近 40 年台特玛-康拉克湖泊群水域变化遥感监测*

阿布都米吉提·阿布力克木^{1,2}, 阿里木江·卡斯木^{1,3**}, 艾里西尔·库尔班², 塔世根·加帕尔², 樊自立²

- (1: 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)
(2: 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)
(3: 新疆师范大学新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 车尔臣河下游自 1989 年改道以来, 河道北边形成若干小湖, 使台特玛湖-康拉克地区的水域格局发生了很大变化。干涸 30 多年的台特玛湖, 随着自 2000 年起塔里木河下游应急生态输水工程的实施开始形成大片水域, 且水域面积呈扩大趋势。2002 年车尔臣河改道结束后康拉克地区的湖泊格局基本形成, 而台特玛湖地区的水域则继续大幅变化。本文在 1972—2012 年 102 期遥感影像及其相关辅助数据基础上进行各项定量分析, 详细描述台特玛湖-康拉克地区的水域变化过程, 总结变化趋势, 试图找出变化主导因素。笔者认为台特玛湖-康拉克地区的湖泊水域景观格局变化自 1970s—2000 年主要受车尔臣河径流量年际变化的控制, 而 21 世纪以来则主要受塔里木河下游应急生态输水工程措施的影响。

关键词: 台特玛湖; 康拉克地区; 湖泊群; 水域变化; 遥感监测; 塔里木河; 车尔臣河

Monitoring the water area changes in Tetima-Kanglayka lakes region over the past four decades by remotely sensed data

ABLEKIM Abdimijit^{1,2}, KASIMU Alimujiang^{1,3}, KURBAN Alishir², JAPPAR Tashkin² & FAN Zili²

- (1: *School of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, P. R. China*)
(2: *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, P. R. China*)
(3: *Key Laboratory of Arid Land Lake Environment and Resource Xinjiang Uyghur Autonomous Region, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, P. R. China*)

Abstract: From starting of diversions of lower reaches of Qarqan River, in 1989, there has been a lot of small lakes in the north side of the new riverbed, drives fluctuated changes of water area patterns in Tetima-Kanglayka lakes region. Since Emergency Ecological Water Transfusion (EWT) project in lower reaches of Tarim River started in 2000, there are large water area began to reappear and expand in old Tetima lake bed, where there was dried up over than 30 years since a water caused by construction of Dashkol Reservoir. The lakes are already in stable position in Kanglayka region, but there are still big changes of water area in Tetima lake region, when the river diversions are finished in autumn 2002. In this paper, the water area change process and its change trend in Tetima-Kanglayka lakes region was analyzed in high temporal resolution based on a serial, 102 times, remotely sensed imageries which acquired from 1972 to 2012. A further study carried on integrated the result with runoff and transformed water amount data to find out dominant drivers of the changes. We concluded that water area landscape pattern changes was caused by interannual changes of Qarqan River run-off during 1970s till 2000, and has been controlled by the EWT project in the lower reaches of the Tarim River till the end of research period.

Keywords: Lake Tetima; Kanglayka region; lakes; water area change; remote sensing monitoring; Tarim River; Qarqan River

* NSFC-新疆联合基金重点项目 (U1138303)、新疆维吾尔自治区自然科学基金项目 (2010211A57)、新疆维吾尔自治区重点实验室开放基金项目 (XJDX0909-2010-01)、新疆研究生科研创新项目 (XJGR12013129)、教育部人文社会科学研究一般项目 (11YJCZH001) 和教育部回国人员项目联合资助。2013-03-29 收稿; 2013-06-14 收修改稿。
阿布都米吉提·阿布力克木 (1979~), 男, 硕士研究生; E-mail: abdimijit@ms.xjb.ac.cn.

** 通信作者; E-mail: alimkasim@gmail.com.

尾间湖是干旱区生态系统中的一个重要环节,是干旱区生态系统完整性的重要标志,其脆弱的生态系统较易受周围环境变化的影响。尾间湖水域面积的变化能直观反映其源河流域自然环境变化,因此受到科学家们的广泛关注。马明国等利用 17 期遥感影像研究了车尔臣河下游湖泊群 1973—2006 年变化及其自然主导因素^[1],但因缺乏关键时期的遥感影像数据,未能检测到河道变化和湖泊变迁的具体时间;朱刚等利用 1975、2000、2007 年各一期的遥感影像研究该区域景观格局变化及其生态效应^[2],因数据量少没有给出变化趋势;李丽等利用 14 期遥感影像分析了 2000—2010 年的绿色走廊河湖湿地变化及其成因^[3],但是也没有给出变化开始与结束时间、变化过程及变化趋势。不可否认这些研究做了许多可借鉴的科学分析并解答了不少问题,但是仍有一些问题有待解决。如:车尔臣河下游具体什么时候发生过比较明显的改道,涉及到的范围有多大,引起这种变化的原因是什么;车尔臣河下游水域变化规律等。本文在超过上百期的大量遥感数据的基础上,试图阐明车尔臣河下游近 40 年来水域格局演变情况,并分析导致其演变的原因。

1 研究区概况

车尔臣河发源于昆仑山中部的木孜塔格峰,汇入塔里木河共同的尾间湖——台特玛湖,全长 846 km。多年平均径流量 $5.215 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但现在车尔臣河在正常年份水量难以汇至台特玛湖,在距台特玛湖西部 30 km 处的沙丘间潜水成湖,面积约 200 km^2 ^[2]。车尔臣河廊道主要变化发生在其下游从库完墩以下至台特玛湖的 4610 km^2 范围内,所以此区被选择为本文的研究对象(图 1)。研究区属极端干旱的大陆性气候区,年均降水量 25 mm,蒸发量 2500 mm;年平均气温 10.1℃,极端最低气温 -26.4℃,极端最高气温 41.3℃,日较差最大可达 24℃,年平均无霜期为 165 d;全年太阳总辐射量为 119.2 kcal/cm^2 ;常年主风向为东北风,8 级以上大风平均 16 d,最多达 37 d,每年平均沙尘暴天气 20 d,浮尘天气 194 d。该区为冲积平原-湖积地貌,土壤类型主要为风沙土(干旱沙质新成土)、胡杨林土(有机正常潜育土)和沼泽土(有机带水潜育土)。自然植被主要由胡杨、红柳、梭梭、芦苇及骆驼刺等植物组成^[1-6],其中红柳和芦苇面积最大。

图 1 台特玛-康拉克湖泊群地区示意

Fig. 1 Sketch map of Tetima-Kanglayka lakes region

2 数据与方法

2.1 数据

本文所用的遥感数据,即卫星影像数据,包括 Landsat(美国陆地卫星)系列数据、CBERS(中巴地球资源

卫星)以及 HJ 1A/B(环境星座)之 CCD 等中分辨率(19.5 m 或 30.0 m)数据;塔里木河下游应急输水监测数据和车尔臣河径流量等相关数据以及 ASTER GDEM(先进星载热发射和反射辐射仪全球数字高程模型)数据.

Landsat 数据从 USGS 网站(www.usgs.gov)上获取,其中 TM/ETM+ 为 73 期,MSS 为 13 期;CCD(CBERS 及 HJ)数据从中国遥感卫星应用中心(www.cresda.com)获取,其中 CBERS/CCD 为 29 期,HJ(1A 和 1B)/CCD 为 81 期.

根据数据质量及改道前后关键时间点对遥感数据进行筛选,保留了变化较明显的时期及影像质量较好的 Landsat 之 MSS 影像 13 期、Landsat 之 TM/ETM+ 影像 49 期、CBERS 之 CCD 影像 10 期、HJ 1A/B 之 CCD 影像 30 期共 102 期遥感影像数据(表 1).

表 1 所选用遥感影像
Tab. 1 The chosen remotely sensed imageries

年份	日期(月-日)	期次	年份	日期(月-日)	期次
1972	11-27**	1	2004	5-18";6-13";7-9";8-30"	4
1973	3-15** ; 7-1** ; 9-11** ; 10-17**	4	2005	9-1* ; 9-24";10-20"	3
1976	10-10** ; 10-28** ; 12-3**	3	2006	9-12* ; 9-28* ; 10-14* ; 10-30*	4
1977	1-8** ; 4-26** ; 7-7** ; 9-17**	4	2007	6-11* ; 7-29* ; 8-30* ; 9-15* ; 10-1*	5
1979	8-6**	1	2008	6-22";7-18";10-7";10-10"	4
1989	1-24* ; 5-16* ; 9-13*	3	2009	8-3* ; 9-20* ; 10-27' ; 11-7' ; 12-1' ;	6
1990	9-16* ; 11-3*	2		12-14'	
1991	8-18*	1	2010	1-26* ; 2-11* ; 5-2* ; 6-13;6-19* ; 7-	13
1993	9-8*	1		5* ; 7-17' ; 7-21* ; 8-14* ; 8-22* ; 9-	
1998	5-6*	1		7* ; 10-20' ; 11-19' ; 12-2'	
1999	7-3* ; 10-19*	2	2011	1-20' ; 4-26' ; 5-26' ; 6-22* ; 6-26' ;	10
2000	1-23* ; 3-27* ; 6-15* ; 11-22*	4		8-25* ; 9-10* ; 9-26* ; 10-19' ; 12-31'	
2001	1-9* ; 10-8* ; 11-9* ; 12-27*	4	2012	1-8' ; 1-20' ; 2-1' ; 2-17' ; 3-25' ; 4-	15
2002	3-1* ; 6-21* ; 8-8* ; 11-12* ; 12-30*	5		7' ; 4-9' ; 4-17' ; 5-5' ; 5-15' ; 6-19' ;	
2003	5-7* ; 5-23*	2		8-1' ; 9-2' ; 9-29' ; 10-4'	

* 为 TM/ETM+ ; ** 为 MSS ; ' 为 HJ 之 CCD ; " 为 CBERS 之 CCD.

2.2 信息提取

研究区域范围内主要有:自然植被(乔木、灌木、草地)、水域(河道、湖泊)、居民地或建筑物、交通用地(国道、专用道路及其他)和荒漠(沙质、盐质和土质)等^[6]. 区内植被、水域、荒漠三种类型占绝大部分,其他覆被类型占极少比例. 鉴于水域变化是本文主要研究内容,因而将土地覆被类型归纳为水域及非水域(包括植被和其他)两类.

遥感监测水体的方法关键是将水体与周围地物区别开来,从而准确地确定水体面积^[7]. 本文不考虑人工提取方法,而选用自动提取方法. 由初步实验得知,利用图像处理软件自动分类法中的非监督分类及监督分类对本区水域提取有所局限性,故均未被采用^[7-10]. 二分法(即一种简单地对一个或多个波段的像素值一次性设阈值决策树分类法)对本区水域提取结果具备了精度高(均高于 90%)、工作强度低(无需频繁的选择训练样地)等优点. 所以以二分法为主(用于绝大多数遥感影像)、人机交互方式为辅(用于数据质量极差但无法替换的早期遥感影像)进行水域信息提取.

具体对 MSS 及 CCD 影像利用 McFEETERS 的归一化差异水体指数(normalized difference water index, NDWI)^[11]进行分类,而对 TM/ETM+ 影像利用徐涵秋的 MNDWI(改进型 NDWI)^[12]来进行分类,其公式分别为:

$$NDWI = (Green - NIR)/(Green + NIR)$$

(1)

$$MNDWI = (Green - MIR)/(Green + MIR)$$

(2)

式中,Green 为遥感影像中绿波段(TM_2 、 MSS_1 、 CCD_2),NIR 为近红外波段(TM_4 、 MSS_3 、 CCD_4),MIR 为中红外波段(TM_5).

通过针对质量较好的近期数据:2010 年 9 月 7 日、2011 年 9 月 10 日、2011 年 6 月 22 日的 TM 影像及 2011 年 6 月 22 日的 HJ/CCD 影像做前期实验,即选取 500 个随机点用目视解译和地面调查时采集的 20 个 GPS 样点进行精度评价,表明通过 $MNDWI$ 对本区水域信息提取有较好的精度(均高于 95% 甚至达到 99%);而 $NDWI$ 精度较低(90% 左右),尤其是冬季周围沙丘阴坡被误判为水域从而降低分类精度.这种情况下通过对遥感图像各波段原值加设阈值的方法可以提高 2% 左右精度(主要用近红外波段,其次为蓝波段).

考虑到每一期图像的阈值不同,而且只需得到水域非水域二值图,所以用 $ENVI$ 来计算水体指数,并用其 Bandmath 工具来判断水域并形成水域非水域二值图,供进一步分析.此方法在地面覆被类型归纳为只有 2 类情况下具有灵活调节阈值的优势,从而得到初次分类较高的精度.

二分法,首先利用遥感数据计算出水体指数,然后通过对像素值设阈值来实现(图 2).

图 2 二值图的形成过程

Fig. 2 The process of producing the binary map

3 结果与分析

3.1 监测结果

3.1.1 河道变化 在 1970s、1980s 的遥感影像上的车尔臣河下游河道与在 1959 年航摄,1969 年出版的 1:100000 比例尺的影像地形图上的车尔臣河下游河道位置、形状基本一致,未发生明显变化.

车尔臣河下游主河道改道起始于库完墩东北吉格代托咯依(39°10'N,87°23'E),改道开始于 1989 年夏季(5 月 16 日至 9 月 13 日),主要改道结束于 2002 年秋季(8 月 8 日至 9 月 25 日);改道前后库完墩至其在博斯坦附近的一个尾间湖入口(39°31'N,88°3'E)的沿河距离同为 85 km 左右,被老河道和新河道包围的区域面积约 435 km²(图 1).

从车尔臣河历年径流量变化曲线(图 3)^[2]不难发现,1980 年以后车尔臣河径流量年际变化幅度较大,而且 1989 年和 2002 年径流量出现 1 个峰值,这可能是出现上述变化的主要原因.另外也与干旱区内陆河入湖三角洲的形成有关,河流入湖时,流速减少,泥沙沉积于河床,使河床抬升,从而引起河道变迁.

图 3 1956—2006 年车尔臣河历年年径流量变化^[3]

Fig. 3 Annual changes of run-off of Qarqan River from 1956 to 2006

3.1.2 湖泊变化 包括台特玛湖的车尔臣河尾间湖泊群在 1970s—1980s 只有 70 ~ 80 km²;2002 年达到 90 ~ 100 km²;2010 年初干涸;2010 年夏季开始重新入水,2010 年 8 月达到 300 多 km²,包括康拉克以及部分台特

玛湖地区,至今没有发生干涸;2012 年初达到 420 多 km²,此时这些水域不仅有汇入车尔臣河的水,还有塔里木河的水(图 4).

图 4 水域有较明显变化的若干时相水域

Fig.4 Water area of the few timeset has been changed prominently

康拉克湖泊群中第一个较大的湖形成于 1989 年夏季(5 月 16 日至 9 月 13 日),其面积为 15.5 km^2 ,此时主河道还在原处;第二个较大的湖形成于 1991 年夏季(8 月 18 日以前),其面积为 11 km^2 ,此时主河道还在原处;2001 年初(1 月 9 日至 3 月 14 日)又形成了 4 个较大的湖,其总面积为 21 km^2 ,此时在原处及其北边共存两条河道,原河道继续流入原来的尾间湖,而新河道流入形成的那些湖泊;2002 年秋季(8 月 8 日至 9 月 25 日)原河道被废弃,所有河水通过新河道流入原来的尾间湖,一路上顺便补给上述几处湖区;2003 年夏季(4 月 21 日至 5 月 7 日)康拉克湖泊群中最大、最深的湖形成,其面积为 20 km^2 ;2007 年夏季(4 月 21 日至 5 月 7 日)又形成了 2 个较大的湖,其总面积为 14.5 km^2 ;2010 年夏季(6 月 19 日至 7 月 5 日)大湖的部分水流入北边的洼地又形成 1 个小湖,其面积为 4 km^2 (图 4);2002 年底形成的康拉克地区的水域(湖泊、河流)只是面积有所变化,水域格局未发生明显变化,湖泊、河流位置延续至今。

2001 年秋季(10 月 8 日至 11 月 9 日)塔里木河水通过库尔干以下的 14 km 人工河道到达台特玛湖区;2003 年春季(4 月 21 日前)车尔臣河水穿过 218 国道;2003 年夏季(5 月 7 日至 5 月 23 日)车尔臣河水与塔里木河水汇合;2010 年底以后因塔里木河下游应急输水量多、持续时间长,故台特玛湖区水域一直保持较大状态,并向湖区东北方向的洼地扩大(图 4)。

3.2 水域面积变化

从遥感影像提取的过去 40 年研究区水域面积变化情况表明,水域面积最小值出现于 1976 年秋季(1.5 km^2),而最大值出现于 2012 年初(507.1 km^2);2000 年以后的最小面积出现于 2008 年夏季(38.5 km^2),而 2000 年以前的最大值出现于 1973 年春季(147.7 km^2)(图 5)。

图 5 过去 40 年研究区域内水域面积变化

Fig. 5 Water area change in study area over the past 4 decades

2001 年塔里木河下游应急输水到达台特玛湖以来,水域面积变化幅度较大,这主要是因为台特玛湖区水域随着输水量变化而变化.无输水年份降至 2001 年以前的平均水平(图 5).过去 40 年来研究区域内水域平均面积为 146.3 km^2 .2001 年以前研究区内水域面积平均值为 46.7 km^2 ,而 2001 年以后水域面积平均值为 189.7 km^2 ,综上所述,研究区水域面积的变化主要受控于塔里木河下游 2000 年开始的应急生态输水工程。

3.3 水域面积季节性变化

因车尔臣河径流量^[3,13]和塔里木河下游输水量^[6]季节性差异较大,因此研究区域内水域平均面积季节性差异也较大,且应急生态输水工程实施以来和以前也有差异.总之输水以前春季水域面积最大(98 km^2),秋季最小(27 km^2);输水以来冬季水域面积最大(282 km^2),夏季最小(152 km^2)(图 6)。

输水以前春季水域面积大,是因为可能受到车尔臣河春汛的影响,另外车尔臣河春季径流量占全年径流量的 29%,此比例较大也是主要原因之一;夏季绿洲地区用水量大并且蒸发量高,所以水域面积较小;秋季径流量本身比较少,而用水量多,所以水域面积最小;冬季蒸发量低,绿洲灌溉基本不用水,所以水域面积有所回升(图 6a).输水以来,因为输水大部分集中于夏、秋季,尤其最近几年来秋季输水占大部分^[6],随之最大水域面积出现于冬季;台特玛湖地区蒸发量特别高,所以晚秋、冬季形成的水域在春季开始收缩,夏季降至最小水域面积(图 6b)。

图6 研究区域内水域面积季节性变化与径流量和输水量季节分配比较

Fig. 6 Comparison of water area with run-off of Qarqan River and water transfusion in the lower reaches of Tarim River

3.4 水域面积景观指数变化

利用 Fragstats 景观指数分析工具,针对水域面积(CA)、水域斑块数(NP)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块凝聚度(COHESION)以及聚合度(AI)等6个景观指数进行计算,得到以下结果(图7)。水域斑块数的增加速度低于水域面积扩大速度,这表明该区域内水域总体上处于扩大化的同时具有凝聚化趋势(图7a);由最大斑块指数增加可知,大片水域在全水域中占越来越重要位置(图7b);景观形状指数整个时间段来说有所增加,这表明水域形状趋于复杂化(图7b);斑块凝聚度和聚合度均有所增加,这进一步证明凝聚化趋势(图7c)。总之研究区域内水域正处于内部凝聚化外部扩大化趋势,即各水域斑块相互连接的同时向外扩展。

3.5 水域面积变化因素分析

在全球气候变暖的大背景下,该地区年均温度和降水量都有所升高^[14-16],使得入湖河流水源地区冰川及雪线不断退缩,冰川及积雪融水又直接导致入湖河流径流量的增加,最终湖泊水位上升,湖面扩大^[17]。虽然车尔臣河来水量增多了,但该地区气温也升高了,而降水量则并没有大幅上升(6.5 mm/10 a),相应地引起该地区蒸发量也随之上升,导致气候对水域面积的综合影响减弱。然而这一过程是普遍的、漫长的、持续的,近几十年来的趋势大致相同,不足以解释2002年以后的整个研究区域内水域面积急速上升现象,而只能借助塔里木河下游应急生态输水工程来说明其原因。输水工程实施以来的水域面积变化(图5)与输水量变化(图8)情况的极度相似也进一步表明21世纪输水开始以来,塔里木河下游应急生态输水工程为台特玛-康拉克湖泊群水域面积变化的主导因素。

本地区气候极度干旱、降水量极少,因此地表径流和地下水是本区水域主要直接补给源,该地区地下水也主要依赖于地表径流,所以本区内所有水域变化最终还是取决于车尔臣河径流量和塔里木河下游应急生态输水量变化。

康拉克地区地势均高于台特玛湖地区(从ASTER GDEM的分析得知:研究区域内康拉克地区平均海拔高度为827.9 m,而台特玛湖地区为805.8 m),塔里木河地表水难以进入康拉克地区的诸多湖泊,但是因21世纪以来塔里木河下游应急生态输水工程的实施,使本区地下水位有了明显地抬升^[18],因以前没有长期监测过该地区地下水,所以无法得知输水之前的地下水位变化,但是输水后塔里木河流域管理局在几处观测断面(尤其在下游比较多,包括库尔干和台特玛湖两组)安装的地下水自动观测井装置记录的数据显示输水以来本区内地下水位有明显增加趋势,导致一部分用于补充地下水的车尔臣河地表水得以流入康拉克湖泊群甚至台特玛湖。笔者2005年以来几次亲眼目睹台特玛湖范围内218国道西边的水流到东边,这与遥感监测结果相符,这一现象在塔里木河下游应急生态输水工程实施之前30几年内没有发生过。此现象间接地表明,如同人类活动导致新疆多数平原湖泊发生变化一样^[19],在近期尤其是21世纪以来,人类活动是导致台

特玛-康拉克湖泊群水域面积变化的主要因素.

图 7 在过去 40 年研究区域内水域各景观指数变化

Fig. 7 Changes of landscape matrices of water area in study area over the past 4 decades

图 8 塔里木河下游应急生态输水量年度变化^[6]

Fig. 8 Annual changes of water volume of emergency ecological water transfusion in the lower reaches of Tarim River

4 结论

本文用长期观测到的大量遥感影像数据,利用比较成熟、可靠的信息提取方法观测了台特玛湖-康拉克湖泊群自 1972 年 10 月至 2012 年 9 月期间的水域变化情况,试图分析其变化因素及直接原因,得出以下结论:

1) 车尔臣河径流量年际变化引起其下游河道变化,从而导致康拉克地区的整个景观格局发生变化. 这种变化开始于 1989 年夏季,基本结束于 2002 年秋季,先后长达 13 年.

2) 21 世纪以来,塔里木河下游应急生态输水工程的实施使整个台特玛-康拉克湖泊群水域面积处于明显的增加趋势.

3) 21 世纪以来,因受输水量的直接影响台特玛湖区的水域面积变化幅度较大,而车尔臣河下游河道相对稳定使康拉克地区水域面积变化不大.

4) 研究区水域面积季节性变化规律因受灌溉用水影响,输水工程的输水时间也发生变化,水域最大面积出现时间由春季变为冬季.

5) 研究区域内水域斑块处于面积增加、相互连接及向外扩展趋势.

6) 21 世纪以来,台特玛-康拉克湖泊群水域面积变化主导因素由自然因素变为人为因素——塔里木河下游应急输水工程.

致谢:本研究使用的中巴卫星数据由中国资源卫星应用中心提供; Landsat MSS、TM、ETM + 影像和 ASTER GDEM 数据由 USGS 网站提供;其余所用原数据来自所用参考文献,在此一并致谢.

5 参考文献

- [1] 马明国,宋 怡,王雪梅等. 1973—2006 年新疆若羌湖泊群遥感动态监测研究. 冰川冻土, 2008, **30**(2): 189-195.
- [2] 朱 刚,高会军,曾 光等. 西北内陆干旱区河流绿色走廊湿地景观格局变化及其生态效应研究——以车尔臣河下游为例. 国土资源遥感, 2010, **86**: 219-223.
- [3] 李 丽,曾庆伟,周会珍等. 新疆车尔臣河绿色走廊河湖湿地变化及原因分析. 干旱区研究, 2012, **29**(2): 233-237.
- [4] 师国强,黄玖君,王志华等. 车尔臣河下游生态恢复的成因初步分析. 沙漠与绿洲气象, 2008, **2**(2): 27-29.
- [5] 唐新军,马英杰. 车尔臣河灌区节水改造对周边及下游生态环境的影响. 节水灌溉, 2002, (1): 18-19.
- [6] 艾里西尔·库尔班. 干旱区河流廊道变化的景观效应研究[学位论文]. 乌鲁木齐:中国科学院新疆生态与地理研究所, 2012.
- [7] 刘瑞霞,刘玉洁. 近 20 年青海湖湖水面积变化遥感. 湖泊科学, 2008, **20**(1): 135-138.
- [8] 于雪英,江 南. 基于 RS、GIS 技术的湖面变化信息提取与分析——以艾比湖为例. 湖泊科学, 2003, **15**(1): 81-84.
- [9] 施晶晶. 中巴资源一号卫星湖泊信息提取——以南京景为例. 湖泊科学, 2001, **13**(3): 280-284.
- [10] 白 洁,陈 曦,李均力等. 1975—2007 年中亚干旱区内陆湖泊面积变化遥感分析. 湖泊科学, 2011, **23**(1): 80-88.
- [11] McFeeters SK. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, **17**(7): 1425-1432.
- [12] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数 (MNDWI) 提取水体信息. 遥感学报, 2005, **9**(5): 589-595.
- [13] 阿布都拉·麦合木提,阿地力·肉孜,阿不都克依木·阿布力孜等. GIS 支撑下的且末县水资源及其利用的空间分异研究. 现代农业科技, 2008, (15): 318-321.
- [14] 胡文峰,何 清,金莉莉等. 若羌绿洲近 55a 气候变化基本特征. 干旱气候, 2011, **29**(3): 297-301.
- [15] 胡文峰. 且末县 1971—2008 年气温变化与异常特征分析. 沙漠与绿洲气象, 2011, **5**(4): 44-48.
- [16] 杨 玲,瓦哈甫·哈力克,穆艾塔尔·赛地. 近 50a 来气候变化和人类活动对且末县水资源的影响. 农业系统科学与综合研究, 2010, **26**(1): 1-5.
- [17] 黄智华,薛 滨,逢 勇. 近 50a 中国东部和西部湖区水量空间变化趋势. 湖泊科学, 2007, **19**(5): 497-503.
- [18] 魏 军. 浅析塔里木河下游绿色走廊输水后生态与环境的变化. 中国水利, 2005, (13): 138-141.
- [19] 吴敬禄,马 龙. 新疆干旱区湖泊演化及其气候水文特征. 海洋地质与第四纪地质, 2011, **32**(2): 138-141.
- [20] 《新疆维吾尔自治区地图集》编纂委员会. 新疆维吾尔自治区地图集. 北京:中国地图出版社, 2009.