

梁田田,张永福,夏楠,等.近26年和田绿洲人口对LULC时空变化分析及其生态响应[J].江苏农业科学,2020,48(16):302-308.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.16.056

近26年和田绿洲人口对LULC时空变化分析及其生态响应

梁田田,张永福,夏楠,赵娟,伊木然江·阿卜来提

(新疆大学资源与环境科学学院/新疆大学绿洲生态教育部重点实验室,新疆乌鲁木齐 830046)

摘要:研究人口对于绿洲地区土地利用与覆盖(LULC)变化的驱动作用对研究全球环境变化具有重要意义。对1992年和2017年的人口数据及影像文件进行处理,采用相关性分析、支持向量机等方法研究人口对研究区LULC变化的影响。结果表明:(1)26年间,和田绿洲的人口明显增加。(2)和田绿洲LULC变化明显,建设用地扩张明显,沙地面积增加,水体、未利用地、裸地面积均呈现减少趋势。(3)人口变化对和田绿洲LULC变化的驱动作用包括直接驱动和间接驱动2种。直接驱动表现为建设用地向南扩张的趋势。间接驱动表现为草地、沙地、水体面积等的变化。(4)26年间,和田绿洲生态服务价值降低,其生态环境有一定恶化的趋势,当地相关部门需加以治理。

关键词:和田绿洲;LULC;驱动力;相关性分析;SVM;生态响应

中图分类号:F323.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)16-0302-07

全球环境变化引起的一系列环境问题已然成为人类面临的严重威胁。随着全球环境变化程度的加剧和人类活动范围的扩大,土地利用与覆盖(land use and land cover, LULC)在时间及空间尺度

上都发生了剧烈变化,这种变化会对地球表层的生态系统产生直接影响,最终危及人类本身^[1-2]。由于LULC变化快且变化程度剧烈,人们已经逐渐认识到LULC变化的重要性,并展开了一系列深入研究。作为新疆典型绿洲区域,和田绿洲的资源十分有限,而绿洲人口及经济压力却越来越大,使得资源与需求之间产生了矛盾^[3]。

国内外学者在不同时空尺度上对LULC的变化

收稿日期:2019-09-19

作者简介:梁田田(1996—),女,山西吉县人,硕士研究生,主要从事国土资源利用与评价研究。E-mail:18203414670@163.com。

通信作者:张永福,硕士,副教授,主要从事国土资源评价与规划研究。E-mail:870587570@qq.com。

技术已被广泛应用,科研人员正在研究用基因工程技术将固氮基因转移从而使植物提高固氮效率,同时也在建构新的固氮微生物,开辟新的研究方向,发展前景非常广阔^[13]。

参考文献:

- [1] 韩斌,孔继君,邹晓明,等.生物固氮研究现状及展望[J].山西农业科学,2009,37(10):86-89.
- [2] Mrkovački N, Milic V. Use of *Azotobacter chroococcum* as potentially useful in agricultural application[J]. Annals of Microbiology, 2001, 51(2):145-158.
- [3] 毛晓洁,王新民,赵英,等.多功能固氮菌筛选及其在土壤生态修复中的应用[J].生物技术通报,2017,33(10):148-155.
- [4] Kumar V, Narula N. Solubilization of inorganic phosphates and growth emergence of wheat as affected by *Azotobacter chroococcum* mutants[J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 28(3):301-305.
- [5] 刘晨,贾凤安,吕睿.我国耕地重金属污染现状及固氮菌在

其修复中的作用[J].江苏农业科学,2018,46(3):21-27.

- [6] 陈今朝,向邓云.生物固氮的研究与应用[J].涪陵师专学报,2000,16(2):93-96.
- [7] 赵斌,何绍江.微生物学实验[M].北京:科学出版社,2002:254-255.
- [8] 樊佳,林文和,郭子玮,等.固氮菌分离及其荚膜染色综合性实验[J].实验技与管理,2018,35(1):66-68.
- [9] 张世清,李庆洋,高建明,等.24株剑麻根际联合固氮菌的16S rDNA序列分析[J].江西农业学报,2011,23(11):132-134.
- [10] 王琦,李文涛,张沛东,等.鳃草根际固氮菌的分离鉴定及培养条件的筛选[J].中国水产科学,2017,24(4):791-801.
- [11] 新楠,樊明寿,王海凤.羊草和冰草根际高效固氮菌的分离及鉴定[J].天津农学院学报,2008,15(2):40-42.
- [12] Chen W H, Zheng D F, Feng N J, et al. The effects of gibberellins and mepiquat chloride on nitrogenase activity in *Bradyrhizobium japonicum* [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37(1):1723.
- [13] 张武,杨琳,王紫娟.生物固氮的研究进展及发展趋势[J].云南农业大学学报(自然科学),2015,30(5):810-821.

开展了各方面的研究,包括 LULC 变化的驱动力、机理及过程研究等。LULC 变化的驱动力可系统地分为直接驱动力和间接驱动力^[4],其影响因素分为自然因素和社会经济因素,自然因素中作用较大的有当地的自然条件、气候变化等因素,社会经济因素中作用较为明显的包括当地的经济发展、人口数量及分布变化、社会环境等因素^[5]。

Lambin 等提出,当前 LULC 变化研究的难题是对理论、模型、方法、应用进行综合分析^[6];吉力力·阿不都外力等对中亚地区的 LULC 变化进行了系统研究,发现大规模水土开发活动对于该研究区的 LULC 变化的影响十分明显,并且对该研究区的生态环境造成了严重的负面影响^[7]。

目前关于人口对绿洲 LULC 变化的驱动研究多为定性分析和统计学分析,若将人口变化对 LULC 变化的影响进行量化并精准化,将对 LULC 变化的研究起到非常大的影响^[3,8]。在这种背景下,本研究采用 3S 技术(遥感技术、地理信息系统、全球定位系统)以及多种空间分析方法,定量地研究和田绿洲人口变化对该地区 LULC 变化的影响,并对

LULC 变化所引起的生态响应进行研究。研究典型绿洲区域的 LULC 变化以及人类活动对 LULC 变化的驱动影响,对于研究全球尺度下的生态环境变化具有十分重要的意义^[9]。本研究旨在丰富绿洲地区的 LULC 变化的量化研究,为当地相关政策的制定提供科学依据。

1 研究区概况

和田绿洲位于新疆南部(37°00′~37°30′N, 79°30′~80°30′E)(图 1),南倚昆仑山,北接塔克拉玛干沙漠南缘,其间包括和田市、和田县、墨玉县以及洛浦县。和田绿洲属于典型的暖温带大陆性干旱荒漠气候,风沙活动频繁,多浮尘。绿洲内部植被类型较少,生态系统结构较简单,该区域人口多从事农业活动。玉龙喀什河和喀拉喀什河孕育了整个绿洲,在绿洲内部形成了典型的人工农田绿洲景观系统^[10]。2017 年年底,研究区内总人口 17.05 万人,出生率达 15.72‰,死亡率为 4.16‰,人口自然增长率为 11.55‰。



图1 研究区示意

2 数据来源及方法

2.1 数据来源

本研究选取的 1992 年研究区影像来源于 Landsat-5 卫星 TM 传感器,获取时间为 1992 年 6 月 4 日,该影像包括 7 个波段,空间分辨率为 30 m。2017 年的研究区影像来源于 Landsat-8 卫星 OLI 传感器,获取时间为 2017 年 8 月 28 日,该影像包括 9 个波段,单色波段空间分辨率为 30 m,全色波段空

间分辨率为 15 m。2 幅影像均来源于地理空间数据云。人口数据及经济数据等统计资料均来源于统计年鉴。对于获取的影像,利用 ENVI 5.1 软件进行预处理,先进行大气校正与辐射定标,再根据研究区边界对处理过的影像进行裁剪,最后使用监督分类[支持向量机(SVM)]和人机交互解译的方法对土地利用类型进行分类。本研究参照《国家级基本资源遥感动态信息系统本底数据库建设技术规程》,将土地利用类型划分为耕地、建设用地、草地、

水域、沙地、未利用地、裸地七大类。借助实验室野外调查数据以及其他调研资料,对解译出的数据进行进一步修正,经过一系列修正得到 1992 年和 2017 年 2 期和田绿洲 LULC 类型图。利用混淆矩阵对分类精度进行评价。结果显示,1992 年的 LULC 分类结果总体精度达 96%, Kappa 系数为 0.88,各地类的生产精度和用户精度均为 71.99% ~ 99.00%;对 2017 年所得的解译图进行精度评价,结果显示,LULC 总体分类精度为 97.56%, Kappa 系数为 0.92,各类型的生产精度与用户精度均在 91.43% 以上。通过混淆矩阵进行分类精度评价可知,该分类结果均满足本研究的需要。

2.2 方法

2.2.1 LULC 变化分析

2.2.1.1 土地利用动态变化度 土地利用动态变化度(K)是衡量土地利用动态变化的 1 个指标,可以量化地描述在某一段时间内该研究区土地利用类型及数量变化的情况。计算公式为

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%。 \quad (1)$$

式中: K 表示某一段时间内该研究区土地利用动态变化度; U_a 、 U_b 分别表示该研究区初期、末期某种土地利用类型的面积; T 表示研究初期至研究末期之间的时间间隔,单位一般为年。

根据王丽萍等的分类标准可知,城市的空间扩展速度可分为高速扩展、快速扩展、中速扩展和慢速扩展 4 种类型^[11]。高速扩展型城市的 K 大于 20%,快速扩展型城市的 K 为 14% ~ 20%,中速扩展型的 K 为 8% ~ 14%,慢速扩展型城市的 K 一般会小于 8%。

2.2.1.2 扩展速率 扩展速率(expansion speed,简称 ES)作为 1 个重要指标,常被用来衡量城市用地的扩展规模和速度,主要通过分析研究区某一时间段内的扩展面积的年增长率来实现其衡量目的,计算公式为

$$ES = \left[\left(\frac{U_b}{U_a} \right)^{\frac{1}{T}} - 1 \right] \times 100\%。 \quad (2)$$

2.2.1.3 扩展强度

$$EI = \frac{U_b}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%。 \quad (3)$$

式中: EI 为扩展强度。该公式可对每年的平均扩展速度进行标准化处理,使得每个城市不同时期的扩展速率具有可比性。

刘盛和等根据城市 EI 对城市扩展情况进行分析,将城市扩展速度分为 6 种类型,其中包括高速扩展、快速扩展、中速扩展、低速扩展、缓慢扩展,即 $EI \geq 1.92\%$ 为高速扩张, $1.92\% > EI \geq 1.05\%$ 为快速扩展, $1.05\% > EI \geq 0.59\%$ 为中速扩展, $0.59\% > EI \geq 0.28\%$ 为低速扩展, $0.28\% > EI > 0$ 为缓慢扩展, $EI = 0$ 则表示无扩展现象^[12]。

2.2.1.4 综合扩展指数 采用综合扩展指数(SI)对影响城市扩展的因素进行综合分析,例如城市用地扩展面积、研究初期的城市用地面积和城市用地类型等,对其进行归一化处理可以得到一个综合反映城市扩张的指标 SI ,计算公式如下:

$$SI = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{U} \times \frac{1}{T} \times 1000。 \quad (4)$$

式中: U 表示该研究区某种土地利用类型的面积。

根据李雪瑞的划分标准,按照城市综合扩展指数值将城市扩展分为高速扩展、快速扩展、中速扩展、低速扩展、无扩展等 5 种类型^[13],即当 $SI \geq 0.50$ 时则为高速扩展;当 $0.50 > SI \geq 0.35$ 时则为快速扩展;当 $0.35 > SI \geq 0.20$ 时则为中速扩展;当 $0.20 > SI > 0$ 时则为低速扩展;当综合扩展指数为 0 时则为无扩展^[14]。

2.2.2 基于 Pearson 相关系数的 LULC 变化与人口相关分析 本研究对全局尺度上的人口变化与 LULC 变化进行相关分析采用的是 Pearson 相关性分析方法。通过使用该方法进行分析,来研究在人口发生不同程度的变化时,该研究区的 LULC 将会呈现的变化趋势,以及由人口变化引起的 LULC 各类型之间的转换关系。将人口变化作为自变量,其他各地类的变化作为因变量,求解它们之间的相关性,得出相关系数(r)。 r 的绝对值为 $[-1, 1]$,若 $r > 0$,则表示要素之间呈现正相关;若 $r < 0$,表示负相关。 r 的绝对值越接近 1,则说明 2 个要素的相关关系越密切;越接近 0 则说明相关性越弱^[15]。

2.2.3 生态响应分析 生态服务价值分析

$$VC_0 = \frac{1}{7} \times P \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i。 \quad (5)$$

$$ESV_k = \sum_j A_k \times VC_{kj}; \quad (6)$$

$$ESV_f = \sum_k A_k \times VC_{kf}; \quad (7)$$

$$ESV = \sum_k \sum_f A_k \times VC_{kf}。 \quad (8)$$

式中: ESV 为各种土地利用类型的区域生态系统服务总价值,元/年; VC_0 是 ESV 当量因子的价值量,元/($\text{hm}^2 \cdot \text{年}$); P 为全国粮食价格,元/kg; Q_i 为第 i

年研究区平均粮食产量, kg/hm^2 ; n 为年份数; ESV_k 为 k 种土地利用类型的生态系统服务价值, 元/年; ESV_f 为第 f 项生态服务功能价值, 元/年; A_k 指第 k 种土地利用类型的分布面积, hm^2 ; VC_{kf} 为第 k 种土地利用类型第 f 项生态服务功能价值指数, 元/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{年}$)。

3 结果与分析

3.1 和田绿洲 26 年的人口变化

由图 2 可知, 在 26 年间, 和田绿洲的人口发生了非常大的变化。就和田市、和田县、墨玉县、洛浦县来说, 在 1992 年人口数目分别为 1.44 万、3.79 万、3.46 万、14.30 万人。而在 2017 年时, 4 个县(市)人口增加到 1992 年总人口的 7.4 倍, 人口数量明显骤增。2017 年和田市人口为 40.23 万人, 和田县人口为 35.69 万, 墨玉县为 64.62 万人, 洛浦县人口达到 29.75 万人。其中墨玉县人口增幅最大,

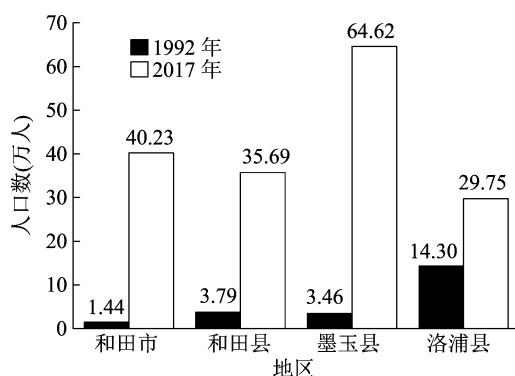


图2 1992、2017 年各县(市)人口变化

增速最快。

3.2 和田绿洲 26 年的 LULC 变化

3.2.1 土地利用转移分析 从表 1 可知, 沙地转为未利用地的面积最大, 建设用地和裸地、草地和建设用地之间也存在较大的面积转换关系, 沙地、裸地等都和建设用地之间存在一定的面积转换, 这主要是由人口增加以及城市不断扩张所带来的结果。

表 1 土地利用转移矩阵

LULC 类型	转移面积 (hm^2)					
	建设用地	耕地	裸地	草地	沙地	水体
建设用地	130.269	53.753	220.383	82.627	0.395	1.949
耕地	0.105	877.280	34.916	74.714	0.000	20.761
裸地	6.548	0.066	598.849	0.197	30.339	85.871
未利用地	0.754	0.000	0.099	0.005	15.202	0.784
草地	197.204	133.772	103.637	402.495	0.000	0.639
沙地	77.794	0.000	41.826	0.000	1 473.408	30.941
水体	0.107	0.000	0.125	0.000	17.474	130.377

就耕地来看, 草地转换为耕地的面积较大, 达到 133.772 hm^2 , 草地被耕地占用也是由人类生产生活带来的结果。综上所述, 各地类之间存在明显的转换关系, 并且与人口增加有明显的相关性。

3.2.2 LULC 变化分析 从表 2、图 3 可知, 各地类的 LULC 变化十分明显。未利用地、沙地、耕地是当前主要的地类。由于和田绿洲中主要的 2 条河流流向都是自南向北, 北部不仅紧邻着沙漠而且地势低, 盐碱化严重, 使得南部地区的 LULC 扩张比北部明显。1992 年耕地面积为 910.29 hm^2 , 2017 年增长到 $1 040.30 \text{ hm}^2$, 耕地主要分布于绿洲中部, 一小部分分布在北部的河流周边, 主要原因受到自然条件的制约。对建设用地进行分析可知, 建设用地面积的增长趋势不可小觑。从 1992 年至 2017 年, 建设用地面积增加了 215.24 hm^2 , 扩展速率为 2.66, 处于高速扩张阶段, 这是发展的必然趋势。在河流周

围发展尤为明显, 逐渐形成了以各乡(镇)为中心的扩张趋势。在研究的几种地类中, 沙地的变化幅度最大, 呈现高速增长的趋势, 主要分布于绿洲北部。研究期间, 水体、未利用地、裸地面积都呈现减少趋势, 并且裸地面积减少最为明显。

3.3 和田绿洲 26 年来人口空间变化与 LULC 变化的相关性

由图 3、表 3 可知, 和田绿洲内部的建设用地面积变化受人口变化的影响, 并且呈现高度正相关, 相关性系数为 0.809, 表明人口变化对建设用地面积的变化有着直接的影响。由图 2 可知, 和田绿洲的人口数量增长较大, 人口的大量、快速增长给该地区带来了较大的居住压力。在和田绿洲地区, 农村人口较多, 因此大多数人更倾向于在当地生活, 导致建设用地呈现明显扩张的现象。而耕地面积变化与草地、未利用地、沙地和裸地面积变化均呈

表 2 1992、2017 年和田绿洲 LULC 类型及其变化

LULC 类型	1992 年各地类面积 (hm ²)	2017 年各地类面积 (hm ²)	变化面积 (hm ²)	ES (%)	K (%)	EI (%)	SI
耕地	910.29	1 040.30	130.01	1.44	0.57	0.03	0.22
建设用地	231.55	446.79	215.24	2.66	3.72	0.05	1.45
草地	736.25	832.02	95.77	0.49	0.52	0.02	0.20
沙地	1 016.32	2 802.10	1 785.78	4.14	7.03	0.45	2.74
水体	277.35	143.09	-134.26	-2.61	-1.94	-0.03	-0.75
未利用地	8 954.20	8 025.05	-929.15	-0.44	-0.42	-0.23	-0.16
裸地	1 876.64	727.77	-1 148.87	-3.72	-2.45	-0.29	-0.95

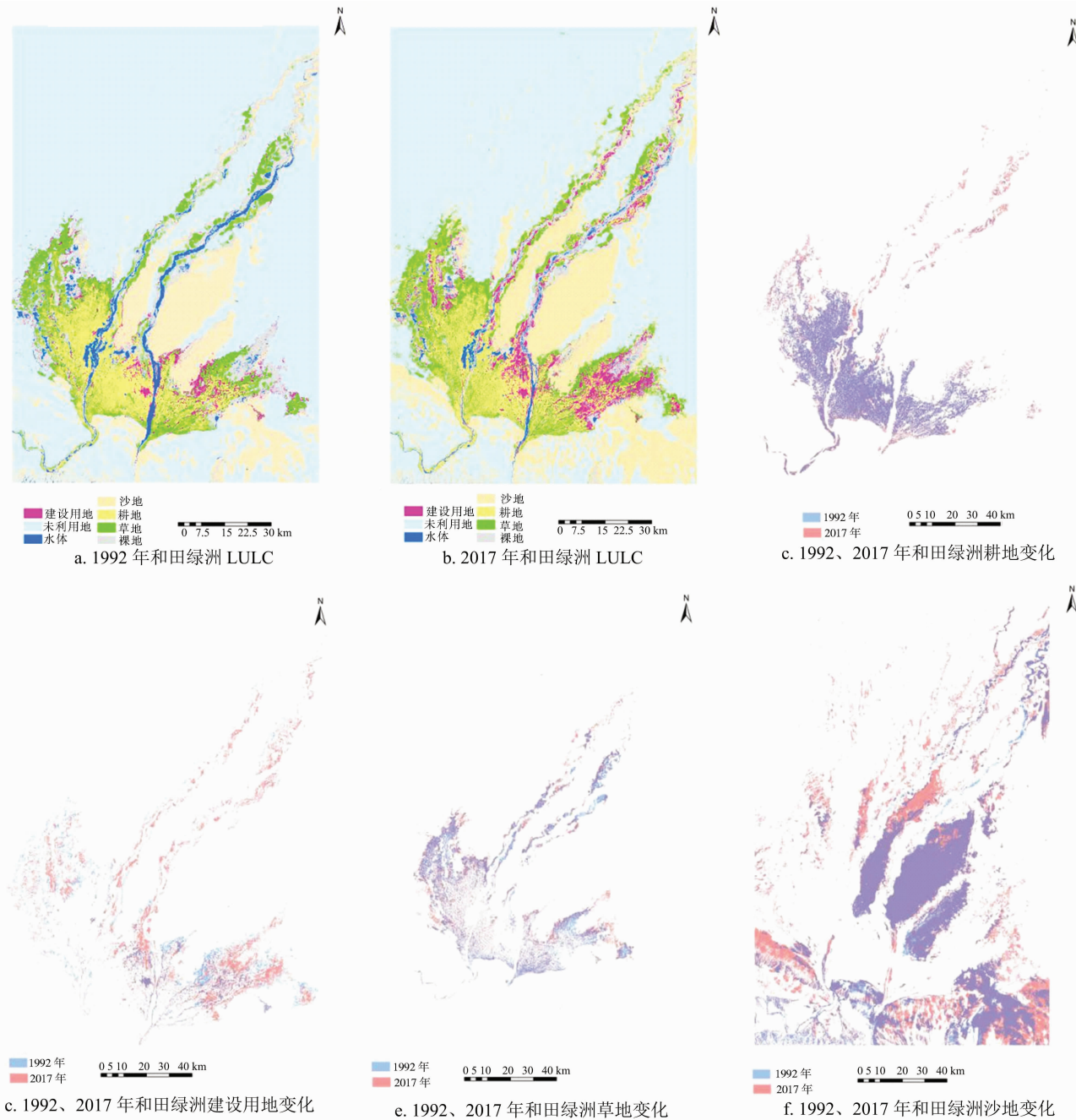


图3 和田绿 LULC 变化示意图

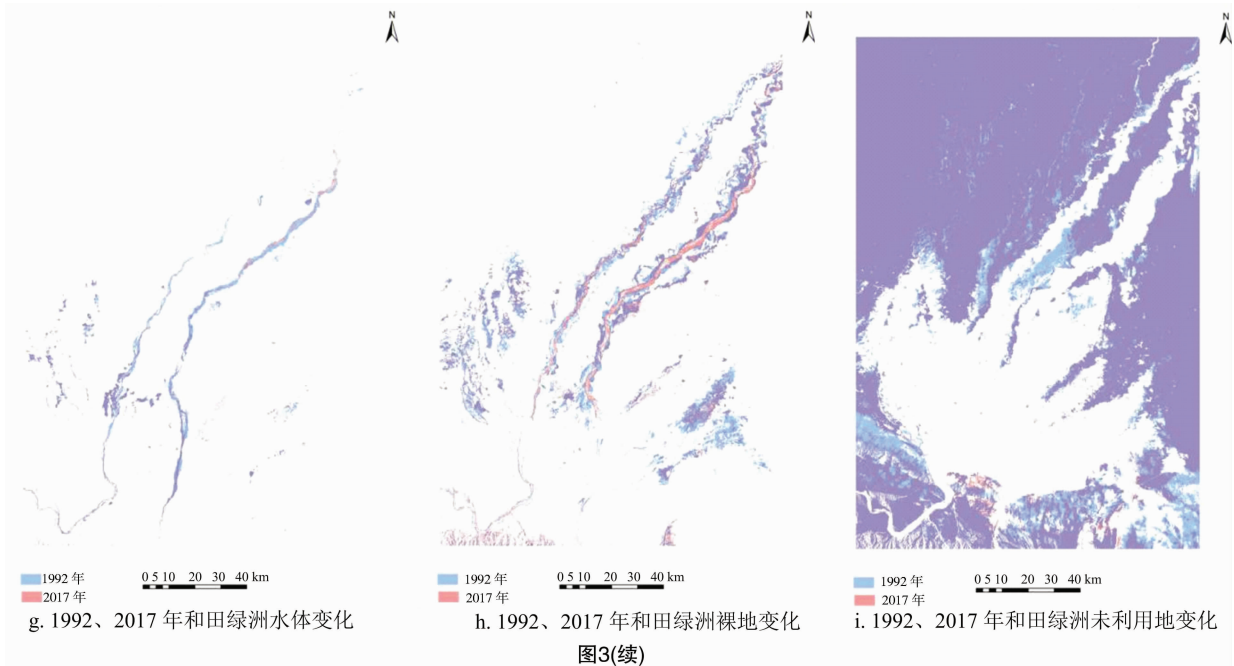


表 3 人口变化与地类变化相关性

LULC 变化	相关系数						
	人口面积变化	建设用地面积变化	耕地面积变化	裸地面积变化	未利用地面积变化	草地面积变化	水体面积变化
建设用地面积	0.809 **						
耕地面积	-0.028 **	0.264 **					
裸地面积	-0.823 **	-0.833 **	-0.126 **				
未利用地面积	-0.048 **	-0.434 **	-0.661 **	0.479 **			
草地面积	-0.068 **	-0.492 **	-0.897 **	-0.274 **	0.569 **		
水体面积	-0.208 **	-0.126 **	-0.589 **	-0.441 **	-0.080 **	0.234 **	
沙地面积	-0.697 **	-0.799 **	-0.290 **	-0.018	-0.010	-0.089 **	-0.444 **

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

负相关关系。这主要是由于人们居住的建设用地以及耕地来源于草地、未利用地等资源,而水体面积变化与耕地面积、人口变化的相关性系数分别为 -0.589、-0.208,表明水域面积的减少伴随着人口数量以及耕地面积的增加。根本原因是人口增加导致绿洲建设、生产生活的耗水量增加以及水的不合理利用。

3.3 生态响应分析

3.3.1 绿洲 - 荒漠过渡带植被破坏 绿洲与荒漠之间往往会有一条植被过渡带,这条过渡带具有较好的生态效益,它主要是由一些荒漠植被所构成,这些荒漠植被需水量大多很少。该过渡带是绿洲稳定的区域^[16],它对绿洲可持续发展有着决定性作用^[17]。

研究表明,中游和田绿洲区耕地质心向西北荒漠推进 4.49 km,沙地质心后退 3.14 km^[18]。由此可知,近 26 年耕地与沙地之间的空间耦合关系是人类对和田绿洲开发的结果。而这种“人进沙退”,以破坏绿洲 - 荒漠过渡带植被为代价的绿洲开发势必危及绿洲的安全与稳定^[19-20]。

3.3.2 绿洲生态系统服务功能下降 本研究采用谢高地等的研究方法^[19]对生态服务价值进行估算得知,和田绿洲的生态服务价值在 26 年间呈现降低趋势。其中,气体调节、气候调节、保持土壤、维持生物多样性等服务功能都有所降低。可见,这种以大量消耗水资源为代价,而其生态服务价值没有升高,反而有所降低的绿洲开发模式值得深思。

3.3.3 和田绿洲生态恶化 由土地利用转移矩阵

(表 1)即可得知,和田绿洲沙地面积在不断增加。与此同时,水体面积有所减少。和田河中游“垦荒”在破坏当地生态与环境,危及绿洲系统安全与稳定的同时,导致下游水资源供给不足,水域、沼泽地面积减少,盐碱地、沙地面积增加,林、草地退化,绿洲衰退甚至消亡,危及和田河绿色走廊可持续发展。塔里木河下游生态退化严重,耕地大面积撂荒,已出现生态移民现象^[21],威胁和田绿洲的生态安全与稳定,进而危及和田绿洲的可持续发展。

4 结论

对比 1992 年和 2017 年的数据可知,近 26 年以来,和田绿洲人口明显增多,其空间分布范围也有了明显扩张,更趋向于向县、乡(镇)中心集聚。建设用地有了明显扩张,未利用地、裸地与水体面积呈现减少趋势,并且沙地面积不断扩张。由于受到人口分布范围扩张与人口密度增加的双重压力,绿洲承受的人口、社会、经济压力不断增加。

和田绿洲各 LULC 类型的变化在空间分布上具有明显的差异。人口对于绿洲 LULC 变化的影响机制十分复杂,但是不可否认的是其对土地利用类型变化具有十分重要的影响。例如,人口扩张使得建筑用地、耕地都向南进行了不同程度的扩张(215.24、130.01 hm^2)。而间接的表现有很多,如草地等的变化(95.77 hm^2)。人口变化对于绿洲 LULC 变化的驱动作用不容小觑。这些变化都可以解释当前的一些现象,如人口迁移、干旱化加剧、土壤盐渍化等问题。本研究结果对和田绿洲的可持续发展具有指导作用。

26 年间,和田绿洲生态服务价值呈降低趋势,并且其生态环境有一定的恶化趋势,譬如和田绿洲的绿洲-荒漠过渡带植被受到破坏,当地相关部门应该注意该种情况,并对其加以治理。

参考文献:

- [1] Moran E, Ojima D, Buchmann N, et al. Global land project: science plan and implementation strategy [R]. Stockholm: International Geosphere Biosphere Programme Secretariat, 2005.
- [2] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers [M]// Intergovernmental

Panel on Climate Change. Climate change 2007: the physical science basis. New York: Cambridge University Press, 2007.

- [3] 卢龙辉, 瓦哈甫·哈力克, 黄玲. 近 40 年克里雅绿洲人口时空变化对土地利用/覆盖变化的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 338(11): 242–250, 315–316.
- [4] Liu J, Zhan J, Deng X. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era [J]. AMBIO, 2005, 34(6): 450–455.
- [5] 刘纪远, 邓祥征. LUCC 时空过程研究的方法进展[J]. 科学通报, 2009, 54(21): 3251–3258.
- [6] Lambin E F, Turner B L, Geist H J, et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths [J]. Global Environmental Change, 2014, 11(4): 261–269.
- [7] 吉力力·阿不都外力, 木巴热克·阿尤普. 基于生态足迹的中亚区域生态安全评价[J]. 地理研究, 2008, 27(6): 1308–1320.
- [8] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 169–175.
- [9] 陈佑启, Verburg P H. 基于 GIS 的中国土地利用变化及其影响模型[J]. 生态科学, 2000, 19(3): 1–7.
- [10] 董弟文, 阿布都热合曼·哈力克, 王大伟, 等. 1994—2016 年和田绿洲植被覆盖时空变化分析[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3710–3719.
- [11] 王丽萍, 周寅康, 薛俊菲. 江苏省城市用地扩张及驱动机制研究[J]. 中国土地科学, 2005, 19(6): 26–29.
- [12] 刘盛和, 吴传钧, 沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报, 2000, 67(4): 407–416.
- [13] 李雪瑞. 天津市土地利用变化与城市扩展研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010, 52–53.
- [14] 布买日也木·买买提, 丁建丽, 孜比布拉·司马义, 等. 库尔勒市城市空间扩展特征及其驱动因素研究[J]. 冰川冻土, 2017(2): 219–228.
- [15] 徐建华. 计量地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 109–110.
- [16] 邓铭江. 中国塔里木河治水利理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 20–24.
- [17] 李秋艳, 赵文智, 李启森, 等. 荒漠绿洲边缘区泡泡刺种群对风沙干扰的响应[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 2484–2489.
- [18] 黄领梅, 沈冰, 尹如洪. 和田绿洲蒸发能力及影响因素分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002, 30(6): 181–185.
- [19] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243–1254.
- [20] 田美荣, 高吉喜, 申陆, 等. 基于生态功能退化驱动力的生态修复分区策略[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(8): 252–255.
- [21] 郑度, 杨依天, 张雪芹, 等. 1980—2010 年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 813–824.