

卢调雪,杨林山,冯起,等.近20年张掖盆地绿洲结构和规模变化及其影响因素[J].中国沙漠,2023,43(6):131-141.

近20年张掖盆地绿洲结构和规模变化及其影响因素

卢调雪^{1,2}, 杨林山¹, 冯起¹, 朱猛¹, 李乃玉^{1,3}

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院,甘肃兰州730000; 2.中国科学院大学,北京100049; 3.甘肃农业大学,甘肃兰州730070)

摘要:为明晰内陆河流域绿洲化特征及其驱动因素,以黑河流域张掖盆地绿洲为研究对象,根据土地利用和归一化植被指数(NDVI)数据反演得到2000—2020年张掖盆地绿洲规模连续数据,分析张掖盆地绿洲规模和内部结构演变规律,结合盆地近20年经济、人文、水文资源等数据厘清驱动绿洲演变的关键因素。结果表明:近20年张掖盆地绿洲规模扩张了485.78 km²,整体呈现出荒漠向绿洲转化的趋势;绿洲内部土地利用类型以耕地为主,近20年间耕地面积增加最多,相对于2000年增长了19.00%,而林地面积减少最多,相对于2000年减少了25.38%;绿洲规模和内部结构变化受自然因素和人类活动的共同作用,其中经济发展与人口增加对绿洲规模扩张和内部结构变化起直接作用,水资源对绿洲扩张起决定性作用。

关键词: 张掖盆地; 绿洲规模; 绿洲结构; 驱动因素

文章编号: 1000-694X(2023)06-131-11

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00053

中图分类号: P96

文献标志码: A

0 引言

绿洲作为干旱区特有的地理景观,为干旱区社会经济发展提供了重要场所,尤其以灌溉农业为主的人工绿洲是干旱区绿洲的精华,其规模和结构的稳定关乎区域人类生存和社会经济发展^[1-3]。中国的绿洲主要分布在贺兰山以西的干旱区,面积仅占干旱区面积的5%,却支撑起了干旱区95%的经济发展,养活了干旱区90%的人口,在干旱区中占据极其重要的地位^[4]。

张掖盆地位于河西走廊中段,南部的祁连山脉是维持河西走廊绿洲规模的水源地,北部为长期剥蚀的低山残丘,以沙漠和戈壁为主,中部为走廊平原地带,发育了众多不同规模的绿洲,是绿洲经济发展的核心地带^[5]。20世纪90年代后,在自然环境和人类活动的双重影响下,张掖盆地绿洲规模和内部结构发生了明显变化,随着人类活动强度和频度的加强,绿洲的生态环境和社会经济可持续发展

面临严峻挑战^[6]。另外,随着中国新一轮西部大开发战略和国家丝绸之路经济带的全面实施,河西走廊成为关键纽带^[7],张掖盆地绿洲也担负重要使命。因此,开展张掖盆地绿洲规模与内部结构变化及其驱动因素研究,对于干旱区生态环境保护、水土资源合理利用和社会经济可持续发展具有重要作用。

以往关于绿洲规模和内部结构变化的研究以土地利用反映的阶段特征为主,关于绿洲规模和内部结构连续性变化的研究较少。近年来,随着遥感技术的发展,归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)成为常见表征植被状况的指标,可以综合反映研究区域植被覆盖和生物量的变化情况^[8]。这使得利用NDVI数据研究绿洲规模和内部结构的连续性变化成为可能,但是基于NDVI数据确定绿洲与非绿洲边界时在阈值选取上还存在较大争议,有学者在研究黑河流域NDVI时序和天然植被面积变化时分别将0.13和0.30作为区分绿洲和非绿洲的阈值^[9-10],亦有学者在研究石

收稿日期:2023-02-03; 改回日期:2023-05-10

资助项目:国家自然科学基金项目(42001035);中国科学院青年创新促进会会员项目(2022435);甘肃省科技计划项目(21ZD4NF044-02)

作者简介:卢调雪(1999—),女,甘肃平凉人,硕士研究生,主要从事内陆河生态水文研究。E-mail: lutiaoxue22@mailsucas.ac.cn

通信作者:杨林山(E-mail: yanglsh08@lzb.ac.cn)

羊河流域植被面积变化时将0.2作为阈值^[11]。可见在以往研究中利用NDVI反演绿洲时,对于不同区域所采用的阈值不同,对于同一区域所采用的阈值也不相同,且对于整个研究时段都采用同一阈值。实际上多年NDVI序列通常由年最大/平均NDVI生成^[12],由于NDVI原始数据缺失或质量较差,生成的多年NDVI序列存在系统误差,因而整个时段采用同一阈值会造成误差累积。此外,以往研究中绿洲反演阈值的确定比较主观,缺乏理论依据,而基于遥感解译的不同时期土地利用数据能为绿洲范围的NDVI阈值确定提供参考。

因此,本文利用张掖盆地多期土地利用数据和NDVI数据,以土地利用类型中耕地、林地、中高覆盖草地所反映的绿洲面积为基准,确定2000、2005、2010、2015、2018年的NDVI阈值,利用连续的NDVI序列按阈值年份就近原则,反演2000—2020年连续的绿洲规模,结合张掖盆地的经济、人口、灌溉用水量等数据,试图解答以下科学研究问题:①分析张掖盆地绿洲规模及内部结构演变规律;②厘清驱动张掖盆地绿洲规模变化的关键因素。

1 研究区概况

张掖盆地位于河西走廊中部(38°32′—39°49′N、99°18′—100°49′E,图1),包括张掖市甘州区、临泽县和高台县,面积约4 240 km²,呈东南—西北走向,

南与祁连山脉相连,北与巴丹吉林沙漠接壤^[13]。盆地三面环山,地势自东南向西北倾斜,中部为倾斜平原,分为南部山前冲洪积戈壁平原和中部冲洪积细土平原两类^[14]。盆地属于典型的温带大陆性干旱气候,具有降水少、蒸发强烈、昼夜温差大、日照时间长等特点,年平均气温7.6℃,年降水量106.7 mm,降水集中在6—9月^[15]。

张掖盆地水资源主要来源于发源于祁连山区的黑河、梨园河和山丹河的河川径流,多年平均年径流量分别为16亿、1亿、3.5亿m³,为维持张掖盆地绿洲的稳定提供了重要水源^[16]。盆地内集中了黑河流域88%以上的人口和GDP,其用水量占黑河流域用水总量的70%^[17],是黑河流域主要经济区、粮食主产区和水资源消耗区^[18]。近20年该区域人口增长了约3.7万人,地区生产总值增加了404.62亿元,灌溉用水量增加了0.47亿m³,人类活动对绿洲的改造显著^[19]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文选取中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>) 2000、2005、2010、2015、2018年的土地利用数据,基于ArcGIS进行栅格裁切获得张掖盆地不同时期土地利用数据,该数据集

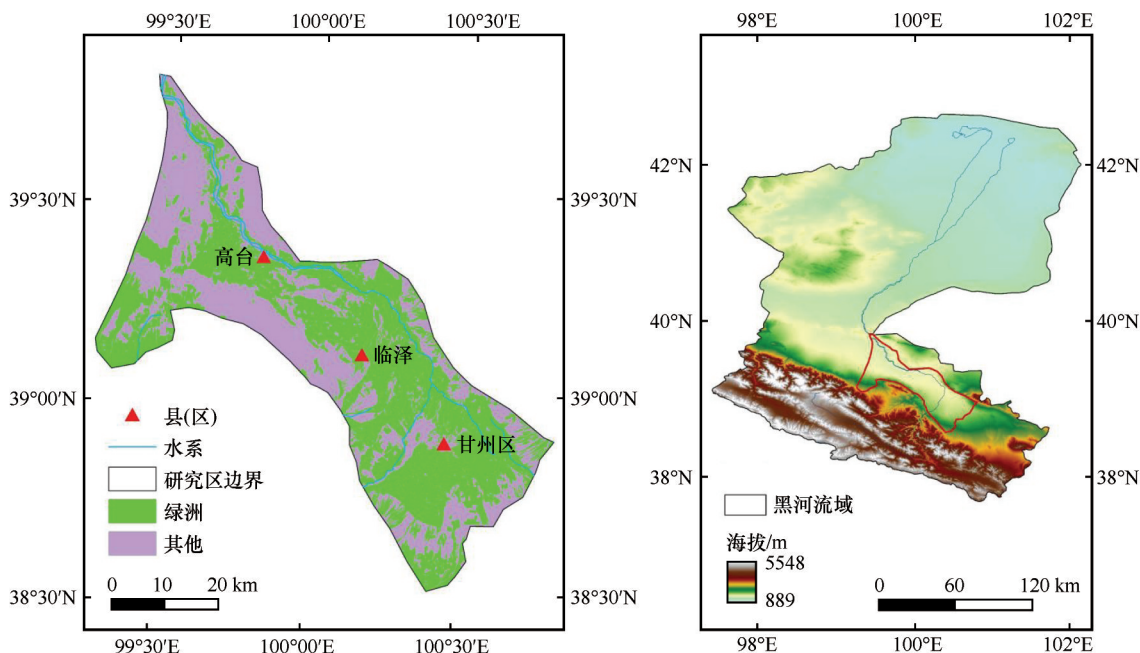


图1 张掖盆地范围及绿洲空间分布

Fig.1 Boundary of Zhangye Basin and spatial distribution of oases

的空间分辨率为30 m,包括耕地、林地、草地、水域、城乡、工矿、居民用地和未利用土地6个一级类型以及25个二级类型。根据张掖盆地的地类特征将土地利用类型划分为耕地、林地、高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地、水域、建筑用地、未利用土地,用于分析张掖盆地绿洲的内部结构变化。

张掖盆地2000—2020年NDVI数据是基于30 m空间分辨率的Landsat 5、7、8遥感影像数据采用国际通用最大值合成法(MVC)计算得到的年最大NDVI^[20],其中2000—2003年遥感影像数据来自Landsat 7,2003—2013年遥感影像数据来自Landsat 5,2013—2020年遥感影像数据来自Landsat 8。利用年最大NDVI序列进行绿洲规模反演,可得到连续的张掖盆地绿洲规模,以此进行张掖盆地绿洲规模变化规律及驱动因素分析。

张掖盆地的社会经济和人口数据来源于《中国县域统计年鉴》,选取2000—2020年张掖盆地甘州区、临泽县和高台县的地区生产总值、第一产业增加值、第二产业增加值、农业机械总动力、财政支出和财政收入、年末总人口等数据。2000—2020年张掖盆地灌溉用水量来源于《甘肃省水资源公报》。这些数据用于分析张掖盆地绿洲规模变化的驱动因素。

2.2 研究方法

2.2.1 NDVI反演绿洲的阈值确定

本文假设土地利用类型中耕地、林地和中高覆盖草地组成的范围为绿洲规模。基于2000、2005、2010、2015、2018年土地利用类型中耕地、林地和中高覆盖草地的面积,得到5期土地利用数据代表的绿洲面积,通过设置NDVI值提取大于该值的面积作为NDVI反演绿洲面积,并与对应年份土地利用数据得到的已知绿洲面积进行比较,当两者面积最接近时将该NDVI值确定为该年份反演绿洲面积的NDVI阈值,其他年份的绿洲反演面积按照就近年份确定的NDVI阈值进行处理,从而得到2000—2020年连续的绿洲规模变化序列。

2.2.2 相关性分析

影响绿洲规模的因素主要包括经济、人口、灌溉用水量,本文采用相关性来考察张掖盆地绿洲规模与地区生产总值、第一产业增加值、第二产业增加值、财政支出、农业机械总动力、人口、灌溉用水量之间的关系。相关性分析是研究变量间密切程

度的统计方法,度量其相关性最常用的是皮尔逊相关系数(又称积距相关系数)^[21]。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中: r 是皮尔逊相关系数; x_i 表示自变量值; y_i 表示因变量值; \bar{x}, \bar{y} 表示自变量、因变量平均值。两个变量之间的相关性是否显著根据 P 值大小来判断,当 P 值小于0.05时认为两个变量之间显著相关。

2.2.3 多元线性回归

为研究不同因素对绿洲规模的影响程度,利用多元线性回归分析,将绿洲规模视为经济、人口、灌溉用水量等因素的函数,建立绿洲规模与各因素之间的线性关系为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2)$$

式中: y 表示绿洲规模; x_1, x_2, \cdots, x_k 表示经济、人口、灌溉用水量等驱动因素; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_k$ 为各影响因素的回归系数; ε 表示回归误差。

回归方程的显著性检验通常采用F检验。

$$F = \frac{\sum (\hat{y} - \bar{y})^2 / k}{\sum (y - \hat{y})^2 / n - k - 1} \quad (3)$$

式中: y 表示样本值; \hat{y} 表示样本回归值; \bar{y} 表示样本平均值; n 表示样本数量; k 表示自变量数量。计算得 F 之后,给定显著水平 $\alpha=0.05$ 。

3 结果

3.1 绿洲内部土地利用变化特征

张掖盆地2000、2005、2010、2015、2018年的土地利用分布格局如图2所示。从土地利用分布格局来看,盆地中耕地分布最广;草地主要分布在高台县西南部和甘州区外围等盆地周边区域,盆地中部也有零星分布;林地以块状分散于耕地、草地、水域之间,构成了风沙防护林带;水域主要是贯穿整个盆地的黑河河道兼有少量湿地和塘坝等;建筑用地较少且集中分布于经济较发达的城区;未利用土地大部分以荒漠和戈壁的景观分布于盆地边缘地带,在临泽县和高台县分布较多。从5期土地利用类型空间分布对比来看,2000—2018年间张掖盆地土地利用类型的分布格局没有发生显著变化。根据统计的土地利用类型面积(表1),张掖盆地中未利用土地的面积最大,占比达41.6%,其次为耕地和低覆

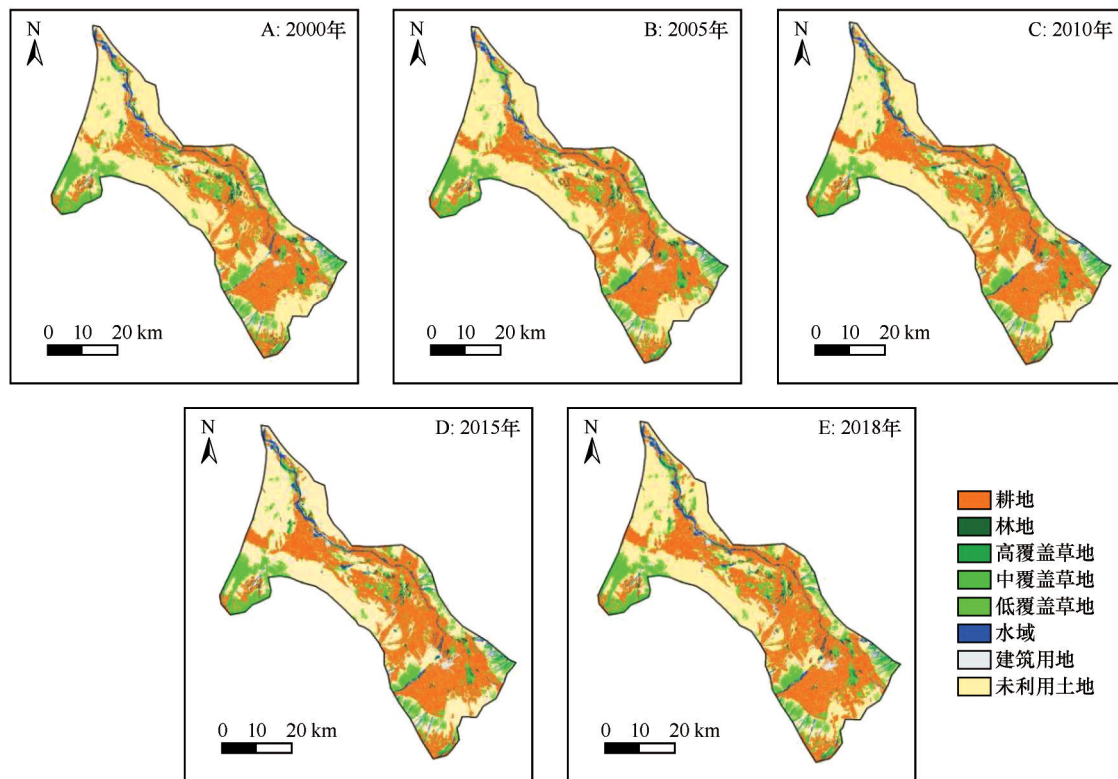


图2 张掖盆地5期土地利用类型分布

Fig.2 Distribution of land use types in Zhangye Basin in the five stages

表1 张掖盆地5期各土地利用类型面积统计(km²)Table 1 Statistics of the area for the different land use types in Zhangye Basin in the five stages (km²)

土地利用类型	年份				
	2000	2005	2010	2015	2018
耕地	1 821.20	1 974.10	2 103.98	2 148.00	2 167.96
林地	107.40	92.89	81.30	79.55	80.14
高覆盖草地	7.60	6.79	8.71	10.50	16.14
中覆盖草地	49.49	47.68	49.73	47.84	48.67
低覆盖草地	683.33	668.32	641.96	630.52	673.27
水域	184.57	188.89	189.18	195.52	197.40
建筑用地	165.10	173.56	185.38	208.97	235.12
未利用土地	2 834.02	2 702.21	2 597.25	2 533.47	2 434.02

盖草地,占比分别为37.0%和11.5%,面积最小的是高覆盖草地,占比仅为0.28%。

根据张掖盆地土地利用面积数据(表1)和2000—2018年土地利用转移矩阵(表2),近20年张掖盆地绿洲内部各土地利用类型面积均发生变化,其中耕地面积转入了560.98 km²,转出了214.25 km²,增加了346.73 km²,2018年相对2000年增长了19.0%,增加的耕地面积主要由未利用土地、低覆盖草地和建

筑用地转移而来,三者转移的面积分别为338.12、80.52、78.59 km²,其中未利用土地转移面积最多,占耕地增加面积的97.5%,由此可以看出开垦荒地是耕地面积增加的主要原因;林地面积近20年间净减少了27.26 km²,相对减少了25.38%,其中减少的面积大部分转移为耕地。

2000—2018年高覆盖草地面积净增加了8.54 km²,2018年相对于2000年增长了112.37%,主要由

表 2 2000—2018 年张掖盆地土地利用转移矩阵(km²)

Table 2 Transformation matrix for the different land use types in Zhangye Basin from 2000 to 2018 (km²)

2000 年	2018 年								总计
	耕地	林地	高覆盖草地	中覆盖草地	低覆盖草地	水域	建筑用地	未利用土地	
耕地	1 606.58	6.18	2.32	3.21	34.56	17.54	97.18	53.26	1 820.83
林地	32.12	58.42	0.22	0.33	5.08	3.19	1.49	6.55	107.40
高覆盖草地	1.19	0.08	4.21	0.37	0.16	1.37	0.00	0.22	7.60
中覆盖草地	8.92	0.15	0.32	32.91	2.76	1.96	0.31	2.16	49.49
低覆盖草地	80.52	4.58	1.11	3.97	517.12	10.23	10.52	54.74	682.79
水域	21.52	0.56	1.68	2.61	11.19	126.07	1.17	19.77	184.57
建筑用地	78.59	0.43	0.11	0.05	0.92	0.48	82.71	1.81	165.10
未利用土地	338.12	9.74	6.17	5.22	100.96	36.56	41.74	2 295.51	2 834.02
总计	2 167.56	80.14	16.14	48.67	672.75	197.40	235.12	2 434.02	5 851.79

未利用土地转移而来;中覆盖草地面积近 20 年间净减少了 0.82 km²,相对减少 1.66%,主要转移为耕地。2000—2018 年间的水域面积转入了 71.33 km²,转出 58.5 km²,增加 12.83 km²,相对于 2000 年增长 6.95%,增加的面积主要是通过未在利用土地内开挖塘坝、修建人工湿地等设施转移而来;近 20 年间建筑用地净增加了 70.02 km²,相对于 2000 年增长 42.41%,建筑用地扩张以占用周围的耕地、草地和未利用土地为主,由此可见张掖盆地受人类活动影响,城镇的建设规模逐渐扩大。

总之,过去近 20 年张掖盆地绿洲内部耕地、高覆盖草地、建筑用地、水域面积增加,2018 年相对于 2000 年分别增长了 19.00%、112.37%、42.41%、6.95%,中覆盖草地、林地面积减少,相对于 2000 年分别减少了 1.66%、25.38%。绿洲内部各土地利用类型面积均有变化,最明显的是建筑用地和耕地,其次为水域和林地,其他土地利用类型面积小幅波动。

3.2 绿洲规模变化特征

2000—2020 年张掖盆地绿洲规模依据 2000—2020 年 *NDVI* 数据反演得到,为验证本文通过 *NDVI*

阈值确定绿洲规模方法的可靠程度,需要对方法中所涉及的土地利用数据所代表的绿洲面积与 *NDVI* 反演绿洲面积两者数据之间进行对比分析。通过计算得到 2000、2005、2010、2015、2018 年土地利用数据所代表的绿洲面积与 *NDVI* 反演绿洲面积相对误差(表 3),两者数据之间的误差均小于 1%,2000 年土地利用数据中的绿洲面积与 *NDVI* 反演绿洲面积之间误差最大,仅为 0.52%,2005 年和 2010 年的误差最小,接近于 0,说明通过此方法确定的 *NDVI* 阈值能从数量上准确地反演绿洲规模,具有可靠性。

从空间上验证反演绿洲的分布格局,以 5 期土地利用数据所确定的绿洲范围为背景,将 *NDVI* 反演的绿洲范围进行叠置分析(图 3),可见除个别区域两者的绿洲范围在空间上存在差异外,总体上 *NDVI* 反演的绿洲范围与土地利用数据所确定的绿洲范围基本重合,说明两种方式得到的绿洲分布范围在空间上对应良好,再次证明了基于 *NDVI* 阈值反演绿洲范围的可靠性。据此,基于该方法将 2000—2020 年张掖盆地年最大 *NDVI* 按年份就近原则反演得到近 20 年张掖盆地绿洲规模的时间序列。

表 3 张掖盆地绿洲反演的 *NDVI* 阈值、绿洲面积及相对误差

Table 3 *NDVI* threshold, oasis area and relative error of oasis inversion in Zhangye Basin

项目	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
<i>NDVI</i> 阈值	0.28	0.29	0.32	0.41	0.37
<i>NDVI</i> 反演绿洲面积/km ²	1 996.12	2 121.48	2 243.73	2 286.63	2 323.48
土地利用绿洲面积/km ²	1 985.78	2 121.48	2 243.73	2 285.90	2 313.04
误差/%	0.52	0	0	0.03	0.45

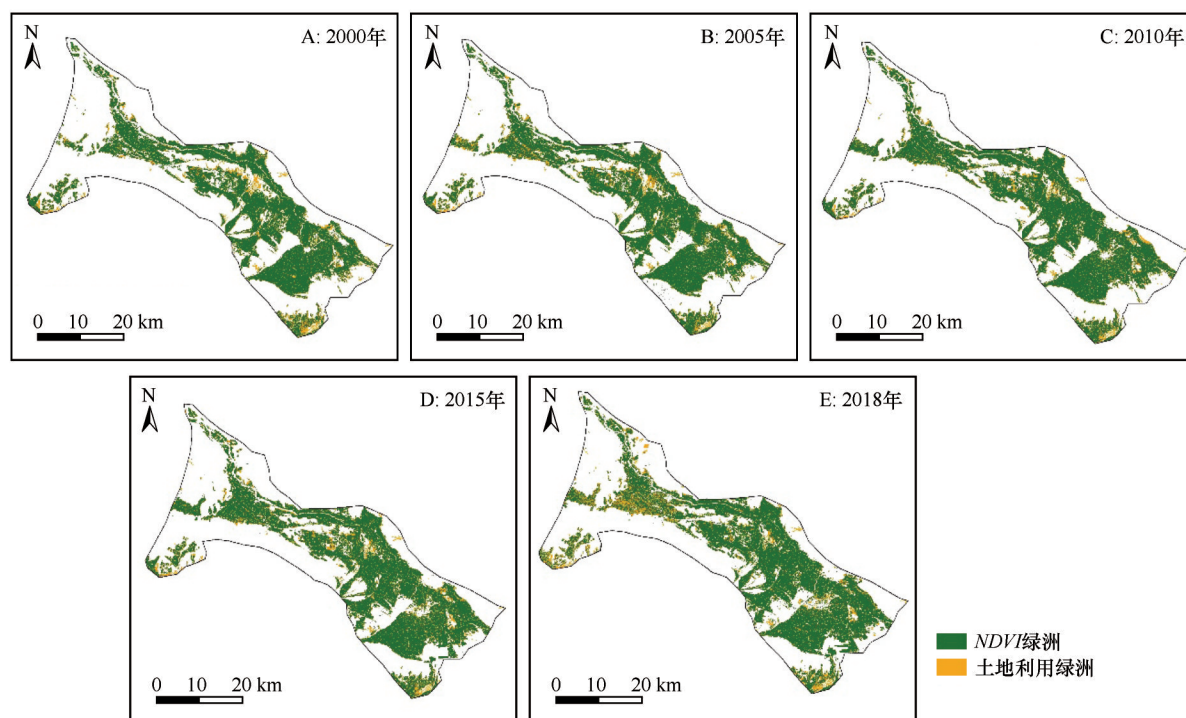


图3 张掖盆地5期NDVI反演绿洲范围与土地利用确定的绿洲范围空间对比

Fig.3 Spatial comparison between the oasis boundary determined by land use and NDVI inversion in the Zhangye Basin in the five stages

基于NDVI阈值反演的2000—2020年张掖盆地绿洲面积变化如图4所示,2000年张掖盆地绿洲面积为1 996.12 km²,占盆地面积的34%,2020年绿洲面积为2 481.00 km²,占盆地面积的42%,绿洲面积增加了485.78 km²,相对于2000年增长了24.34%,年增长率为23.13 km²,呈显著增长趋势($P<0.05$)。

绿洲在盆地中呈岛屿状分布,绿洲面积的变化必然与其他地类存在转入转出关系。因此本文假

定绿洲面积的变化是在原有土地利用类型格局下进行的,即绿洲面积的增加是通过转入其他土地利用类型实现的。将反演的2000—2020年连续绿洲范围分布与2000、2005、2010、2015、2018年土地利用数据按照年份就近原则进行掩膜处理,得到2000—2020年水域、建筑用地、未利用土地的连续变化序列,图5是张掖盆地内部绿洲、建筑用地、水域、荒漠面积比例。近20年张掖盆地内部荒漠面积最大,但是

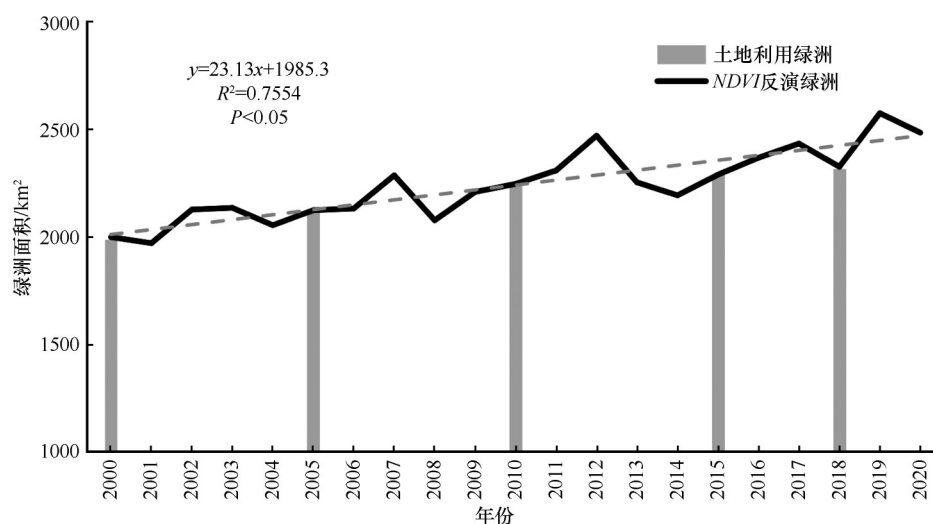


图4 2000—2020年张掖盆地NDVI反演的绿洲面积序列与5期土地利用确定的绿洲面积柱状图

Fig.4 Histogram of oasis area determined by NDVI inversion and land use in five stages in Zhangye Basin from 2000 to 2020

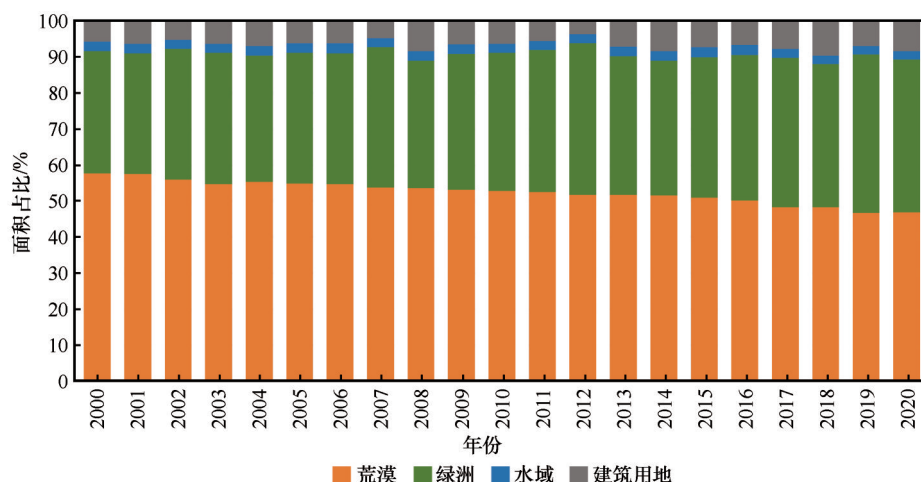


图5 张掖盆地2000—2020年绿洲、建筑用地、水域、荒漠面积比例

Fig.5 Proportion of oasis, building land, water area and desert area in Zhangye Basin from 2000 to 2020

2000年之后逐渐下降,面积由2000年的3 373 km²减小到2020年的2 746 km²,占比从57%降至46%,而绿洲面积在近20年稳步增加,占比从34%增长到42%,大有超过荒漠面积的趋势。由此可见,近20年张掖盆地绿洲规模呈明显扩张趋势,表现为荒漠向绿洲转化的特征。

3.3 绿洲规模变化的影响因素

基于2000—2020年《中国县域统计年鉴》和《甘肃省水资源公报》统计的张掖盆地经济、人口和灌溉用水量与绿洲面积之间的相关关系如图6所示。张掖市地区生产总值与绿洲面积的相关系数为0.85 ($P<0.05$);甘州区、临泽县、高台县3个区域的第一、第二产业增加值与绿洲面积的相关系数分别为0.78和0.80,均呈显著正相关($P<0.05$);甘州区、临泽县、高台县3个区域的财政支出、农业机械总动力与绿洲面积的相关系数分别为0.75、0.73,呈显著正相关($P<0.05$)。综上所述,张掖盆地各经济指标与绿洲规模的相关系数均在0.73以上,呈显著正相关,说明经济发展直接影响绿洲规模。

根据中国县域统计年鉴人口数据,2000—2020年张掖甘州区、临泽县、高台县年末总人口一直增加,3个区域总人口由2000年的79万人增加到2020年的82.7万人,总人口与绿洲面积之间的相关系数为0.67($P<0.05$),原因是随着人口的增加和社会经济的发展,保障人类生存、生活所需的耕地资源数量增加^[22],绿洲规模会相应扩张。

绿洲依水而存在,对于西北干旱地区而言,水

资源对于保障绿洲生态系统稳定起决定性作用,人工绿洲是通过人类修建水利设施形成的灌溉农业区或其他经济活动中心^[23-24],灌溉是绿洲规模扩张和维持的重要手段。虽然灌溉用水量从2000年的22.76亿m³增加到2020年的23.23亿m³,然而灌溉用水量与绿洲面积之间的相关系数仅为0.42($P>0.05$),原因是近20年张掖地区投入大量资金发展节水灌溉农业,水资源利用效率不断提升,因而在保证原有绿洲用水的前提下节约的水资源可用来满足新开发绿洲的用水,故过去20年灌溉用水量与绿洲面积的相关性较低。由此可见,尽管社会经济与绿洲规模相关性较高,是绿洲规模变化的直接因素,而水资源供给是绿洲规模变化的决定性因素。

通过计算每两个指标之间的相关系数发现地区生产总值与其他经济指标之间的相关系数均大于0.9(表4),因此在多元回归分析时选择具有代表性的地区生产总值作为经济指标代表,同灌溉用水量及总人口与绿洲面积之间进行多元线性回归,得到回归方程如下:

$$y = 0.91x_1 + 6.3x_2 + 5.73x_3 + 1368.24 \quad (4)$$

式中: y 为绿洲面积; x_1 为地区生产总值; x_2 为灌溉用水量; x_3 为总人口。对回归方程进行检验, $F(15.69507)>F_{\alpha}(3.197)$,即地区生产总值、灌溉用水量和总人口与绿洲面积之间的线性关系显著成立($R^2=0.73$)。根据回归方程可知,假设其他两个变量不变,地区生产总值每增加1亿元,绿洲面积增加0.91 km²;同理,总人口每增加1万人,绿洲面积增加6.3 km²;灌溉用水量每增加1亿m³,绿洲面积增加5.73 km²。

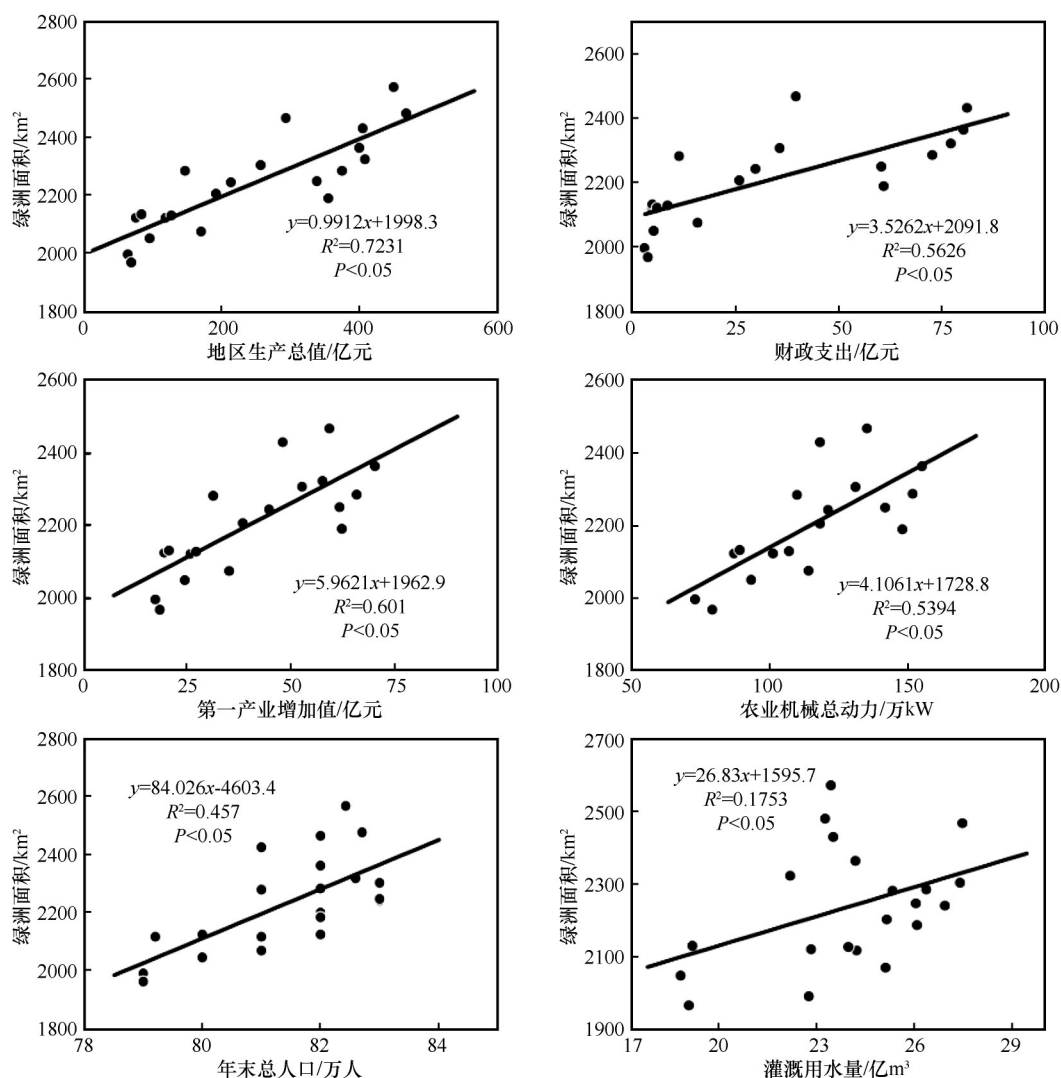


图6 张掖盆地绿洲面积与影响因素关系散点图

Fig.6 Scatter diagram of relationship between oasis area and influencing factors in Zhangye Basin

表4 张掖盆地绿洲影响因素之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient of oasis influencing factors in Zhangye Basin

	地区生产总值	第一产业增加值	第二产业增加值	财政支出	农业机械总动力	灌溉用水量
第一产业增加值	0.95*					
第二产业增加值	0.94*	0.97*				
财政支出	0.99*	0.91*	0.88*			
农业机械总动力	0.91*	0.98*	0.96*	0.86*		
灌溉用水量	0.38	0.63*	0.69*	0.39	0.73*	
年末总人口	0.72*	0.79*	0.83*	0.62*	0.83*	0.67*

*表示两个指标之间的相关性通过了 $P<0.05$ 的显著性检验。

4 讨论

受人类活动影响,张掖盆地绿洲内部结构变化表现为耕地和建筑用地面积明显扩张,水域和高覆盖草地面积略微扩张,中覆盖草地面积轻微缩小,

林地面积明显减少,人工绿洲逐渐取代天然绿洲。耕地面积增加是因为随着人口增加,人类为了获得基本生活物资复耕未利用土地和低覆盖草地,以及农村空心化改造导致部分建筑用地转移为耕地。建筑面积增加是由于大量农村人口向城市转移及

房地产的快速发展,供人类生活和居住的城镇居民用地及与之配套的建筑用地也相应增加。绿洲内部林地减少的主要原因是农民为了庄稼增收,破坏影响作物生长的风沙防护林。水域面积扩张一方面是因为人为修建人工湿地等生态景观,另一方面是因为耕地面积增加,导致灌溉用水量增加,在地势较低的地方形成盐沼地或湿地。

近20年张掖盆地绿洲规模处于稳定扩张态势,通过分析张掖盆地内部结构变化可以看出绿洲规模扩张主要是因为耕地面积增加,经济发展和人口增长是绿洲规模扩张的直接驱动因素。一方面,由于张掖盆地中人工绿洲逐渐代替了天然绿洲,耕地在绿洲中的比重逐渐增大,同时张掖盆地是黑河流域的粮食主产区,也是中国玉米的主要制种基地,农业活动成为当地经济收入的主要方式;另一方面,为了寻求经济最大化,扩大耕地面积成为必然选择,因为扩大耕地面积可以直接获得物质产出及经济收入。这种行为直接驱动耕地规模扩张,绿洲规模也相应扩张。由此可见张掖盆地绿洲受人类活动影响显著。以往的研究结果表明绿洲发展根本取决于水资源量及其时空分布变化^[25-30],然而本文通过计算发现灌溉用水量与绿洲规模之间的相关性不显著,原因主要是经济发展为水利相关科学技术的发展、政策实施与节水灌溉技术的进步创造了条件^[31],节约的水资源可用于满足新开发绿洲的用水成为可能,可见社会经济发展是影响绿洲规模的直接驱动因素,而水资源是影响绿洲规模的根本因素。

本文在连续绿洲规模的反演方法方面进行了探讨,创新点在于提取绿洲面积时通过利用5期土地利用数据反映的绿洲范围作为参考,确定了5个年份的 $NDVI$ 阈值,从而获得过去20年连续的绿洲规模序列,以往研究中研究时段内 $NDVI$ 阈值为定值导致反演绿洲的准确性有待商榷,并存在系统的反演误差。本文中确定的5个年份的 $NDVI$ 阈值通过验证,发现土地利用数据反映的绿洲与 $NDVI$ 阈值提取的绿洲在数量和空间上的误差均比较小,说明在本次研究中使用此方法反演绿洲规模是可靠的。但本研究中也存在一些需要在以后的研究中提高的地方,首先在根据土地利用数据计算绿洲面积时,由于土地利用解译和分类过程中会出现分类不准确的情况,此类问题在土地利用解译中普遍存

在,但该类问题会导致反演得到的绿洲面积与真实面积存在一定误差;其次本文只确定了5个年份的 $NDVI$ 阈值,其他年份的绿洲规模根据已确定年份的阈值提取,可能与实际的绿洲规模有所出入,在今后的研究中需进一步探讨该方法的普适性。

5 结论

利用张掖盆地2000—2018年的土地利用数据和2000—2020年的 $NDVI$ 数据,反演得到2000—2020年连续的绿洲范围,结合张掖盆地经济、人口、灌溉用水量等数据分析了张掖盆地绿洲规模变化和内部结构演变规律及驱动因素。

2000—2020年张掖盆地绿洲面积增加了485.78 km²,年增长速率为23.13 km²,2020年绿洲面积相对于2000年增长了24.34%,呈显著扩张趋势。近20年间张掖盆地绿洲内部各类土地利用类型的面积均发生变化,其中耕地面积增加最多,增加了346.76 km²,相对于2000年增长了19.00%,林地面积减少最多,减少了27.26 km²,相对于2000年减少了25.38%。

经济发展与绿洲规模之间的相关性最高,人口与绿洲规模之间的相关性较高;根据线性回归结果可知假设其他两个变量不变,灌溉用水量每增加1亿m³,绿洲面积增加5.73 km²,此线性回归结果可以解释73%的绿洲面积变异。相关分析结果和多元回归分析结果表明,经济发展与人口增加是绿洲规模变化的直接因素,水资源是绿洲规模变化的根本因素。区域分水政策、节水灌溉技术的进步以及黑河流域的环境治理政策对于绿洲的可持续发展同样具有重要影响。

参考文献:

- [1] 马亚兰,刘普幸.河西走廊金塔绿洲农业生态系统资源环境效应综合评价[J].中国沙漠,2011,31(3):709-715.
- [2] 申元村,汪久文,武光和,等.中国绿洲[M].河南开封:河南大学出版社,2001.
- [3] 郝丽娜,栗晓玲.黑河干流中游地区适宜绿洲及耕地规模确定[J].农业工程学报,2015,31(10):262-268.
- [4] 文星,王涛,薛炯,等.1975—2010年石羊河流域绿洲时空演变研究[J].中国沙漠,2013,33(2):478-485.
- [5] 蒙古军,李正国.河西走廊土地利用格局及影响因素研究:以张掖绿洲为例[J].北京大学学报(自然科学版),2003(2):236-243.
- [6] 唐霞.黑河流域人工绿洲时空演变特征及其驱动力[D].北京:中国科学院大学,2016.
- [7] 蒙古军,李正国.河西走廊张掖绿洲LUCC的驱动力分析[J].

- 地理科学, 2003, 23(4): 464-470.
- [8] Pieter S A B, Clement A K, Bernt J, et al. Improved monitoring of vegetation dynamics at very high latitudes: a new method using MODIS NDVI [J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 100(3): 368-375.
- [9] 顾娟, 李新, 黄春林. 基于时序MODIS NDVI的黑河流域土地覆盖分类研究[J]. 地球科学进展, 2010, 25(3): 317-326.
- [10] 金晓媚, 胡光成, 李文梅. 中国西北地区额济纳绿洲植被盖度与黑河流量的滞后效应研究[J]. 地学前缘, 2008(4): 198-203.
- [11] 任立清, 冉有华, 任立新, 等. 2001-2018年石羊河流域植被变化及其对流域管理的启示[J]. 冰川冻土, 2019, 41(5): 1244-1253.
- [12] 李艳, 张成才, 罗蔚然, 等. 基于改进最大值法合成NDVI的夏玉米物候期遥感监测[J]. 农业工程学报, 2019, 35(14): 159-165.
- [13] 蒋兴国, 郑杰, 叶其炎. 祁连山山水林田湖草保护修复调查研究之一: 张掖祁连山黑河流域生态环境保护的重大意义[J]. 边疆经济与文化, 2018(1): 29-31.
- [14] 盛丹睿, 温小虎, 冯起, 等. 张掖盆地地下水硝酸盐污染与人体健康风险评价[J]. 中国沙漠, 2019, 39(5): 37-44.
- [15] 吴敏, 温小虎, 冯起, 等. 基于随机森林模型的干旱绿洲区张掖盆地地下水水质评价[J]. 中国沙漠, 2018, 38(3): 657-663.
- [16] 王文祥, 王旭清, 蔡月梅, 等. 张掖盆地分层地下水动态特征及其影响因素研究[J]. 地下水, 2019, 41(6): 34-36.
- [17] 连英立. 张掖盆地地下水对气候变化响应特征与机制研究[D]. 北京: 中国地质科学院, 2011.
- [18] 秦欢欢, 郑春苗. 基于宏观经济模型和系统动力学的张掖盆地水资源供需研究[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1): 9-17.
- [19] 程国栋, 肖洪浪. 中国内陆河水资源高效利用与流域生态恢复: 黑河流域水-生态-经济管理试验示范[C]//全国水土保持生态修复研讨会论文集汇编. 2004: 183-186.
- [20] Wang J, Ye B S, Liu F J, et al. Variations of NDVI over elevational zones during the past two decades and climatic controls in the Qilian Mountains, Northwestern China [J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2011, 43(1): 127-136.
- [21] 梁吉业, 冯晨娇, 宋鹏. 大数据相关分析综述[J]. 计算机学报, 2016, 39(1): 1-18.
- [22] 文星. 近2 ka来石羊河流域绿洲化和荒漠化过程[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2012.
- [23] 于琳. 新疆绿洲生态经济系统可持续发展研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [24] 王忠静, 王海峰, 雷志栋. 干旱内陆河区绿洲稳定性分析[J]. 水利学报, 2002(5): 26-30.
- [25] 刁维杰, 赵勇, 翟家齐, 等. 1987—2017年民勤绿洲面积时空演变规律及驱动因素解析[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(10): 106-113.
- [26] 齐敬辉. 疏勒河流域绿洲生态演变研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.
- [27] 周俊菊, 雷莉, 石培基, 等. 石羊河流域河川径流对气候与土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2015, 35(11): 3788-3796.
- [28] 葛晓光, 薛博, 万力, 等. 黑河下游径流量与额济纳绿洲NDVI的滞后模型[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 900-904.
- [29] 何旭强, 张勃, 孙力伟, 等. 气候变化和人类活动对黑河上中游径流量变化的贡献率[J]. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2884-2890.
- [30] 高鑫, 张世强, 叶柏生, 等. 河西内陆河流域冰川融水近期变化[J]. 水科学进展, 2011, 22(3): 344-350.
- [31] 董敬儒, 颀耀文, 段含明, 等. 黑河流域绿洲变化的模式与稳定性分析[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1048-1056.

The change of oasis structure / scale and its influencing factors in Zhangye Basin in recent 20 years

Lu Tiaoxue^{1,2}, Yang Linshan¹, Feng Qi¹, Zhu Meng¹, Li Naiyu^{1,3}

(1. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to clarify the characteristics and driving factors of oasisization in inland river basin, this paper took the oasis in the Zhangye Basin of Heihe River Basin as the research object, obtained the continuous oasis scale data in the Zhangye Basin from 2000 to 2020 based on land use and *NDVI* data inversion, and analyzed the law of change of oasis scale and internal structure in the Zhangye Basin. The key factors affecting oasis change were clarified based on the data of economic, cultural and hydrological resources in the basin in the past 20 years. The results show that the oasis scale in the Zhangye Basin has expanded by 485.78 km² in the recent 20 years, showing a trend of the desert to oasis transformation on the whole. In oasis, the proportion of cultivated land and unused land was the largest, and the cultivated land area increased the most in the past 20 years, increasing 19.00% compared with 2000, while the forest land area decreased 25.38% compared with 2000. The changes of oasis scale and internal structure are influenced by natural factors and human activities. Economic development and population play a direct role in oasis scale expansion, and irrigation water consumption plays a decisive role in oasis scale expansion. The results can provide a basis for the rational development of soil and water resources in the inland river basin and the future layout of the oasis structure.

Key words: Zhangye Basin; oasis scale; oasis structure; driving factors