

DOI: 10.5846/stxb201804270954

祖拜代·木依布拉,夏建新,普拉提·莫合塔尔,张润.克里雅河中游土地利用/覆被与景观格局变化研究.生态学报,2019,39(7): - .
ZUBAIDA · Muyibul, Xia J X, POLAT · Muhtar, Zhang R. Land use and landscape pattern changes in the middle reaches of the Keriya River. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(7): - .

克里雅河中游土地利用/覆被与景观格局变化研究

祖拜代·木依布拉¹, 夏建新^{1,*}, 普拉提·莫合塔尔^{1,2}, 张 润³

1 中央民族大学生命与环境科学学院, 北京 100081

2 新疆大学旅游学院, 乌鲁木齐 830049

3 中国科学院青藏高原研究所环境变化与地表过程重点实验室, 北京 100101

摘要:干旱内陆河流在维系绿洲形成与发展,连接干旱区绿洲各类生态子系统中具有举足轻重的作用。以克里雅河中游为研究区,基于遥感影像分析了 1995 年、2005 年和 2015 年 3 个时期的土地利用/覆被与景观格局变化特征,采用缓冲区分析法,揭示了土地利用/覆被与景观格局的时空变化特征,用土地覆被转移指数模型计算了土地利用转移方向。研究结果表明:1) 1995—2015 年,克里雅河中游耕地持续增加,草地和水体呈减少趋势,耕地增加和减少主要发生在河道附近,草地退化在绿洲边缘较严重。在河道附近,耕地主要由水体和草地转入,水体主要转出到耕地,而在绿洲边缘草地主要转出为其他用地;2) 从景观水平看,研究区整体景观具有破碎化趋势,景观多样性降低,分离度变大,整个景观向均匀化发展,此变化在河道附近和绿洲边缘较明显。从类型水平看,耕地斑块数量持续增加,有向连片生成的趋势。草地斑块分离度越来越大,逐渐失去了在绿洲中的优势。水体有破碎化趋势;3) 从土地转移指数看,研究区土地覆被总体变差;河道附近土地覆被经历了退化-改善的变化过程,而其他缓冲带则是持续退化,尤其绿洲边缘退化程度最为严重。

关键词: LULC; 景观指数; 缓冲区分析; 克里雅河

Land use and landscape pattern changes in the middle reaches of the Keriya River

ZUBAIDA · Muyibul¹, XIA Jianxin^{1,*}, POLAT · Muhtar^{1,2}, ZHANG Run³

1 College of Life and Environmental Science, Minzu University of China, Beijing 100081, China

2 College of Tourism, Xinjiang University, Urumqi 830049, China

3 Key Laboratory of Tibetan Environment Changes and Land Surface Processes, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China

Abstract: Water is the main driving factor of oasis survival. Rivers play important role in maintaining the formation of ecological systems in arid regions. In this study, the spatial and temporal changes of land use/land cover and the landscape pattern in the middle reaches of the Keriya River were analyzed using the GIS technology through ArcGIS and Fragstats, based on remote sensing images from 1995, 2005, and 2015. A buffer analysis along the main river channel was conducted to analyze the spatial land use/land cover (LULC) characteristics and landscape patterns. A model was introduced to quantify the directions of LULC changes. The results were as follows: 1) From 1995 to 2015, cropland area increased by 6.44%, while grassland and water area decreased by 16.69% and 4.38%, respectively. Cropland expansion and water area degradation primarily occurred along the river, and grassland degradation was mostly noted in the oasis-desert ecotone. Along the river, cropland area was mainly converted from the water area and grassland, and the water area was mostly

基金项目:国家自然科学基金(41461111),中央民族大学博士研究生自主科研项目(181064);国家科技重大专项子课题(2017ZX07101)

收稿日期:2018-04-27; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jxxia_muc@sina.com

converted into cropland. In the oasis-desert ecotone, grassland was mostly converted into unused land. 2) The landscape pattern also changed obviously. Landscape fragmentation increased, and diversity of the landscape decreased, which occurred along the river and oasis-desert ecotone most obviously. 3) Results of the LULC change direction model showed that a LULC change along the river experienced a process of degradation and slight melioration. In the other areas, the LULC change experienced continuous degradation.

Key Words: LULC; landscape pattern; buffer analysis; Keriya River

土地利用变化是影响全球生态系统的决定性因素之一,同时也是全球变化最直接和最重要的表现形式^[1]。土地利用变化会改变生态系统的结构与功能,从而影响生态系统服务功能的维持^[2]。因此,研究土地利用/覆被变化是科学规划生态系统结构的基础,对维持生态系统功能和服务的稳定性具有重要意义。目前,国内外学者对区域土地利用/覆被(LULC, land use/land cover)变化进行了大量的研究,这类研究也成为了西北干旱区绿洲演变研究的主题^[3-11]。学者对西北干旱区的黑河、石羊河、塔里木河和玛纳斯河流域土地利用与景观格局变化研究中指出,在人类活动驱动下,这些流域土地利用与景观格局发生了剧烈的变化,耕地等人工绿洲增加,而草地等天然绿洲呈退化趋势。虽然干旱区绿洲 LULC 研究日趋成熟,但仍然存在一些不足。主要体现在多数研究关注 LULC 与景观格局的时间变化特征,而缺乏其空间特征的分析;研究方法上,较多学者利用土地利用动态模型,而没有定量分析 LULC 转移方向。动态模型反映的仅是 LULC 之间的转移,不能说明转移后的生态状况好或差。在克里雅河流域,以往学者也从绿洲土地利用演变方面取得了许多成果^[12-15],但也同样存在以上不足。因此,针对目前存在的问题,本研究以塔里木盆地南缘典型绿洲为研究区,以绿洲内河流为中心进行缓冲区分析,揭示 LULC 与景观格局的空间分布特征。另外,为了量化 LULC 转移方向及其反映的生态状况变化,本文在邵全琴等^[16]的研究思路的基础上,提出 LULC 转移方向模型。研究结果为干旱区流域土地利用与景观格局的时空变化研究提供较好的思路,同时,也为克里雅河流域土地资源可持续利用和区域生态文明建设提供参考。

1 研究区概况

克里雅河位于昆仑山北麓,塔里木盆地南缘。该河流发源于昆仑山,向北经山前戈壁、绿洲,进入塔克拉玛干沙漠,全长 438 km,流域总面积 $3.95 \times 10^4 \text{ km}^2$,南北长约 466 km,东西宽 30—120 km(图 1)。多年平均气温 9.53°C ,极端最高温 43.0°C ,极端最低气温 -26.3°C ^[17]。流域内绿洲主要由两大部分组成,即中游以于田县为中心的农业绿洲,是流域内人类活动的主要场所,下游是以牧业为主的天然绿洲。

2 数据与方法

2.1 数据获取与处理

本研究主要数据源有:1) 克里雅河流域 1995、2005 和 2015 年土地利用分类栅格图(由地理国情监测云平台提供,分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$)。本文在已解译的 LULC 分类体系的基础上,对于面积较小的林地、建设用地等进行剔除处理,将流域主要的土地利用类型重分为 4 类,土地利用类型分类详情为表 1 所示;2) 研究区数字高程图(DEM)(数据来源为地理空间数据云平台, <http://www.gscloud.cn/>,分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$),用于提取河道。3) 研究区行政边界矢量图从中国科学院资源环境数据云平台获取(<http://www.resdc.cn/>)。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用/覆被变化分析

参考以往研究,本文通过土地利用面积、转入/出率、转移矩阵分析等表现研究区的土地利用变化特征,具体计算公式见参考文献[18]。以各土地利用类型的生态功能为依据,基于层次分析法,对重分类后的 LULC

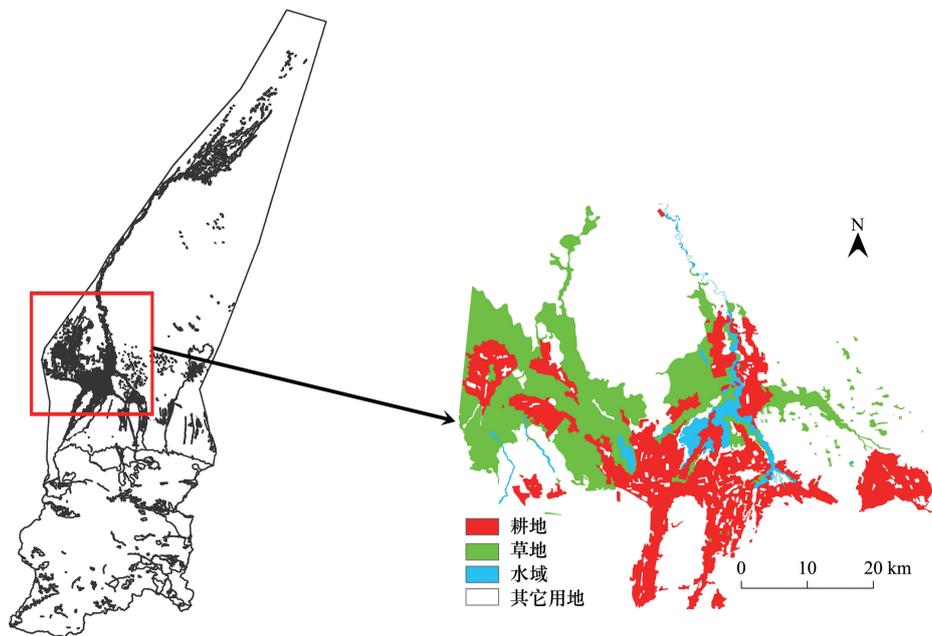


图1 研究区示意图

Fig.1 Location of study area

赋予权重(表2),计算了不同年代,以及不同缓冲带内 LULC 转移方向指数。

表1 于田绿洲景观分类结果

Table 1 Land use/cover types in the middle reaches of Keriya River

编号 Code	土地利用/覆被最终分类 Final land use/land cover class	土地利用/覆被初始分类 Initial land use/land cover class
1	耕地	旱地、水田
2	草地	覆盖度大于 20% 的天然草地和割草的
3	水体	河渠、湖泊、水库坑塘、滩地、沼泽地
4	其他	沙地、戈壁、盐碱地、裸土地、裸岩石砾地

表2 土地利用/覆被类型的权重

Table 2 The weight of the different LULC types

土地利用/覆被类型 LULC	水体 Water body	草地 Grassland	耕地 Cropland	其他用地 Others
权重 The weight	0.43	0.29	0.27	0.01

LULC 转移方向指数用以下公式进行计算:

$$LCDI = \frac{\sum_{i=1}^n [A_i \times (D_{bi} - D_{ai})]}{A} \times 100\% \quad (1)$$

式中,LCDI: 土地覆被转移指数, $i \in [1, n]$; A_i : 第 i 个土地利用/覆被类型面积; D_{ai} : 转移之前的土地利用/覆被类型权重; D_{bi} : 转移之后的土地利用/覆被类型权重;

当 $LCDI > 0$ 时,表示 LULC 转移有利于生态系统功能的提高,其值越大转移后的生态系统功能越大;当 $LCDI < 0$ 时,表示该 LULC 转移导致生态系统功能下降,其值越小转移后的生态系统功能越小。

2.2.2 景观格局指数分析

景观格局指数反映的是土地利用类型的结构特征。本研究参考以往研究^[19-21],分别从类型水平和景观

水平选取景观指数,用 Fragstats 4.2 软件进行计算。另外,由于在干旱区荒漠为绿洲景观的基质,为了排除荒漠景观对绿洲其他景观指数的影响,在计算景观指数前剔除其他用地。

2.2.3 缓冲区分析

参考已有的研究成果^[22],结合研究区特点,距离河道两侧 10 km(两侧各 5 km)划分一个缓冲带,共划分了 5 个缓冲带。对于每个缓冲带计算土地利用类型面积、转入/出率、景观格局指数。为了描述方便,在文中将 0—5 km 缓冲带简称缓冲带 I,5—10 km 为缓冲带 II,10—15 km 为缓冲带 III,15—20 km 为缓冲带 IV。

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆被时空变化特征

3.1.1 土地利用/覆被时间变化特征

过去 20 年,克里雅河中游土地利用/覆被类型发生了较大的变化,耕地面积增加了 6.44%,草地和湿地面积分别减少了 16.69%和 4.38%(图 2)。其他用地占得比例较大,并持续增加。

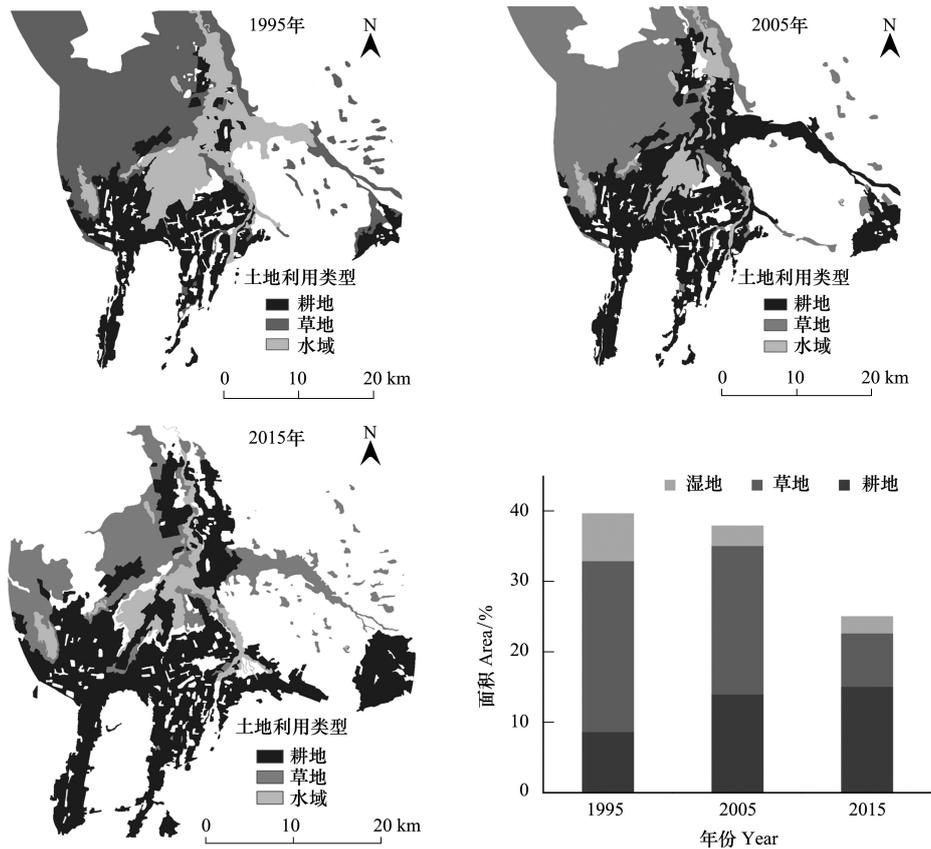


图 2 克里雅河中游 1995、2005、2015 年土地利用面积统计图

Fig.2 Area of LULC in 1995, 2005 and 2015 of the middle reaches of Keriya River

1995—2005 年,耕地转入率(41.32%)远大于转出率(4.81%)。从耕地转入类型看,水体转入耕地的面积最大(99.19 km²),其次为草地(42.44 km²)。草地转出率(15.3%)大于转入率(2.47%),转出为其他类型的面积最大(61.08 km²),其次是耕地(42.44 km²)。水体转出率为 58.7%,而转入率只有 3.58%,主要转出类型为耕地。

2005—2015 年,耕地转出率和转入率差异变小,转出率增加到 14.09%,转入率减小到 17.44%。耕地转出为草地和水体的面积分别增加到 50.19 km²和 32.66 km²。从转入类型看,其他类型转入为耕地的面积增加了 61.3 km²,使耕地总面积在持续增加。草地转出率仍大于转入率,与 1995—2005 年相比,转入率与转出率分

别增加到 34.99% 和 76.6%。该时期草地转出为其他类型的面积明显增加,是 2015 年草地总面积减小的主要原因。水体转入率明显增加(51.63%),主要转入类型为耕地,同时,转出率增加了 8.08%。

3.1.2 土地利用/覆被空间特征

耕地在 1995 年和 2005 年从缓冲带 I 到 IV 逐渐减少,即离河道越远,耕地分布越少。2015 年,耕地在缓冲带 I 中分布最多,IV 内最少,缓冲带 III 中出现了较多的耕地,其面积大于缓冲带 II 内的面积。在过去 20 年,每个缓冲带内耕地持续增加。1995—2005 年,缓冲带 I 内耕地主要由水体(56.87 km²)转入而来。而在 2005—2015 年,缓冲带 I 和 III 内耕地主要来自其他用地,分别为 41.47 km²和 14.33 km²。

草地 1995 年和 2005 年在缓冲带 IV 内分布最多,2015 年在各缓冲带内分布较均匀。在 1995—2015 年,各缓冲带内草地持续减少,主要转出为其他用地。其中,在缓冲带 IV 和 III 中转出为其他用的面积较大,分别为 165.24 km²和 146.22 km²。可见,研究时段内草地持续退化,在绿洲边缘退化较严重。

水体在 1995 年从缓冲带 I 到 IV 分布越来越少,2005 年和 2015 年缓冲带 I 内水体分布仍最多,而 III 内最少。1995—2015 年,缓冲带 I、II 和 III 内水体主要转出为耕地。其中,在缓冲带 I 内转出面积最大。与 1995—2005 年相比,2005—2015 年河道附近水体转出为耕地的面积减少,说明人类活动对水体的破坏有所缓解。LULC 空间分布特征为图 3 所示。

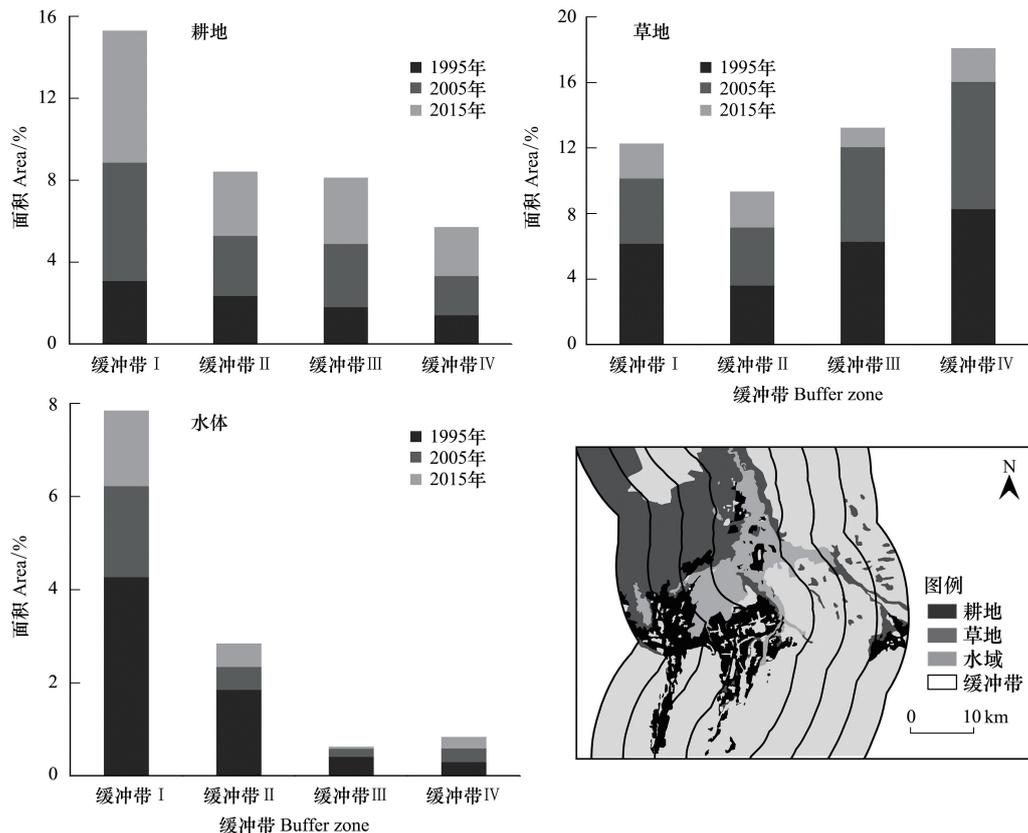


图 3 克里雅河中游 1995、2005、2015 年土地利用类型空间分布面积 (%)

Fig.3 Area of LULC in different buffer zones in 1995,2005 and 2015 of the middle reaches of Keriya River

3.2 景观格局变化特征

3.2.1 类型水平

从图 4 看,在 1995—2015 年,耕地 PLAND 持续增加,草地和水体的减小。草地和水体的 NP 和 PD 增加,耕地的减小。说明,草地和水体破碎化程度变大。从最大斑块指数看,1995 和 2005 年草地的 LPI 均大于耕地和水体,而到 2015 年耕地 LPI 是草地的 3 倍多。可见,1995 年和 2005 年草地是绿洲内的优势景观,而到

2015 年耕地在绿洲中占了优势。从 SPLIT 指数看,耕地持续减小,草地增加,水体先增后减。说明,在过去 20 年,耕地具有向连片生成的趋势,而草地破碎化程度变大。水体结构呈波动变化。

耕地最大 PLAND、NP 和 PD 在缓冲带 I 内,并在 1995—2015 年呈增加趋势。说明,耕地在缓冲带 I 内破碎度大。在 3 个时期,缓冲带 III 内 LPI 最大,而 SPLIT 最小。可见,在此缓冲带内耕地连接性最好、斑块较大。

草地最大 PLAND、NP、PD 和 LPI 都出现在缓冲带 IV 内,并在 1995—2015 年有减小趋势。SPLIT 指数在缓冲带 IV 内最小, I 内最大,并在研究时段内均呈增加趋势。说明,在克里雅河中游草地主要连片分布在绿洲边缘,但在过去 20 年,其破碎化程度持续变大。

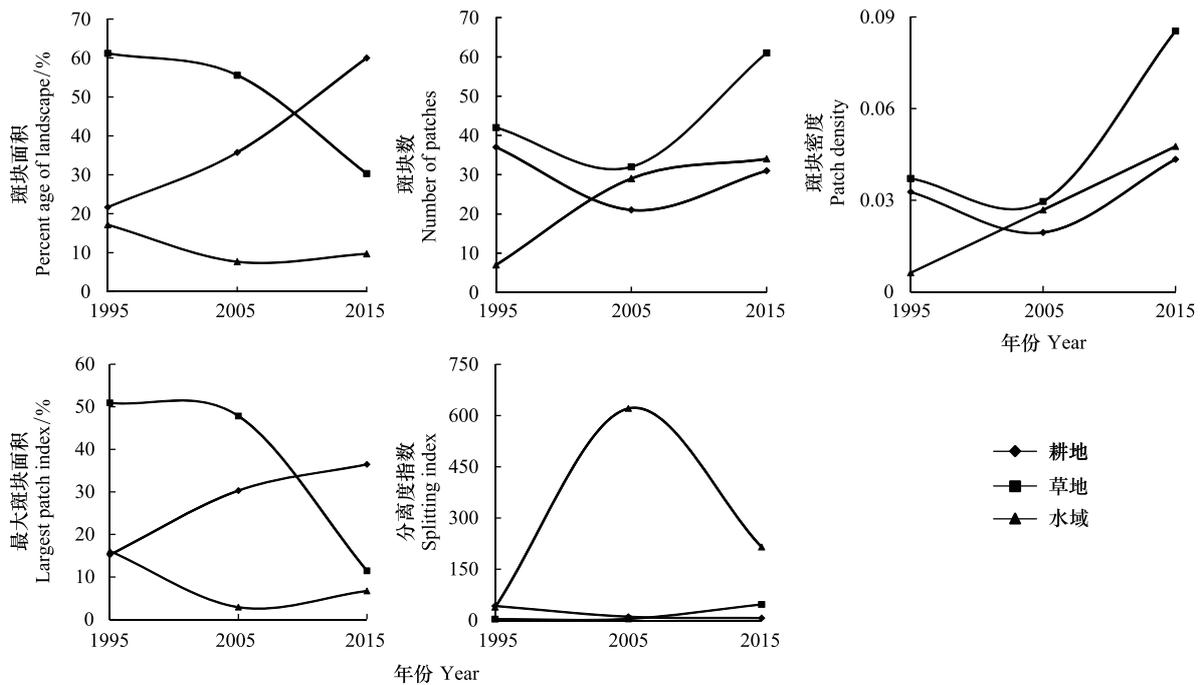


图 4 克里雅河中游类型水平景观指数

Fig.4 Landscape index at class level of the middle reaches of Keriya River

水体最大 PLAND 在缓冲带 I 内。2005 年和 2015 年,缓冲带 I 内 NP、PD 和 LPI 最大,SPLIT 最小。反映水体主要分布在缓冲带 I 内,并斑块间连接性好。1995—2015 年,缓冲带 I 内 PLAND 减小,NP、PD 和 SPLIT 变大。说明,在过去 20 年,河道附近水体破碎度变大。这可能与水体受人类活动影响较大,尤其在农业开发中被农用地占用造成的。

3.2.2 景观水平

从图 5 看,1995—2005 年,绿洲景观 NP 和 PD 变大,而 LPI 和 SHDI 减小,说明整个绿洲景观有破碎化和均匀化的趋势。这是草地和水体斑块数量减少,破碎化程度变大,而耕地逐渐占优势的结果。另外,SPLIT 指数先减小后增加,该变化趋势与水体分离度变化一致。可以推测,水体的分离度对整个景观分离度的影响较大。

在缓冲带 I 内,NP、PD 和 SHDI 最大,说明在河道附近景观类型较多,并镶嵌分布。在 1995—2015 年,该缓冲带内 NP 和 PD 增大,而 SHDI 减小,反映景观破碎度变大、多样性降低,具有单一化趋势。这与河道附近草地和水体退化,而耕地持续增加有关。在缓冲带 IV 内,LPI 最大,但在 1995—2015 年逐渐减小。这是绿洲边缘原来占优势的草地较严重退化的结果。

3.3 土地覆被转移指数

为了量化 LULC 转移方向,本研究引入了 LULC 转移方向指数模型。由图 6 可见,过去 20 年,研究区 LULC 总体变差,具有退化趋势,这种变化将导致绿洲生态系统功能下降。从空间上看,LULC 退化趋势在每

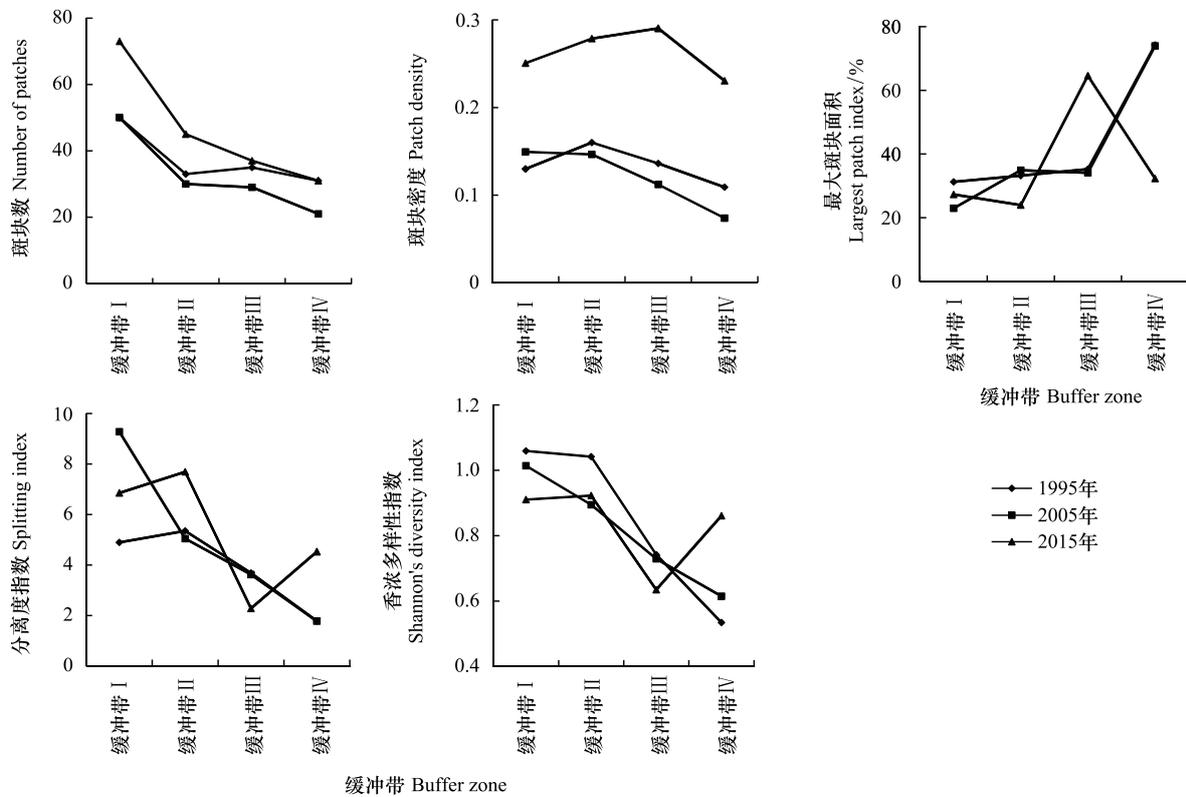


图 5 克里雅河中游景观水平景观格局指数

Fig.5 Landscape index at landscape level of the middle reaches of Keriya River

个缓冲带内都发生。其中,在缓冲带 I 内,与 1995—2005 年相比,2005—2015 年转移指数绝对值变小,说明在河道附近土地退化有所缓解。而在其他缓冲带内退化明显加重。

4 讨论

水资源决定着干旱区绿洲景观空间分布格局,对土地开发利用起着决定性作用[7,18]。研究期间,随着人口增长、社会经济发展,人们对农用地的需求增加,从而对河流以及其周围水体进行了大量的围垦,导致草地退化,在以往的干旱区绿洲 LULC 研究中也证实了这种变化趋势[10,23-24]。这种人类活动会极大地改变水资源的时空分配,减少绿洲内生态用水量,从而导致草地等天然植被的水量得不到满足而严重退化。

在过去的研究中,多数学者以行政区为单位解释了土地利用/覆被的空间分布,而把河流廊道作为绿洲整体景观的研究较少。以河道为中心的缓冲区分析更好的反映绿洲景观的空间特征,对于流域水土资源的空间优化配置具有指导作用。从本研究结果看,耕地在河道附近分布最多,并持续增加。随着耕地斑块数量的增加,出现了越来越大的耕地斑块,斑块间连接性越来越

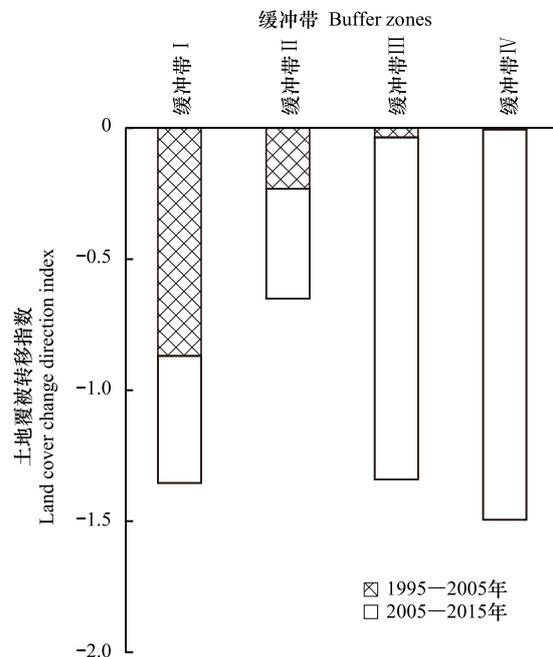


图 6 克里雅河中游土地覆被转移指数时空变化特征

Fig.6 Spatiotemporal characteristics of LCDI in the middle reaches of Keriya River

好,使耕地逐渐成为了绿洲中的优势景观。从而导致在河道附近景观多样性降低,景观呈单一化趋势,这不利于绿洲生态系统的稳定性。合理调整种植结构,提高农业用水效率是减缓由农业开发程度大而造成环境压力的有效途径。本研究仅分析了河道两侧缓冲区内景观变化规律,而对于河道上下段绿洲变化相关的研究在下一步工作中进行讨论。

草地是干旱区绿洲-荒漠交错带的主体,起到防风固沙作用,草地的退化增加绿洲沙漠化,威胁绿洲的生态安全^[25-26]。然而在克里雅河中游草地呈退化趋势。绿洲-荒漠交错带草地退化也出现在塔里木盆地南缘其他绿洲内^[27-28]。对草地进行适当的保护,使草地斑块连接成片、减小破碎度,对改善绿洲的整体环境具有重要意义^[29]。

土地覆被转移方向指数综合反映 LULC 变化方向,以及其对生态系统功能的影响。在以往的研究中,有学者对不同土地利用类型赋予生态等级,计算其转类指数,从而解释了 LULC 转移方向^[16,30]。该方法在三江源应用较多,而是否适合在干旱区使用并未被证实。考虑到干旱区 LULC 单一,并在各 LULC 生态系统功能之间存在较大差异^[31],本研究以每种 LULC 生态系统服务大小为依据,经专家打分,通过层次分析法,确定了每种 LULC 的权重,计算出了克里雅河中游土地覆被转移方向指数。研究结果较好的反映了研究区 LULC 变化方向,这可为干旱区绿洲土地转移方向的量化提供较好的思路。在今后的研究中还需要对 LULC 进行更细的划分。

5 结论

1)从土地利用类型时间变化看,1995—2015年,耕地增加,草地和水体减少。耕地、水体的这种变化趋势主要发生河道附近,而草地减少在绿洲边缘最明显。从空间分布来看,耕地和水体较多分布在河道周围,而草地较多分布在绿洲-荒漠交错带。在河道附近耕地转入率和水体转出率最大,草地转出率在绿洲边缘最大。在河道附近,土地转移主要以耕地与水体之间的相互转移为主,而在绿洲边缘以草地转出为其他用地为主。

2)从景观指数的变化趋势来看,研究区景观破碎化程度变大、分离度和多样性降低,这些变化在河道附近和绿洲边缘最明显。从类型水平看,耕地破碎化程度变大,分离度减小,主要发生在河道附近。草地破碎化变大,主要发生在绿洲边缘。水体景观指数变化与草地有相同的趋势,但这种变化在河道附近最明显。

3)从土地覆被转移指数看,过去20年,克里雅河中游土地覆被总体变差。在1995—2005年和2005—2015年两个时间段内,河道附近土地覆被经历了变差-好转的变化过程,而其他缓冲带则是持续变差,尤其缓带IV退化程度最为严重。

参考文献 (References):

- [1] Verburg P H, van deSteege J, Veldkamp A, Willemsen L. From landcover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(3): 1327-1335.
- [2] 王雅, 蒙古军. 黑河中游土地利用变化对生态系统服务的影响. *干旱区研究*, 2017, 34(1): 200-207.
- [3] 冯异星, 罗格平, 周德成, 韩其飞, 鲁蕾, 许文强, 朱磊, 尹昌应, 戴丽, 李艳忠. 近50a土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例. *生态学报*, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [4] 赵锐峰, 姜朋辉, 陈亚宁, 石培基, 潘竟虎, 赵海莉. 塔里木河干流区土地利用/覆被变化及其生态环境效应. *地理科学*, 2012, 32(2): 244-250.
- [5] 白元, 徐海量, 凌红波, 傅苾仪. 塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1912-1920.
- [6] 麦尔耶姆·亚森, 买买提·沙吾提, 吐尔逊·艾山, 如则麦提·米吉提, 依克丽曼·阿布都米提, 马依拉·热合曼. 新疆渭干河—库车河三角洲绿洲耕地时空变化特征分析. *中国农业科学*, 2017, 50(18): 3506-3518.
- [7] 王福红, 赵锐峰, 张丽华, 李鸿伟. 黑河中游土地利用转型过程及其对区域生态质量的影响. *应用生态学报*, 2017, 28(12): 4057-4066.
- [8] Xie Y W, Zhao H, Wang G S. Spatio-temporal changes in oases in the Heihe River Basin of China: 1963—2013. *Écoscience*, 2015, 22(1): 33-46.
- [9] Xie Y C, Gong J, Sun P, Gou X H. Oasis dynamics change and its influence on landscape pattern on Jinta oasis in arid China from 1963a to

- 2010a: integration of multi-source satellite images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, 33: 181-191.
- [10] Zhou D Y, Wang X J, Shi M J. Human driving forces of oasis expansion in northwestern China during the last decade—a case study of the Heihe River Basin. *Land Degradation & Development*, 2017, 28(2): 412-420.
- [11] Zhou W, Gang C C, Zhou L, Chen Y Z, Li J L, Ju W M, Odeh I. Dynamic of grassland vegetation degradation and its quantitative assessment in the northwest China. *Acta Oecologica*, 2014, 55: 86-96.
- [12] 迪丽尼格尔·艾合买提, 师庆东, 彭佳宾. 克里雅河流域土地利用/覆被及景观格局空间变化特征. *北方园艺*, 2018(10): 108-118.
- [13] 贺凌云, 海米提·依米提, 瓦哈甫·哈力克, 奚秀梅. 新疆于田景观特征变化的遥感分析. *中国沙漠*, 2010, 30(5): 1026-1030.
- [14] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 海米提·依米提, 迪拉娜·尼加提, 魏彬. 昆仑山北麓克里雅绿洲生态服务价值对土地利用变化的响应. *地理科学*, 2012, 32(9): 1148-1154.
- [15] 杜清, 徐海量, 凌红波, 王希义, 赵新风, 张鹏. 克里雅河流域 1990—2010 年土地利用/覆被变化及其生态环境状况评价. *水土保持研究*, 2015, 22(3): 198-202.
- [16] 邵全琴, 赵志平, 刘纪远, 樊江文. 近 30 年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征. *地理研究*, 2010, 29(8): 1439-1451.
- [17] 祖拜代·木依布拉, 师庆东, 洪波, 腾德雄, 张峰. 1960—2010 年克里雅河流域极端气温事件变化趋势. *干旱区研究*, 2017, 34(1): 144-150.
- [18] 潘竞虎, 苏有才, 黄永生, 刘晓. 近 30 年玉门市土地利用与景观格局变化及其驱动力. *地理研究*, 2012, 31(9): 1631-1639.
- [19] Fan Q D, Ding S Y. Landscape pattern changes at a county scale: a case study in Fengqiu, Henan Province, China from 1990 to 2013. *Catena*, 2016, 137: 152-160.
- [20] 肖笃宁, 李小明, 宋冬梅. 石羊河尾间绿洲的景观变化与生态恢复对策. *生态学报*, 2005, 25(10): 2477-2483.
- [21] 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.
- [22] 周华荣, 肖笃宁, 周可法. 干旱区景观格局空间过程变化的廊道效应——以塔里木河中下游河流廊道区域为例. *科学通报*, 2006, 51(S1): 66-72.
- [23] Zuo L J, Zhang Z X, Zhao X L, Wang X, Wu W B, Yi L, Liu F. Multitemporal analysis of cropland transition in a climate-sensitive area: a case study of the arid and semiarid region of northwest China. *Regional Environmental Change*, 2014, 14(1): 75-89.
- [24] 赵锐锋, 陈亚宁, 李卫红, 张丽华, 吴世新, 黄青. 塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析. *地理学报*, 2009, 64(1): 95-106.
- [25] 韩永伟, 拓学森, 高吉喜, 高馨婷. 黑河下游重要生态功能区防风固沙功能辐射效益. *生态学报*, 2010, 30(19): 5185-5193.
- [26] 江凌, 肖焱, 饶恩明, 王莉雁, 欧阳志云. 内蒙古土地利用变化对生态系统防风固沙功能的影响. *生态学报*, 2016, 36(12): 3734-3747.
- [27] 任晓, 穆桂金, 徐立帅, 林永崇, 赵雪. 塔里木盆地南缘 2000—2013 年人工绿洲扩张特点. *干旱区地理*, 2015, 38(5): 1022-1030.
- [28] Amuti T, Luo G. Analysis of land cover change and its driving forces in a desert oasis landscape of Xinjiang, northwest China. *Solid Earth*, 2014, 5(2): 1071-1085.
- [29] 熊黑钢, 韩茜. 新疆绿洲可持续发展研究. 北京: 科学出版社, 2008: 183-184.
- [30] 刘璐璐, 曹巍, 邵全琴. 近 30 年来长江源区与黄河源区土地覆被及其变化对比分析. *地理科学*, 2017, 37(2): 311-320.
- [31] 普拉提·莫合塔尔, 海米提·依米提. 土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究——以克里雅绿洲为例. *自然资源学报*, 2014, 29(11): 1849-1858.