

DOI: 10.5846/stxb202105111232

孙旭伟, 李森, 王亚晖, 唐霞, 赵鸿雁. 1975—2020 年疏勒河流域绿洲时空变化研究. 生态学报, 2022, 42(22): 9111-9120.

Sun X W, Li S, Wang Y H, Tang X, Zhao H Y. Spatiotemporal change of oasis in Shule River Basin during 1975—2020. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(22): 9111-9120.

1975—2020 年疏勒河流域绿洲时空变化研究

孙旭伟^{1,2}, 李 森^{2,3,4,*}, 王亚晖^{3,5}, 唐 霞³, 赵鸿雁^{3,5}

1 甘肃省生态环境科学设计研究院, 兰州 730020

2 甘肃省黄河上游水源涵养区生态保护和修复工程研究中心, 兰州 730020

3 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000

4 中国科学院西北生态环境资源研究院干旱区盐渍化研究站, 兰州 730000

5 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 掌握内陆河流域绿洲时空动态是内陆河流域实现水资源优化配置和动态管理的基本前提。基于 Landsat 系列数据, 结合面向对象随机森林和目视解译方法, 分析了 1975—2020 年疏勒河流域绿洲的时空格局、结构变化及其成因, 并探讨了人工/天然绿洲比例变化对生态环境的影响。结果表明: (1) 2020 年疏勒河流域绿洲面积为 5790.24 km², 占流域面积比例的 4.65%, 其中人工绿洲、自然绿洲和过渡带分别占绿洲总面积比例为 45.29%、51.07% 和 3.64%; (2) 疏勒河流域绿洲分布模式主要为内陆河沙漠区模式和干流模式; (3) 1975—2020 年疏勒河流域绿洲面积整体上呈扩张趋势, 且绿洲变化以人工绿洲扩张、天然绿洲和荒漠-绿洲过渡带减少为主要特征, 土地类型的主要变化为草地和荒漠被开垦, 绿洲变化可分为 1975—2000 年缓慢扩张和 2000—2020 年迅速扩张 2 个阶段, 主要原因为流域径流量增加和外来移民输入; (4) 随着人工与天然绿洲面积之比由 3:7 (1975 年) 增加到 5:5 (2020 年), 流域绿洲生态环境质量呈现先上升后下降趋势, 2005 年达到最高。研究可为疏勒河流域绿洲生态系统稳定发展提供数据支撑和科学依据。

关键词: 疏勒河流域; 分布模式; 时空变化; 人工与天然绿洲面积比例

Spatiotemporal change of oasis in Shule River Basin during 1975—2020

SUN Xuwei^{1,2}, LI Sen^{2,3,4,*}, WANG Yahui^{3,5}, TANG Xia³, ZHAO Hongyan^{3,5}

1 Gansu Academy of Eco-environmental Sciences, Lanzhou 730020, China

2 Gansu Research Center of Ecological Protection and Restoration Engineering in Water Conservation Area of Upper Yellow River, Lanzhou 730020, China

3 Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

4 Drylands Salinization Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

5 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Grasping spatial-temporal dynamics of oasis in the inland river basin is the basic premise for realizing optimal allocation and dynamic management of water resources for the inland river basin. Shule River Basin, located in the west of Hexi Corridor, is a typical sensitive area in the fragile zone of ecosystem. In recent years, with the warming of the climate, the diameter flow out of the mountains has increased year by year, providing a good environmental background for the expansion of artificial oases and the restoration of natural oasis. Many scholars had carried out a lot of research work on ecological quality, service function and carrying capacity in this basin. However, there were relatively few studies on the spatio-temporal changes of oasis pattern and structure in long time series at watershed scale. Therefore, based on Landsat data of years 1975, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020 combining object-oriented random forest and visual

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (42007430, 41801079, 41701062); 第二次青藏高原综合科学考察研究项目 (2019QZKK0608)

收稿日期: 2021-05-11; **网络出版日期:** 2022-07-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lisen@lzb.ac.cn

interpretation method, this paper analyzed the spatio-temporal pattern, structure change and causes of oasis in Shule River Basin from 1975 to 2020. And it also discussed the impact of artificial oasis area to natural oasis area ratio on the quality of ecological environment. The results showed that: (1) The total area of oasis was 5790.24 km² in the Shule River Basin in 2020, accounting for 4.65% of the total area of the basin, of which the artificial oases, natural oases and desert-oasis ecotone accounted for 45.29%, 51.07% and 3.64%, respectively; (2) The distribution patterns of oasis in Shule River Basin are mainly the inland river desert region model and the mainstream flow model. (3) The oasis area in Shule River Basin showed an overall trend of expansion from 1975 to 2020. The oasis changes were mainly characterized by the expansion of artificial oases and the decrease of natural oasis and desert-oasis transition zones. The main changes of land cover types were the reclamation of grassland and desert. And the land cover types of artificial oasis in Shule River Basin showed an increasing trend from 1975 to 2020. The oasis changes could be divided into two stages: slow expansion from 1975 to 2000 and rapid expansion from 2000 to 2020. (4) As the ratio of artificial to natural oases area increased from 3:7 (1975) to 5:5 (2020), the eco-environmental quality of oases increased firstly and then decreased, reaching the highest value in 2005. This study can provide data support and scientific basis for the steady development of oasis ecosystem in Shule River Basin.

Key Words: Shule River Basin; distribution pattern; spatiotemporal change; proportion of artificial and natural oases area

绿洲作为干旱、半干旱区一种中小尺度的非地带性生态景观,是干旱区 90% 人口的生活和 95% 的经济获得的载体^[1-2]。绿洲化已经成为干旱区人地关系的直接体现,其中绿洲土地覆被变化更是绿洲化研究的核心内容^[3-4]。按人类活动影响程度,绿洲分为天然绿洲和人工绿洲^[1, 5]。目前,大多数绿洲变化研究均以人工绿洲为主,天然绿洲的研究投入不足^[5]。而在人工绿洲变化研究中则专注于人工改造地表覆盖类型的研究,忽略了荒漠-绿洲过渡带(以下简称“过渡带”)在人工绿洲防护中的重要作用^[6-7]。实际上,过渡带对阻止沙丘迁移、降低风沙流活动强度、减轻绿洲风沙危害具有重要作用,所以过渡带同样是人工绿洲的重要组成部分^[8]。因此,在流域尺度,一个完整的绿洲生态系统应同时包括人工绿洲、过渡带和天然绿洲^[8]。目前将绿洲作为生态系统研究主要集中在山地-荒漠-绿洲生态经济和可持续发展等方面^[9-15]。对流域尺度中下游绿洲格局和机构的时空变化变化缺乏关注。

近 70 年来,伴随着人类开发强度和频度的加剧,中国干旱区内陆河流域水资源利用的时空平衡被打破^[16],由此引发了绿洲格局的变化。人工绿洲面积由 1950 年代的 20000 km²,发展到 2015 年的 125101 km²^[2, 17-18],自然绿洲和过渡带面积锐减^[19],人工与天然绿洲面积比例失衡^[20],而这种新格局变化势必对流域内水资源的重分配进行反馈,并严重威胁着绿洲的稳定性,因此及时准确把握内陆河流域绿洲格局和结构的动态变化成为内陆河流域实现水资源优化配置和维持绿洲稳定性的基本前提,这不仅是实现干旱区水资源高效利用合理配置的迫切需求,更是当前内陆河流域绿洲实现可持续发展亟待解决的关键问题。

疏勒河流域位于河西走廊西部,是典型的生态系统脆弱带敏感区^[21]。近年来随着流域内气候变暖,出山口径流量逐年增长^[22],为人工绿洲的扩张和自然绿洲的恢复提供了良好的环境背景^[23]。然而,自 1996 年开始,流域内实施的移民安置综合开发项目,造成流域人口数量急剧增加,从而导致人工绿洲面积迅速扩张,大量地表和地下水资源被消耗,以至于流域中下游河流断流、湿地萎缩、植被退化、土地沙化和盐渍化等生态环境问题日益突出^[24-25]。由此,不少学者围绕着流域内生态质量、服务功能、承载力等展开了大量的研究工作^[22, 24-27]。然而,针对流域尺度长时间序列的绿洲格局和结构时空变化的研究相对较少。因此,为了厘清近 45 年来疏勒河流域绿洲格局和结构时空变化,本文基于 Landsat 系列数据,采用面向对象随机森林与目视解译相结合的方法,获取 1975、1990、2000、2005、2010、2015 和 2020 年绿洲土地覆被数据,深入挖掘疏勒河流域人工绿洲、自然绿洲和过渡带结构、比例变化,探讨流域尺度内绿洲迅速变化的原因及适宜比例。这对于促进疏勒河流域水土资源的优化配置和绿洲的可持续发展具有重要意义。

1 研究区概况

疏勒河流域($92^{\circ}11'—98^{\circ}30'E$, $38^{\circ}00'—42^{\circ}48'N$)地处甘肃河西走廊西段,是河西地区三大内陆河流域之一(图 1)。整个疏勒河流域面积为 $12.45 \times 10^4 \text{ km}^2$,以昌马峡和双塔水库为界分为上、中、下游,干流年水资源总量为 $11.34 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中:地表水总资源量为 $10.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[28]。流域主要覆盖的行政区域有甘肃省酒泉市下辖的玉门市、敦煌市、瓜州县、肃北县的大部分、阿克塞县的一部分,以及张掖市肃南县和青海省天峻县的一部分。其中,绿洲主要分布在疏勒河中游的走廊平原平坦开阔地带,海拔 1050—1300 m^[26]。疏勒河流域属于典型的温带干旱大陆性气候,年平均气温 6.9—8.8℃,年降水量 47—63 mm,年蒸发量 2897—3042 mm,年日照时数 3033—3246 h^[28]。土壤类型以沼泽土、草甸土和棕漠土为主^[28]。

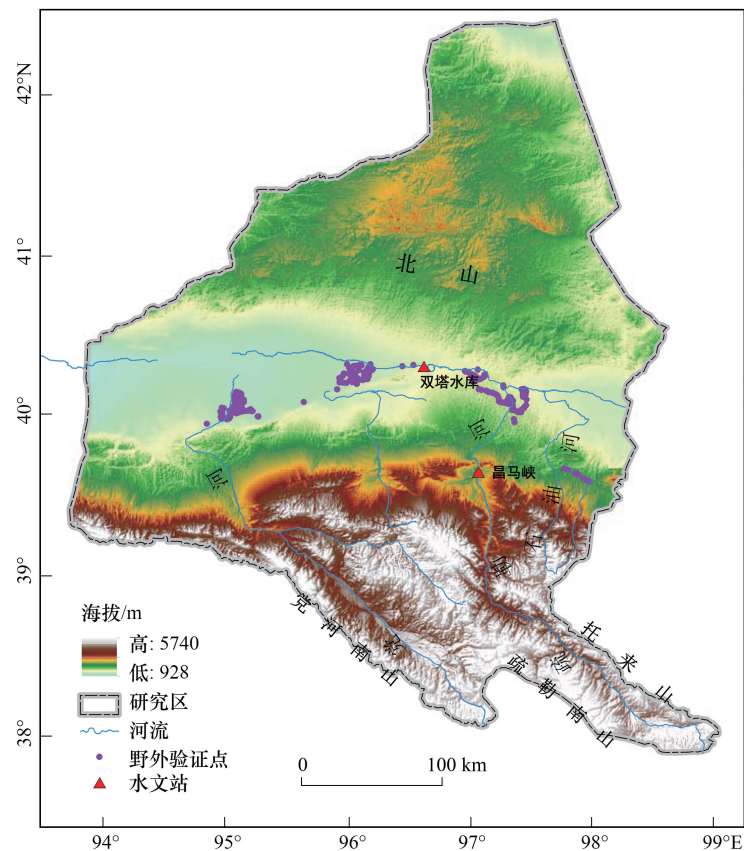


图 1 研究区地理位置图

Fig.1 Geographical location of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究所用的遥感影像采用的是 Landsat 系列数据,分别为 1970 年代的 MSS (Multispectral Scanner System) 影像和 2000 年的 ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus)影像各 8 景,1990 年、2005 年和 2010 年的 TM (Thematic Mapper) 影像每期 8 景,2015 年和 2020 年的 OLI (Operational Land Imager) 影像各 8 景,成像时间均为生长季(5—9 月)。影像来源于美国联邦地质调查局网站 (<https://glovis.usgs.gov/>)。所有影像均在 ERDAS 平台上统一投影为 WGS_1984_Albers,并重采样为 30 m (MSS 影像为 60 m)。

人口数据来源于甘肃省统计年鉴(1984—2019),统计玉门市、瓜州县和敦煌市人口数据。疏勒河流域边

界矢量数据来源于国家青藏高原科学数据中心 (<https://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/data>)。精度验证数据来自野外调查数据(2018 年 6 月—7 月)(图 1)和专家基于 Google Earth 软件目视判读获取的样本点共计 589 个。水文数据包括 1956—2019 年疏勒河昌马堡和双塔径流量,来自《甘肃省水资源公报》、各流域中下游水文站以及文献资料。

2.2 绿洲生态系统分类体系

绿洲时空分布格局研究中,根据研究目的的不同,绿洲分类系统主要有两类:一类是基于绿洲土地利用/覆被特征,参考土地利用/覆被土地分类系统,将绿洲分为耕地、防护林、防护草地、建设用地、人工湿地等,这种分类一般专门针对人工绿洲进行分类^[29—32];另一类是根据绿洲的人类改造强度,将绿洲分为人工绿洲、自然绿洲和荒漠,这种分类一般用于绿洲化/荒漠化时空变化研究^[3—4, 23, 33—35]。然而在内陆河流域尺度,一个完整的绿洲生态系统包括人工绿洲、荒漠-绿洲过渡带和自然绿洲^[8]。同时,由于上下游水资源的分配以及人类改造强度的因素,不仅绿洲外围持续存在着扩张或退缩,同时绿洲内部也不断发生土地类型的转换。因此,基于前人的研究成果及流域尺度绿洲生态系统特点^[5, 17, 29, 36],本研究中将绿洲分为三级:一级分类主要根据绿洲人类干扰程度及绿洲空间分布特点分为人工绿洲、自然绿洲和过渡带,其中人工绿洲是指具有明显的人类改造的地表特征的绿洲景观。自然绿洲专指内陆河下游具有明显天然植被覆盖,没有明显人类干扰的绿洲景观。过渡带是指人工绿洲与周围荒漠(沙漠)之间具有较高的植被生产力,没有或者较少受到人类干扰的天然或半天然植被且具有减轻人工绿洲风沙危害的作用生态景观,研究表明,过渡带发挥防护人工绿洲作用的有效植被覆盖度应超过 14%^[37];二级类主要根据土地的资源属性和利用属性分为耕地、林地、草地、水域湿地、建设用地和未利用地 6 类。

2.3 绿洲时空变化信息提取方法

在易康(eCognition)软件平台下,以影像栅格文件作为数据基础,采用多尺度分割方法对影像进行多尺度分割,参数设置为:分割尺度为 35,形状权重 0.1,紧致度权重 0.5。根据对象间空间位置、归一化植被指数、波段平均值、亮度值等特征参数,利用随机森林分类法提取 2020 年疏勒河流域绿洲数据。然后在 ArcGIS 软件支持下,采用目视解译方法,利用 2020 年的绿洲结构数据进行动态数据更新,完成 2015、2010 年、2005 年、2000 年、1990 年和 1975 年的研究区绿洲数据的重建,实际上就是发现此期间的绿洲土地覆盖变化,将数据进行反向“更新”的过程^[29],这种仅更新动态的方法有效的保证了数据分辨率的一致性,尤其是保证 1975 年绿洲数据与其他年份数据的一致性。最终得到了 1975、1990、2000、2005、2010、2015 和 2020 年 7 期绿洲土地覆盖数据。为保证数据的解译精度,对 2020 年绿洲数据进行抽查,并结合精度验证样本进行验证,同时与同类型产品(FROM-GLC(Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover, 10 m 分辨率))^[38]进行了精度对比,结果表明,一级类分类精度为 95.59%(表 1),二级类分类精度为 89.33%(表 2),制图精度明显高于同类产品,达到后续分析的数据要求。

表 1 疏勒河流域绿洲一级类型分类结果混淆矩阵

Table 1 Confusion matrix for the classification results of the first-level types of oasis in Shule River Basin

一级类型 First-level type	人工绿洲 Artificial oasis	自然绿洲 Natural oasis	过渡带 Ecotone	山地荒漠 Mountains & deserts	合计 Total
人工绿洲 Artificial oasis	334	2	3	1	340
自然绿洲 Natural oasis	3	63	1	1	68
过渡带 Ecotone	4	4	41	3	52
山地荒漠 Mountains & deserts	0	2	2	125	129
合计 Total	341	71	47	130	589
用户精度 User accuracy	97.95%	88.73%	87.23%	96.15%	
制图精度 Producer accuracy	98.24%	92.65%	78.85%	96.90%	
总体精度 Overall accuracy	95.59%				
Kappa 系数 Kappa coefficient	92.60%				

表 2 本数据产品与 FROM-GLC 数据精度对比/%

Table 2 The comparison of the accuracy on between this data product and FROM-GLC data

	FROM-GLC 数据 FROM-GLC data		绿洲二级类数据 Oasis secondary type data	
	制图精度	用户精度	制图精度	用户精度
	Producer accuracy	User accuracy	Producer accuracy	User accuracy
农田 Cropland	72.36	81.65	92.19	95.93
林地 Forest	14.29	57.14	87.04	90.38
草地 Grassland	47.27	40.00	79.17	63.33
建设用地 Construction land	0.00	0.00	100.00	100.00
湿地 Wetland	94.74	85.71	94.74	100.00
未利用地 Unused land	88.24	29.41	76.47	68.42
总体精度:60.08		总体精度:89.33		

FROM-GLC 数据 Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover data

2.4 绿洲变化率

利用绿洲面积变化年均动态度反映不同时期绿洲动态变化的结果^[39—40]。计算公式如下:

$$R_t = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (1)$$

式中, R_t 为研究时段内绿洲面积的年均变化率; U_a 和 U_b 为研究初期和末期某区域绿洲的面积; t 为研究时段。

3 结果与分析

3.1 疏勒河流域绿洲分布格局现状

2020 年疏勒河流域绿洲面积为 5790.24 km²,仅占流域面积比例的 4.65%,其中人工绿洲面积为 2622.59 km²,占绿洲总面积比例为 45.29%,主要包括的绿洲有赤金-花海绿洲、昌马绿洲、玉门绿洲、瓜州绿洲和敦煌绿洲;自然绿洲面积为 2956.89 km²,占绿洲面积比例为 51.07%,主要分布在党河和疏勒河下游敦煌绿洲的北部以及踏实河下游的瓜州绿洲和玉门绿洲之间;荒漠-绿洲过渡带面积为 210.76 km²,占绿洲面积比例为 3.64%,主要分布在人工绿洲外围,起到减轻绿洲风沙危害的作用(图 2)。根据郭宏伟^[20]等对塔里木河流域绿洲分布模式的划分,疏勒河流域绿洲有三种模式,其中内陆河沙漠区模式和干流模式是其主要的分布模式。赤金-花海绿洲、敦煌绿洲属于内陆河沙漠区模式,主要特征为天然绿洲分布于河流两岸和尾间湖泊周边,由于河流中游地区水流平缓,利于进行引水灌溉,老人工绿洲常位于河流中游地区。瓜州和玉门绿洲属于干流模式,主要特征为部分河流一侧为山区或山前戈壁,另一侧为荒漠,绿洲沿河道呈带状分布,人工绿洲分布于河道两岸,其外侧为天然绿洲。昌马绿洲处于昌马水库上游,面积较小,属于洪冲积扇模式,主要特征为人工绿洲多在河流出口以下呈扇形分布,天然绿洲分布于人工绿洲外围,天然绿洲外围为山前荒漠。

3.2 近 45 年疏勒河绿洲一级类型时空变化

由图 3 可知,1975—2020 年疏勒河流域绿洲一级

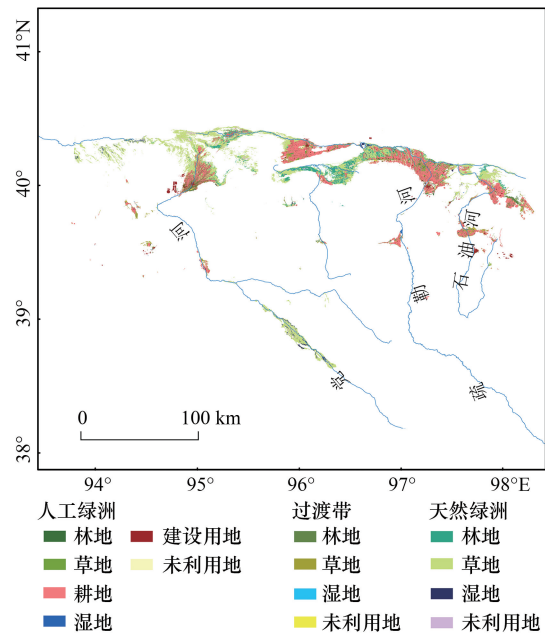


图 2 2020 年疏勒河流域绿洲生态系统空间分布

Fig.2 Spatial distribution of oasis ecosystem in Shule River Basin in 2020

类型面积变化较大,其中人工绿洲从 1975 年开始呈现持续增加的趋势,从 1975 年的 1750.07 km²增加到 2020 年的 2627.26km²;过渡带从 1975 年开始呈现持续减少的趋势,从 1975 年的 417.21 km²较少到 2020 年的 210.72 km²,而 1975—1990 年自然绿洲呈略微增加的趋势,年均动态变化率为 0.03%,而 1990 年以后开始呈现持续减少趋势,减少面积为 283.46 km²。从近 45 年研究区绿洲变化率分析,人工绿洲面积的增加以及自然绿洲和过渡带面积的减少均在 2000—2005 年期间速度最快(表 3),因此疏勒河流域绿洲变化可以分为 2 个阶段:1975—2000 年疏勒河流域绿洲缓慢变化阶段;2000—2020 年疏勒河流域绿洲迅速变化阶段(图 3,表 3)。

图 4 显示的是疏勒河流域绿洲变化格局。近 45 年来疏勒河流域绿洲以扩张为主,主要发生在石油河下游的花海绿洲、疏勒河干流的玉门绿洲和瓜州绿洲以及党河下游敦煌绿洲,但是各绿洲的类型转化方式差异巨大。花海和瓜州绿洲主要表现为荒漠转变为人工绿洲,其中瓜州绿洲在西北部还有自然绿洲转变为人工绿洲的现象;玉门绿洲则是以自然绿洲转变为人工绿洲为主,主要分布在玉门绿洲的北部和西北部,同时在玉门绿洲南部存在荒漠或过渡带转变为人工绿洲的现象;敦煌绿洲则是在绿洲边缘主要是荒漠或自然绿洲转变为人工绿洲,而在尾间的西湖乡附近,存在着人工绿洲转变为荒漠以及荒漠转变为自然绿洲的现象(图 4)。

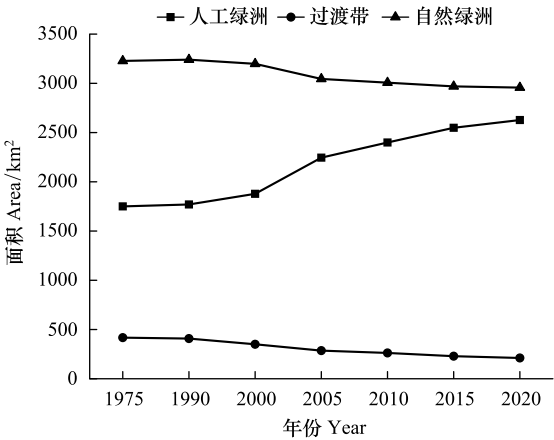


图 3 1975—2020 年疏勒河流域绿洲一级类型变化
Fig.3 Changes of first oasis category in Shule River Basin during 1975—2020

表 3 1975—2020 年疏勒河流域绿洲变化率/%

Table 3 Oasis change rate of Shule River Basin during 1975—2020

时间 Time	人工绿洲 Artificial oasis	过渡带 Ecotone	自然绿洲 Natural oasis	山地荒漠 Mountains & deserts
1975—1990 年	0.08	-0.14	0.03	0.00
1990—2000 年	0.61	-1.43	-0.13	0.00
2000—2005 年	3.91	-3.67	-0.96	-0.03
2005—2010 年	1.37	-1.65	-0.25	-0.02
2010—2015 年	1.25	-2.51	-0.25	-0.01
2015—2020 年	0.62	-1.61	-0.08	-0.01

3.3 近 45 年绿洲土地覆被类型变化

1975—2020 年疏勒河流域人工绿洲的各土地覆被类型均呈现增加趋势,其中增加面积最多的是耕地类型,45 年间增加 620.99 km²,主要是侵占了荒漠、自然绿洲和过渡带的草地;建设用地的面积也发生了明显的增加,尤其是近 20 年来,面积增加了 80.03 km²,这主要得益于城镇化的发展、基础设施的建设以及光伏用地的增加。自然绿洲、过渡带的各土地覆被类型均呈现减少趋势,减少的类型均是以草地为主,45 年间草地面积分别减少 220.15 km²和 171.74 km²,主要转变为耕地。

疏勒河绿洲变化分为 1975—2000 年和 2000—2020 年 2 个阶段。1975—2000 年人工绿洲内林地、耕地、建设用地呈增加趋势,草地和未利用地呈减少趋势;过渡带所有土地类型呈减少趋势;自然绿洲内湿地和未利用地呈增加趋势,其他类型呈减少趋势;2000—2020 年随着人工绿洲的迅速扩张,人工绿洲内的各个土地类型俱呈增加趋势;过渡带和自然绿洲各个土地类型均呈现减少趋势(表 4)。

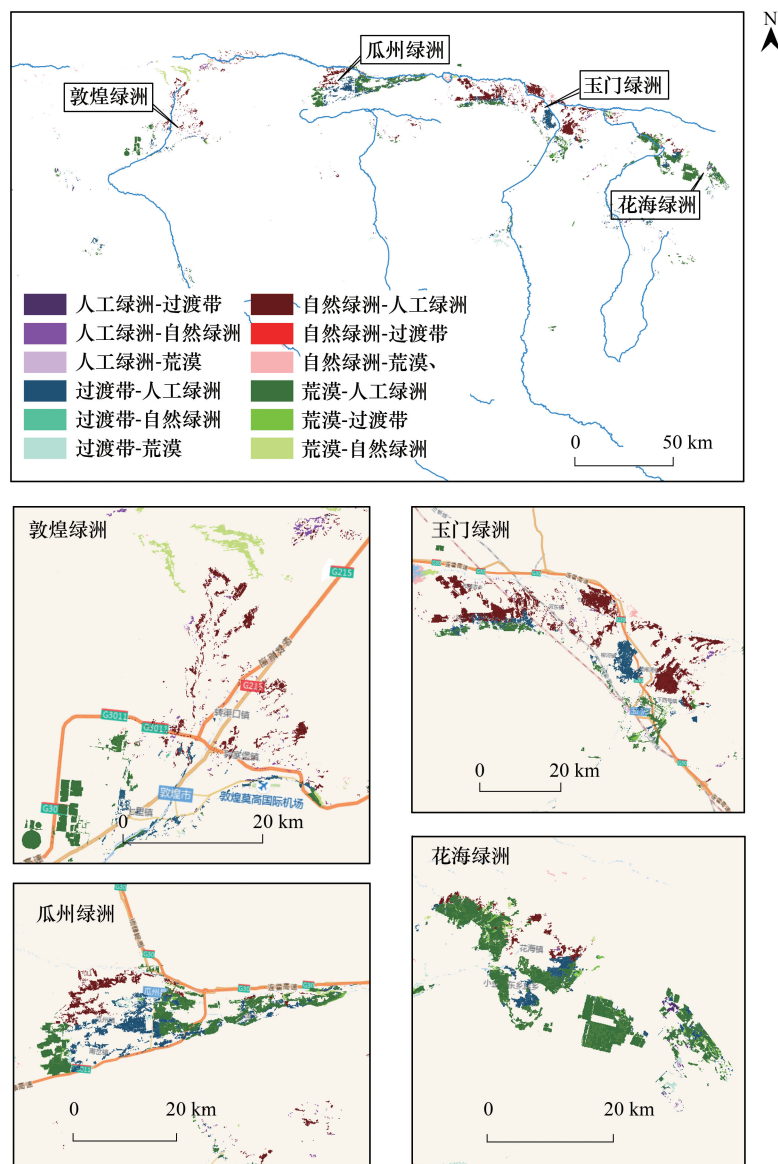


图 4 1975—2020 年疏勒河流域绿洲变化格局

Fig.4 Change pattern of oasis in Shule River Basin during 1975—2020

4 讨论

在干旱区,水资源是限制绿洲扩张的主要约束力^[41],即当绿洲耗水量超过水资源总量的阈值时,水资源才成为绿洲扩张的主要约束因素,反之,则促进了绿洲的扩张。研究表明,疏勒河流域水资源利用率为 76.4%^[41]。另外,监测表明,2020 年疏勒河下游自然绿洲明显增加(图 4),这主要是由于《敦煌市水资源合理利用与生态保护综合规划》等生态保护项目的实施,使得 2017 年秋季党河、疏勒河下泄生态水首次流入保护区,直达库姆塔格沙漠东沿消失的湖泊“哈拉齐”^[42]。因此,可以认为水资源尚未成为限制疏勒河绿洲扩张的因素,同时近年来疏勒河径流量的增加(图 5),反而为该区域绿洲的扩张提供了水资源条件。

疏勒河流域绿洲面积变化以 2000 年为节点,2000 年以前绿洲各类型变化速度相对缓慢,2000 年以后绿洲各类型变化速度明显加快,其中以 2000—2005 年这一阶段速度最快。主要原因是 1996 年甘肃省委、省政府正式启动了“疏勒河流域农业灌溉暨移民安置综合开发项目”^[24—25],随着项目的实施,疏勒河流域绿洲人

口 2000 年比 1999 年激增了 3.57 万人(图 6)。由于这些生态移民生产和生活的需求,导致疏勒河流域在 2000—2005 年这一时期耕地和城乡建设用地迅速扩张,扩张面积分别为 319.68 km²和 52.25 km²,加速了自然绿洲和过渡带的衰退^[25],衰退面积为 299.26 km²。

表 4 1975—2020 年疏勒河流域绿洲土地结构变化/km²

Table 4 Land structure change of oasis in Shule River Basin during 1975—2020

一级类型 First category	二级类型 Second category	1975 年	2000 年	2020 年	1975—2000 年 相对变化面积 Relative change during 1975—2000	2000—2020 年 相对变化面积 Relative change during 2000—2020	1975—2020 年 相对变化面积 Relative change during 2000—2020
人工绿洲 Artificial oasis	林地	123.75	133.75	202.69	10.00	68.94	78.94
	草地	145.03	133.10	210.92	-11.93	77.82	65.88
	耕地	1308.59	1442.66	1929.58	134.07	486.92	620.99
	湿地	18.02	16.95	24.43	-1.06	7.48	6.42
	建设用地	139.65	141.03	219.69	1.38	78.66	80.03
过渡带 Ecotone	未利用地	15.03	10.79	39.95	-4.24	29.16	24.92
	林地	57.75	56.09	49.76	-1.66	-6.33	-7.99
	草地	308.33	248.32	136.59	-60.02	-111.72	-171.74
	湿地	4.58	2.95	1.96	-1.63	-0.99	-2.62
自然绿洲 Natural oasis	未利用地	46.55	42.46	22.42	-4.09	-20.05	-24.14
	林地	499.63	499.30	479.86	-0.33	-19.43	-19.76
	草地	2433.08	2391.87	2212.93	-41.21	-178.94	-220.15
	湿地	124.90	130.73	118.77	5.83	-11.96	-6.13
山地荒漠 Mountains & deserts	未利用地	169.80	176.21	145.33	6.41	-30.88	-24.46
		119078.32	110622.67	110591.16	-31.51	-368.68	-400.19
总计 Total		124473.00	124473.00	124473.00			

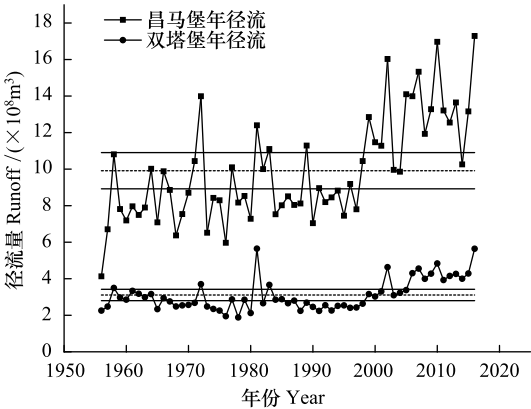


图 5 疏勒河干流径流量变化

Fig.5 Runoff changes in the mainstream of the Shule River

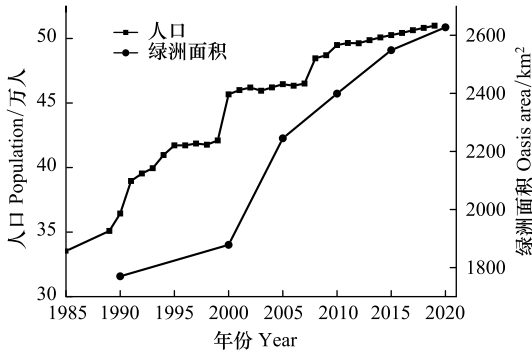


图 6 疏勒河流域人口和绿洲面积变化

Fig.6 Change of population and oasis area in Shule River Basin

天然绿洲在绿洲生态系统中的比例对绿洲可持续发展起到至关重要的作用。疏勒河流域绿洲分布模式主要是内陆河沙漠区模式和干流模式。研究表明这两种模式人工与天然绿洲的适宜面积比例以 4:6 为最适宜,随着人工与天然绿洲面积比例的增加,绿洲的生态环境状况将呈下降趋势^[20]。近 45 年来,疏勒河流域绿洲生态系统人工比例由 1975 年的 3:7 增加到 5:5(表 5),由此表明疏勒河流域绿洲生态环境状况呈现逐渐上升,2005 年达到最好,后逐渐下降的变化趋势,这与潘竟虎等^[14]对 2001—2010 年疏勒河流域生态系统质量综合评价的结果一致。这表明,2000—2005 年对疏勒河流域大规模的移民安置综合开发,导致人工绿洲的扩张已经逐步影响到研究区绿洲生态系统的生态安全。因此今后流域绿洲建设的首要任务是控制耕地开垦规模,

建设防护林草带、合理配置中下游水资源,从而控制人工绿洲扩张速度,稳定甚至恢复过渡带和天然绿洲面积。

表 5 1975—2020 年疏勒河流域人工与天然绿洲面积比例
Table 5 Area proportion of artificial and natural oases in Shule River Basin during 1975—2020

年份 Year	类型 Type	面积/km ² Area	人工/天然 Artificial/natural	占绿洲总面积的百分比/% Percentage of total oasis area
1975	人工绿洲	2167.28	3 : 7	32.44
	天然绿洲	3227.40		67.56
1990	人工绿洲	2178.31	3 : 7	32.67
	天然绿洲	3240.35		67.33
2000	人工绿洲	2228.10	3 : 7	34.62
	天然绿洲	3198.10		65.38
2005	人工绿洲	2530.78	4 : 6	40.27
	天然绿洲	3044.82		59.73
2010	人工绿洲	2661.04	4 : 6	42.33
	天然绿洲	3006.72		57.67
2015	人工绿洲	2777.79	4 : 6	44.35
	天然绿洲	2969.27		55.65
2020	人工绿洲	2837.98	5 : 5	45.34
	天然绿洲	2956.89		54.66

由于过渡带在人工绿洲起到防护作用,在表中人工绿洲与自然绿洲比例变化中将过渡带和自然绿洲面积合并统计

5 结论

本文选择疏勒河流域绿洲作为主要研究对象,利用遥感方法重构了近 45 年来该区域的绿洲格局和结构数据,并分析了疏勒河流域绿洲的分布模式和时空变化,探讨了绿洲变化原因及人工绿洲和自然绿洲适宜比例,得出主要结论如下:

- 1) 2020 年疏勒河流域绿洲生态系统面积为 5790.24 km²,人工绿洲占 45.29%,天然绿洲占 51.07%,过渡带占 3.64%。绿洲主要的分布模式为内陆河沙漠区模式和干流模式。
 - 2) 疏勒河流域人工绿洲以扩张为主,自然绿洲和过渡带以衰退为主。根据变化速率分为两个阶段,1975—2000 年绿洲缓慢变化阶段;2000—2020 年绿洲加速变化阶段。绿洲主要变化区域分布在石油河下游的花海绿洲、疏勒河干流的玉门绿洲和瓜州绿洲以及党河下游敦煌绿洲。
 - 3) 疏勒河流域绿洲土地类型变化主要是荒漠类型以及天然绿洲和过渡带的草地类型转变为人工绿洲的耕地。
 - 4) 流域内径流量的增加为人工绿洲的扩张提供了必要条件,而人口的激增成为 2000—2005 年疏勒河流域绿洲剧烈变化的主要原因,人工/自然绿洲比例的增加已经影响到研究区绿洲生态系统的稳定性。
- 通过对疏勒河流域绿洲格局、结构变化的研究表明,绿洲的开发过程中应控制人工绿洲的扩张规模,保持人工绿洲、天然绿洲和过渡带的结构适度比例,从而实现绿洲的稳定发展。

参考文献 (References):

[1] 申元村,汪久文,武光和,韩德麟. 中国绿洲. 开封: 河南大学出版社, 2001.

[2] 王涛. 我国绿洲化及其研究的若干问题初探. 中国沙漠, 2010, 30(5): 995-998.

[3] 巩杰,谢余初,高彦净,孙朋,钱大文. 1963—2009 年金塔绿洲变化对绿洲景观格局的影响. 生态学报, 2015, 35(3): 603-612.

[4] 贾珍珍,巩杰,张影. 近 35a 来疏勒河中下游绿洲化-荒漠化时空变化. 干旱区研究, 2016, 33(6): 1294-1302.

[5] 李汝嫣,颀耀文,姜转芳. 面向对象的天然绿洲与人工绿洲区分——以民勤县湖区绿洲为例. 遥感技术与应用, 2020, 35(4): 873-881.

[6] 常学礼,季树新,乔荣荣,白雪莲,王理想. 基于 NDVI 绿洲-荒漠过渡带宽度识别——以河西走廊中部荒漠绿洲为例. 生态学报, 2020,

- 40(15): 5327-5336.
- [7] 孙帆, 王弋, 陈亚宁. 塔里木盆地荒漠-绿洲过渡带动态变化及其影响因素. 生态学报, 2020, 39(10): 3397-3407.
- [8] 赵文智, 常学礼. 河西走廊水文过程变化对荒漠绿洲过渡带 NDVI 的影响. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(7): 1561-1571.
- [9] Fu Q, Hou Y, Wang B, Bi X, Li B, Zhang X S. Scenario analysis of ecosystem service changes and interactions in a mountain-oasis-desert system: a case study in Altay Prefecture, China. Scientific Reports, 2018, 8: 12939.
- [10] Wei H J, Xu Z H, Liu H M, Ren J H, Fan W G, Lu N C, Dong X B. Evaluation on dynamic change and interrelations of ecosystem services in a typical mountain-oasis-desert region. Ecological Indicators, 2018, 93: 917-929.
- [11] 康婷婷, 李增, 高彦春. 西北干旱区山地-绿洲-荒漠系统生态恢复综合效益评估. 生态学报, 2019, 39(20): 7418-7431.
- [12] 林慧龙, 肖金玉, 侯扶江. 河西走廊山地-荒漠-绿洲复合生态系统耦合模式及耦合宏观经济价值分析——以肃南山地-张掖北山地区荒漠-临泽绿洲为例. 生态学报, 2004, 24(5): 965-971.
- [13] 王让会, 马英杰, 张慧芝, 杨发相, 孙洪波, 黄俊芳. 山地、绿洲、荒漠系统的特征分析. 干旱区资源与环境, 2004, 18(3): 1-6.
- [14] 王让会, 张慧芝, 黄青. 全球变化背景下干旱区山地-绿洲-荒漠系统耦合关系的特征及规律. 科学通报, 2006, 51(S1): 61-65.
- [15] 张凤华. 干旱区绿洲、山地、荒漠系统耦合效应及其功能定位——以玛纳斯河流域为例. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 52-56.
- [16] 王根绪, 张钰, 刘桂民, 陈玲. 马营河流域 1967—2000 年土地利用变化对河流径流的影响. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2005, 35(7): 671-681.
- [17] Li S, Zhang Z S, Wang T, Yan C Z, Du H Q. Oasis functional stability evaluation based on multiple indicators, northwest China. Acta Geologica Sinica-English Edition, 2020, 94(3): 624-636.
- [18] 赵文智, 杨荣, 刘冰, 杨淇越, 李芳. 中国绿洲化及其研究进展. 中国沙漠, 2016, 36(1): 1-5.
- [19] Sun F, Wang Y, Chen Y N, Li Y P, Zhang Q F, Qin J X, Kayumba P M. Historic and simulated desert-oasis ecotone changes in the arid Tarim River Basin, China. Remote Sensing, 2021, 13(4): 647.
- [20] 郭宏伟, 徐海量, 凌红波, 樊自立, 赵新风, 张鹏. 塔里木河流域人工与天然绿洲转化过程与适宜比例初探. 土壤通报, 2017, 48(3): 532-539.
- [21] 陈丽红, 刘普幸, 花亚萍. 基于 RSEI 的疏勒河流域生态质量综合评价及其成因分析. 土壤通报, 2021, 52(1): 25-33.
- [22] 李曼, 张洁, 李园园. 1985 年—2010 年疏勒河流域生态系统服务价值评估. 山西师范大学学报: 自然科学版, 2019, 33(3): 56-61.
- [23] Xie Y W, Bie Q, Lu H, He L. Spatio-temporal changes of oases in the Hexi Corridor over the past 30 years. Sustainability, 2018, 10(12): 4489.
- [24] 潘竞虎, 董磊磊. 2001—2010 年疏勒河流域生态系统质量综合评价. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2907-2915.
- [25] 齐敬辉. 疏勒河流域绿洲生态演变研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [26] 孙栋元, 胡想全, 金彦兆, 张云亮, 李元红. 疏勒河中游绿洲天然植被生态需水量估算与预测研究. 干旱区地理, 2016, 39(1): 154-161.
- [27] 岳东霞, 陈冠光, 朱敏翔, 郭晓娟, 周妍妍, 李凯, 王东, 郭建军, 曾建军. 近 20 年疏勒河流域生态承载力和生态需水研究. 生态学报, 2019, 39(14): 5178-5187.
- [28] 甘肃省疏勒河流域水资源局. 甘肃省疏勒河流域概况 (2019-01-11) [2021-05-11]. http://slt.gansu.gov.cn/slhlglj/lygk/lygk_s/201611/t20161111_93070.html.
- [29] 李森, 颜长珍. 近 20 年来河西走廊人工绿洲演变及人为因素分析. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 92-98.
- [30] 王新源, 刘世增, 陈翔舜, 王小军, 王彬, 万翔. 河西走廊绿洲面积动态及其驱动因素. 中国沙漠, 2019, 39(4): 212-219.
- [31] 罗格平, 陈嘻, 周可法, 叶民权. 三工河流域绿洲时空变异及其稳定性研究. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2002, 32(6): 521-528.
- [32] 王林林, 刘普幸. 近 38 年来格尔木河中下游绿洲时空演变及其与人类活动的关系. 土壤, 2016, 48(3): 597-605.
- [33] 董敬儒, 颜耀文, 段含明, 王晓云, 李汝嫣. 黑河流域绿洲变化的模式与稳定性分析. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1048-1056.
- [34] 武磊, 李常斌, 王刘明, 谢旭红, 张媛, 魏健美. 基于 ESA-LUC 和 MODIS-NDVI 的西北干旱荒漠-绿洲体系分类阈值及应用. 中国沙漠, 2020, 40(6): 139-150.
- [35] Xie Y W, Wang G S, Wang X Q, Fan P L. Assessing the evolution of oases in arid regions by reconstructing their historic spatio-temporal distribution: a case study of the Heihe River Basin, China. Frontiers of Earth Science, 2017, 11(4): 629-642.
- [36] 谢家丽, 颜长珍, 李森, 李波. 近 35 年内蒙古阿拉善盟绿洲化过程遥感分析. 中国沙漠, 2012, 32(4): 1142-1147.
- [37] Hao L N, Su X L, Singh V P, Zhang L, Zhang G X. Suitable oasis and cultivated land scales in arid regions based on ecological health. Ecological Indicators, 2019, 102: 33-42.
- [38] Yu L, Wang J, Gong P. Improving 30 m global land-cover map FROM-GLC with time series MODIS and auxiliary data sets: a segmentation-based approach. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(16): 5851-5867.
- [39] 廖杰, 王涛, 薛娟. 近 55 年来黑河流域绿洲演变特征的初步研究. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1426-1441.
- [40] 谢余初, 巩杰, 钱大文. 绿洲时空变化数量方法的述评. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1247-1254.
- [41] Bao C, Fang C L. Water resources constraint force on urbanization in water deficient regions: a case study of the Hexi Corridor, arid area of NW China. Ecological Economics, 2007, 62(3/4): 508-517.
- [42] 陈冠光. 疏勒河下游地下水埋深与土壤理化性质变化对植物群落的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.