供给 Water supply	气体调节 Gas regulation	气候调节 Climate regulation	净化环境 Purify the environment	水文调节 Hydrological adjusting	土壤保持 Soil conservation	维持养分循环 Maintain nutrient circulation	生物多样性 Biological diversity	美学景观 Aesthetic landscape
河流湿地 River	503	145	5211	484	1439	3489	64268	585	44	1603	1188
湖泊湿地 Lake	503	145	5211	484	1439	3489	64268	585	44	1603	1188
沼泽湿地 Marsh wetland	321	314	1628	1194	2263	2263	15231	1452	113	4947	2973
天然牧草地 Natural pasture	138	207	113	717	1898	629	1389	874	69	798	352
裸岩石砾地 Bare rock	0	0	1358	113	339	101	4482	0	0	0	57
冰川积雪 Ice snow	6	19	13	69	63	195	132	82	6	75	31

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用类型空间分布特征

麦地卡湿地保护区土地利用类型空间分布如图 2。从一级分类看,分布面积草地>湿地>未利用地,从二级分类看,分布面积天然牧草地>沼泽湿地>裸岩石砾地>湖泊湿地>河流湿地>冰川积雪。结合实地调查资料可知,天然草地大面积分布在研究区西部和中部,并在中部地形较为平坦区域与沼泽湿地相互交错。沼泽湿地和河流湿地主要分布在保护区中部、北部以及东北部海拔低于 5100 m 的沟谷和低洼地段;湖泊湿地主要分布在西南部高山脚下海拔 5200 m 左右的地带。未利用地主要分布在保护区南缘-东南缘高山地区,冰川积雪主要分布在海拔高于 5500 m 的地区,冰雪带至山脚为植被稀疏的裸岩石砾地。总体来看,麦地卡湿地保护区土地覆被分布与海拔和地形有关。

#### 3.2 土地覆被动态变化

1988—2015 年麦地卡湿地保护区土地利用类型变化如表 2。结合图 2、表 2 可知,麦地卡湿地保护区土地覆被面积呈现明显的草地持续扩张而湿地连年减少的特点。研究期间,草地占总面积的比例分别为 53.4%、51.8%、54.3%、53.5%、61.1%、59.8%,27 年增长了 5727  $\text{hm}^2$ 。草地年均增长率在 1988—2000 年间为 4.8  $\text{hm}^2/\text{a}$ ,而 2000 年之后激增为 377.9  $\text{hm}^2/\text{a}$ ,主要是由湿地干旱演替成草地和裸岩石砾地向草地扩张造成。湿地面积占总面积的比例为 32.4%、35.3%、31.1%、29.6%、26.9%、25.8%,27 年减少了 5825  $\text{hm}^2$ ,年均减少率为 215.8  $\text{hm}^2/\text{a}$ 。湿地面积减少主要以沼泽湿地为主,减少了 20%。通过叠加 6 期土地利用类型图可知,沼泽湿地减少主要集中在保护区中心区和东北部彭措湖周边。27 年间未利用地面积变化不大,仅增加 98.5  $\text{hm}^2$ 。

#### 3.3 格局演变的驱动因素

分析 1985—2015 年气象资料(图 3)可知:近 30 年来保护区气温和地表温度分别增加了 1.2 $^{\circ}\text{C}$  和 2.5 $^{\circ}\text{C}$ ,增温幅度为 0.4 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  和 0.8 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。在 1985—2000 年期间,年平均降水量由 706 mm 增加至 773 mm,之后到 2015 年减少至 675 mm 左右,是 30 年间的历史最低水平。相对湿度变化规律与降水相似,2015 年与 1985 年相比,平均下降了 3 个百分点,比最高值(1998 年)下降了 6 个百分点。

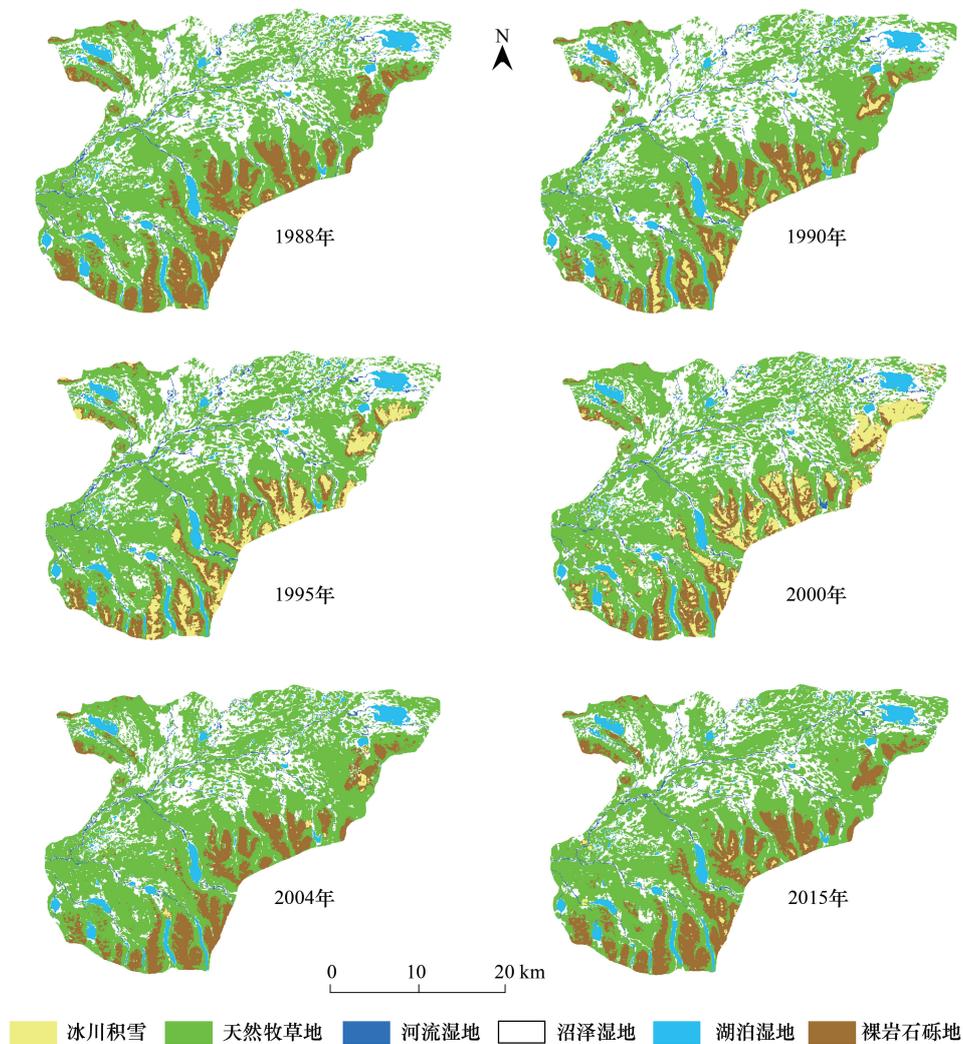


图 2 1988—2015 年麦地卡湿地保护区土地利用空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of land use pattern in Medika wetland reserve from 1988 to 2015

表 2 麦地卡湿地保护区土地覆被面积变化

Table 2 Change of land type area of Mcdika wetland reserve

一级分类 First level classification	二级分类 Second level classification	1988	1990	1995	2000	2004	2015
湿地 Wetland	河流湿地	1375.6	1606.4	1734.3	1458.4	1203.1	1177.2
	湖泊湿地	3856.9	3921.1	4033.6	3763.4	3748.0	3560.2
	沼泽湿地	23640.8	26006.6	21946.8	21167.9	19022.1	18310.4
草地 Grass land	天然牧草地	47670.3	46188.4	48429.8	47728.2	54519.7	53397.3
未利用地 Unused land	裸岩石砾地	12332.2	9868.6	7899.0	8577.6	10450.4	12363.0
	冰川积雪	361.1	1645.8	5193.4	6541.4	293.6	428.8

麦地卡湿地保护区沼泽湿地和天然牧草地面积发生明显变化,将面积与 4 种气象要素做 Spearman 非参数相关分析,探索麦地卡湿地保护区面积变化与气候要素之间相关性。年平均气温、降水、地表温度和相对湿度多重共线性检验结果为  $VIF=4.568, 2.020, 3.346, 1.559$ ,表明气象要素之间不存在严重共线性,Spearman 相关分析可以准确反应面积与气象要素的关系。

相关分析结果可知(表 3):4 种气象要素与沼泽湿地面积变化为负相关,与天然牧草地面积变化为正相关。气温、地表温度和沼泽湿地、天然牧草地相关性大,分别为 0.543、0.468 和 0.543、0.371,表明研究区沼泽湿地面积缩小和天然草地面积扩张受气温和地表温度升高的影响较大。结合 1985 年来气象要素变化可知,降水减少和温度升高(尤其是地表温度的升高)加剧了土壤和气候的暖干化,土壤湿度降低,促使研究区藏嵩草为优势种群落的沼泽湿地演化为藏嵩草和高山嵩草为优势种群落的天然牧草地。同时温度的升高,导致冰川和积雪融化,在一定程度上增加了保护区内部分区域的水分供给,促进了高寒草地向裸岩石砾地的扩张,进一步增加了天然草地的面积。

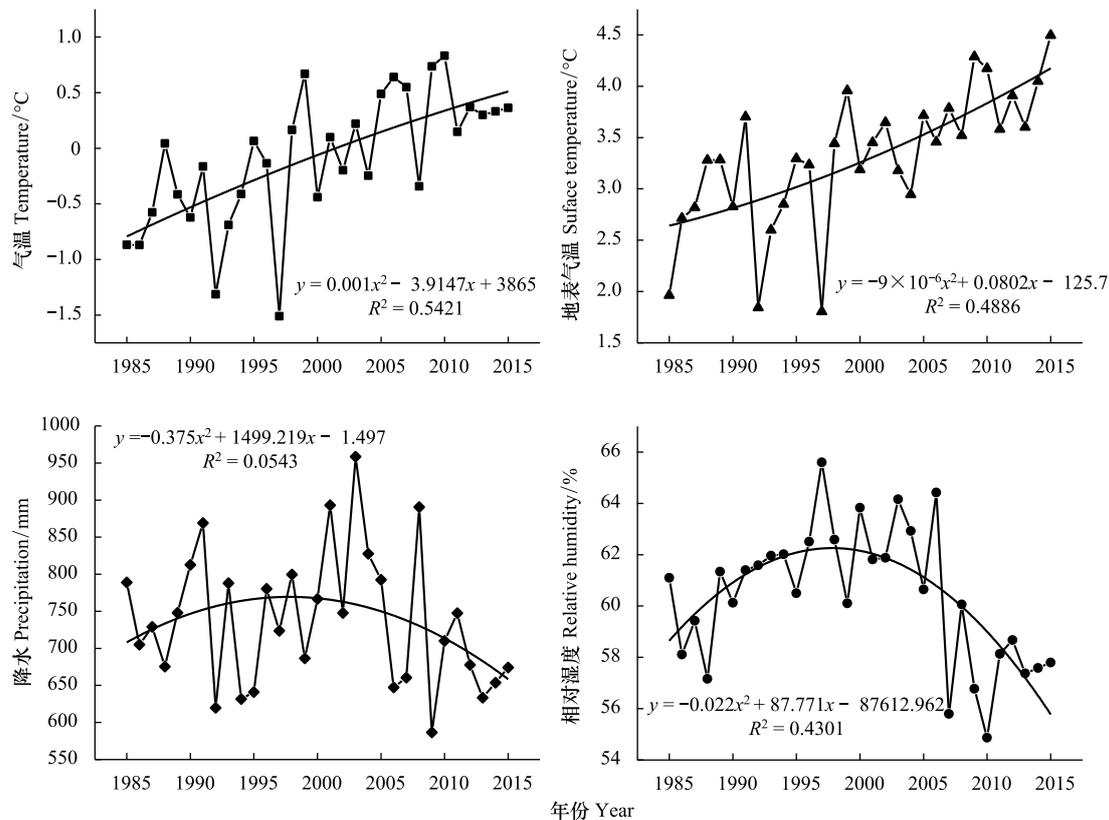


图 3 研究区气象要素变化

Fig.3 Meteorological factors change in the study area

表 3 气象要素 Spearman 相关分析

Table 3 Spearman correlation analysis of meteorological elements

相关系数 Correlation coefficient	气温 Temperature	累计降水 Cumulative precipitation	地表温度 Land surface temperature	相对湿度 Relative humidity
沼泽湿地 Marsh wetland	-0.543	-0.143	-0.468	-0.257
天然牧草地 Natural pasture	0.543	0.143	0.371	0.314

### 3.4 湿地系统主要服务功能评估

如表 4 所示,麦地卡湿地保护区最主要的生态服务功能为调节功能,占总服务功能的 70%。二级生态服务功能中主要表现为水文调节、气候调节、生物多样性,三项功能合计约占系统服务功能的 70%;维持养分循环、食物生产、原材料生产功能较弱,平均生态系统服务价值为  $464 \times 10^4$  元、 $1239 \times 10^4$  元和  $1361 \times 10^4$  元,三者合计仅约系统服务功能的 8%;其余水资源供给(均值  $5372 \times 10^4$  元)、气体调节( $4851 \times 10^4$  元)、净化环境( $7560 \times 10^4$  元)、土壤保持( $5908 \times 10^4$  元)和美学景观( $6647 \times 10^4$  元)合计约占系统服务功能的 22%。

表 4 生态服务价值变化/(10<sup>4</sup>元)

Table 4 the change of ecological service value of study area

年份	供给服务 Supply service			调节服务 Regulating services				支持服务 Support services		文化服务 Cultural services	
	食物生产 Food production	原料生产 Raw materials	水资源供给 Water supply	气体调节 Gas regulation	气候调节 Climate regulation	净化环境 Purify the environment	水文调节 Hydrological adjusting	土壤保持 Soil conservation	维持养分循环 Maintain nutrient circulation	生物多样性 Biological diversity	美学景观 Aesthetic landscape
1988	1266	1373	5385	4937	11432	7812	57437	6004	471	12324	7027
1990	1317	1406	5905	4937	11675	8194	61815	6162	483	13135	7542
1995	1251	1345	5881	4863	11675	7672	59742	5865	460	11781	6727
2000	1205	1345	5705	4751	11159	7384	56607	5715	448	11388	6494
2004	1215	1365	4760	4871	11582	7249	51477	5925	465	10976	6148
2015	1179	1331	4596	4750	11291	7049	49581	5777	454	10630	5946

麦地卡湿地不同覆被类型生态系统服务功能价值变化如图 4 所示,在 1988—2015 年期间,麦地卡湿地保护区沼泽湿地生态服务价值最大,随着沼泽湿地面积的减少,其生态服务价值由  $57979 \times 10^4$  元减少到  $44906 \times 10^4$  元。天然牧草地生态服务功能逐年增加,27 年增加了  $3086 \times 10^4$  元。湖泊湿地和河流湿地生态服务价值变化不大,基本稳定在  $22585 \times 10^4$  元和  $8444 \times 10^4$  元。冰川积雪与裸露石砾地生态服务功能价值量很小,基本维持在  $1166 \times 10^4$  元。

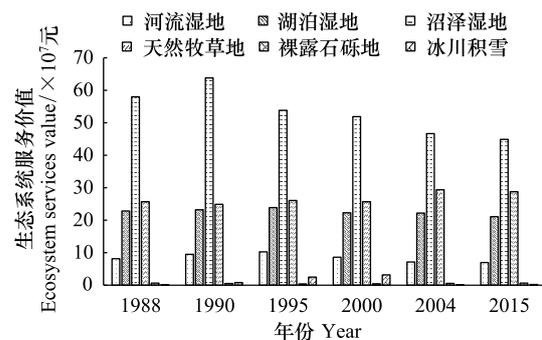


图 4 1988—2015 年各生态系统生态服务功能变化情况

Fig.4 The change in the value of ecological services from 1988 to 2015

#### 4 讨论

湿地的空间分布与其生态功能相互影响、相互制约,任何一方改变都会引起另一方的变化<sup>[18]</sup>。根据麦地卡湿地土地覆被面积和生态系统服务价值变化可知,沼泽湿地的生态服务价值是麦地卡湿地生态功能的重要体现,沼泽湿地面积的大幅度减少,是麦地卡湿地保护区生态服务价值逐年减少的主要原因。这一结果与李晋昌等对若尔盖高原生态系统服务价值的研究结果相同,其发现若尔盖高原土地利用变化尤其是湿地的退化,是该区生态系统服务价值减少的主要原因<sup>[19]</sup>。

已有研究证明气候尤其是气温的变化是影响青藏高原湿地土地覆被的主要自然因素<sup>[20-22]</sup>。在全球性气温升高、降水量重新分配、冰川消融的背景下,如何减缓湿地面积萎缩,充分发挥湿地生态调节功能,有效制定湿地保护、规划管理方案迫切重要。基于以上研究,针对麦地卡湿地保护区土地覆被格局和生态系统服务价值现状,以缓解湿地萎缩、提高湿地生态服务功能为目的,提出以下几点建议:

(1) 加强麦地卡湿地保护区核心区域的科学管理,迁出核心区和缓冲区居民,极力减少人类影响。健全麦地卡湿地国家级保护区管理条例,制定严格的保护措施。

(2) 加大麦地卡湿地保护区资金投入,注重科研基础理论研究,厘清麦地卡湿地退化的驱动机制和退化过程,为有效保护、管理高寒湿地奠定理论基础。

(3) 为有效应对气候变化对湿地生态系统的负面影响,建议对麦地卡湿地保护区采用生态恢复工程措施,如梳理河道、筑坝蓄水、人工促进湿地植被恢复,增加湿地土壤保水性,促进湿地面积恢复。

(4) 土地利用覆盖类型间的斑块、廊道或基质的空间结构也会影响生态系统服务价值<sup>[23-24]</sup>,今后可利用指数或模型探索麦地卡湿地景观结构和空间配置关系与生态系统服务价值的内在联系,为湿地保护、修复和

管理提供理论依据。

## 5 结论

本文以麦地卡湿地保护区为研究对象,利用遥感解译和修正后的ESV模型分析了其土地覆被格局和生态系统服务价值变化,得出以下结论:

(1)麦地卡湿地土地覆被空间分布受海拔和地形影响,草地和湿地分布在中部和北部的大部分地区,而未利用地分布在南缘-东南缘高山地区。6类土地覆被类型面积为天然牧草地>沼泽湿地>裸岩石砾地>湖泊湿地>河流湿地>冰川积雪。1988-2015年间,麦地卡湿地保护区草地面积增加了5727 hm<sup>2</sup>,湿地面积减少5825 hm<sup>2</sup>,并以沼泽湿地面积减少最明显。

(2)近30年来,麦地卡湿地保护区气温和地温增加显著,降水无明显变化。相关分析结果显示,气温、地表温度的升高对草地面积起着正向作用,对湿地面积起着负向作用,累积降水、相对湿度对二者影响较小。

(3)调节服务是麦地卡湿地保护区的主要生态服务功能,水文调节、气候调节、生物多样性占总生态服务功能的70%。湿地对保护区生态服务贡献最大,沼泽湿地面积的缩小是麦地卡湿地保护区生态服务价值减小的主要原因。

## 参考文献 (References):

- [1] 马玉寿,周华坤,邵新庆,赵之重,赵亮,董世魁,王晓丽.三江源区退化高寒生态系统恢复技术与示范.生态学报,2016,36(22):7078-7082.
- [2] 陈宜瑜,吕宪国.湿地功能与湿地科学的研究方向.湿地科学,2003,1(1):7-11.
- [3] 管强,武海涛,陈展彦,李洪宇,芦康乐,刘吉平,吕宪国.三江平原典型沼泽湿地螺类组成生态指示.生态学报,2018,38(9):3320-3327.
- [4] 崔丽娟,张明祥.湿地评价研究概述.世界林业研究,2002,15(6):46-53.
- [5] 闫立娟,齐文.青藏高原湖泊遥感信息提取及湖面动态变化趋势研究.地球学报,2012,33(1):65-74.
- [6] Hu G Y, Dong Z B, Lu J F, Yan C Z. Driving forces of land use and land cover change (LUCC) in the Zoige Wetland, Qinghai-Tibetan Plateau. Sciences in Cold and Arid Regions, 2012, 4(5): 422-430.
- [7] 孙鸿烈,郑度,姚檀栋,张懿铨.青藏高原国家生态安全屏障保护与建设.地理学报,2012,67(1):3-12.
- [8] 白军红,欧阳华,徐惠风,周才平,高俊琴.青藏高原湿地研究进展.地理科学进展,2004,23(4):1-9.
- [9] 赵志龙,张懿铨,刘林山,刘峰贵,张海峰.青藏高原湿地研究进展.地理科学进展,2014,33(9):1218-1230.
- [10] Jiang B, Wong C P, Cui L J, Ouyang Z Y. Wetland economic valuation approaches and prospects in China. Chinese Geographical Science, 2016, 26(2): 143-154.
- [11] 于萍萍.西藏麦地卡湿地环境保护现状及其对策.农技服务,2016,33(1):198-198,203-203.
- [12] 王恒颖.西藏麦地卡自然保护区湿地生态系统经济价值评估.林业建设,2014(4):26-29.
- [13] 谢高地,甄霖,鲁春霞,肖玉,陈操.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法.自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [14] 谢高地,张彩霞,张昌顺,肖玉,鲁春霞.中国生态系统服务的价值.资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [15] 王原,陆林,赵丽侠.1976-2007年纳木错流域生态系统服务价值动态变化.中国人口·资源与环境,2014,24(S3):154-159.
- [16] 谢高地,肖玉,甄霖,鲁春霞.我国粮食生产的生态服务价值研究.中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.
- [17] 谢高地,张彩霞,张雷明,陈文辉,李士美.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进.自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [18] 孟焕,王琳,张仲胜,薛振山,吕宪国,邹元春.气候变化对中国内陆湿地空间分布和主要生态功能的影响研究.湿地科学,2016,14(5):710-716.
- [19] 李晋昌,王文丽,胡光印,魏振海.若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响.生态学报,2011,31(12):3451-3459.
- [20] 苏洁琼,王焜.气候变化对湿地景观格局的影响研究综述.环境科学与技术,2012,34(4):74-78.
- [21] 邢宇.青藏高原32年湿地对气候变化的空间响应.国土资源遥感,2015,27(3):99-107.
- [22] 罗磊.青藏高原湿地退化的气候背景分析.湿地科学,2005,3(3):190-199.
- [23] 苏常红,傅伯杰.景观格局与生态过程的关系及其对生态系统服务的影响.自然杂志,2012,34(5):277-283.
- [24] 王丽群,张志强,李格,马丰伟,陈立欣.北京边缘地区景观格局变化及对生态系统服务的影响评价——以牛栏山-马坡镇为例.生态学报,2018,38(3):750-759.