

塔里木河流域综合治理生态要素变化的遥感分析

谭克龙¹, 王晓峰², 高会军¹, 程维明^{3*}

(1. 中国煤炭地质总局航测遥感局, 西安 710054; 2. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 3. 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)

摘要: 采用多种类、多时相遥感数据对塔里木河流域综合治理后的耕地变化和干流绿色走廊带的植被、沙质荒漠化和盐碱质荒漠化等主要生态要素进行了动态监测, 结果表明: (1) 1999–2008 年间, 流域耕地面积逐步扩大, 从 167.17 万 hm^2 增长到 207.51 万 hm^2 。其中, 塔里木河干流区耕地面积增加最快, 叶尔羌河、开都河–孔雀河与和田河三流域稳步增加, 而阿克苏河流域耕地面积先增加, 后减少。除阿克苏河流域外, 塔里木河流域等其他三流域和塔里木河干流, 在 2004–2008 年间的面积增长速度明显大于 1999–2002 年和 2002–2004 年两个时段。(2) 2002–2004 年间, 塔里木河干流绿色走廊带生态环境明显改善, 主要表现为植被覆盖度的提高、沙质荒漠化土地面积的减小和强度减弱、盐碱质荒漠化土地的强度减弱等。耕地面积的大幅度增加引起的灌溉用水量的增大, 对长期采用输水实现塔里木河的生态功能恢复具有长期性制约作用。

关键词: 生态要素; 综合治理; 耕地变化; 遥感; 塔里木河流域

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2013.00604

1 引言

塔里木河流域位于新疆南部, 是中国最大的内陆河, 南临塔克拉玛干沙漠, 北倚天山, 沿塔克拉玛干沙漠北缘自西向东注入台特玛湖, 干流全长 1321 km, 流域面积 102 万 km^2 , 流域水资源总量 429 亿 m^3 。主要支流有阿克苏河、叶尔羌河、和田河和开都河–孔雀河 (简称开–孔河), 其中, 阿克苏河和开–孔河是目前向塔里木河干流输水的主要支流 (图 1)^[1-2]。

塔里木河流域深居内陆, 气候干旱, 降雨稀少, 蒸发强烈, 水资源相对贫乏, 是中国生态环境最脆弱的地区之一^[3]。由于人类活动的干扰, 特别是水土资源的不合理利用, 其生态问题尤为突出, 严重制约着区域经济的可持续发展^[2-5], 故社会各界对土地利用变化带来的流域和区域的环境和生态影响越来越受到广泛重视^[5-10]。

为了改善流域生态环境, 2001 年, 国家投资 107 亿启动了塔里木河流域综合治理工程, 截止到 2007 年底, 已向下游生态输水 9 次^[11]。输水后的塔里木河

下游生态走廊的生态变化走向是评价流域综合治理工程的关键指标之一, 因此, 开展实施干流下游输水后的生态效应分析有着很强的现实意义。塔里木河流域耕地扩展与沙漠化、盐渍化动态变化在空间上存在一定的耦合关系, 目前, 输水后塔里木河下游的地下水位、生物多样性和沙质荒漠化等变化分析已反映出综合治理工程的生态正向效益^[12-20], 但应用多个生态要素的综合分析尚需加强, 本文采用多种类、多时相的遥感数据对塔里木河流域的耕地变化和输水后的塔里木河干流绿色走廊带的植被、沙质荒漠化和盐碱质荒漠化进行监测分析, 旨在探讨塔里木河流域的耕地变化与综合治理的生态效应, 为塔里木河流域的自然资源的合理开发、利用和环境的科学保护提供科学的决策依据。

2 生态要素及数据源与研究方法

生态要素涵盖类型较多, 本研究主要选择塔里木河流域综合治理后全流域耕地变化, 塔里木河流域干

收稿日期: 2012-10-01; 修回日期: 2013-04-05。

基金项目: 国家自然科学基金专项项目“生态导向的陕北能源工矿区主体功能区划及可持续发展模式研究”(41040011); 国家发改委[发改投资(2003)1124号、发改投资(2004)1491号]和世界银行贷款[3093-CHA/4341-CHA]项目。

作者简介: 谭克龙(1964–), 男, 博士, 教授级高工, 主要从事生态环境及遥感地质等方面的研究。E-mail: Tan-kl@163.com

*通讯作者: 程维明(1973–), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为数字地貌与地学信息图谱。E-mail: chengwm@lreis.ac.cn

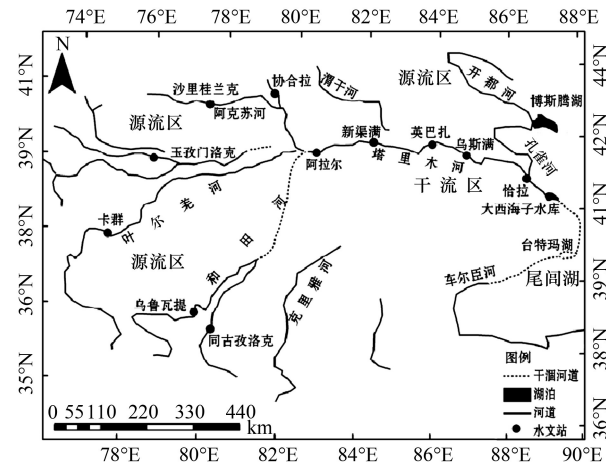


图1 塔里木河流域分布图(改自刘新华等,2012)^[1]

Fig.1 Sketch map of Tarim River Basin

流绿色走廊带的植被变化、沙质荒漠化和盐碱质荒漠化等关键生态要素进行动态监测和分析。

2.1 生态要素选择

新疆的耕地主要分布在山前冲积平原地带,沿河流呈带状分布,在遥感影像上较容易区分,故本研究选择全流域多时期的耕地信息来反映源流的生态变化。

水是干旱区绿洲的生命之源,输水后,最直观的变化可能是植被覆盖度的增加和植被长势的变好,本研究选择植被覆盖度变化以反映输水后塔里木河流域干流绿色走廊带的植被变化状况。

绿洲化和荒漠化是干旱区两个相对立的生态演替形式,建立科学的荒漠化分类体系是充分反映荒漠化特征的基础。荒漠化过程的成因类型很多,其中沙质荒漠化是干旱区主要类型之一。通常,传统的沙质荒漠化采用的分类方法主要依据成因、强度和微地貌等,目前多采用植被覆盖度、裸沙地占地百分比和土壤质地为评价指标的强度分类方法。根据遥感影像解译的可操作性,本研究采用沙质荒漠化的强度分类方法^[21]。分类指标主要有单位面积内风蚀地或流沙面积所占百分比、地表植被覆盖度等,可将沙质荒漠化土地划分为重度、中度、轻度和非沙质荒漠化土地4种类型(表1)。

另一个干旱区常见荒漠化类型是盐碱质荒漠化。根据干旱区土壤盐渍化遥感监测的实用性和可操作性,采用全国盐渍土分级标准^[21],将其划分为非盐碱质荒漠化土地、轻度盐碱质荒漠化土地、中度盐碱质荒漠化土地和重度盐碱质荒漠化土地4级(表2)。

表1 沙质荒漠化土地分类指标系统

Tab.1 The desertification indicator system

类型	分 类 指 标
非沙质荒漠化土地	植被覆盖度>60%,质地以土质为主,无流沙
轻度沙质荒漠化土地	植被覆盖度30%~60%,质地以沙质为主,流沙面积5%~25%
中度沙质荒漠化土地	植被覆盖度10%~30%,质地以沙质为主,流沙面积25%~50%
重度沙质荒漠化土地	植被覆盖度<10%,沙丘高度大于1m,地表被沙覆盖,流沙面积超过50%

表2 盐碱质荒漠化土地分级指标

Tab.2 Indicators of salinization classification

类型	土壤含盐量(%)	地表景观
非盐碱质荒漠化土地	<0.2	一般作物能正常生长
轻度盐碱质荒漠化土地	0.2~0.4	棉花能正常生长,小麦受抑制,大田作物缺苗二、三成
中度盐碱质荒漠化土地	0.4~0.6	棉花生长受到抑制,大田作物缺苗五、六成
重度盐碱质荒漠化土地	>0.6	作物不能生长,能生长耐盐牧草,缺苗七、八成以上

2.2 数据源分析

以反映塔里木河流域输水前后耕地的变化与生态要素为目标,选取的遥感数据时相为1999、2002和2004年。为了准确地反映沙质荒漠化、盐碱质荒漠化和植被特征,对耕地、沙质荒漠化和植被的监测,采用8月和9月植被最为茂盛时期的遥感数据,对盐碱质荒漠化监测,采用3月与4月返盐期的遥感数据。对塔里木河流域“四源一干”耕地遥感监测采用1999年TM数据、2002年ETM数据和2004年ASTER数据为主,局部以CBERS数据为补充信息源。对沙质与盐碱质荒漠化遥感监测,采用2002年ETM数据和2004年ASTER数据,对植被遥感监测,采用2002年ETM数据、2004年ASTER数据。以PCI图像处理系统对遥感图像进行镶嵌、几何精校正和波段合成,获得研究区不同时间的卫星影像数据源。

2.3 生态要素的遥感提取

根据确定的荒漠化分类体系,先建立不同荒漠化土地类型的遥感影像特征;在MAPGIS软件支持下,采用人机交互的方法对沙质荒漠化土地类型、盐碱质

荒漠化土地类型、植被覆盖度和耕地等专题进行信息提取,并通过野外验证对解译结果作修正,获得研究区1999、2002和2004年的耕地、沙质荒漠化土地、盐碱质荒漠化土地和植被覆盖度等。

程维明等(2012)分析了新疆26个流域单元1995、2000、2005和2008年4个时期的耕地变化特征和增长模式^[22],可得出塔里木河干流区为直线上升型;开-孔河流域为凹形指数增长型;叶尔羌河和和田河流域为凸形对数增长型;阿克苏河流域为先升后降类。该研究采用的4个时期新疆土地利用数据为中国科学院资源与环境数据中心提供。本研究中的塔里木河流域2008年耕地数据采用文献[22]中的数据

2.4 研究方法

借鉴土地利用动态度的计算方法^[23],可得生态要素动态度信息来分析区域生态要素变化的速度和变化中的类型差异,其表达式为:

$$K = \frac{u_b - u_a}{u_a} \times 100\%$$

式中, K 研究时段内某一类型生态要素的动态度; U_a 、 U_b 分别为研究初期和末期某一生态要素类型的数量。

3 塔里木河流域综合治理生态要素变化的遥感分析

3.1 流域耕地变化

1999–2008年间,塔里木河流域的耕地面积总体上出现了快速增加,增加量为40.34万 hm^2 ,增大了24.13%,2004–2008年的12.02%的增大速度明显高

于1999–2002年的4.39%和2002–2004年的4.62%。1999–2002年耕地面积增加速度由大到小依次为塔里木河干流、阿克苏河、叶尔羌河、开-孔河流域、和田河;2002–2004年耕地面积增加速度由大到小依次为塔里木河干流、阿克苏河、和田河、开-孔河流域和叶尔羌河;2004–2008年耕地面积增加速度由大到小依次为塔里木河干流区、和田河、叶尔羌河、开-孔河流域;而阿克苏河出现了负增长。相比而言,塔里木河干流耕地面积的增加速度远远高于其他4个支流(表3),按照增长率由大到小分别分析如下:

塔里木河干流是“四源一干”中耕地增加幅度最大的流域^[23–24],1999–2008年间耕地面积增加19.70万 hm^2 ,增加了302.46%。增加的耕地主要分布于沙雅县、库车县、尉犁县境内和农一师的部分农场,特别是在沙雅县境内,1999年大片的盐碱地,在2002年已成为耕地,而2002–2004年增加的耕地大多是1999–2002年减少的耕地,说明该区域对水的依赖性很高,水量充足时成为耕地,水量匮乏时成为撂荒地。

和田河是塔里木河支流中生态环境最为脆弱和经济发展水平最低的流域。1999–2004年间和田河流域的耕地增加了6.89%;2002–2004年间耕地增加的幅度明显大于1999–2002年间,为30.58%;1999–2008年间耕地总增加了54.10%。新增耕地有两类,一类分布于绿洲与戈壁滩交接地带,是人工绿洲的惯性扩展,该类新增耕地主要分布于洛浦县东北部的绿洲边缘以及和田县北部边缘,扩展形式为零星开垦,逐渐连通并形成规模;另一类为大规模集中开发,如皮山与墨玉交界处的皮墨垦区。

叶尔羌流域为农业生产水平较高的老灌区,农业耕作传统悠久且规模较大。1999–2002年间增加耕地1.32万 hm^2 ,2002–2004年间增加0.73万 hm^2 ,

表3 塔里木河“四源一干”1999、2002、2004和2008年耕地面积变化(万 hm^2)

Tab.3 Cultivated land areas of the “Four source areas and one mainstream area” in 1999, 2002 2004 and 2008 (10⁴ hm^2)

流域	年份				时段							
	1999	2002	2004	2008	1999–2002	2002–2004	2004–2008	1999–2008	1999–2002	2002–2004	2004–2008	1999–2008
					变化量	变化量	变化量	变化量	变化率(%)	变化率(%)	变化率(%)	变化率(%)
阿克苏河	55.67	59.29	62.47	54.40	3.62	3.18	–8.07	–1.27	6.50	5.36	–14.84	–2.28
和田河	15.52	15.76	16.60	23.92	0.24	0.84	7.32	8.40	1.56	5.33	30.58	54.10
叶尔羌河	57.85	59.17	59.90	66.96	1.32	0.73	7.06	9.11	2.28	1.23	10.55	15.75
开-孔河流域	31.62	32.23	33.84	36.02	0.61	1.61	2.18	4.40	1.93	4.99	6.06	13.92
塔里木河干流	6.51	8.06	9.76	26.21	1.55	1.70	16.45	19.70	23.73	21.15	62.75	302.46
合计	167.17	174.51	182.57	207.51	7.34	8.06	24.94	40.34	4.39	4.62	12.02	24.13

注:2008年的耕地数据引自程维明等^[23]

2004–2008年间增加7.06万hm²;1999–2008年间共增加了9.11万hm²,增长率为15.75%。增加的耕地主要分布于巴楚县、麦盖提县和叶城县境内。

开-孔河流域耕地面积增加幅度较大,1999–2008年间耕地面积增加4.40万hm²,增加率为13.92%。其中,1999–2002年间增加耕地0.61万hm²,2002–2004年间增加1.61万hm²,2004–2008年间耕地面积增加2.18万hm²。开-孔河流域增加的耕地主要来源于盐碱地改造和荒草地开垦。减少的耕地主要分布于和硕县、库尔勒和博湖县境内,废弃耕地的原因:(1)土壤次生盐渍化加重,主要分布于和硕县和博湖县境内;(2)灌溉水量不足使得人为撂荒,主要分布于库尔勒市境内。

阿克苏河流域是南疆水资源最丰富的地区,流域水资源总量达106.69亿m³,1999–2004年间耕地面积增加了12.21%;2004–2008年间耕地面积减少了14.84%。阿克苏市增加的耕地主要分布于阿克苏河西侧,主要向戈壁方向发展;减少的耕地主要分布于河道两侧,大部分因盐碱化加重而撂荒地变成荒草地^[25]。

3.2 塔里木河干流上游盐碱质荒漠化分析

塔里木盆地是一个封闭的内陆盆地,分布有大面积的第三纪含盐底层,50余年来,随着耕地面积的不断扩大,水资源不合理的利用现象严重,造成大面积的土壤次生盐渍化。已成为制约塔里木河流域农业发展的主要因素之一。

2002–2004年,塔里木河干流上游的盐碱质荒漠化变化特征表现为面积的增大与程度的降低(表4)。盐碱质荒漠化土地增加了2.69万hm²,其中,轻度盐碱质荒漠化土地面积出现小幅度扩大,增加量为2.72万hm²;而中度盐碱质荒漠化土地面积出现了较大幅

表4 塔里木河干流上游2002–2004年盐碱质荒漠化土地面积统计结果(万hm²)

Tab.4 Sandy land areas downstream the main channel of the Tarim River: 2002–2004 (10⁴ hm²)

类型	年份		时段
	2002	2004	2002–2004 变化量
非盐碱质荒漠化土地	29.20	27.12	–2.08
轻度盐碱质荒漠化土地	21.21	23.93	2.72
中度盐碱质荒漠化土地	34.09	42.29	8.20
重度盐碱质荒漠化土地	68.77	60.54	–8.23

注:未包括水体面积

度的增大,增加量为8.20万hm²;重度盐碱质荒漠化土地面积减小了8.23万hm²;非盐碱质荒漠化土地面积减少了2.08万hm²。

3.3 塔里木河下游沙质荒漠化分析

塔里木河下游是新疆沙质荒漠化最严重的区域之一,近50年来,人类不合理的资源开发,导致塔里木河下游地区的生态环境日益恶化^[26]。320km河道断流、大面积湿地消失、地下水位大幅度下降、自然植被退化,沙质荒漠化加重。

从2000年4月至2004年11月组织了6次应急生态输水,4年间从博斯调水24亿m³,4次将水输到了台特马湖,加上2003年秋盆地南部车尔臣河的来水,使塔里木河尾间台特马湖形成了较大积湖面,从而修复了受损的塔里木河下游水流系统,下游地区的生态环境明显改善^[27]。

2002–2004年,沙质荒漠化出现明显逆转,表现为沙质荒漠化土地面积的减小和程度的降低(表5),非沙质荒漠化土地面积增加了0.66万hm²;轻度沙漠化土地面积增加0.40万hm²;而中度与重度沙质荒漠化土地面积减少,合计共减少了1.20万hm²。在空间分布上,在纵向上表现为上游土地沙质荒漠化的逆转强度和范围较下游大,在横向上表现为距河道越近,土地沙质荒漠化的逆转强度越大。

表5 塔里木河干流下游2002–2004年沙质荒漠化土地面积统计结果(万hm²)

Tab.5 Desertification areas in middle and lower reaches of Tarim River Basin in 2002 and 2004 (10⁴ hm²)

类型	年份		时段
	2002	2004	2002–2004 变化量
非沙质荒漠化土地	3.18	3.84	0.66
轻度沙质荒漠化土地	20.79	21.19	0.40
中度沙质荒漠化土地	19.67	18.51	–1.16
重度沙质荒漠化土地	26.86	26.82	–0.04
沙漠	39.31	39.31	0.00

注:不包括水体面积

3.4 流域植被覆盖度变化

3.4.1 塔里木河干流植被覆盖度变化

塔里木河流域属暖温带灌木、半灌木荒漠地带。干流区天然林以胡杨为主,灌木以红柳、盐穗木为主,另有梭梭、黑刺、铃铛刺等,草本植物以芦苇、罗布麻、甘草、花花柴、骆驼刺等为主^[27]。

2002–2004 年间,植被覆盖度明显提高。高覆盖度植被与中覆盖度植被面积分别增加了 1.94 万 hm^2 和 1.04 万 hm^2 ,而低覆盖度植被与极低覆盖度植被面积分别减少了 2.83 万 hm^2 和 0.99 万 hm^2 (表 6),植被覆盖度提高最大的地区为塔里木河下游古河道两侧,尤其喀尔达依与阿尔干河道一带。

表 6 塔里木河干流中下游 2002 与 2004 年植被覆盖度类型面积对比表(万 hm^2)

Tab.6 Areas of vegetation cover classes in middle and lower reaches of the Tarim River in 2002 and 2004 (10^4 hm^2)

类型	年份		时段
	2002	2004	2004–2002 增加量
高覆盖度植被	32.00	33.95	1.94
中覆盖度植被	22.82	23.86	1.04
低覆盖度植被	91.50	88.67	–2.83
极低覆盖度植被	98.78	97.79	–0.99

注:不包括水体面积

孙美琴等(2013)利用塔里木河干流区 4 期(1990、2000、2005 和 2008 年)土地利用遥感影像解译数据,研究表明,塔里木河治理后的 10 年干流耕地动态度增加较大,沙地、盐碱地动态度减少,表明塔里木河综合治理基本抑制了干流区盐碱地和沙地面积增加的速度^[23]。

3.4.2 尾间台特玛湖植被覆盖度变化

塔里木河未断流前,河水曾一度流到罗布泊,后来河水改道,流入东南方向若羌县境内的台特玛湖。台特玛湖是塔里木河的尾间湖,1972 年塔里木河下游断流后,台特玛湖湖区周围变成了一片沙漠,被称为“第二个罗布泊”。

2000–2005 年,塔里木河管理局利用开孔河流域天然来水偏丰,博斯腾湖持续高水位的有利时机,先后实施了 7 次应急输水,使得台特玛湖重新在沙漠中出现^[11,27]。其中,2004 年水域面积达到 0.17 万 hm^2 ,库尔干至台特玛湖段塔里木河沿岸的植被得到了较为有效的恢复,植被覆盖度大于 10%的面积达 0.77 万 hm^2 (表 7)。

刘桂林等(2012)利用 2000 年到 2005 年的中巴资源卫星数据,获得了 6 年的植被/非植被二值图,表明植被景观动态度在 2003–2004 年间最大,2002–2003 年间最小。总体上,2000–2005 年植被景观的动态变化呈正向趋势^[27]。

表 7 台特玛湖 2004 年植被覆盖度类型面积统计结果

Tab.7 Areas of vegetation cover classes in Taitema Lake in 2004

类型	面积(万 hm^2)	所占面积百分比(%)
高覆盖度植被	0.02	0.51
中覆盖度植被	0.10	2.76
低覆盖度植被	0.65	13.20
极低覆盖度植被	2.77	78.72

注:不包括水体面积

4 结 论

(1)通过塔里木河流域综合治理工程的实施,特别是经过 6 次应急性输水过程,塔里木河干流绿色走廊带的生态环境出现明显好转,存在的植被退化、沙质荒漠化和盐碱质荒漠化 3 大生态环境问题得到适量改善。表现为植被覆盖度的提高、沙质荒漠化土地面积的减小和程度的降低,以及盐碱质荒漠化面积的小幅度增大和程度的降低。

(2)土地资源的利用与自然生态系统恢复的矛盾日益突出,总体上,耕地面积出现较大幅度的增大,从 1999–2008 年,增加量为 40.34 万 hm^2 ,增大了 24.13%,对塔里木河流域的综合治理的生态效应将产生长期制约作用。一方面表现为耕地面积增加对输水的影响,在向塔里木河干流输水的主要支流的开-孔河流域和阿克苏河流域的耕地面积出现较大幅度的增加,且增速明显大于和田河与叶尔羌河流域;另一方面表现为塔里木河干流耕地面积的增加不仅对自然生态系统的破坏,而且增大了塔里木河干流的农业用水量,对生态输水造成更大压力,塔里木河干流的耕地面积出现大幅度增加。

(3)塔里木河的生态修复是一项长期的巨大生态工程,通过输水虽然对提升河道附近地下水位、拯救天然植被的生命系统起到了重要作用,但它只能起到对原有的、日益衰败的老龄植被的拯救和复壮作用,而不能实现胡杨、柽柳等植物的更新,更难以实现区域生态系统的长期稳定性^[20]。

因此,综合治理工程应解决好以下几个问题:第一,严格控制耕地面积的过快增加,降低农业用水对输水的影响;第二,提高农业用水的利用效率,减轻因耕地面积增加对输水造成的压力;第三,由于河床淤积,洪水漫溢不断增大,导致上游段耗水量不断增加,因此,对上游河段应采取河道整治和疏浚等工程措施;第四,做好流域的水资源协调与

合理配置,实现应急输水向功能性输水的转变,避免在 2007 年由于开都河处于特枯水年,出现无水可输的现象。

参考文献:

- [1] 刘新华,徐海量,凌红波,等.塔里木河干流河道生态需水量研究[J].干旱区研究,2012,29(6):984-991.
- [2] 牛新泉,李于洁.从外流域调水以解决塔里木盆地生态环境危机[J].河南水利与南水北调,2010(9):47-49.
- [3] 张天曾.中国干旱区水资源利用与生态环境[J].自然资源,1981(1):62-67.
- [4] 马金珠,高前兆.西北干旱区内陆河流域水资源系统与生态环境问题[J].干旱区资源与环境,1997,11(4):15-21.
- [5] 汤奇成,张捷斌.西北干旱地区水资源与生态环境保护[J].地理科学进展,2001,20(3):227-233.
- [6] 朱震达.塔克拉玛干沙漠地区沙漠化过程及其发展趋势[J].中国沙漠,1987,7(3):16-28.
- [7] 王涛.塔里木河下游阿拉干地区沙漠化过程及其预测[J].中国沙漠,1986,6(2):16-26.
- [8] 樊自立.塔里木河流域资源环境及可持续发展[M].北京:科学出版社,1998.
- [9] 李新,周宏飞,樊自立.塔里木河水资源利用与土地荒漠化效应分析[J].中国沙漠,1998,18(Z1):46-54.
- [10] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等.中国塔里木河水资源与生态环境问题[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000.
- [11] 艾尔肯·艾白不拉,刘桂林,艾里西尔·库尔班,等.基于 CBERS/CCD 遥感影像的塔里木河下游生态输水监测[J].长江流域资源与环境,2012,21(Z2):157-162.
- [12] 刘加珍,陈亚宁.新疆塔里木河下游植物群落逆向演替分析[J].干旱区地理,2002,25(3):231-236.
- [13] 陈亚宁,李卫红,徐海量,等.塔里木河下游地下水位对植被的影响[J].地理学报,2003,58(4):542-549.
- [14] 杨戈,郭文平.塔里木河下游末端实施生态输水后植被变化与展望[J].中国沙漠,2004,24(2):167-173.
- [15] 徐海量,陈亚宁,雷加强.塔里木河生态输水对沙化逆转影响[J].中国沙漠,2004,24(2):173-177.
- [16] 李霞,侯平,朱小虎,等.塔里木河下游应急输水植被响应效果调查与分析[J].干旱区资源与环境,2004,18(3):68-73.
- [17] 李卫红,陈亚宁,张宏峰,等.塔里木河下游断流河道应急输水与地表植被响应[J].中国沙漠,2004,24(3):301-305.
- [18] 阮晓,王强,陈亚宁,等.塔里木河流域荒漠河岸植物对应急输水的生理响应[J].生态学报,2005,25(8):1966-1973.
- [19] 高前兆,屈建军,王润,等.塔里木河下游绿色走廊生态输水对沙漠化逆转的影响[J].中国沙漠,2007,27(1):52-58.
- [20] 陈亚宁,张小雷,祝向民,等.新疆塔里木河下游断流河道输水的生态效应分析[J].中国科学 D 辑,2004,34(5):475-482.
- [21] 谭克龙,高会君,卢中正,等.中国半干旱生态脆弱带遥感理论与实践[M].北京:科学出版社,2007.
- [22] 程维明,柴慧霞,方月,等.基于水资源分区和地貌特征的新疆耕地资源变化分析[J].自然资源学报,2012,27(11):1809-1822.
- [23] 孙美琴,赵成义,施枫芝,等.近 20a 塔里木河干流区土地利用变化特征[J].干旱区研究,2013,30(1):16-21.
- [24] 赵锐锋,姜朋辉,陈亚宁,等.塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效益[J].地理科学,2012,32(2):244-250.
- [25] 刘英.浅谈阿克苏河流域水资源利用现状与节水途径[J].硅谷,2001(5):131-131.
- [26] 阿依先木·司马义,吐尔逊·哈斯木,祖木拉提·伊布拉克,等.人类活动对土地沙漠化的影响研究——以塔里木河下游为例[J].水土保持研究,2011,18(1):56-60.
- [27] 刘桂林,艾里西尔·库尔班,艾尔肯·艾白不拉,等.塔里木河下游生态输水后植被景观格局动态变化研究[J].冰川冻土,2012,34(1):161-168.

Analysis of Ecological Elements of Comprehensive Harnessing in Tarim River Basin Using Remote Sensing

TAN Kelong¹, WANG Xiaofeng², GAO Huijun¹ and CHENG Weiming^{3*}

(1. Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Bureau, China National Administration of Coal Geology, Xi'an 710054, China; 2. College of Earth Science Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 3. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The Tarim River Basin, especially the downstream area of it is one of the ecologically fragile areas in

China. Based on technologies of multi-type, multi-temporal remote sensing imagery, key ecological elements, that is, cultivated land changes in whole Tarim River Basin, the vegetation, sandy and salinized desertification in the green corridor zone of Tarim River mainstream were monitored from 1999 to 2008, after the implementation of comprehensive harnessing engineering for the whole Tarim River Basin. The investigation results show that the ecological environment in the green corridor zone of Tarim mainstream was conspicuously improved, mainly appearing as the rise of vegetation cover rate, the reduction of sandy desertification land area and the weakening of intensity of sandy and salinized land. On the other hand, the cultivated area in the Tarim River Basin significantly increased from 1999 to 2008, which reached $40.34 \times 10^4 \text{ hm}^2$, for 24.13%. Among the whole basin, the cultivated area of the mainstream area increased most quickly. The growth rate of cultivated area of whole basin from 2004 to 2008 is significantly higher than those of the two periods from 1999 to 2002 and from 2002 to 2004. Moreover, the characteristics of sandy and salinized land in upstream of the main channel showed an increase in area of $2.69 \times 10^4 \text{ hm}^2$ and a reduction in increase rate from 2002 to 2004. And sandy desertification land area decreased $1.20 \times 10^4 \text{ hm}^2$ in the same period in lower reach of the basin. Vegetation cover rate of the whole basin apparently increased, especially the surrounding area of the Taitema Lake. Although the ecological environment presented an somewhat improvement after the implementation of comprehensive harnessing in the whole basin, the ecologically fragile environment need long-term supply of water resource and continuous concern from the whole society. The increase of irrigation water resulting from the substantial increase of cultivated area could undertake a long-term potential restraining effect on the harnessing of ecological functions of the Tarim River.

Key words: ecological elements; comprehensive harnessing; cultivated land changes; remote sensing; Tarim River Basin

***Corresponding author:** CHENG Weiming, E-mail: chengwm@lreis.ac.cn