

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.04.004

塔里木河流域下游绿洲演变对生态输水的响应

薛联青¹, 符芳兵¹, 祝薄丽¹, 王晶¹, 冯怡¹, 任轶²

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省灌溉总渠管理处淮阴抽水站管理所, 江苏 淮安 223200)

摘要: 参考前人对绿洲的定义和分类方法, 对塔里木河下游人工绿洲、天然绿洲进行提取, 分析生态输水前后人工绿洲和天然绿洲的面积变化特征、转化过程、重心迁移情况以及扩张与退缩的空间变化。结果表明: 1990—2015 年, 塔里木河下游绿洲总面积先下降、后上升, 人工绿洲不断扩张, 10 a 平均增长量为 46.78 km², 天然绿洲面积不断缩减, 在 2000 年后有所上升。生态输水前(1990—2000 年), 塔里木河下游来水量减少, 导致大面积草地退化, 天然绿洲面积减少; 生态输水后(2000—2015 年), 部分未利用土地得到了利用, 变成河渠、水库、湖泊、灌木林和高覆盖度草地, 塔里木河下游生态有所恢复。下游绿洲重心先往西北, 再往南方, 最后又往东南方向迁移。绿洲主要向西北和东南方向扩张, 1990—2000 年的扩张区域主要集中于英苏上游区域; 2000—2010 年期间, 台特玛湖地区绿洲面积增加明显; 绿洲缩减区域分布广而零星。

关键词: 塔里木河下游; 生态输水; 绿洲演变; 转化过程; 重心迁移模型; 扩张方向
中图分类号: TV211; X171.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2019)04-0310-07

Response of oasis evolution to ecological water transport in the downstream of Tarim River Basin

XUE Lianqing¹, FU Fangbing¹, ZHU Boli¹, WANG Jing¹, FENG Yi¹, REN Yi²

(1. School of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Huaiyin Pumping Station Management Institute of Jiangsu Irrigation Canal Management Office, Huai'an 223200, China)

Abstract: Referring to the definition and classification method of oasis proposed by previous researchers, the artificial and natural oases were extracted in the downstream of the Tarim River. After that, this paper analyzed the area change characteristics, transformation process, gravity center migration, and spatial variation of oasisization and desertification during the period of 1990-2015. The results show that, from 1990 to 2015, the total area of oasis in the downstream of Tarim River Basin decreased firstly and then increased. The area of artificial oasis continued to expand with a 10-year average growth rate of 46.78 km². The area of natural oasis continued to shrink, but increased after 2000. It is because that the amount of river discharge decreased, resulting in the degradation of grassland and the reduction of natural oasis before the ecological water transport (1990-2000). After the ecological water transport (2000-2015), some unused land was utilized again. The center of the oasis traveled to the northwest, then to the south, and finally to the southeast. In addition, the oasis mainly expanded to the northwest and southeast, while the oasis reduction area was sporadic.

Key words: downstream of Tarim River Basin; ecological water transport; oasis evolution; transformation process; center of gravity migration model; direction of extension

塔里木河流域是我国典型的极度干旱区,同时也是我国最脆弱的生态区之一^[1-2]。20 世纪 50 年代起,

基金项目: 国家自然科学基金(51779074);水利部公益性行业专项(201501059)
作者简介: 薛联青(1973—),女,教授,博士,主要从事环境水文及生态水文研究。E-mail: lqxue@hhu.edu.cn
引用本文: 薛联青,符芳兵,祝薄丽,等.塔里木河流域下游绿洲演变对生态输水的响应[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(4):310-316.
XUE Lianqing, FU Fangbing, ZHU Boli, et al. Response of oasis evolution to ecological water transport in the downstream of Tarim River Basin[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(4): 310-316.

人类不合理的资源开发导致塔里木河下游生态环境恶化^[3],塔里木河干流向下游下泄水量持续减少,大西海子水库以下河道断流近 30 a,胡杨林及灌木林大量死亡,荒漠化加剧^[4]。为此,2000 年 7 月开始,政府先后组织并实施了 18 次旨在挽救当地生态环境恶化的塔里木河下游应急生态输水工程。生态输水工程产生了广泛而良好的社会影响力,不断有学者对其生态作用和生态价值进行分析研究。王希义等^[5]根据塔里木河下游地区的地下水监测数据,分析了生态输水后地下水位响应。邓铭江等^[6]分析了生态输水后塔里木河下游天然植被的响应和恢复情况。李丽君等^[7]从水量、水质、地下水变化、植被恢复等方面,分析了生态输水对生态环境的影响。作为干旱区特有的生态地貌单元,绿洲是其最精华的部分,很多学者针对人工与天然绿洲的适宜面积比例^[8]、绿洲化和荒漠化时空变化^[9]、生态风险^[10]等方面进行了研究分析,但在生态输水后的生态响应相关研究中,很少有学者对塔里木河下游绿洲演变进行深入研究。

本文以塔里木河下游为研究区域,分析生态输水前后(1990—2015 年)人工、天然绿洲的转化过程及其演变规律,以期生态输水的效益评估提供研究基础,为流域生态恢复建设提供依据。

1 资料及方法

1.1 研究区域概况

塔里木河下游段位于尉犁县和若羌县境内,东与库鲁克沙漠相连,西毗邻塔克拉玛干沙漠。研究河段自恰拉水库至台特玛湖,总长 428 km,流域面积约 3 900 km²,如图 1 所示。

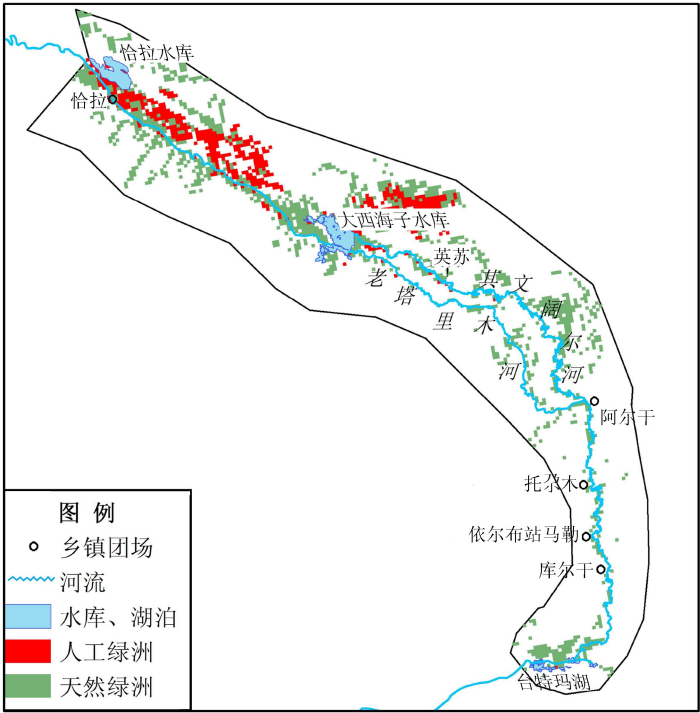


图 1 塔里木河下游研究区域绿洲分布示意图(2015 年)

Fig. 1 Oasis distribution of the study area in the downstream of Tarim River Basin (2015)

20 世纪 50 年代起,为了满足上中游农业发展的需要,在塔里木河干、支流上共修建大、小水库 70 多座^[11],这些水库的修建造成下游河道断流,地下水位大幅度下降,由此导致绿色走廊急剧萎缩,台特玛湖区大片胡杨林枯死,草丛凋谢^[12]。为此,2000 年 7 月开始,政府实施了塔里木河下游应急生态输水工程。到 2017 年底,先后从大西海子水库向塔里木河下游进行了 18 次生态输水,水头 14 次到达台特玛湖,研究区河道植被覆盖度等均有不同程度的增大,植被生物量逐步增加,植被逐渐得到恢复,2016 年 10 月塔里木河结束了下游河道干涸的历史^[7]。

1.2 数据来源

土地利用/覆盖类型数据(LUCC)来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/Default.aspx>)提供的中国土地利用现状遥感监测数据。以各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源,经

过影像融合、几何校正、图像增强与拼接等处理后,通过人工目视解译的方法,参照国内外现有的 LUC 分类体系标准进行土地利用要素的分类提取。

1.3 绿洲重心迁移模型

绿洲重心变化可以反映绿洲土地利用变化和人类活动的空间特点,分析研究绿洲分布的重心位置,可得到研究时段内绿洲扩展的方向性^[13]。通过引用人口地理学中常用的人口重心计算方法,国内有不少学者曾通过计算耕地重心,对其空间变化进行定量分析^[14-15]。本文借鉴耕地重心的计算公式,将其引入绿洲重心模型中,计算塔里木河下游 1990—2015 年绿洲重心分布位置。第 t 年绿洲的重心坐标(X_t, Y_t) 可表示为

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} X_{ti})}{\sum_{i=1}^n C_{ti}} \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ti} Y_{ti})}{\sum_{i=1}^n C_{ti}}$$

(1)

式中: n ——第 t 年的绿洲斑块数; C_{ti} ——第 t 年第 i 个绿洲斑块的面积, km^2 ; X_{ti}, Y_{ti} ——第 t 年第 i 个绿洲斑块的几何中心坐标。

2 结果与分析

2.1 生态输水前后绿洲面积变化分析

2.1.1 人工/天然绿洲面积总体变化特征

根据塔里木河下游 1990—2015 年的 LUC 数据,结合人工与天然绿洲的分类方法^[16],得到塔里木河下游人工与天然绿洲面积变化图(图 2)。1990—2015 年期间,塔里木河流域下游人工绿洲面积整体表现为逐渐增加的过程,分别为 452.61 km^2 、 459.36 km^2 、 535.05 km^2 、 560.01 km^2 、 571.93 km^2 、 599.69 km^2 ,10 a 平均增长量为 46.78 km^2 。天然绿洲面积从 1990—2000 年呈下降的趋势,由 1990 年的 4324.38 km^2 减少到 1995 年的 4315.6 km^2 ,再减少到 2000 年的 4102.84 km^2 。2000—2010 年呈上升趋势,分别为 4102.84 km^2 、 4159.29 km^2 和 4172.80 km^2 ,这是因为开始于 2000 年的生态调水的影响。而 2015 年的天然绿洲面积为 4763.96 km^2 ,与 2010 年相比有微量下降。总绿洲面积呈先下降、后上升的趋势,但变化量微小。

2.1.2 土地利用类型面积变化特征

对研究区域 1990—2015 年共 6 期 LUC 数据进行统计分析可知(图 3),塔里木河下游土地利用类型较多,其中最主要的为低覆盖度草地、中覆盖度草地、耕地和疏林地,低覆盖度草地所占比例最大,6 期土地利用类型中比例均达 60% 以上。从一级土地利用类型的面积变化来看,在近 25 a 时间里变化最明显的为耕地、林地、水域湿地,耕地面积不断增加,10 a 平均增加率达 25.1 km^2 ;林地整体也为增加趋势,10 a 平均增加率达 67.4 km^2 ;水域湿地中湖泊面积在 2010 年后增加,可能是由于生态输水导致塔里木河下游区域的湖泊水域面积增加。从二级土地利用类型的变化面积来看,1990—2015 年期间变化最快的是灌木林和高覆盖度草地(10 a 平均变化率分别为 37.6 km^2 和 54.5 km^2),中覆盖度草地面积呈下降趋势(10 a 平均下降量为

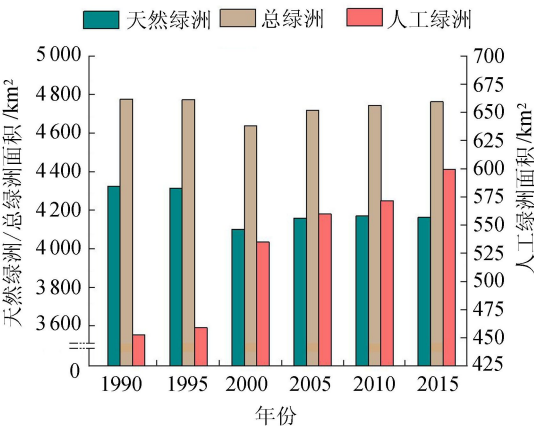


图2 人工与天然绿洲面积变化

Fig. 2 Area changes of artificial and natural oases

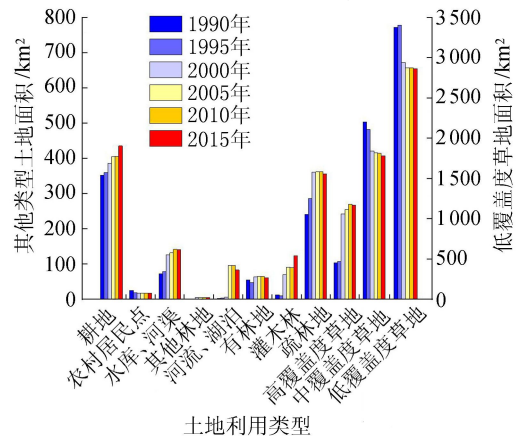


图3 土地利用类型面积变化

Fig. 3 Area changes of land use types

25.2 km²)。生态输水前,低覆盖度草地和中覆盖度草地从 1990 年到 2000 年急剧减少,说明塔里木河下游因缺水导致生态环境恶化,2000 年后因生态输水的作用,草地面积基本稳定。

2.2 生态输水前后人工与天然绿洲转化过程分析

依照赵新风等^[17]计算土地利用类型转移矩阵的方法,对塔里木河下游生态输水前(1990—2000 年)和生态输水后(2000—2015 年)土地利用类型转移矩阵进行计算,相关的矩阵表格见文献[18]。

2.2.1 输水前人工与天然绿洲转化过程

生态输水前(1990—2000 年),塔里木河下游人工绿洲中农村居民用地减少了 8.54%。耕地面积增加了 7.03%,主要由中、低覆盖度草地转化而来。河渠、水库面积的变化幅度较大,增加了 59.12%,主要由低覆盖度草地转化而来。

天然绿洲中,高覆盖度草地面积增加了 1.2 倍,主要由中覆盖度草地、低覆盖度草地和未利用土地转化而来。中覆盖度草地减少了 13.43%,主要转化为耕地、高覆盖度草地和未利用土地。低覆盖度草地减少 13.38%,主要转化为耕地、林地、高覆盖度草地和未利用土地。林地面积增加了 43.99%,主要由低覆盖度草地和未利用土地转化而来。河流、湖泊的面积虽然增加幅度大,但实际面积小。未利用土地面积有所增加,主要由中、低覆盖度草地转化而来。

由以上分析可知,生态输水前,塔里木河下游天然绿洲在逐渐向人工绿洲转化的同时,天然绿洲间也存在相互转化。草地面积不断减少,转化变成了耕地、林地和未利用土地,其中以转化为未利用土地为主。塔里木河下游来水量减少,导致大面积草地退化,天然绿洲面积减少。

2.2.2 输水后人工与天然绿洲转化过程

生态输水后(2000—2015 年),塔里木河下游人工绿洲中耕地、河渠水库面积均增大,耕地增加了 12.98%,主要由高、中、低覆盖度草地转化而来。河渠水库面积增加了 11.54%,主要由未利用土地转化而来。农村居民用地面积没有变化。

天然绿洲中,塔里木河下游的高覆盖度草地面积增加了 10.30%(主要由未利用土地转化而来),中覆盖度草地有所减少(减少幅度较小,低覆盖度草地减少了 2.48%,主要转化为耕地和湖泊)。到 2015 年,湖泊面积增加到 2000 年的 12 倍,主要由低覆盖度草地和未利用土地转化而来。林地面积增加了 4.38%,主要由未利用土地转化而来。

分析可以看出生态输水的作用很大。由于生态输水,塔里木河下游的部分未利用土地得到了利用,变成了河渠、水库、湖泊、灌木林和高覆盖度草地。湖泊的面积增大说明生态输水对于塔里木河下游的生态维系作用巨大。

2.3 生态输水前后绿洲扩张的方向性

2.3.1 绿洲重心迁移模型分析

绿洲重心变化情况见图4。1990—2015 年塔里木河下游绿洲重心先往西北,再往南方,最后又往东南方向迁移,整体向东南迁移了 1699 m。2000—2005 年绿洲重心迁移距离最大,反映该时期绿洲面积变化最大。绿洲发展最大的限制因素是水资源,2000 年之前塔里木河因大西海子拦河建库后,英苏以下河段自 20 世纪 70 年代起已断流 30 a,在此期间塔里木河下游绿洲多在英苏以上河段区域发展,英苏以上河段绿洲退缩严重,因此绿洲重心向西北方向迁移。2000 年开始进行的生态输水工程使英苏以下河段生态有所恢复,天然绿洲得到扩张,是导致绿洲重心迁移的因素,因此 2000 年以后绿洲重心向南和西南方向迁移。

2.3.2 绿洲扩张雷达图综合分析

雷达图是一种多变量可视化图形,常用于多项指标的全面分析,具有完整、清晰和直观的优点。应用雷达图法对

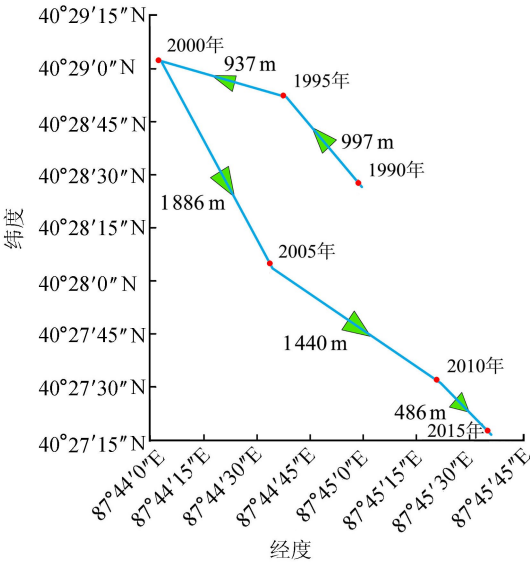


图 4 绿洲重心迁移示意图

Fig. 4 Oasis's gravity center migration diagram

不同年份绿洲的扩张面积进行统计分析,可以直观地反映绿洲在不同方向的扩张程度。以1990年绿洲重心为中心,将不同时期的绿洲扩张面积分布划分在8个方向上,统计各个方向上绿洲增加的面积,再应用雷达图对统计数据进行分析(图5)。图6为本研究划分的8个方向分区。

从图5可以看出不同时期塔里木河下游绿洲扩张的主要方向与绿洲重心迁移的方向是一致的。1990—2015年期间,塔里木河下游绿洲主要向西北和东南方向扩张,其中2010—2015年扩张总面积最大,为348 km²,其他3个阶段扩张面积均为220 km²左右。向西北方向扩张集中于1990—1995年、1995—2000年、2010—2015年3个阶段,扩张面积均为120 km²左右。向东南方向扩张集中于2000年后的3个阶段,分别扩张45.39 km²、64.55 km²和88.04 km²。在西和西南方向上并无扩张面积,这与研究区域形状有关,因此扇形分区对于接近圆形的研究区域更适合。

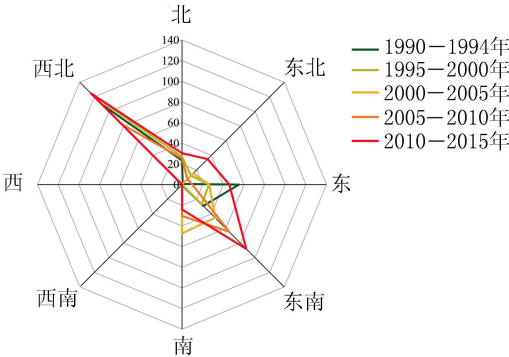


图5 绿洲扩张雷达图(单位:km²)

Fig. 5 Schematic diagram of sectoral division in the study area(units: km²)

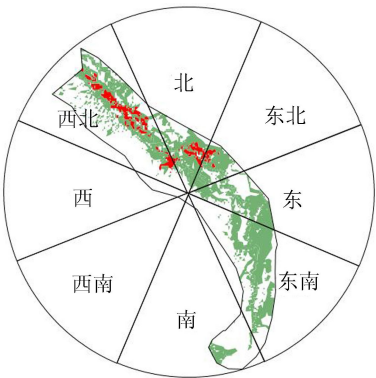
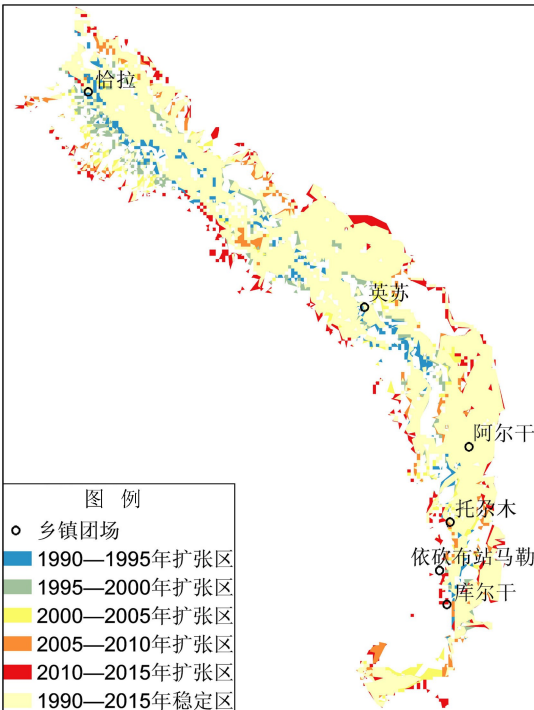


图6 研究区扇形分区示意图

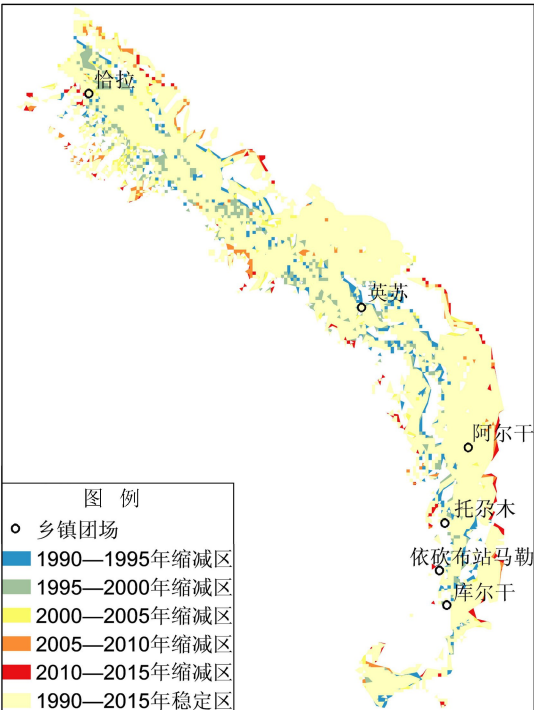
Fig. 6 Rader map of oasis' s extension

2.4 生态输水前后绿洲扩张与退缩的空间变化分析

为了更好地表现塔里木河下游绿洲近25 a的空间分布情况,将6期绿洲数据通过 ArcGIS 做差集分析,获得绿洲扩张与退缩的空间分布情况(图7)。由图7可以看出,绿洲稳定区域分布于塔里木河下游各乡镇



(a) 绿洲扩张区域



(b) 绿洲缩减区域

图7 塔里木河下游绿洲扩张与退缩区的空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of oasisization and desertification in the downstream of Tarim River Basin

团场驻地,而边缘区域呈现扩张与退缩的波动状态。绿洲扩张方式主要以向外围外延扩张为主,内部则表现为原有空隙的填充。生态输水前的扩张或退缩区域在生态输水后的内部。绿洲扩张建立在人工绿洲增加、天然绿洲萎缩的基础上。

由图 7(a)可以看出,生态输水前(1990—2000 年)的扩张区域主要集中于英苏上游的区域。生态输水后(2000—2015)扩张区域分布广泛,在此期间,阿尔干到库尔干区域的绿洲面积扩张较多,台特玛湖地区绿洲面积增加明显,此区域的天然绿洲中湖泊和草地面积因生态输水而扩张。由图 7(b)可以看出,1990—2000 年和 2010—2015 年期间绿洲缩减区域分布广而零星,1990—2000 年绿洲缩减区域较大,2000—2015 年期间绿洲缩减区域主要分布在英苏上游区域。

3 结 论

a. 1990—2015 年,塔里木河下游人工绿洲面积不断扩张,10 a 平均增长量为 46.78 km²,天然绿洲面积不断缩减,但在 2000 年后因为生态调水的影响,天然绿洲面积有所上升。塔里木河下游土地利用类型主要为低覆盖度草地、中覆盖度草地、耕地和疏林地。

b. 生态输水前(1990—2000 年),塔里木河下游人工绿洲中农村居民用地减少了 8.54%,耕地增加了 7.03%,农村居民用地转化为耕地的面积大于耕地转化为农村居民用地的面积;天然绿洲中草地面积不断减少,转化变成了耕地、林地和未利用土地。下游来水量减少,天然绿洲面积缩减。

c. 生态输水后(2000—2015 年),塔里木河下游人工绿洲中耕地、河渠水库面积均增大。耕地增加了 12.98%,河渠水库面积增加了 11.54%。天然绿洲中,湖泊面积增加了 11 倍;高覆盖度草地面积增加明显,中覆盖度草地有所减少(减少幅度较小,主要转化为耕地和湖泊)。

d. 1990—2015 年塔里木河下游绿洲重心先往西北,再往南方,最后又往东南方向迁移。绿洲主要向西北和东南方向扩张。塔里木河下游绿洲边缘区域呈现扩张与退缩的波动状态。1990—2000 年的扩张区域主要集中于英苏上游的区域;2000—2015 年期间,台特玛湖地区绿洲面积增加明显。

参考文献:

[1] XUE Lianqing, WANG Jing, ZHANG Luochen, et al. Spatiotemporal analysis of ecological vulnerability and management in the Tarim River Basin, China[J]. The Science of the Total Environment, 2019, 649:876-888.

[2] 薛联青,张卉,张洛晨,等.塔里木灌区引水前后环境流特性变化[J].水资源保护,2017,33(3):31-37. (XUE Lianqing, ZHANG Hui, ZHANG Luochen, et al. Changes in characteristics of environmental flow in Tarim irrigation area before and after water diversion[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(3):31-37. (in Chinese))

[3] XUE Lianqing, ZHU Boli, YANG Changbing, et al. Study on the characteristics of future precipitation in response to external changes over arid and humid basins[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1):15148-15161.

[4] 郭宏伟,徐海量,凌红波,等.塔里木河流域人工与天然绿洲转化过程与适宜比例初探[J].土壤通报,2017,48(3):532-539. (GUO Hongwei, XU Hailiang, LING Hongbo, et al. Transformation process and appropriate area proportion of artificial and natural oases in the Tarim River Basin[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(3):532-539. (in Chinese))

[5] 王希义,徐海量,潘存德,等.2000—2014 年塔里木河下游地下水补给量及合理需求量[J].水资源保护,2017,33(4):32-39. (WANG Xiyi, XU Hailiang, PAN Cunde, et al. Study on groundwater recharge amount and suitable demand amount in lower reaches of Tarim River from 2000 to 2014[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(4):32-39. (in Chinese))

[6] 邓铭江,杨鹏年,周海鹰,等.塔里木河下游水量转化特征及其生态输水策略[J].干旱区研究,2017,34(4):717-726. (DENG Mingjiang, YANG Pengnian, ZHOU Haiying, et al. Water conversion and strategy of ecological water conveyance in the lower reaches of the Tarim River[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(4):717-726. (in Chinese))

[7] 李丽君,张小清,陈长清,等.近 20 a 塔里木河下游输水对生态环境的影响[J].干旱区地理,2018,41(2):238-247. (LI Lijun, ZHANG Xiaoqing, CHEN Changqing, et al. Ecological effects of water conveyance on the lower reaches of Tarim River in recent twenty years[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(2):238-247. (in Chinese))

[8] 邓宝山,瓦哈甫·哈力克,张玉萍,等.吐鲁番绿洲适宜规模及其稳定性分析[J].干旱区研究,2015,32(4):797-803. (DENG Baoshan, WAHAP · Halik, ZHANG Yuping, et al. Appropriate scale and stability of oasis in Turpan[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(4):797-803. (in Chinese))

[9] 钱大文,巩杰,贾珍珍.绿洲化-荒漠化土地时空格局变化对比研究:以黑河中游临泽县为例[J].干旱区研究,2016,33

(1):80-88. (QIAN Dawen, GONG Jie, JIA Zhenzhen. Analysis on the spatio-temporal evolution of oasis formation and desertification: a case study of linze county in the middle reaches of Heihe River, Gansu[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 33(1):80-88. (in Chinese))

[10] 魏伟,石培基,雷莉,等. 基于景观结构和空间统计方法的绿洲区生态风险分析:以石羊河武威、民勤绿洲为例[J]. 自然资源学报,2014,29(12):2023-2035. (WEI Wei, SHI Peiji, LEI Li, et al. Eco-risk analysis of oasis region based on landscape structure and spatial statistics method: a case study of Wuwei and Minqin Oases[J]. Arid Zone Research, 2014, 29(12): 2023-2035. (in Chinese))

[11] 薛联青,张卉,张洛晨,等. 基于改进RVA法的水利工程对塔里木河生态水文情势影响评估[J]. 河海大学学报(自然科学版),2017,45(3):189-196. (XUE Lianqing, ZHANG Hui, ZHANG Luo Chen, et al. Impact of water conservancy projects on eco-hydrological regime of Tarim River based on improved RVA method[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2017, 45(3):189-196. (in Chinese))

[12] 薛联青,杨帆,杨昌兵,等. 外界胁迫作用下塔里木河流域径流变化响应的敏感性[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018,46(1):1-6. (XUE Lianqing, YANG Fan, YANG Changbing, et al. Sensitivity analysis of the streamflow alteration subjected to climate changes and anthropogenic activities in the Tarim River Basin[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2018, 46(1):1-6. (in Chinese))

[13] 张秀霞,顿耀文,卫娇娇,等. 1986—2015年干旱区敦煌绿洲景观的时空演变过程[J]. 干旱区研究,2017,34(3):669-676. (ZHANG Xiuxia, XIE Yaowen, WEI Jiaojiao, et al. Spatiotemporal evolution of landscapes in the arid dunhuang oasis during the period of 1986-2015[J]. Arid Zone Research, 2017, 34(3):669-676. (in Chinese))

[14] 郭碧云,张正峰. 农牧交错区土地利用重心迁移研究:以河北省沽源县为例[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(4):217-221. (GUO Biyun, ZHANG Zhengfeng. Migration of land-use barycenters in farming-pastoral areas: a case study of Guyuan County, Hebei Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(4):217-221. (in Chinese))

[15] 贾启建,何玲. 滨海土地重心迁移及景观梯度变化[J]. 水土保持研究,2016,23(2):201-206. (JIA Qijian, HE Ling. Move of land barycenter and changes of landsdpe gradient in coastal region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23 (2):201-206. (in Chinese))

[16] 陈超群,吴煜,王健,等. 塔里木河上游人工与天然绿洲相互转化过程与适宜比例[J]. 水土保持研究,2018,25(2):176-182. (CHEN Chaoqun, WU Yu, WANG Jian, et al. Interconversion process and the proper ratio of artificial and natural oasis in the upper reaches of Tarim River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(2):176-182. (in Chinese))

[17] 赵新风,赵乐,徐海量,等. 塔里木河干流人工与天然绿洲转化及适宜比例研究[J]. 人民长江,2017,48(24):41-47. (ZHAO Xinfeng, ZHAO Le, XU Hailiang, et al. Study on artificial and natural oasis mutual conversion process and their proper ratio in main stream of Tarim River[J]. Yangtze River, 2017, 25(2):176-182. (in Chinese))

[18] 薛联青. 生态塔河维系标准体系与调度管理[R]. 南京:河海大学水文水资源学院,2019.

(收稿日期:2018-09-18 编辑:高建群)