

# 2000–2010年黄河源玛曲高寒湿地生态格局变化

褚琳<sup>1,2</sup>, 黄翀<sup>1</sup>, 刘高焕<sup>1</sup>, 刘庆生<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**玛曲湿地作为黄河上游重要的水源涵养以及补给区之一,对于调节黄河水量与泥沙量、维持生物多样性和区域生态平衡以及实现社会经济的可持续发展具有重要意义。为揭示和分析近10年来玛曲高寒湿地系统动态变化特征及其区域差异性,应用2000年、2010年两期Landsat TM卫星影像提取玛曲景观类型信息,对玛曲湿地分布格局变化进行分析;利用S-G滤波以及最大值合成法处理后的2000-2010年MODIS归一化植被指数(NDVI)数据,进行一元线性回归分析,模拟湿地生态系统的空间演变趋势;运用长期气候观测数据,采用最小二乘法对玛曲湿地变化与气候之间的相关关系进行分析与探讨。结果表明:近10年来玛曲夏季年际NDVI值呈现波动减小的趋势,“黄河第一弯”玛曲腹地的阿万仓处NDVI减少明显,且存在沼泽草甸向亚高山草甸类型转化趋势。另外,玛曲高寒湿地变化与降水量及温度的年际变化均有关系,但与降水量的相关关系更强。

**关键词:**高寒湿地;生态格局;NDVI;黄河源区;玛曲

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.03.004

中图分类号:P941.78

文献标识码:A

## 1 引言

陆地生态系统与气候变化之间存在强烈的相互作用,植被是联系土壤圈、大气圈和水圈的纽带,在全球变化研究中有“指示器”的作用,地表植被覆盖变化对气候变化的响应十分敏感(Cao et al, 1998)。由于具有明显的年际和季节变化,植被的变化能够揭示环境的变化。因此,监测植被的动态变化,分析其与气候变化的关系,正成为全球变化研究的一个重要方面(Rees et al, 2001)。

自1981年以来,北半球中高纬度地区地表气温的显著变暖促进了植被生物量的增加,并引起了植物生长季提前或延长,中国大部分地区的植被活动也呈增强趋势(Fang et al, 2003)。与同纬度地区相比,青藏高原特殊的自然环境导致其植被生态系统结构简单,抗干扰能力差,生态系统脆弱,由此造成的直接后果是地表植被覆盖对气候的变化十分敏感(Gao et al, 2009)。玛曲作为青藏高原上范围

最大的湿地,被誉为“黄河蓄水池”,是黄河上游至源头的重要水源涵养和补给区,在维护黄河中下游地区的工农业生产和生态安全方面发挥着重要作用。近年来该区湿地大幅萎缩干涸,面积锐减,湿地生态系统结构发生改变,提高了湿地生态系统的脆弱性和不稳定性,湿地生态功能遭到破坏,湿地生态系统极易崩溃(戚登臣等, 2007)。目前,仅有少数学者对玛曲湿地退化与气候波动的关系进行研究,如陈世强等(2007)对当地植被NDVI与气候因子进行了相关性分析,但局限于单点气象站,区域尺度的生态气候响应研究还很少见。

基于此,采用2000-2010年MODIS NDVI数据,在250 m×250 m的空间分辨率和10 a的时间尺度上,详细分析高寒玛曲湿地2000-2010年NDVI的变化情况;在年尺度上基于像元分析NDVI与气候因素的关系,探讨气候因素的驱动作用,为玛曲湿地生态系统的维护和青藏高原脆弱生态区的环境保护提供依据。

收稿日期:2013-11;修订日期:2014-02。

基金项目:国家自然科学基金项目(40901223)。

作者简介:褚琳(1987-),女,湖北武汉人,博士生,主要研究方向为区域生态与地理信息系统,E-mail: chul@lreis.ac.cn。

通讯作者:黄翀(1975-),男,安徽六安人,副研究员,主要从事生态遥感与建模研究,E-mail: huangch@lreis.ac.cn。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

玛曲县位于青海、甘肃、四川三省交界处(图1),东经100°46′~102°29′,北纬33°06′~34°33′,海拔3300~4806 m,研究区地势西高东低,由西北向东南倾斜。高寒湿润型气候,冬长夏短,年均温1.1℃,年降水量615.5 mm。

黄河自巴颜喀拉山源头一路东下,从青海省久治县门堂乡进入玛曲,接着流向西边,转了180°的大弯,最后离开玛曲赴入青海境内,形成了黄河第一弯曲部(也称黄河首曲),玛曲县被它环绕。由于黄河玛曲入口处的地势平坦,黄河流速缓慢,阿万仓乡境内的贡赛喀木道、俄后滩等地因河水宣泄不畅,形成很多汉河和沼泽;在齐哈玛乡和采日玛乡境内再次出现大量的汉河,形成大面积沼泽滩地。由于草原植被良好,雨量充沛,地表水十分丰富,成为黄河首曲最大的一块草原湿地。玛曲各乡均有湿地分布,主要集中在东南部的曼日玛、采日玛、齐哈玛和阿万仓几个乡,其中沼泽湿地主要分布在采日玛乡。

2.2 数据来源及研究方法

2.2.1 遥感数据来源及处理

选用2000年与2010年夏季 Landsat 5/TM 和

Landsa 7/ETM+数据(表1),取4、3、2波段做假彩色波段组合,滤波增强;地形图选取控制点方法进行几何精校正,二次多项式拟合;用最近邻点法进行像元重采样,校正后图像经RMS检验误差控制在一个像元以内,镶嵌接边处误差为两个像元,像元分辨率为30 m。

NDVI数据集来源于美国国家航空航天局NASA的EOS/MODIS数据,MODIS NDVI数据为LPDAAC的植被指数产品MOD13Q1标准产品中的一个数据集,空间分辨率为250 m×250 m,时间分辨率为16 d。MODIS NDVI L3级产品已完成几何精度校正、辐射校正以及大气校正等处理。NDVI数据以HDF文件格式存储,使用MRT(MODIS Reprojection Tools)软件进行格式转换和重投影,将HDF格式转换为Tiff格式,SIN地图投影转换为WGS84/Albers Equal Area Conic投影,同时完成图像的空间拼接和重采样。MODIS NDVI 16 d合成数据会受到气溶胶、冰雪、太阳光照角度及传感器观测视角等因素的影响,出现异常值或缺失数据。为了正确地反映NDVI数据真实值,对其进行Savtzyk-Golay(S-G)滤波处理。研究利用TIME-SAT软件对NDVI数据进行SG平滑滤波处理,得到时间序列从2000年1月-2010年12月每16天一幅的MODIS NDVI数据。

夏季是植被一年中生长最为旺盛的季节,对夏季(6-9月)MODIS NDVI遥感影像进行最大值合成法MVC(Most Value Composite)计算,得到各年夏季NDVI值,并利用玛曲行政区划图通过数据掩膜,剪取研究区2000-2010逐年夏季NDVI的栅格图像。

研究选取玛曲及其邻近的气象测站(玛沁、达日、河南、久治、阿坝以及若尔盖)(表2),统计1980-2010年植被生长季(6-9月份)的气象数据,该数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)的中国地面气候资料月值数据集。

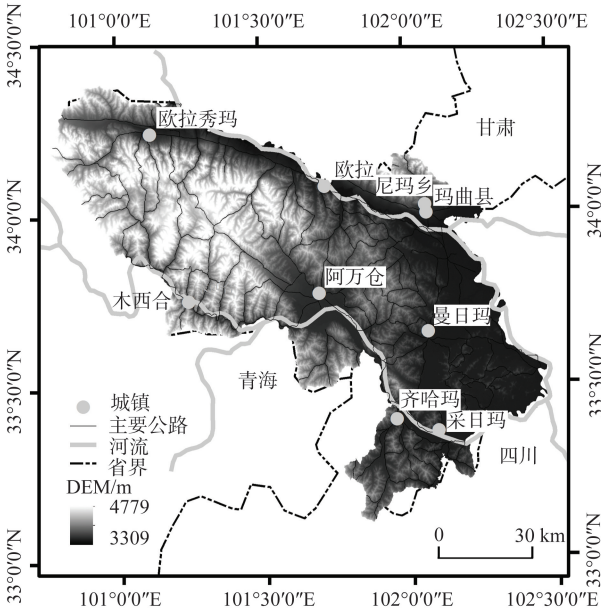


图1 玛曲地理位置

Fig.1 Geographic location of Maqu

表1 轨道号和接收时间表

Tab.1 Information of remote sensing data in Maqu

轨道号	接收时间		分辨率/m
131/036	2010-09-17	2000-08-12(ETM+)	30
131/037	2010-09-17	2001-08-15(ETM+)	30
132/036	2010-09-01	2001-08-14	30
132/037	2010-08-07	2001-08-14	30

表2 气象测站信息

Tab.2 Information of meteorological stations

站点号	站名	有数据的月份
56074	玛曲	1980-01—2010-12
56079	若尔盖	1980-01—2010-12
56046	达日	1980-01—2010-12
56065	河南	1980-01—2010-12
56067	久治	1980-01—2010-12
56171	阿坝	1980-01—1990-12、2007-01—2008-12
56043	玛沁	1991-01—2010-12

采用基于地统计插值技术的Kriging方法进行气象数据空间插值,获取与NDVI数据像元大小一致、投影相同的气象数据栅格图像,通过数据掩膜,剪取研究区气象要素的栅格图像,在年际尺度上研究其与NDVI的关系,分析区域气候波动对玛曲湿地退化的影响。在统计区域气象数据时,采用均值法进行计算,即对区域内所有栅格气象数据取平均。

2.2.2 景观类型提取

根据国家土地管理局1997年公布的《县级土地利用总体规划编制规程(试行)》,参考《湿地公约》中湿地分类系统,将研究区景观类型分为五大类型:林地(灌木林地、其他林地)、草甸(高山草甸、亚高山草甸、灌丛草甸、沼泽草甸)、水域及水利设施用地(河流水面、坑塘水面、内陆滩涂)、城乡建设用地(建制镇、村庄、采矿用地、风景名胜及特殊用地)、其他土地(设施农用地、沙地、裸地)。研究将沼泽草甸、河流水面、坑塘水面、内陆滩涂限定为湿地的范畴。

参考监督分类结果和玛曲县土地利用第二次详查数据,利用ArcGIS 10.0软件,采用人工目视解译方法,对研究区2000年与2010年土地利用覆被进行解译(图2)。利用2010年8月野外实地考察采集的145个样点对分类结果进行验证,一级分类精度达到92%,二级分类精度达到87%,满足研究需要。以两期景观分类图为基础,利用GIS空间叠置分析功能,根据地图代数原理,建立景观类型转移矩阵模型,定量地分析各个景观类型间相互转变的方向、强度。

2.2.3 NDVI数据分析

对经过投影转换、格式转换、SG滤波、图像切割处理后的2000-2010年夏季NDVI时间序列数据进行处理,计算得到研究区年NDVI累计变化以及NDVI空间趋势变化。

NDVI累计变化即为对NDVI差值的绝对值做求和运算,NDVI差值法用于量化两个年份间NDVI值的变化,用后一时期的所有单元格的NDVI值减去前一时期的所有单元格的NDVI值,再对NDVI差值的绝对值进行求和处理,公式如下:

$$NDVI_{累计} = \sum |NDVI_i - NDVI_{i-1}|$$
 (1)

式中:NDVI累计变化值为正值,值越大说明该单元格的NDVI值变化越活跃(或生长或退化),用于描述该单元格景观波动的频繁程度(褚琳, 2012)。

研究区内每个单元格10年间的变化趋势用线性回归方程的回归系数(即斜率值)表示:

$$r_{斜率} = \frac{\sum [NDVI \times Y] - \frac{\sum NDVI \sum Y}{N}}{\sqrt{\left( \sum NDVI^2 - \frac{(\sum NDVI)^2}{N} \right) \left( \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N} \right)}}$$
 (2)

式中:采用最小二乘法计算回归系数 $r_{斜率}$ , $r_{斜率}$ 即NDVI趋势变化;Y为年份;N为总年数;如果其为正值,说明此单元格的植被状况趋好;其值为负,则说明该单元格的植被状况趋于恶化(侯光雷等, 2012; 王情等, 2013)。

2.2.4 NDVI与气候要素相关性分析

地理系统是一种多要素的复杂巨系统,其中一个要素的变化必然影响到其他各要素的变化。在多要素所构成的地理系统中,研究某一个要素对另一个要素的影响或相关程度时,将其他要素的影响视为常数,即暂不考虑其他要素的影响,而单独研究这两个要素之间的相互关系的密切程度时,称为偏相关(徐建华, 2002)。分析NDVI与各气象要素的偏相关性,首先要计算简单的相关系数,进而得到偏相关系数。NDVI与气象要素的简单相关系数计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$
 (3)

式中: $r_{xy}$ 为x、y两变量的相关系数; $x_i$ 为第i年的NDVI值; $y_i$ 为第i年的气象要素; $\bar{x}$ 为多年NDVI的平均值; $\bar{y}$ 为多年气象要素的平均值;i为年数。

基于降水量的NDVI与温度的偏相关系数以及基于温度的NDVI与降水量的偏相关系数计算公式如下:



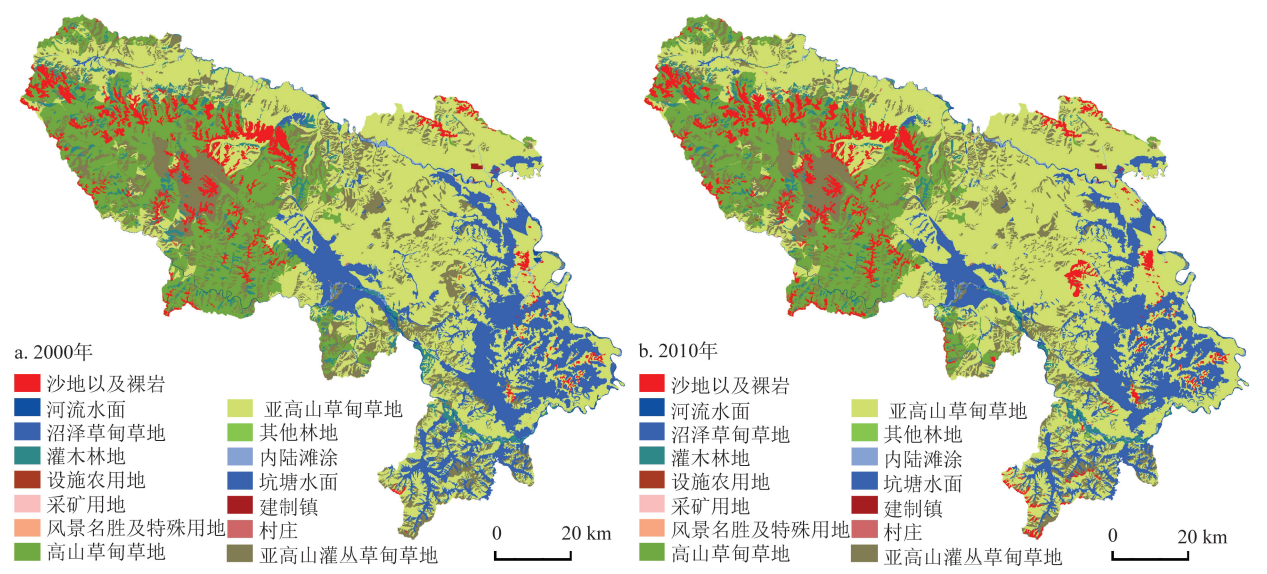


图2 2000(a)与2010年(b)玛曲县土地覆被类型  
Fig.2 Land use map of Maqu in 2000(a) and 2010(b)

$$r_{abc} = \frac{r_{ab} - r_{ac}r_{bc}}{\sqrt{(1 - r_{ac}^2) + (1 - r_{bc}^2)}} \quad (4)$$

式中： $r_{abc}$  为变量  $c$  固定后变量  $a$  与  $b$  的偏相关系数； $r_{ab}$  为变量  $a$  与变量  $b$  的相关系数； $r_{bc}$  为变量  $b$  与变量  $c$  的相关系数； $r_{ac}$  为变量  $a$  与变量  $c$  的相关系数。根据已有的  $NDVI$  以及气象要素数据，在年尺度上计算基于像元的  $NDVI$  与降水量、温度之间的偏相关系数，分析  $NDVI$  和气候因子的关系。

3 结果与分析

3.1 景观类型变化

从两期土地覆被类型图可以观察到沼泽湿地明显萎缩、亚高山草甸向东北扩张的现象(图2)；以两期景观分类图为基础，获得景观类型转移矩阵图，反映景观类型转移的空间分布状况(图3)，整体上各景观地物的转移变化不太剧烈，但湿地以及草甸向沙地转变的现象很明显。

从新增量和减少量、转入率和转出率这两方面对玛曲景观类型的变化进行分析。减少量最多的是沼泽草甸(215.88 km<sup>2</sup>)，沼泽草甸大部分转换为亚高山草甸，转出面积高达201.16 km<sup>2</sup>。同时亚高山草甸(334.66 km<sup>2</sup>)的新增量为最大，沙地裸岩(123.72 km<sup>2</sup>)次之。亚高山草甸增加的面积主要由沼泽草甸转换而来，这种转化相比与其他类型转入而言具有更大的转化优势，意味着沼泽草甸向亚高

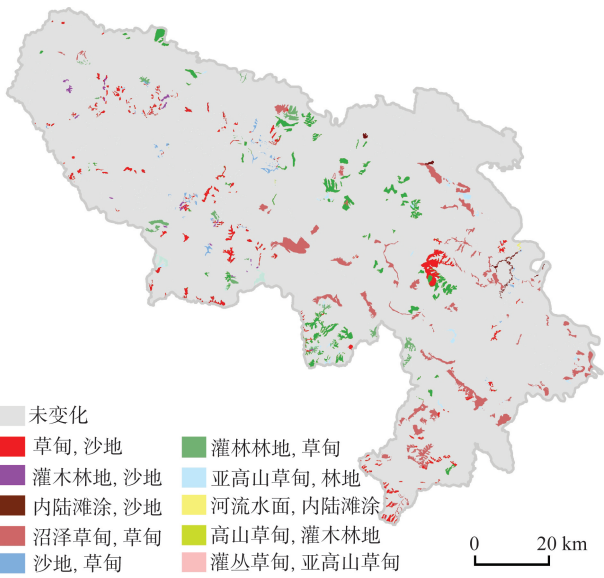


图3 2000-2010年玛曲景观类型变化空间分布(图例中前一个地类表示2000年转换前地类,后一个表示2010年转换后地类,如“内陆滩涂,沙地”表示由内陆滩涂转换为沙地)  
Fig.3 Changes of landscape types in Maqu between 2000 and 2010

山草甸退化。净变化量最大的是亚高山草甸(334.66 km<sup>2</sup>)以及沼泽草甸(215.88 km<sup>2</sup>)。作为研究区基质的亚高山草甸不仅在面积数量上有着很大的变化，在空间位置上也有着强烈的变动，表现为向东部明显转移。作为湿地重要组成部分的沼泽草甸在数量上急剧减少；同样，代表湿地景观的四类地物、河流水面、内陆滩涂、坑塘水面以及沼泽草



甸的新增量均小于减少量,表明湿地面积在缩小,减少面积达到238.82 km<sup>2</sup>。

转入率最大的为沙地以及裸岩(22.51%),亚高山草甸(8.43%)次之;转出率较大的几类依次为沼泽草甸(15.46%)、亚高山灌丛草甸草地(14.67%)、灌木林地(14.66%)以及内陆滩涂(13.96%)(图4)。沼泽草甸以及内陆滩涂转出率与转入率差值大,且转出率均高于转入率;沙地裸岩景观类型转入率大于转出率。研究发现,随着时间的推移,湿地面积急剧减少,在空间上阿万仓、曼日玛以及齐哈玛乡处的湿地面积缩减表现尤为明显,城乡建设用地的变化并不大,居民点数量保持稳定,城镇化进程不明显。

3.2 NDVI空间格局以及趋势变化

3.2.1 NDVI空间格局

年际NDVI构成的时间序列能够直观展现较长一段时期内的植被生长状况。NDVI均值越大,表示植被覆盖越高,植被生长越旺盛;反之,则植被覆盖越低,植被生长越缓慢。研究区玛曲的NDVI从西北部向中部逐步递增,中部到东南部逐步递减,呈不均匀分布。

近10 a来,研究区内地物的分布规律没有发生太大变化,夏季NDVI年均值整体上有所减少,夏季NDVI年均值与年份间线性相关系数为-0.42,随着时间推移植被状况无明显好转。2000-2003年间,夏季NDVI年均值呈现出年际波动状态,NDVI值总体趋势略有增加且增加趋势平缓;2003-2010年间,夏季NDVI年均值处于下降期,由2003年的0.7932下降至2010年的0.7539,夏季NDVI年均值与年份

间线性相关系数为-0.87。

3.2.2 NDVI累计变化

利用ArcGIS的栅格计算功能对夏季NDVI值进行累计变化处理,即逐年差值的绝对值进行累加,得到研究区夏季NDVI累计变化图(图5),该图反映的是夏季NDVI变化量累积的大小。图中的浅色区域代表该区植被在空间结构、数量以及分布上有着很活跃的变化,迁移或生长或退化;深色区域则代表10 a内区域内的植被无论是在空间分布还是数量只发生了微小的变化。玛曲北部的欧拉秀玛、东南部的曼日玛、河曲马场以及采日玛处的景观地物在10 a间处于频繁波动的状态,发生了较大变化。经验证,欧拉秀玛波动频繁的景观类型主要是沼泽草甸转为亚高山草甸,退化面积达201.16 km<sup>2</sup>;阿万仓、曼日玛、河曲马场以及采日玛波动频繁的景观类型主要是沼泽草甸以及内陆滩涂的减少,表示湿地发生了退化。

3.2.3 NDVI趋势变化

利用ArcGIS的栅格计算功能结合最小二乘法,对各像元与年份做线性回归分析,以线性拟合斜率反映该像元的变化趋势(图6)。斜率大于零,说明随时间增加,NDVI均值呈上升趋势,植被状况趋于好转;斜率小于零,则说明随时间增加,NDVI均值呈下降趋势,植被状况趋于退化;斜率的大小反映上升或下降的速率。夏季NDVI线性趋势图中黑色表示植被NDVI上升,白色表示植被NDVI下

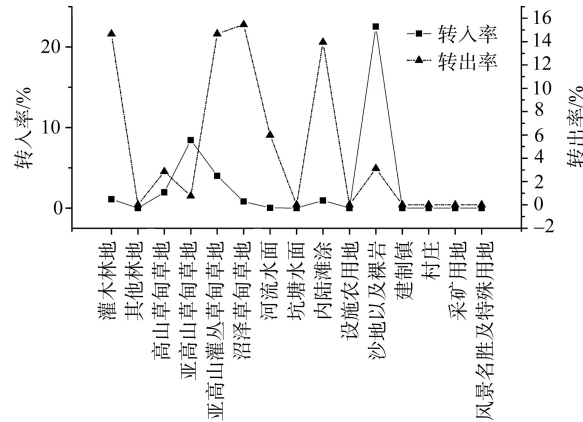


图4 2000-2010年玛曲景观类型转入率转出率  
Fig.4 Conversion rate of landscape types in Maqu between 2000 and 2010

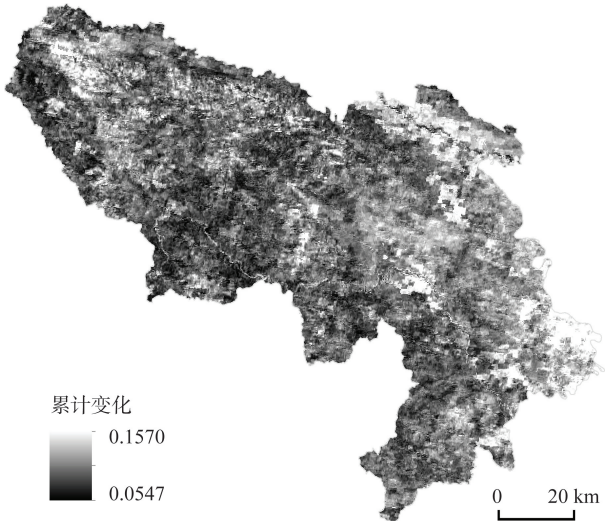


图5 2000-2010年玛曲夏季NDVI累计变化  
Fig.5 Cumulative change of NDVI in summer in Maqu between 2000 and 2010

降,灰色表示植被NDVI几乎没有变化。  
研究区NDVI均值的变化以大范围、大幅度波

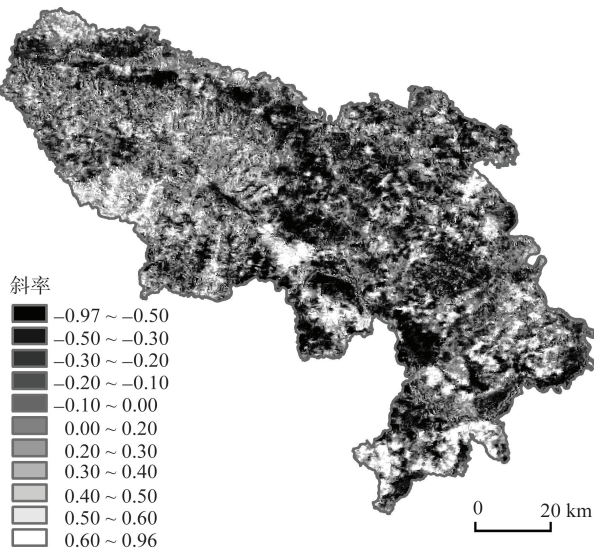


图6 2000-2010年玛曲夏季NDVI线性变化趋势  
Fig.6 Linear trend of NDVI in summer in Maqu between 2000 and 2010

动为主,个别地区均值有所增加,但分布较为分散,采用相关系数的统计检验方法进行显著性趋势检验,其中有49.67%的面积通过 $P<0.01$ 检验。

玛曲县腹部的阿万仓乡NDVI年均值与时间呈显著负相关(-0.39~-0.86);玛曲县西部木西合地区的夏季NDVI年均值与时间呈显著正相关(0.42~0.72);大部分地区无显著变化。上述分析与NDVI年际累计变化的分布格局相一致(图5)。2000-2010年,夏季NDVI年均值与时间呈显著负相关的区域面积为996.21 km<sup>2</sup>,占全区总面积的10.3%,对应的景观类型为沼泽草甸以及内陆滩涂;NDVI年均值与时间呈显著正相关的区域面积达到733.49 km<sup>2</sup>,占全区总面积的7.6%,对应景观类型为高山草甸、亚高山草甸以及灌丛草甸。由此可见,研究区植被景观类型的转变表现为湿地类景观中的沼泽草甸转换成亚高山草甸,夏季NDVI值以下降为主。

3.3 湿地退化与区域气候波动的相关性

3.3.1 气候波动特征

图7为研究区域1980-2010年夏季各气象要素

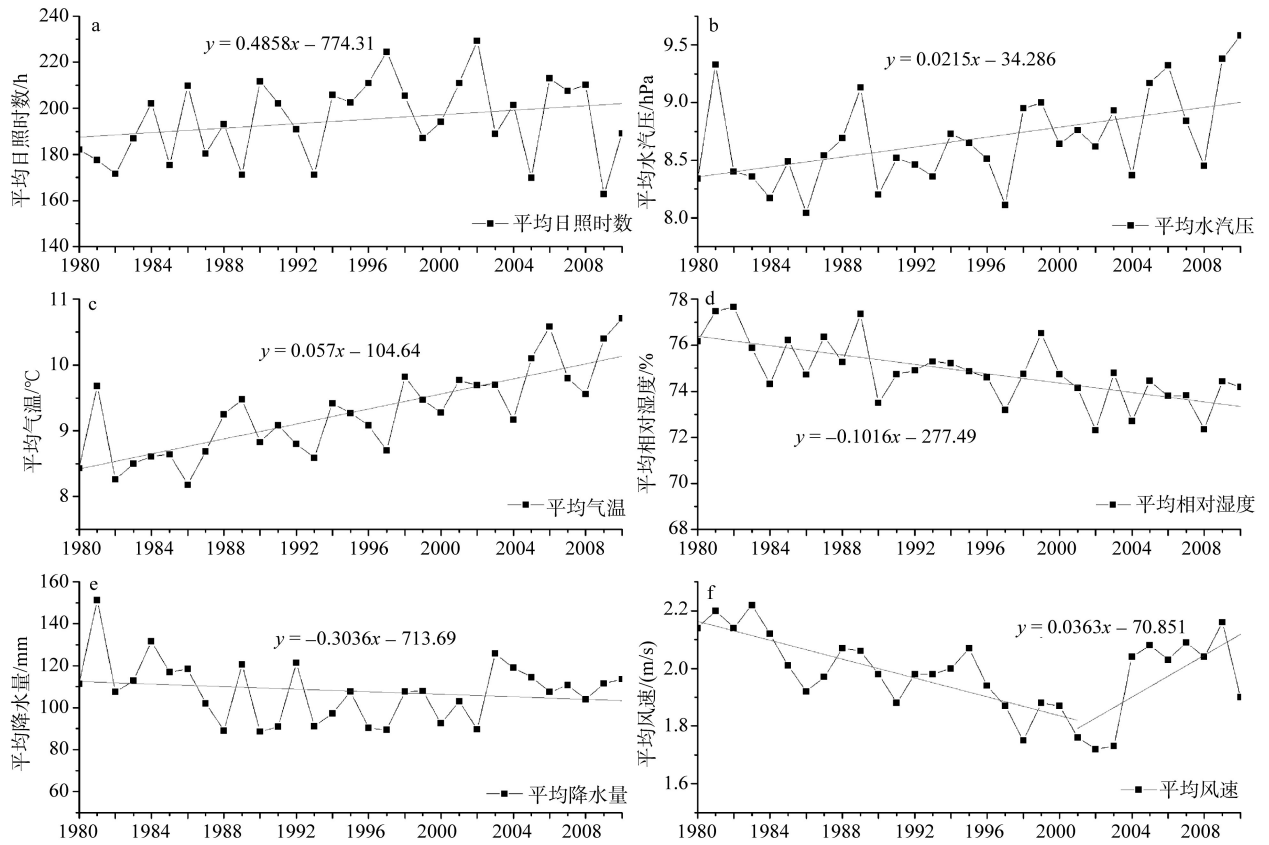


图7 1980-2010年夏季玛曲气象要素的变化趋势

Fig.7 Variations of climatic parameters in Maqu in summer between 1980 and 2010

(平均日照时数、平均水汽压、平均气温、平均相对湿度、平均降水量以及平均风速)的波动曲线。

30 a来,玛曲夏季的平均日照时数呈显著增加趋势(图 7a),气候倾向率为 $4.85\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ,20 世纪 90 年代(199.47 h)以后的平均年日照时数较 80 年代(187.42 h)增加了 12.05 h,相当于每月延长了半天的日照时间。

在平均水汽压方面,玛曲夏季平均水汽压呈显著增加趋势(图 7b),平均每 10 a 水汽压升高约为 0.22 hPa,2000 年(8.92 hPa)以后的平均水汽压较 20 世纪 90 年代(8.55 hPa)以及 80 年代(8.52 hPa)分别增加了 0.37 hPa 以及 0.4 hPa。

平均气温方面呈现出波动上升的趋势(图 7c),平均每 10 a 气温升高约 $0.57^{\circ}\text{C}$ ,其中 20 世纪 80 年代平均气温为 $8.78^{\circ}\text{C}$ ,90 年代为 $9.12^{\circ}\text{C}$ ,较 80 年代增加了 $0.34^{\circ}\text{C}$ ,2000 年之后增温尤为明显,年均气温达 $9.85^{\circ}\text{C}$ 。与此同时,平均相对湿度整体呈减少趋势(图 7d),平均每 10 a 减少约为 1%,2000 年(73.8%)以后的平均水汽压较 20 世纪 90 年代(74.76%)和 80 年代(76%)分别减少了 0.96%、2.2%。

从年降水量的年际变化分析(图 7e),自 20 世纪 80 年代以来,玛曲年降水量总体呈波动略微减少趋势,降水的减少率为 $3.03\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ,其中 90 年代中期减至最低,之后略有上升;而平均风速总体呈波动略微减少趋势(图 7f),20 世纪 80-90 年代减少,

2000 年之后增加明显,增加率为 $0.36\text{ m/s}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。

平均气温、平均日照时数的增加以及平均降水量、平均湿度的减少,意味着地表蒸发量在不断增大;水汽压的大小与蒸发的快慢有密切关系,而图 7b 所示的平均水汽压曲线也正好印证了蒸发量增加这一事实。大气热量的不断增加,降水的不断减少,风速的不断加大(近 10 年)加剧了下垫面的蒸散发,加速湿地退化进程。因此,气温升高、降水量下降可能是引起湿地萎缩、退化的主要原因。

3.3.2 NDVI与气候因子的相关关系

以年为时间单位,分别计算各像元 2000-2010 年 NDVI 与年降水量、年均温的偏相关系数。统计表明,整个研究区内,NDVI 与年降水量、年均温的平均偏相关系数分别为 0.27 和 0.11,和年降水量呈正相关的区域面积占总面积的 61.27%,而和年均温呈正相关的区域面积占总面积的 51.41%,表明玛曲植被生长总体上与降水量的相关性更高(图 8)。

不同地区降水量随时间变化趋势有显著的空间差异。从空间分布上来看,欧拉、河曲马场、曼日玛、采日玛湿地处降水量减少较明显,上述分析与 NDVI 年际变化的分布格局相一致(图 6),NDVI 值减少区域相对应的景观类型主要为沼泽草甸,而沼泽草甸是玛曲湿地重要的组成部分,气候变暖、降水量减少,沼泽草甸逐步退化,植被覆盖度降低,可能是导致玛曲湿地的退化的原因。

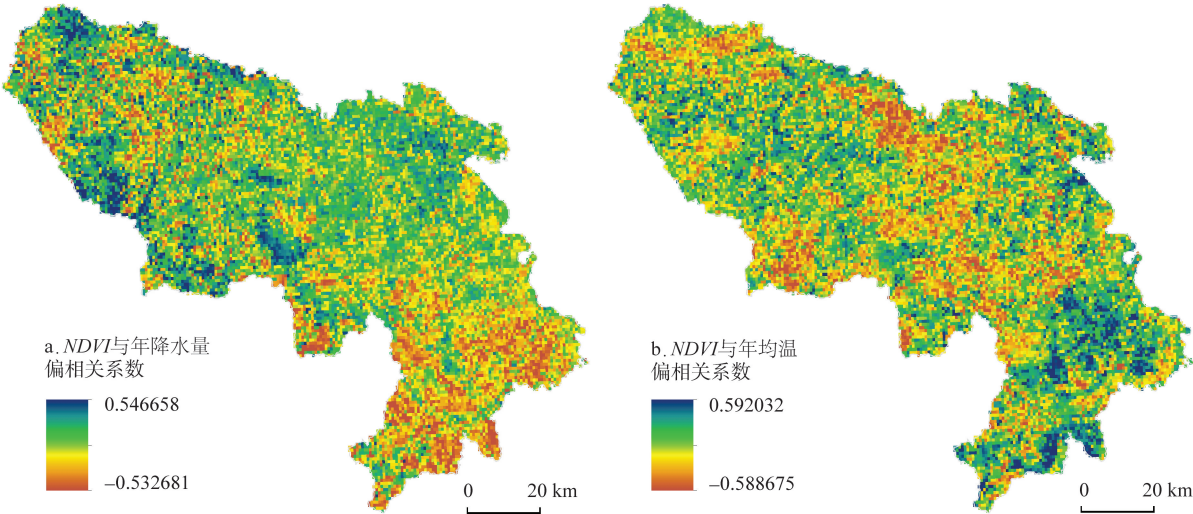


图 8 2000-2010 年玛曲年 NDVI 与年降水量(a)和年均温(b)的偏相关系数空间分布

Fig.8 Partial correlation between annual NDVI and climatic factors(a. annual precipitation; b. annual mean temperature) in Maqu between 2000 and 2010



## 4 结论

地处青藏高寒地区黄河源的玛曲湿地,其植被生态系统结构简单,抗干扰能力较低,生态系统极为脆弱,对气候的变化敏感。利用当地2001-2010年的土地利用数据、*NDVI*数据以及气象观测资料,深入分析了研究区10 a来景观类型以及*NDVI*的变化特征,探讨近10 a来研究区*NDVI*时空变化趋势对气候波动的时空响应。

(1) 几种主要的湿地类型(沼泽草甸、河流水面以及内陆滩涂)转出率均高于转入率,湿地面积减少;沼泽草甸减少的面积大部分转换为亚高山草甸,沼泽草甸向亚高山草甸退化;沙地裸岩的转入率大于转出率,生态环境退化明显。在空间上,阿万仓、曼日玛以及采日玛乡等处湿地面积的萎缩尤为明显。

(2) 研究区年均*NDVI*值逐年递减,整体生态退化趋势明显。*NDVI*年累计变化显示,欧拉秀玛、曼日玛、河曲马场以及四川省交界的采日玛湿地在空间结构和数量上均发生了较大的变化,处于频繁波动的状态。主要表现为沼泽草甸和内陆滩涂的减少、亚高山草甸的增加。*NDVI*年均值线性拟合斜率小于零的区域较大于零的区域要多,黄河第一弯玛曲阿万仓处*NDVI*年均值随时间推移呈显著下降趋势,植被状况趋于退化。该地区生态环境保护仍须进一步加强。

(3) 在年际尺度上,研究区植被生长与降水量及温度均有关系,但对降水量的依赖性更强;降水量变化趋势与*NDVI*变化趋势在空间分布格局上较为一致。但总体上*NDVI*与气象要素的相关关系不强,可能是由于*NDVI*对气候变化的响应存在时滞,但这还有待进一步研究的证实。

近年来,气温升高、降水量减少,蒸发量加大造成地表旱化,植被覆盖度下降,是造成玛曲湿地不断退化的主要自然驱动机制,而人类活动进一步加剧了这一过程。人为因素对湿地的不利影响主要表现在对湿地资源不合理的开发利用,对自然资源过度开发利用、无节制放牧,致使湿地大面积干涸、萎缩。目前草地已经呈退化趋势、有的地方甚至出现沙化和盐碱化现象,湿地的生态环境被严重破坏。

尽管人类活动对玛曲植被的影响不容忽视,但

由于缺乏对人类活动的定量分析手段,文中对造成玛曲湿地变化的因素进行的探讨仅限于自然因素层面,人类活动在玛曲湿地*NDVI*时空演变过程中作用的量化还有待于更深入的探究。

## 参考文献(References)

- 蔡迪花, 郭锐, 韩涛. 2007. 1990-2001年黄河玛曲高寒沼泽湿地遥感动态监测. 冰川冻土, 29(6): 874-881. [Cai D H, Guo N, Han T. 2007. Dynamically monitoring the high-cold swamp and wetland in 1990-2001 in Maqu by means of remote sensing. Journal of Glaciology and Geocryology, 29(6): 874-881.]
- 陈世强, 文莉娟, 吕世华, 等. 2007. 黄河上游玛曲县植被指数与气候变化研究. 冰川冻土, 29(1): 131-136. [Chen S Q, Wen L J, Lv S H, et al. 2007. Study of NDVI and climate change in Maqu County, upstream of Yellow River. Journal of Glaciology and Geocryology, 29(1): 131-136.]
- 褚琳. 2012. 黄河源玛曲高寒湿地生态退化与修复适宜性评价研究[D]. 武汉: 华中农业大学. [Chu L. 2012. The research on degradation and restoration suitability assessment of Yellow River Source alpine wetlands in Maqu [D]. Wuhan, China: Huazhong Agricultural University.]
- 郭芬芬, 范建容, 边金虎, 等. 2011. 基于MODIS NDVI时间序列数据的藏北草地类型识别. 遥感技术与应用, 26(6): 821-826. [Guo F F, Fan J R, Bian J H, et al. 2011. Grassland types identification based on time-series MODIS NDVI data in northern Tibet. Remote Sensing Technology and Application, 26(6): 821-826.]
- 侯光雷, 张洪岩, 郭聃, 等. 2012. 长白山区植被生长季NDVI时空变化及其对气候因子敏感性. 地理科学进展, 31(3): 285-292. [Hou G L, Zhang H Y, Guo D, et al. 2012. Spatial-temporal variation of NDVI in the growing season and its sensitivity to climatic factors in Changbai Mountains. Progress in Geography, 31(3): 285-292.]
- 朴世龙, 方精云. 2001. 最近18年来中国植被覆盖的动态变化. 第四纪研究, 21(4): 294-302. [Piao S L, Fang J Y. 2001. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China. Quaternary Sciences, 21(4): 294-302.]
- 戚登臣, 李广宇. 2007. 黄河上游玛曲湿地退化现状、成因及保护对策. 湿地科学, 5(4): 341-347. [Qi D C, Li G Y. 2007. Status causes and protection countermeasures of wetland degradation. Wetland Science, 5(4): 341-347.]
- 邱海军, 曹明明. 2011. 基于SPOT VEGETATION数据的中国植被覆盖时空变化分析. 资源科学, 33(2): 335-340. [Qiu H J, Cao M M. 2011. Spatial and temporal variations in vegetation cover in China based on SPOT VEGE-

- TATION data. *Resources Science*, 33(2): 335-340.]
- 王立新, 刘华民, 杨劼, 等. 2010. 毛乌素沙地气候变化及其对植被覆盖的影响. *自然资源学报*, 25(12): 2030-2039. [Wang L X, Liu H M, Yang J, et al. 2010. Climatic change of Mu Us Sandy Land and its influence on vegetation coverage. *Journal of Natural Resources*, 25(12): 2030-2039.]
- 王情, 刘雪华, 吕宝磊. 2013. 基于 SPOT-VGT 数据的流域植被覆盖动态变化及空间格局特征. *地理科学进展*, 32(2): 270-277. [Wang Q, Liu X H, Lv B L. 2013. Dynamic changes and spatial patterns of vegetation cover in a river basin based on SPOT-VGT data: a case study in the Huaihe River Basin. *Progress in Geography*, 32(2): 270-277.]
- 王蕊, 李虎. 2011. 2001-2010 年蒙古国 MODIS-NDVI 时空变化监测分析. *地球信息科学学报*, 13(5): 665-671. [Wang R, Li H. 2011. Spatio-temporal changes of vegetation in Mongolia based on MODIS-NDVI during 2001-2010. *Journal of Geo-Information Science*, 13(5): 665-671.]
- 徐建华. 2002. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社. [Xu J H. 2002. *Mathematical methods in contemporary geography*. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 杨建平, 丁永建, 陈仁升. 2005. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录. *地理学报*, 60(3): 467-478. [Yang J P, Ding Y J, Chen R S. 2005. NDVI reflection of alpine vegetation changes in the source regions of the Yangtze and Yellow River. *Acta Geographica Sinica*, 60(3): 467-478.]
- 杨永兴. 2002. 国际湿地科学研究的主要特点、进展与展望. *地理科学进展*, 21(2): 111-120. [Yang Y X. 2002. Main characteristics, progress and prospect of international wetland science research. *Progress in Geography*, 21(2): 111-120.]
- 殷贺, 李正国, 王仰麟, 等. 2011. 基于时间序列植被特征的内蒙古荒漠化评价. *地理学报*, 66(5): 653-661. [Yin H, Li Z G, Wang Y L, et al. 2011. Assessment of desertification using time series analysis of hyper-temporal vegetation indicator in Inner Mongolia. *Acta Geographica Sinica*, 66(5): 653-661.]
- 张学珍, 戴君虎, 葛全胜. 2012. 1982-2006 年中国东部春季植被变化的区域差异. *地理学报*, 67(1): 53-61. [Zhang X Z, Dai J H, Ge Q S. 2012. Spatial differences of changes in spring vegetation activities across Eastern China during 1982-2006. *Acta Geographica Sinica*, 67(1): 53-61.]
- Cao M K, Woodward F. 1998. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature*, 393: 249-252.
- Fang J Y, Piao S L, He J S, et al. 2004. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982-1999. *Science in China: Ser. C*, 47(3): 229-240.
- Gao Q Z, Li Y, Wan Y F, et al. 2009. Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in northern Tibet. *Climatic Change*, 97(3-4): 515-528.
- Goetz S J. 1997. Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. *International Journal of Remote Sensing*, 18(1): 71-94.
- Gomez-Mendoza L, Galicia L, Cuevas-Fernandez M L, et al. 2008. Assessing onset and length of greening period in six vegetation types in Oaxaca, Mexico, using NDVI-precipitation relationships. *International Journal of Biometeorology*, 52(6): 511-520.
- Ji L, Peters A J. 2005. Lag and seasonality considerations in evaluating AVHRR NDVI response to precipitation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71(9): 1053-1061.
- Parmesan C, Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421: 37-42.
- Rees M, Condit R, Crawley M, et al. 2001. Long-term studies of vegetation dynamics. *Science*, 293: 650-655.
- Wang G X, Li Y S, Chen L. 2006. Impacts of permafrost changes on alpine ecosystem in Qinghai-Tibet Plateau. *Science in China: Ser. D*, 49(11): 1156-1169.
- Yu L, Cao M K, Li K R. 2006. Climate-induced changes in the vegetation pattern of China in the 21st century. *Ecological Research*, 21(6): 912-919.

## Changes in ecological patterns of Maqu alpine wetland in Yellow River Source Area during 2000–2010

CHU Lin<sup>1,2</sup>, HUANG Chong<sup>1</sup>, LIU Gaohuan<sup>1</sup>, LIU Qingsheng<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Wetland as a unique ecosystem has important environment regulating functions and irreplaceable role in maintaining regional ecological balance, conserving biodiversity, and providing food, materials and water resources to humans. The Maqu alpine wetland located in the northeast of the Tibetan Plateau is an important water conserving and supplying area to the upper reach of the Yellow River. In the past 30 years, global warming has led to significant vegetation changes on the Tibetan Plateau. The Maqu alpine wetland is undergoing a process of prominent warming and drying, and degradation of its water conservation function is very significant in recent years. Wetland vegetation dynamics, regional differentiation and causes of degradation of the alpine wetland ecosystem were investigated using multi-source remote sensing data in this study. Land use information and ecological patterns of Maqu were extracted via analyzing Landsat-5/TM and Landsat-7/ETM+ satellite images of 2000 and 2010, through visual interpretation and supervised classification using GIS techniques. *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index) was used as an indicator in monitoring vegetation changes. MODIS *NDVI* time series data of 2000-2010(after applying the S-G filtering method and MVC) were used to detect temporal and spatial variations and evolution trend of wetland ecosystems. Point data from weather stations was interpolated using Kriging interpolation method. Based on long-term observations from weather stations, the relationship between Maqu wetland changes and climatic factors(temperature and precipitation) was examined using the least squares method. The results show that areas of rivers, inland beaches, ponds, and swamp meadows were decreasing. Summer *NDVI* of 2000-2010 in the study area also decreased. Areas with significant decline in *NDVI* are located in Cairima, Manrima and Hequmachang. Changes in vegetation type also occurred, as signified by swamp meadows shifting to subalpine meadows. The warming and dry climate appears to be a critical factor contributing to the degradation of the Maqu alpine wetland. The changes of the Maqu alpine wetland are related to the inter-annual variability of precipitation and temperature, with 61% and 51% of the total area showing a positive correlation between *NDVI* and annual precipitation as well as between *NDVI* and mean temperature respectively. A stronger correlation exists between *NDVI* and annual precipitation, indicating that the vegetation growth is more sensitive to the inter-annual variability of precipitation.

**Key words:** alpine wetlands; ecological pattern; *NDVI*; Yellow River Source Area; Maqu