DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2018.0021
WANG Lichun, JIAO Li, LAI Fengbing. The vegetation coverage change based on *NDVI* of the wetland by Manas Lake, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(1): 176 – 185. [王丽春, 焦黎, 来风兵. 基于 *NDVI* 的新疆玛纳斯湖湿地植被覆盖度变化研究[J]. 冰川冻土, 2018, 40(1): 176 – 185.]

基于 *NDVI* 的新疆玛纳斯湖湿地植被覆盖度变化研究

王丽春[1,2], 焦 黎[1,2], 来风兵[1,2]
(1. 新疆师范大学 新疆维吾尔自治区干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054;
2. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐, 830054)

摘 要: 以 2000 年、2006 年、2010 年、2013 年和 2016 年 5 期的 Landsat 遥感影像为基础数据源, 基于像元二分模型反演了玛纳斯湖湿地植被覆盖度。通过动态度、转移矩阵对比不同时期各等级植被覆盖度的转化比例, 分析植被变化的驱动力。结果表明: 2000 – 2016 年, 玛纳斯湖湿地植被覆盖度总体较差。极低植被覆盖度所占比例由 19.6% 增加到了 46.3%, 低植被覆盖度所占比例由 60.6% 减少到了 28.7%, 中植被覆盖度所占比例由 9.4% 减少到了 4.6%, 中高植被覆盖度相对变化较小, 所占比例由 2.9% 增加到 4.2%, 高植被覆盖度所占比例由 7.4% 增加到 16.2%。整个地区的荒漠盐碱土地和农田土地利用面积在逐渐增加, 影响植被覆盖度和湖泊萎缩干涸的主要因素是过度利用水资源和人类活动对主要源流流域土地资源的大规模开发。

关键词: 像元二分模型; 归一化植被指数; 植被覆盖度; 玛纳斯湖湿地
中图分类号: P237/Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2018)01-0176-10

0 引言

植被覆盖度的变化对于干旱区本已脆弱的绿洲生态系统稳定有着重要的影响[1]。随着科学发展观深入人心, 社会经济快速发展产生的全球气候变化问题使人类越来越认识到资源的合理开发与生态环境保护的重要性[2]。植被覆盖度作为反映湿地植物生长状况的重要生态学参数, 在评价湿地生态系统健康, 指示生态环境变化起着关键的作用[3]。区域及全球范围的时空植被覆盖度估算对大气、土壤、水文和生态等研究具有重要的意义[4]。近年来, 国内外学者在植被遥感监测方面开展了大量的研究, 涌现了许多植被覆盖度变化监测的方法[5], 其中像元分解模型法估算植被覆盖度得到较为普遍的推广[6]。本研究采用像元二分模型来估算植被覆盖度, 了解玛纳斯湖湿地植被覆盖度的特征及演化规律, 认识其生态环境的现状及发展趋势, 辨识引起环境变化的驱动力。

新疆是西部大开发的重要战略基地之一, 水资源制约着区域社会经济与环境的协调发展, 人们从满足自身生存需求逐渐转化为经济扩张发展需求, 地球表层的自然状态不断受到人类的浸侵, 自然湿地数量和范围持续减少并产生了生态环境问题。玛纳斯湖是古玛纳斯湖区域性构造运动和气候因素共同作用下形成的几个湖泊之一[7], 作为古尔班通古特沙漠西北边缘重要的生态环节, 湖泊的干涸对通道周围植被有直接影响[8], 湖泊湿地由于湖域面积减少不能正常调节和维持区域的气候环境, 不仅对周围生态带来毁灭性的影响, 而且干涸的湖底还会增加沙尘天气的频率[9]。据有关资料及文献统计, 玛纳斯湖 20 世纪 50 年代还有 550 km^2 的水面面积, 平均水深 6 m 左右, 湖面高程 257 m, 容积约为 4×10^9 m^3[10], 而我国 20 世纪 60 年代初的航测地形图显示, 玛纳斯湖已经干涸。随着玛纳斯河流域

收稿日期: 2017-09-10; **修订日期:** 2017-12-10
基金项目: 新疆维吾尔自治区重点实验室新疆干旱区湖泊环境与资源实验室开放课题准格尔盆地西南缘玛纳斯湖湿地恢复研究(XJDX0909-2015-04); 新疆维吾尔自治区科技计划项目(201533109)资助
作者简介: 王丽春(1993 –), 女, 2016 在新疆师范大学获学士学位, 现为新疆师范大学在读硕士研究生, 从事干旱区资源与环境演变研究. E-mail: lc210139@sina.com
通信作者: 焦黎, E-mail: jiaolixjsd@sina.com.

人口、绿洲、耕地的不断扩展，从近十年玛纳斯湖的情况来看，已演变成一个间歇性湖泊[9]。本文对玛纳斯湖湿地地区 2000 年到 2016 年间的植被覆盖状况及其影响因素进行分析，旨在掌握玛纳斯湖地区植被覆盖状况，以期为区域生态环境改善以及生态植被恢复提供依据。

1　研究区概况

玛纳斯湖位于天山北部准噶尔盆地中心，是主要汇集天山北坡地表径流而成的内陆湖[11]。本文所研究的玛纳斯湖湿地范围为 45°56′～45°1′ N，84°48′～86°15′ E(图 1)。玛纳斯河在大拐与小拐之间发育了宽大的鸟趾状三角洲，其间沼泽广布，芦苇丛生，大拐东部，玛纳斯河通过沼泽地蜿蜒曲流注入玛纳斯湖[12]。玛纳斯湖一带属温带大陆性干旱气候区，冬冷夏热，温差较大，相对湿度 48%，盛行西北风，年均气温 8.8 ℃，1 月平均气温 −20 ℃，极端最低气温 −38 ℃，7 月平均气温 25.6 ℃，极端最高气温 42 ℃。年日照时数 2 742.2 h，无霜期 174 d，年均降水量 63.7 mm，年均蒸发量 3 110.5 mm[8]。玛纳斯湖湿地地区地势平坦、植被稀少、景观类型单一，玛纳斯河上游大量引水使下游河流沿岸及玛纳斯湖周围原分布的大面积茂密的胡杨、红柳及草甸植被缺水衰亡，湖泊在水源稀少、降水贫乏的干旱气候背景下蒸发更加强烈，迅速萎缩并形成间歇性干涸的荒漠景观。

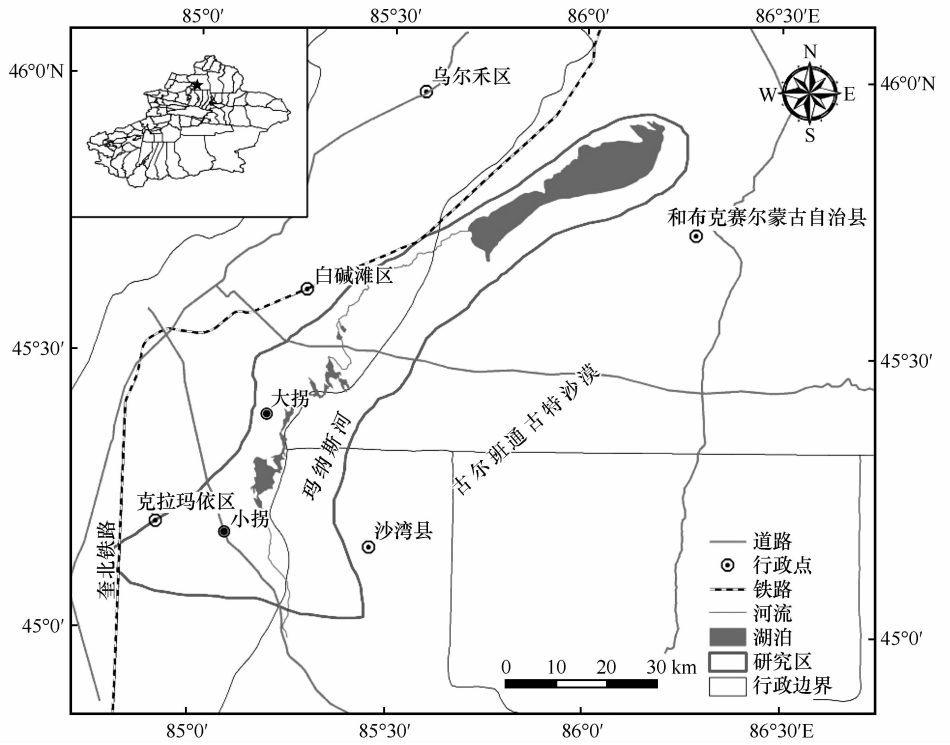


图 1　研究区位置示意

Fig. 1　Map showing the location of the study area

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源及预处理

研究的数据为 5 个时期的遥感影像，分别为 2000 年 7 月 Landsat 7 ETM + 影像、2006 年 7 月和 2010 年 8 月 Landsat 5 的 TM 影像、2013 年和 2016 年 8 月的 Landsat OLI 影像，空间分辨率为 30 m。选用的遥感影像受天气变化的影响小，无云、雾等影响，均属于农作物、植被生长较好时期，完全可以代表该地区的植被生长状况，植被变化具有可比性。由于覆盖研究区需要两景遥感影像，在 ENVI 软件中先对每景遥感数据进行辐射定标、大气校正、几何校正，然后进行影像的拼接与研究区的裁剪等预处理工作。人口、社会经济数据取自新疆统计年鉴，气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(http://data.cma.cn/)。

2.2　改进的归一化差值水体指数

徐涵秋在对 Mcfeeters 提出的归一化差值水体指数(*NDWI*)分析的基础上，对不同水体类型的遥感影像进行了实验，提出了改进的归一化差值水体

指数 *MNDWI*，可以更好的区分阴影与水体，正值为水体，负值为非水体。公式如下：

$$MNDWI = (Green - MIR)/(Green + MIR) \quad (1)$$

2.3 像元二分模型

植被覆盖度和 *NDVI* 之间有着极显著的线性相关关系，植被覆盖度信息的提取可通过建立二者之间的转换关系来实现[13]。混合像元模型中的像元二分模型是一种简单实用性强的模型，具有较高的精度。基本原理是假定由有植被覆盖部分地表与无植被覆盖部分地表构成一个像元，如果全植被覆盖的像元信息为 S_{veg}，土壤所覆盖的像元所得的遥感信息为 S_{soil}，可得出植被覆盖度的公式：

$$F_c = (S - S_{soil})/(S_{veg} - S_{soil}) \quad (2)$$

式中：S_{soil} 和 S_{veg} 是关键的两个参数，代表土壤与植被的纯像元所反映的遥感信息，像元二分模型通过这两个参数可以削弱大气、土壤背景与植被类型等的影响[14]。

2.3.1 利用 *NDVI* 估算植被覆盖度

NDVI 是指示植被生长状况和植被覆盖度最好的指标之一，是通过遥感传感器所接收的地物光谱信息推算出的反映地表植被状况的定量值。根据像元二分模型，一个像元的 *NDVI* 值由植被部分所贡献的信息 $NDVI_{veg}$ 与由无植被覆盖（裸土）部分所贡献的信息 $NDVI_{soil}$ 组成，将 *NDVI* 代入式（2），就转换成：

$$F_c = (NDVI - NDVI_{soil})/(NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (3)$$

2.3.2 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 的取值

理论上 $NDVI_{soil}$ 应该是一个接近 0 的值，且不随时间的变化而变化[15]。但是受大气、地表湿度以及太阳光照等条件的影响，不同区域土壤类型的裸露地表 $NDVI_{soil}$，并不是一个定值，一般来说，它在 -0.1 ~ 0.2 之间变化[16-17]，而 $NDVI_{veg}$ 也会由于不同地区季节、植被类型的不同造成时空差异[14]。由于影像上存在着噪声，应用中 $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 不能直接取影像上 *NDVI* 的最大值和最小值，而是根据实际情况取置信度区间内的最大值和最小值[18]。图 2 是不同时期玛纳斯湖湿地 *NDVI* 频率直方图，利用直方图统计分析 *NDVI* 累积频率，选取图中累积频率为 10% 的 *NDVI* 值为 $NDVI_{min}$，累积频率在 95% 的 *NDVI* 值为 $NDVI_{max}$[19]，得到计算公式如下：

$$F_c = (NDVI - NDVI_{min})/(NDVI_{max} - NDVI_{min}) \quad (4)$$

2.4 植被覆盖度动态度

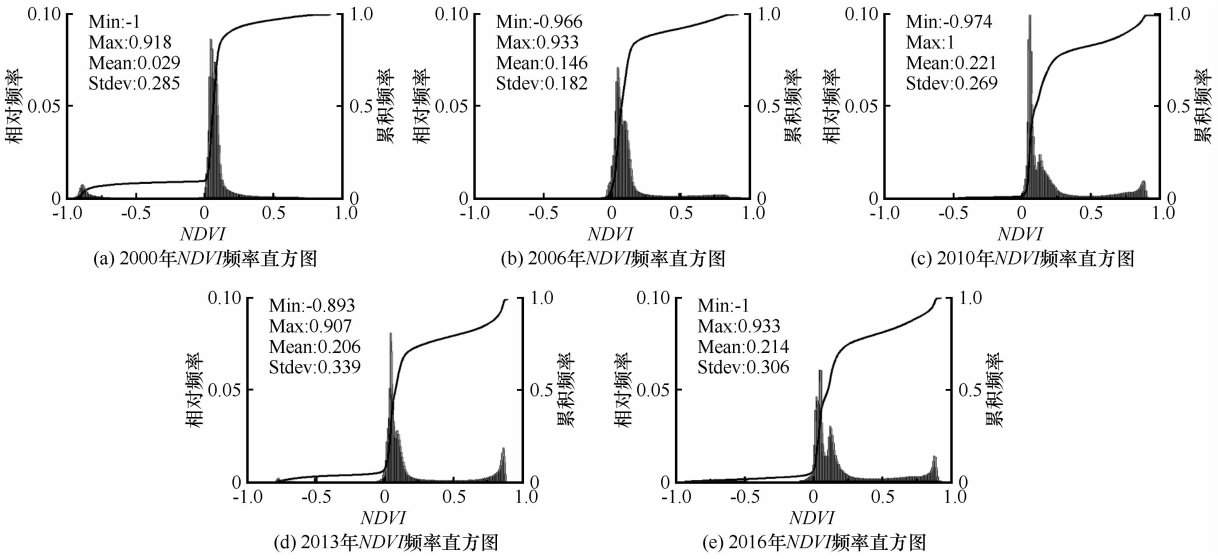
研究区一定时间范围内某类植被覆盖度类型的数量变化情况，可用植被覆盖度动态度来表示，其计算公式如下：

$$K = (U_b - U_a)/U_a \times (1/T) \times 100\% \quad (5)$$

式中：T 为时间，以年为单位；U_a 和 U_b 分别为研究期初及研究期末某一种植被覆盖度的数量。

2.5 植被覆盖度分级

根据国家《土地利用现状调查技术规程》《草场资源调查技术规程》和水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》，结合干旱区绿洲植被特有的生态特征，参考前人的植被覆盖度分级标准[20]，根据野外植被调查资料，制定了玛纳斯湖湿地植被覆盖度标准，将研究区分为5个标准（表1），然后根据此标



(a) 2000年*NDVI*频率直方图 (b) 2006年*NDVI*频率直方图 (c) 2010年*NDVI*频率直方图

(d) 2013年*NDVI*频率直方图 (e) 2016年*NDVI*频率直方图

图 2 玛纳斯湖湿地 *NDVI* 频率直方图

Fig. 2 *NDVI* frequency histograms of the wetland by Manas Lake in 2000 (a), 2006 (b), 2010 (c), 2013 (d) and 2016 (e)

表 1　玛纳斯湖湿地植被覆盖度分级

Table 1　Vegetation classification of the wetland by Manas Lake

分级	分级标准	覆盖度/%	景观特征
Ⅰ	极低覆盖度植被	<10	极度沙化盐碱土，裸地，水域
Ⅱ	低覆盖度植被	10～30	盐生植被，疏林地，荒漠地，属差等植被
Ⅲ	中覆盖度植被	30～50	低郁闭林地，中产草地，林地
Ⅳ	中高覆盖度植被	50～70	滩地，中高产草地，林地，属良等植被
Ⅴ	高覆盖度植被	70～100	密林地，高产草地，耕地，属优等植被

准进行时间和空间上植被覆盖度面积与分布及动态转移分析。

3　结果与分析

3.1　植被覆盖度变化特征

利用 5 期遥感影像监测玛纳斯湖的植被覆盖度和水域变化情况，图 3 是各植被覆盖类型和水体的空间分布图，表 2 是各植被覆盖类型的面积及所占百分比，图 4 是各植被覆盖类型动态统计图。比较不同时期各植被覆盖度和水体变化状况，分析植被覆盖度和水体的变化特征，从各个时段来看：

（1）2000－2006 年，极低覆盖度和高覆盖度面

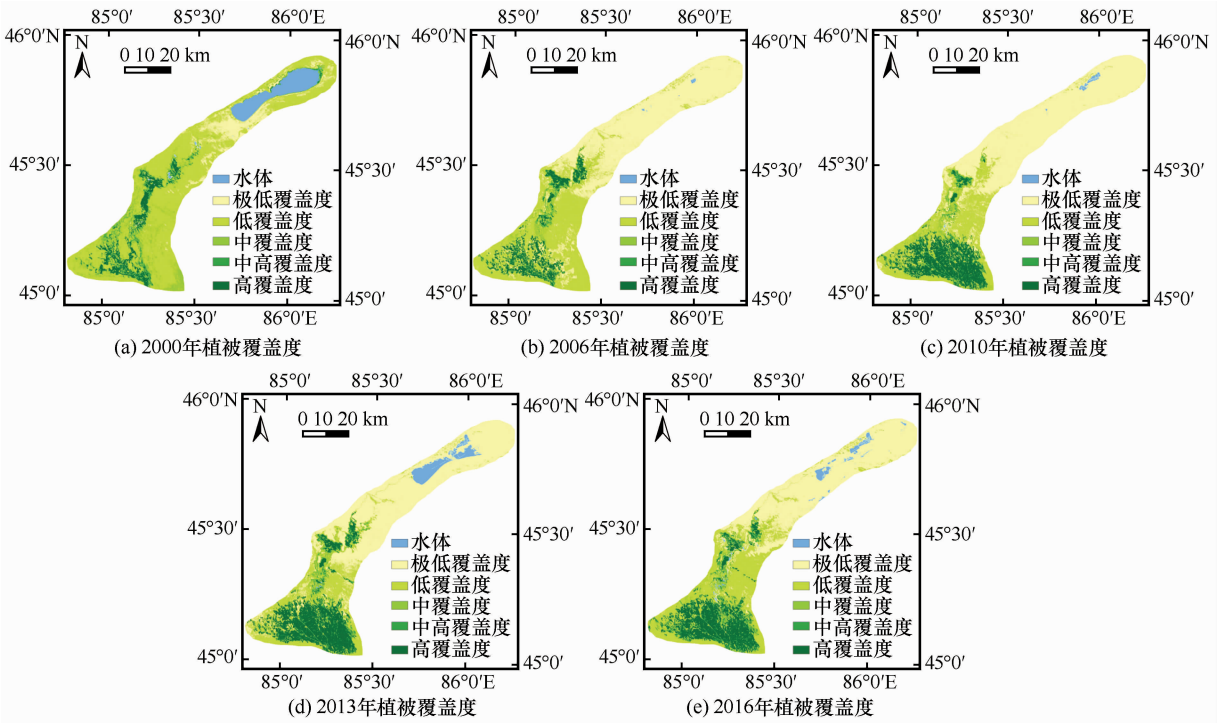


图 3　玛纳斯湖湿地植被时空变化

Fig. 3　Spatial distributions of the wetland by Manas Lake in 2000（a）, 2006（b）, 2010（c）, 2013（d）and 2016（e）

表 2　2000－2016 年不同等级植被覆盖度面积变化

Table 2　Vegetation coverage areas of different classes in 2000, 2006, 2010, 2013, 2016

覆盖度级别	2000 年		2006 年		2010 年		2013 年		2016 年	
	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%	面积/km²	占比/%
Ⅰ	564.3	19.6	1 417.3	49.3	1 546.6	53.8	1 552.4	54.0	1 330.4	46.3
Ⅱ	1 742.4	60.6	1 053.2	36.7	701.8	24.4	596.3	20.8	825.6	28.7
Ⅲ	269.6	9.4	100.1	3.5	118.4	4.1	112.4	3.9	133.4	4.6
Ⅳ	83.7	2.9	61.9	2.2	87.4	3.0	94.1	3.3	119.6	4.2
Ⅴ	213.6	7.4	241.2	8.4	419.3	14.6	518.4	18.0	464.7	16.2

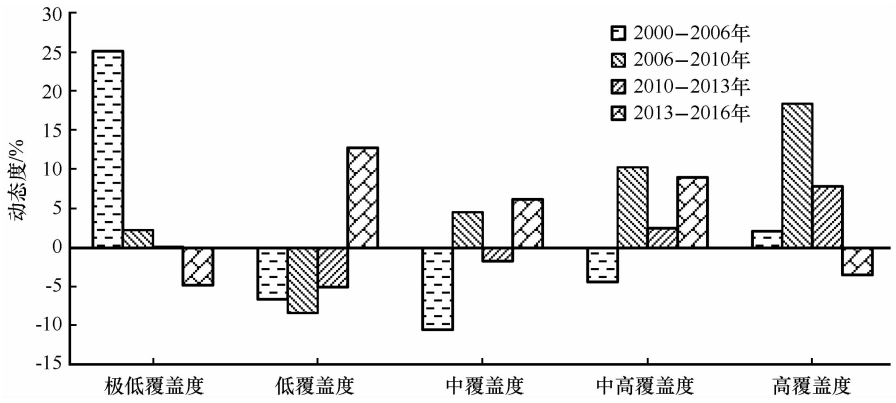


图 4 玛纳斯湖湿地植被覆盖度动态度

Fig. 4 Variations of the dynamic degree of vegetation coverage in the wetland by Manas Lake

积都有所增加，极低覆盖度面积比 2000 年增加了 853 $km^{2,}$，高覆盖度增加了 12.9%，低覆盖度、中覆盖度、中高覆盖度分别减少了 39.6%、62.9%、26.1%。在这一时段，极低覆盖度呈现剧烈的变化速度，其动态度为 25.2%。玛纳斯湖水域 1999 年开始恢复，2000 年湖泊水域面积达到了 248.7 km^2，2000 年以后玛纳斯湖水域面积开始萎缩，2006 年水域面积仅有 4.2 km^2。

（2）2006 – 2010 年，变化的植被覆盖度占 25.8%。极低覆盖度和高覆盖度持续增加，分别增加了 9.1%、73.8%，中覆盖度和中高覆盖度呈增加的状态，分别增加了 18.3%、41.4%，只有低覆盖度减少了 33.4%。各覆盖度的动态度属高覆盖度最大，为 18.5%。水域面积变化波动较小，湖面几乎是干涸状态，湖周形成盐沼和盐壳为主的景观。

（3）2010 – 2013 年，极低覆盖度、中高覆盖度和高覆盖度保持增加的态势，分别增加了 0.4%、7.6%、23.6%，低覆盖度和中覆盖度分别减少了 15%、5.1%。在这期间各覆盖度的变化波动幅度较小，波动幅度最大的为高覆盖度，为 7.9%。2011 年水域面积大量恢复，2013 年水域面积为 128.7 km^2。

（4）2013 – 2016 年，极低和高覆盖度在这一时段与之前不同呈减少的趋势，分别减少了 14.3%、10.4%，低覆盖度、中覆盖度和中高覆盖度依次增加了 38.5%、18.7%、27.1%。动态度变化最大的是低覆盖度，最小的是高覆盖度，水域面积又出现了减少的情况，波动幅度相对较大。玛纳斯湖反复性的萎缩、干涸，已演变成周期为 3 ~ 4 年的间歇性湖泊，当洪水期或补给河流中上游水量有富余时，该湖可得以填充。

3.2 植被覆盖度变化过程分析

从表 3 可以看出，2000 – 2006 年，低覆盖度植被主要转变为极低覆盖度植被，占极低覆盖度总转入面积的 95.7%，中覆盖度转变为了低覆盖度，占其总转入面积的 82.1%，低覆盖度、中高覆盖度、高覆盖度转入中覆盖度的面积分别占总转入面积的 32.9%、27.5%、37.6%。有 0.9% 和 10% 的低覆盖度和高覆盖度转变为中高覆盖度。极低覆盖度、低覆盖度、中覆盖度、中高覆盖度转变为高覆盖度的比重分别占 2006 年高覆盖度总面积的 2.5%、18.5%、11.8%、8.8%。

2006 – 2010 年，极低覆盖度主要转入低覆盖度和高覆盖度，分别占其总转入面积的 26.1%、23.2%。低覆盖度转入极低覆盖度和高覆盖度的面积较多，分别占总转入面积的 93.3%、61.6%。有 34.3% 和 17.5% 的中覆盖度转变为低覆盖度和高覆盖度，11.7% 的高覆盖度转变为低覆盖度（表 4）。

2010 – 2013 年，5.2% 的极低覆盖度主要转入低覆盖度，占 2013 年低覆盖度总面积的 13.4%，17.1% 的低覆盖度转变为极低覆盖度，占 2013 年极低覆盖度总面积的 7.7%。中覆盖度的减少和中高覆盖度的增加相对 2010 年变化较小，动态率分别为 1.7%、2.5%。高覆盖度主要向中高覆盖度转变，转变的仅有 3.8%（表 5）。

2013 – 2016 年，极低覆盖度开始向低覆盖度转变，占低覆盖度总转入面积的 84.9%，低覆盖度有 4.5% 和 6.3% 向极低覆盖度和中覆盖度转变，还有一部分向高覆盖度转变。中覆盖度也有一定面积的波动变化，分别转向各个等级的植被覆盖度类型，

但幅度较小。中高在这一时段有 26.9% 转变为高覆盖度，而 10.3% 的高覆盖度转变成中高覆盖度（表 6）。

4　讨论

4.1　自然因素对植被覆盖度变化的影响

水分条件和温度都是制约植物生长的主要因子[21]，影响着植物群落的生态学过程和植物的生长周期[22]。从图 5 可以看出，1988 – 2016 年，玛纳斯湖地区的年降水量呈缓慢上升趋势，这对该地区的植物生长提供了有利条件，同时，在全球气候变化的大背景下，玛纳斯湖地区的年均温度也呈现逐步上升的趋势。采用相关分析法分析植被度覆盖与气温、降水的相关关系，其相关系数分别为

表 3　玛湖湿地 2000 – 2006 年植被覆盖转移矩阵（单位：km^2）

Table 3　Vegetation cover transfer matrix in the wetland by Manas Lake in 2000 – 2006 (unit: km^2)

2006 年	2000 年				
	极低覆盖度Ⅰ	低覆盖度Ⅱ	中覆盖度Ⅲ	中高覆盖度Ⅳ	高覆盖度Ⅴ
极低覆盖度Ⅰ	551.6	828.3	20.3	12.9	4.2
低覆盖度Ⅱ	3.0	829.9	183.3	20.9	16.1
中覆盖度Ⅲ	1.4	24.3	26.2	20.3	27.8
中高覆盖度Ⅳ	2.0	15.3	11.3	8.3	24.9
高覆盖度Ⅴ	6.1	44.7	28.5	21.2	140.7

表 4　玛湖湿地 2006 – 2010 年植被覆盖转移矩阵（单位：km^2）

Table 4　Vegetation cover transfer matrix in the wetland by Manas Lake in 2006 – 2010 (unit: km^2)

2010 年	2006 年				
	极低覆盖度Ⅰ	低覆盖度Ⅱ	中覆盖度Ⅲ	中高覆盖度Ⅳ	高覆盖度Ⅴ
极低覆盖度Ⅰ	1 318.1	213.2	6.6	3.5	5.2
低覆盖度Ⅱ	26.9	598.8	34.3	13.5	28.2
中覆盖度Ⅲ	6.5	53.0	31.6	13.8	13.5
中高覆盖度Ⅳ	8.6	36.9	10.1	11.3	20.6
高覆盖度Ⅴ	57.1	151.2	17.5	19.8	173.7

表 5　玛湖湿地 2010 – 2013 年植被覆盖转移矩阵（单位：km^2）

Table 5　Vegetation cover transfer matrix in the wetland by Manas Lake in 2010 – 2013 (unit: km^2)

2013 年	2010 年				
	极低覆盖度Ⅰ	低覆盖度Ⅱ	中覆盖度Ⅲ	中高覆盖度Ⅳ	高覆盖度Ⅴ
极低覆盖度Ⅰ	1 428.7	119.9	2.4	0.6	0.7
低覆盖度Ⅱ	79.6	470.1	37.6	4.4	4.6
中覆盖度Ⅲ	17.3	41.9	35.4	12.4	5.5
中高覆盖度Ⅳ	9.7	27.6	18.4	22.4	15.9
高覆盖度Ⅴ	11.3	42.3	24.7	47.6	392.6

表 6　玛湖湿地 2013 – 2016 年植被覆盖转移矩阵（单位：km^2）

Table 6　Vegetation cover transfer matrix in the wetland by Manas Lake in 2013 – 2016 (unit: km^2)

2016 年	2013 年				
	极低覆盖度Ⅰ	低覆盖度Ⅱ	中覆盖度Ⅲ	中高覆盖度Ⅳ	高覆盖度Ⅴ
极低覆盖度Ⅰ	1 274.6	27.1	16.3	5.8	6.5
低覆盖度Ⅱ	265.8	512.4	24.5	10.4	12.5
中覆盖度Ⅲ	5.1	37.6	40.6	19.3	30.8
中高覆盖度Ⅳ	3.3	9.0	20.8	33.3	53.2
高覆盖度Ⅴ	3.5	10.3	10.2	25.3	415.4

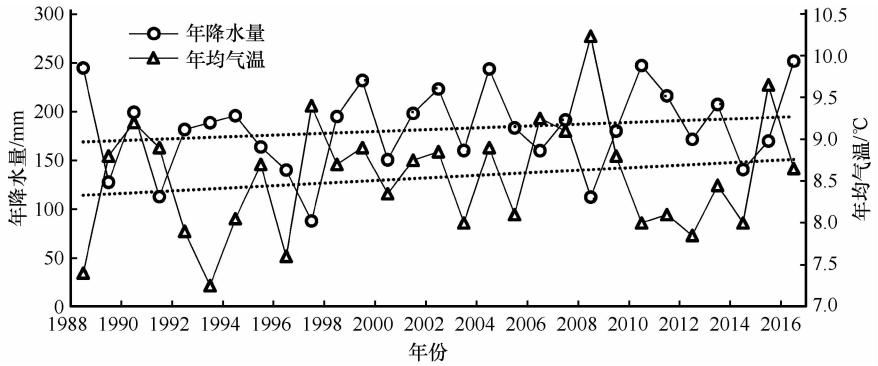


图 5 玛纳斯湖湿地年平均气温和年降水量变化

Fig. 5 Changes of annual mean temperature and annual precipitation in the wetland by Manas Lake

-0.561、0.419，相关性较小。

玛纳斯河的年径流量从 1988 年的 5×10^8 m^3 增长到 2010 年的 16.57×10^8 m^3（图 6），玛纳斯河经小拐、中拐、大拐，进入准噶尔盆地西部最低处，最终形成了玛纳斯湖，径流沿岸形成的淡水沼泽对植物群的生长，起到一定的促进作用。但由于流域上游发展农业，近年来玛纳斯湖的水域面积并没有得到增长或保持，多次出现萎缩干涸，湖周植被没有得到显著性恢复。

然而 20 世纪 80 年代中期以来，新疆极端气候事件频繁发生，暴雨及其导致的洪涝灾害呈上升趋势[23]。对比研究期内玛纳斯湖水域面积的变化，2000 年和 2013 年水域面积较大，皆是由于 1999 年和 2010 年玛纳斯河流域中上游发生的特大洪涝灾害导致。由此可以认为，个别年份湖泊水域面积的增长对玛纳斯湖周围植被恢复的作用较小。

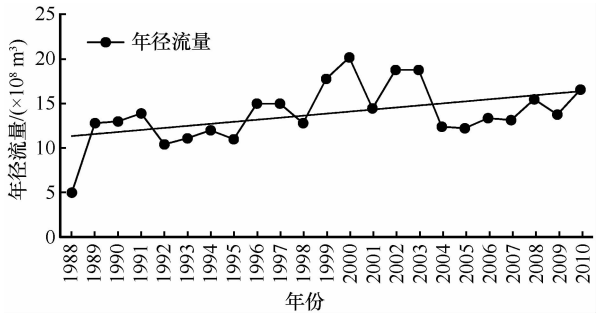


图 6 玛纳斯河年径流量

Fig. 6 Annual variation of runoff of Manas River

4.2 人类活动对植被覆盖度变化的影响

玛纳斯河流域主要包括克拉玛依市、石河子市、玛纳斯县、沙湾县以及奎屯，是天山北坡经济带的核心区域。新中国成立后随着解放军进驻新疆建场屯垦以来，玛纳斯河流域基本形成引、蓄、输水比较完善的灌溉供水体系，流域 98% 的地表水被堵截用于绿洲内部农田灌溉，目前该流域已成为新疆最大的绿洲农耕区和我国第四大灌溉农业区[24]。从图 7 可以看出流域内国民生产总值由 1988 年 31.21×10^8 元增长到 2016 年的 $1\,372.65\times10^8$ 元，人口由 126.01×10^4 人增长到 2016 年的 154.68×10^4 人。流域耕地面积持续增加，从 1960 年 1 882.25 km^2、占流域总面积的 13.85%，增长到 2014 年 6 532.84 km^2、占到 48.07%。国内外已有

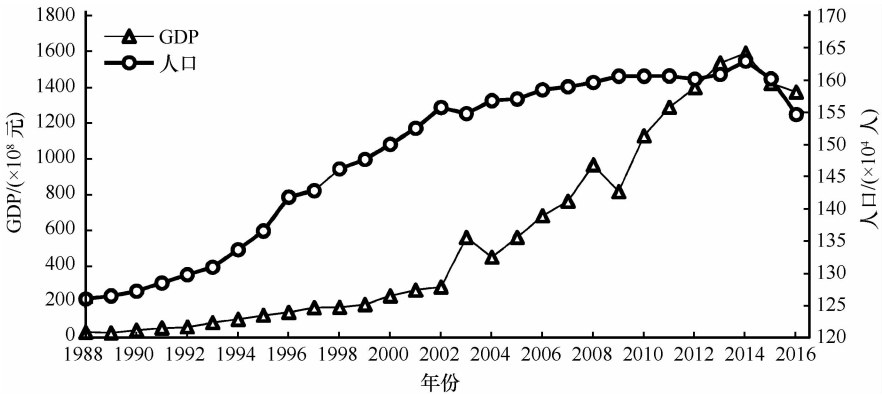


图 7 玛纳斯河流域人口和 GDP 变化

Fig. 7 Variations of population and GDP in Manas River basin

研究表明，经济水平的提高、生活方式的转变、农业生产水平的提高以及劳动力转移都可能影响到植被覆盖的变化[25-27]。

流域内主导经济是农业，该区农田灌溉主要靠天山融水汇集的河流径流水，流域中上游天然河网多数已被人工渠网替代，水库的建成稳定了绿洲的农业灌溉，相当程度上拓宽了绿洲的面积和范围，使得高覆盖度植被逐渐增加。密集兴建的水库、人工湖泊切断了自然河道，使玛纳斯河小拐子以下河道断流，使靠近河流或湖泊低地的胡杨林和沼生植物因缺水而逐渐干枯乃至死亡，湖区周围景观沙漠化，极低覆盖度植被逐渐蔓延。流域内人类利用水资源建立了人工绿洲，在人类活动强烈干扰下改变了植被覆盖度格局，不稳定的波动超出了生态安全阈值从而导致环境的退化。

5　结论

（1）玛纳斯湖湿地植被覆盖度变化显著。2000－2016 年，各个阶段都有不同植被覆盖度之间的转移，总体上表现为极低覆盖度植被、中高覆盖度植被和高覆盖度植被的增加，低覆盖度植被和中覆盖度植被的减少。植被覆盖度转移的主要方向是中高覆盖度转化为高覆盖度，中覆盖度转化为低覆盖度，低覆盖度转化为极低覆盖度和高覆盖度。

（2）玛纳斯河流域经济不断发展，人口、耕地增多，城市化速度加快，中上游生产用水挤占生态用水，导致玛纳斯河下游断流。2000－2016 年玛纳斯湖湿地沙化盐碱土地在逐渐增加，湖周生态环境相比 2000 年在向恶化的方向发展。

（3）人类活动是玛纳斯湖湿地植被演化的主要原因，玛纳斯湖水域的反复性萎缩、干涸，以及沙化盐碱土地面积的扩张，湿地难以形成稳定的生态环境调节保护功能，必将引起很多甚至是毁灭性的环境问题。研究准噶尔盆地内湖泊湿地植被覆盖度的变化，实施以盆地平原区湖泊流域水资源为核心的优化调控战略在改善湖泊湿地生态环境、协调湖泊流域可持续发展有重要意义。

参考文献(References)：

[1] Shi Qingdong. Based on FVC data to analyse the spatiotemporal variation of vegetation cover in China western arid land 1982－2000[D]. Nanjing: Nanjing Institute of Meteorology, 2004. [师庆东. 基于 FVC 指数对 1982－2000 年中国西部干旱区植被覆盖时空变化特征分析[D]. 南京：南京气象学院，2004.]

[2] Shen Yongping, Wang Guoya. Key findings and assessment results of IPCC WGI fifth assessment report[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1068－1076. [沈永平，王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土，2013，35(5)：1068－1076.]

[3] Yue Dan, Liu Dongwei, Wang Lixin, et al. Change of vegetation cover based on *NDVI* at Wuliangsu Lake Wetland[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(2): 266－271. [岳丹，刘东伟，王立新，等. 基于 *NDVI* 的乌梁素海湿地植被变化[J]. 干旱区研究，2015，32(2)：266－271.]

[4] Zhang Xiwang, Wu Bingfang. A temporal transformation method of fractional vegetation cover derived from high and moderate resolution remote sensing data[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(4): 1155－1164. [张喜旺，吴炳方. 基于中高分辨率遥感的植被覆盖度时相变换方法[J]. 生态学报，2015，35(4)：1155－1164.]

[5] Xie Xiaohua, Lai Riwen, Li Yongshi. The analysis and appraisal of vegetation coverage pattern in Minjiang Watershed[J]. Journal of Guizhou University (Natural Science Edition), 2008(5): 536－539. [谢晓华，赖日文，李永实. 基于 RS 技术的闽江流域植被覆盖度时空变化分析[J]. 贵州大学学报(自然科学版)，2008(5)：536－539.]

[6] Hu Jianbo, Chen Wei, Li Xiaoyu, et al. Urban vegetation coverage change inside the Third-Ring Road of Shenyang City, China: a study with linear spectral unmixing technique[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(5): 1140－1146. [胡健波，陈玮，李小玉，等. 基于线性混合像元分解的沈阳市三环内城市植被盖度变化[J]. 应用生态学报，2009，20(5)：1140－1146.]

[7] Yao Yonghui, Li Huiguo. Tectonic geomorphologic features of evolution of the Manas Lake in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2010, 27(1): 57－63. [姚永慧，励惠国. 新疆玛纳斯湖演化的地貌特征[J]. 干旱区研究，2010，27(1)：57－63.]

[8] Huang Peiyou, Huang Peizhen, Gu Chunguang. Prelminary study about the impact of dry up of Manas Lake on vegetation[J]. Arid Land Geography, 1987, 10(4): 30－36. [黄培佑，黄丕振，顾春光. 新疆玛纳斯湖的干涸对周围植被影响初探[J]. 干旱区地理，1987，10(4)：30－36.]

[9] Yao Yonghui, Wang Xiaoqin, Zhou Chenghu, et al. Changes of Manas Lake in the past 50 years in Xinjiang Province[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(1): 17－23. [姚永慧，汪小钦，周成虎，等. 新疆玛纳斯湖近 50 年来的变迁[J]. 水科学进展，2007，18(1)：17－23.]

[10] Guo Jinghui, Tang Qicheng. Xinjiang hydrology geography[M]. Beijing: Science Press, 1966: 36－41. [郭敬辉，汤奇成. 新疆水文地理[M]. 北京：科学出版社，1966：36－41.]

[11] Xinjiang Comprehensive Survey Team of Chinese Academy of Sciences. Xinjiang landform[M]. Beijing: Science Press, 1978: 217－218. [中国科学院新疆综合考察队. 新疆地貌[M]. 北京：科学出版社，1978：217－218.]

[12] Cheng Weiming, Zhou Chenghu, Li Jianxin. Evolution of Manas Lake landscape in Xinjiang and its eco-environmental effect[J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(6): 560－565. [程维明，周成虎，李建新. 新疆玛纳斯湖景观演化及其生态环境效应[J]. 第四纪研究，2001，21(6)：560－565.]

[13] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533－1543.

[14] Li Miaomiao, Wu Bingfang, Yan Changzhen, et al. Estimation

of vegetation fraction in the upper basin of Miyun Reservoir by remote sensing[J]. Resources Science, 2004, 26(4): 153 – 159. [李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 153 – 159.]

[15] Ma Na, Hu Yunfeng, Zhuang Dafang, et al. Vegetation coverage distribution and its changes in plan Blue Banner based on remote sensing data and dimidiate pixel model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(2): 251 – 256. [马娜, 胡云锋, 庄大方, 等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学, 2012, 32(2): 251 – 256.]

[16] Carlson T N, Ripley D A. On the relation between *NDVI*, fractional vegetation cover, and leaf area index[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(3): 241 – 252.

[17] Rundquist B C. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native tallgrass prairie[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(1): 129 – 135.

[18] Li Xiangting, Bai Jie, Li Guanglu, et al. Comparison of methods based on MODIS for estimating sparse vegetation fraction across desert in Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(3): 502 – 511. [李向婷, 白洁, 李光录, 等. 新疆荒漠稀疏植被覆盖度信息遥感提取方法比较[J]. 干旱区地理, 2013, 36(3): 502 – 511.]

[19] Yue Dan, Liu Dongwei, Wang Lixin, et al. Change of vegetation cover based on *NDVI* at Wuliangsu Lake wetland[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(2): 266 – 271. [岳丹, 刘东伟, 王立新, 等. 基于 *NDVI* 的乌梁素海湿地植被变化[J]. 干旱区研究, 2015, 32(2): 266 – 271.]

[20] Zhang Fei, Tashpolat Tiyip, Ding Jianli, et al. Dynamically monitoring vegetation cover by remote sensing in the typical salinization region of Xinjiang: a case study in delta oasis of weigan and Kuqa Rivers[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(7): 27 – 35. [张飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测——以渭干河 – 库车河三角洲绿洲为例[J]. 林业科学, 2011, 47(7): 27 – 35.]

[21] Liu Xianfeng, Zhang Jinshui, Zhu Xiufang, et al. Spatiotemporal changes in vegetation coverage and its driving factors in the Three-River Headwaters Region during 2000 – 2011[J]. Geography Science, 2014, 24(2): 288 – 302.

[22] Wang Dongmei, Meng Xingmin, Xing Zhao, et al. Dynamic change of vegetation coverage and the driving forces in Wudu district based on remote sensing[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(11): 95 – 96. [王冬梅, 孟兴民, 邢钊, 等. 基于 RS 的武都区植被覆盖度动态变化及其驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(11): 95 – 96.]

[23] Zou Quan, Wang Guoya, He Bin, et al. Responding of summer runoff and flood processes to extreme climate events in Manas River basin, Tianshan Mountains during 1957 – 2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 733 – 740. [邹全, 王国亚, 贺斌, 等. 1957 – 2010 年天山玛纳斯河流域夏季径流及洪水过程对极端气候事件的响应[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 733 – 740.]

[24] Zhang Hongfeng, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al. Landscape pattern change and its ecological effect in Manas River basin of Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(6): 1408 – 1414. [张宏锋, 欧阳志云, 郑华, 等. 新疆玛纳斯河流域景观格局变化及其生态效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1408 – 1414.]

[25] Xu Jiongxin. Effect of the changing rural socio-economic factors on sediment yield of the Jialingjiang River basin[J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(4): 385 – 394. [许炯心. 农村社会经济因素变化对嘉陵江产沙量的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(4): 385 – 394.]

[26] Ostwald M, Chen Deliang. Land-use change: Impacts of climate variations and policies among small-scale farmers in the Loess Plateau, China[J]. Land Use Policy, 2006, 23(4): 361 – 371.

[27] Vicente-Serrano S M, Lasanta T, Alfredo R. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish central pyrenees: Role of human management[J]. Environment Management, 2005, 34(6): 802 – 818.

The vegetation coverage change based on *NDVI* of the wetland by Manas Lake, Xinjiang

WANG Lichun[1,2], JIAO Li[1,2], LAI Fengbing[1,2]

(1. Key Laboratory of Lake Environment and Resources, Arid Area of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Normal University, Ürümqi 830054, China; 2. College of Geographical science and Tourism, Xinjiang Normal University, Ürümqi 830054, China;)

Abstract: Based on Landsat remote sensing images of 2000, 2006, 2010, 2013 and 2016, the vegetation coverage of the wetland by Manas Lake were retrieved based on the dimidiate pixel model. Through dynamic degree and transfer matrix analyses, the conversion ratio of vegetation coverage in different times were compared, and the driving force of vegetation change was analyzed. It was found that: the vegetation coverage in the wetland was generally poor in 2000 – 2016; the extra-low vegetation coverage ratio had increased from 19.6% to 46.3%, the low vegetation coverage ratio had decreased from 60.6% to 28.7%, the middle vegetation coverage ratio had decreased from 9.4% to 4.6%; the middle and high vegetation coverage ratio was relatively changed less, with the proportion increasing from 2.9% to 4.2%, the high vegetation coverage ratio had increased from 7.4% to 16.2%; as a whole, the utilized land in the areas of desert saline land and farm land is gradually increasing; the main factors that affect vegetation coverage and shrinkage of lakes are the large-scale exploitation of land resources in the main stream basin by over-utilization of water resources and human activities.

Key words: dimidiate pixel model; normalized differential vegetation index; vegetation coverage; wetland by Manas Lake

（本文编辑：周成林）