DOI: 10.5846/stxb201304080639

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. Gong J, Xie Y C, Gao Y J, Sun P, Qian D W.Spatio-temporal change and its effects on landscape pattern of Jinta Oasis in Arid China from 1963 to 2009. Acta Ecologica Sinica,2015,35(3):603-612.

1963—2009年金塔绿洲变化对绿洲景观格局的影响

巩 杰,谢余初*,高彦净,孙 朋,钱大文

兰州大学西部环境教育部重点实验室,兰州 730000

摘要:内陆河流域绿洲与荒漠景观之间的相互作用与影响机制是干旱区景观地理学的重要内容之一。绿洲时空变化及其对区域景观格局影响的研究,对流域绿洲管理和环境保护具有重要的指导意义和科学价值。以中国西北干旱区内陆河流域水土资源开发的典型代表区域——金塔绿洲为例,基于5期不同的卫星遥感数据,利用数理统计模型及景观指数等方法开展绿洲变化过程、趋势、空间分布格局和景观结构特征变化研究。结果表明:(1)1963—2009年间金塔绿洲主要以扩张为主,绿洲面积增加了167.37 km²,绿洲与荒漠间相互转化剧烈,呈现出非平衡-平衡-极端不平衡的趋势状态。绿洲变化主要体现在西坝乡、羊井子湾乡的绿洲外延扩张和在三合乡-中东-大庄子乡、金塔镇-中东镇、古城乡等地的绿洲内部填充合并。(2)近46 a 来金塔绿洲景观的分形特征、离散程度和破碎化程度趋于减小,各景观斑块则趋于简单和均匀化。(3)绿洲变化在一定程度上影响着绿洲景观格局,导致景观结构趋于均匀化和密集化,绿洲斑块镶嵌体表现出散布-扩张-破碎-融合扩展的变化过程。 关键词:干旱区;绿洲变化;时空变化;景观结构;金塔绿洲;多源遥感影像

Spatio-temporal change and its effects on landscape pattern of Jinta Oasis in Arid China from 1963 to 2009

GONG Jie, XIE Yuchu*, GAO Yanjing, SUN Peng, QIAN Dawen

Key Laboratory of Western China's Environmental Systems (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: Oasis was a small and medium scale zonal ecological landscape, and the basic places to sustain human activities and developments in the arid area. Under the influence of the increasing human activities and the change of global climate, oasis change (Oasification and desertification) was not only the most direct reflect of environmental change in the arid area, but also was one of the most active research fields of land degradation and regional sustainable development. Recently, the interaction mechanism between oasis change and landscape pattern had been regarded as an important content of regional environmental change research in arid areas. In China, oases were mainly distributed in temperate and warm temperate desert areas, but only took up 4%—5% of the total area of the northwestern China. However, more than 90% of the population and 95% of social wealth were concentrated within these oases. Jinta oasis located in the Hexi Corridor in arid northwestern China, was not only a typical oasis with long agricultural history, but also was an agro-pastoral transitional zone and ecologically fragile area. Due to the rapid growth of population, economic pressure and excess exploitation using the resources, the ecological environment and sustainable development of Jinta oasis were greatly affected. Therefore, we took Jinta oasis as a case to study oasis spatio-temporal change from 1963 to 2009 and its influence on the landscape pattern. Based on Keyhole satellite photograph in the 1963, Landsat MSS images in the 1973, TM and ETM images from 1986 to 2009, the land cover were divided into two categories; oasis and desert. Oasis included farmland, grassland, woodland,

收稿日期:2013-04-08; 网络出版日期:2014-04-03

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助(lzujbky-2013-m02);教育部"春晖计划"科研项目(Z2011028)

^{*} 通讯作者 Corresponding author.E-mail: xieych09@ lzu.edu.cn

water and residential area which based on classification criteria of Chinese National Technical Standard for Land-Use Survey; desert included salinized land, bare land, desert, Gobi and low coverage grassland which the vegetation cover degree $\leq 15\%$. The results were tested by the field investigation, the GPS sampling and interview with local people. After then, the process, trend and spatial pattern change in Jinta oasis and the characteristic of landscape pattern changes were analyzed by a set of mathematical statistical models and indice of landscape ecology. The results showed that: Jinta oasis was being in an unbalanced state, oasis scale and area expanded gradually with an increase of 167.37km² during the period of 1963—2009. Simultaneously, the area of Jinta oasis achieved its maximum with 523.17km² in 2009. The conversion between oasis and non-oasis was frequent and violent and showed a state of imbalance-balance-extreme imbalance condition, although the degree of conversion was different in different periods. And then, most change of the oasis happened as the reclamation of abandoned land and desert area, especially in the inner and outer marginal area of oasis, such as Yangjingziwan township, Xiba township, Sanhe-Dongba -Dazhuangzi township zone, Jinta-Zhongdong township zone. The area, size and spatial distribution of oasis influenced by human activity had resulted in fundamental changes of oasis landscape pattern. The fractal characteristics, dispersion degree and fragmentation of Jinta oasis were decreased, and the oasis landscape tended to be simple and uniform. All in all, in the latest 46 years, the spatio-temporal change of Jinta oasis drove the change of local landscape pattern to the decrease of the diversity, complex structure and landscape heterogeneity.

Key Words: arid area of China; oasification; spatio-temporal processes; landscape pattern; jinta oasis; multiple-resource satellite images

绿洲作为我国干旱区的人类活动与社会发展的基本场所,其面积仅占我国干旱区面积的4%—5%,却集 中了该区域90%以上的人口与95%以上的社会财富^[1]。干旱区特殊的水、土、气、生过程及人类活动干扰,使 得近几十年来绿洲扩张(绿洲化)与退缩(荒漠化)过程变动较为频繁、受扰动的程度增大^[2]。绿洲化与荒漠 化过程是干旱区的两个最基本地理过程,也是干旱区环境变化的直接体现,其中绿洲化过程对人类的生存和 社会发展具有更为直接的影响作用^[3-4]。绿洲化是干旱区由于人与自然因素共同作用所导致的由荒漠向绿 洲转变的过程,是以强化生物过程、提高土地生产力为中心的自然因素与人为因素综合作用所导致的荒漠向 绿洲转变的过程^[1,5-6]。随着人们在绿洲区生产活动及绿洲环境管理的不断深入,绿洲也在不断地变化着,这 不仅包括绿洲内部结构和生态过程的变化,也体现在绿洲的扩张和退缩等方面。尤其是近百年以来,受强烈 人类活动的影响,使得绿洲的变化尤为突出^[3-5,7]。绿洲时空变化在地理空间上表现为动态的面状分布,并具 有时空尺度上的数和量的变化特征,因此,开展绿洲扩张与退缩时空变化过程及其特征与规律研究,探讨绿洲 水土资源利用和持续发展途径,已成为当前绿洲研究的核心问题之一^[8-10]。

近年来,干旱区绿洲变化研究受到学术界的广泛关注,已成为全球变化、土地覆被变化与干旱区可持续发展中的研究热点之一^[6,9]。目前,国内外学者针对于干旱区绿洲变化过程的研究主要体现在绿洲土地利用与土地覆被变化^[2,10-12]、绿洲化与荒漠化作用机理及其驱动机制^[13-15]、绿洲景观格局变化及生态效应^[16-18]等方面,但由于数据源时段较短且连续性不一致,其研究多集中在有卫星遥感影像数据的近 30 年,且多以行政界限为参考划分绿洲范围,而较长时期(如近 50 年)的研究报道较为鲜见。另外,基于流域单元的较长时间和小尺度绿洲的时空变化与环境效应研究,尤其是针对绿洲时空变化与景观格局相互影响的研究相对薄弱。因此,本文以北大河流域尾闾绿洲——金塔绿洲为例,基于 RS、GIS 技术及景观生态学方法,采用一套数理统计模型来分析研究绿洲的面积、速度、方向、趋势状态及其空间展布形式等时空变化特征,旨在系统分析近 50 年来内陆河尾闾绿洲变化与景观格局响应,为区域绿洲社会经济与环境可持续发展,绿洲景观管理及人类活动调控提供科学依据。

1 研究区概况

金塔绿洲地处河西走廊中部的北大河下游尾闾,是典型的灌溉农业绿洲。绿洲南北长约 46 km,东西宽

约 20—35 km,大致介于 97°58′—99°20′ E,39°47′—40°17′ N,海拔 1200—1300 m,属于温带荒漠气候与暖湿 带荒漠气候过渡区。冬季寒冷,夏季炎热,风沙多。1 月份平均最低气温是-9.3 ℃,7 月份平均最高气温为 24.1 ℃,年平均降雨量约为 59.5 mm,多集中在 7—9 月,年潜在蒸发量约为 2567.1 mm,全年日照时数约 3193.2 h 左右,无霜期 145—160 d。金塔绿洲地势平坦,是干旱区绿洲土地开发与整理的重要区域之一。金 塔绿洲包括金塔、三合、东坝、大庄子、古城、中东、西坝和羊井子湾等 8 个乡镇,总人口为 124 029 人(截至 2009 年)。金塔县 83.35%的农田和果园分布在金塔绿洲之内,是甘肃省重要的粮棉商品生产基地^[13]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

金塔绿洲时空变化研究是基于 1963—2009 年的遥感数据开展的,分别选用 1963 年的 Keyhole 卫星存档 相片(由美国 60 年代 KeyHole 系列照相侦察卫星所拍,本研究采用的是 KH-4 型卫星拍摄的相片,地面分辨 率 2-3 m^[13]),1973 年的 Landsat MSS,1986、1999 和 2009 年 TM/ETM+遥感影像进行解译获得绿洲图件(详 细的影像数据信息见表 1)。利用 ERDAS IMAGE 图像处理软件和地形图对上述影像进行几何校准辐射校正 和图像增强等预处理,即,用1:100 000 地形图对 1999 年的 ETM+影像进行几何校正后作为参考图像,采用二 次多项式转换方程对 Keyhole 卫星存档相片和 TM 影像进行纠正。为了使各不同分辨率遥感影像具有可比 性,用双线性内插法将 Keyhole 卫星存档相片进行重采样到分辨率为 80 m×80 m, Landsat MSS、TM 影像则采 用最邻近内插法^[19-20]来处理。在综合考虑遥感影像数据光谱信息和纹理特征的基础上,参考与研究区自然 条件类似的已知区域建立对应判读标志,对研究区绿洲与荒漠进行划分界定,并将研究区土地覆被类型分为 耕地、林地、灌丛、草地、水域、居民建设用地、盐碱地、裸地、沙地和戈壁荒滩等10种。其中,戈壁荒滩含低覆 盖草地(其植被覆盖度≤15%)视为荒漠。根据研究需要,将盐碱地、裸地、沙地和戈壁荒滩划为荒漠;耕地、 草地、林地、灌丛、水体和城镇建设用地等6种地类归为绿洲。按照上述分类系统,在 ENVI 4.6 软件 FX 模块 采用面向对象的影像特征提取方法对 1963 年的卫星相片和 1973 年的 MSS 影像进行绿洲提取;对 1986、1999 和 2009 年 3 期遥感影像(Landsat TM / ETM+)则是利用自动阈值法对研究区绿洲进行提取,即通过图像增强 将目标地物与背景区分开,并在 MATLAB 中编程计算出目标物与背景这两类间的方差达到最大时的值,由此 将目标物提取出来[21],并建立拓扑关系,并对居民点、水体等地类进行目视解译。最后,对各个时期影像解译 的结果进行目视解译修正,生成各个时期绿洲分布图形数据。通过 2009 和 2010 年的两次野外实地验证工 作,即,利用 GPS 采点、地形图验证及高分辨率影像对分类结果(如,Google Earth 的卫星影像)及与当地老年 原住民访谈(访谈原住民多为50至70岁的老农,以便于对早期影像和土地利用情景进行核对),利用分类后 对比方法(post-classification comparison)在同一个比例尺下对误提或漏提的绿洲进行目视判读修改与验 证^[22-23]。同时利用 1:50 000 地形图(1960 年) 和 1:100 000 地形图(1972 年)、植被分布图(1:100 万)、1989 年 和 2000 年的金塔县土地利用图以及走访当地百姓进行绿洲实地调查对各个时期绿洲分布精度进行评价 (表2)。

Table 1 The information of the remote sense data used in this study							
传感器 Sensor	Keyhole Photograph	Landsat	Landsat-3 MSS		t-5 TM	Landsat-7 ETM+	
轨道号 Path /Row	DS1002-1006DA087 至 DS1002-1006DA090	134/32	135/32	134/32	135/32	134/32	135/32
日期 Acquisition Date	1963-09-24	1973-09-30	1973-07-23	1986-08-03 2009-07-17	1986-07-25 2009-08-09	1999-07-30	1999-07-21
空间分辨率/m Spatial Resolution	2.7	80		30		30	

表1	研究中所选用的遥感数据信息	

Table 2 Description of land-use/ cover types and accuracy assessment of the classified images												
	1963		1973		1986		1999		2009			
年份 Year 土地覆被类型 Land-use/cover type	生产 精度/% Producer's Accuracy	用户 精度/% User's Accuracy	生产 精度/% Producer's Accuracy	用户 精度/% User's Accuracy	土地覆 被类型 Land-use/ cover type	生产 精度/% Producer's Accuracy	用户 精度/% User's Accuracy	生产 精度/% Producer's Accuracy	用户 精度/% User's Accuracy	土地覆 被类型 Land-use/ cover type	生产 精度/% Producer's Accuracy	用户 精度/% User's Accuracy
植被	89.78	70.78	93.68	75.68	耕地	86.71	91.02	89.65	98.13	植被	91.45	90.76
Vegetation cover					林地	87.50	66.67	86.92	64.93			
					草地	81.82	77.14	88.46	81.13	水体	84.97	78.87
					水体	89.03	86.40	89.25	83.73			
					建设用地	92.31	85.71	87.25	86.79	建设用地	89.45	87.35
					未利用地	88.70	90.14	90.87	83.19			
总体精度/% Overall Accuracy	84.13		86.62			88.97		89.98			91.28	
Kappa 指数% Kappa Coefficien%	79	.14	82.	.46		84.	.70	87	.38		89.	26

表 2 土地覆被类型的描述及其精度评价

Table 2 Description of land-use/cover types and accuracy assessment of the classified images

2.2 绿洲时空变化过程分析方法及模型

2.2.1 绿洲动态变化分析

(1)绿洲面积变化及其净变化速度

绿洲变化是一个累计过程,面积变化能直观地反映研究时段内绿洲变化程度,其净变化速度能描述绿洲 累计过程中绿洲退缩或扩张的速度,是通过当年的面积减去其前一年的面积并除以前一年的面积,采用几何 平均法能定量描述研究区域一定时间范围内绿洲年平均增长速度^[11-12],其表达式分别为:

$$\Delta U = U_b - U_a \tag{1}$$

$$\bar{x} = \left({}^{T} \sqrt{\frac{U_{b}}{U_{a}}} - 1 \right) \times 100\%$$
⁽²⁾

式中, ΔU 为研究时段内某区域绿洲面积变化量, \bar{x} 为研究时段内绿洲(或荒漠)的年平均增长速度, U_a 和 U_b 为研究初期和末期某区域绿洲的面积,T为研究时段长。

(2)绿洲扩张与退缩过程双向动态变化指数

描述绿洲扩张(绿洲新增面积)和退缩(绿洲减少面积)方向相向的变化,用以表征绿洲与荒漠相互转化的剧烈程度^[24]。表达式为:

$$K = \left(\left(\left(\frac{\Delta U_{\text{in}} + \Delta U_{\text{out}}}{U_a} + 1 \right)^{1/T} \right) - 1 \right) \times 100\%$$
(3)

式中, ΔU_{out} 为研究时段内绿洲内第 i 类土地利用类型转移为荒漠面积之和, 即转移面积; ΔU_{in} 为同时期荒漠 转变为绿洲的面积之和, 即新增面积; U_a 和 U_b 同上。

2.2.2 绿洲变化趋势状态指数模型

存在状态是指绿洲在空间位置上是否表现为剧烈的增减变化,在一定程度上能反映绿洲系统是否稳定和 变化趋势^[13,17]:

$$Ps = (L - D)/(L + D) \tag{4}$$

式中,P_s指绿洲状态指数,L指绿洲的增加量,D指绿洲的减少量;当 0<P_s≤1 时,则绿洲朝着规模增大的方向 发展,绿洲处于"扩张"状态;当-1≤P_s<0 时,则绿洲朝着规模减小的方向发展,绿洲处于"萎缩"状态。P_s越 接近0,则表明绿洲的规模增长(减少)缓慢,呈现为平衡态势;P_s越接近于1,说明绿洲的转换方向主要为荒漠 转换绿洲,呈现极端非平衡态势,致使绿洲面积稳步增加;P_s越接近于-1,说明绿洲的转换方向主要为绿洲转

607

换为荒漠,呈现极端非平衡态势,致使绿洲规模逐步萎缩。

2.2.3 绿洲空间分布格局分析

3 期

(1) 绿洲重心迁移模型

重心迁移模型能够具体反映研究对象在空间演变的过程。绿洲的空间变化可以用其重心在各个方向上的分布变化来反映,通过计算比较研究期间绿洲分布的重心空间位置,可以直接反映研究时段内绿洲的空间动态变化特征。第 *t* 年绿洲重心坐标(经纬度)可表示为^[25]:

$$X = \sum_{i=1}^{n} (C_{i} \times X_{i}) / \sum_{i=1}^{n} C_{i}$$

$$Y = \sum_{i=1}^{n} (C_{i} \times Y_{i}) / \sum_{i=1}^{n} C_{i}$$
(5)

式中,X、Y分别表示绿洲分布重心的经纬度坐标;C_i表示第*i*个绿洲斑块的面积;X_i、Y_i分别表示第*i*个绿洲斑 块分布重心的经纬度坐标。

(2) 绿洲化荒漠化转化过程模型

转移矩阵能较好地描述绿洲和荒漠之间相互转化的关系,用以定量描述绿洲扩张或退缩的动态变化^[13]。 其数学表达式为:

$$Sij = \begin{vmatrix} S11 & S12 \\ S21 & S22 \end{vmatrix}$$
(6)

式中,*S*为研究区面积,*i*研究初期土地利用类型,*i*=1(绿洲)或2(荒漠);*j*为研究末期的土地利用类型,*j*=1(绿洲)或2(荒漠)。

2.3 绿洲景观特征指数分析

绿洲景观特征和空间格局变化不仅是大小、形状不一的绿洲斑块在空间上的景观异质性的具体体现,也 是各种生态过程在不同尺度上作用的结果。绿洲扩张与退缩过程深深地影响着绿洲斑块的大小、形状和连接 度,进而间接影响着绿洲稳定性及其可持续发展潜力。因此,理解和建立绿洲时空变化过程对景观格局之间 的相互影响关系就显得极其重要。根据研究需要和景观指数的特点,分别选取绿洲形状和分维数、分离度、破 碎化指数等来分析绿洲景观结构和空间变化^[18,26-27],并探讨绿洲变化与景观格局变化的关系。

(1)绿洲形状指数(LSI)与面积加权斑块分维指数(AWMPFD)

描述绿洲变化过程中绿洲形状和分维特性,揭示不同规模绿洲产生和变化的隐性特征,绿洲形态变化的复杂性,可通过景观格局分析软件 Fragstats3.3 计算获得。

(2)绿洲景观分离度(DIVISION)

描述绿洲(或荒漠)景观中不同斑块个体空间分布的离散程度,可通过 Fragstats3.3 软件计算获得,其计算 公式为:

DIVISION =
$$\left[1 - \sum_{j=1}^{m} (a_{ij}/A_i)^2\right]$$
 (7)

式中,aii为景观类型 ij 面积,i=1(绿洲)或 2(荒漠),Ai为景观类型 i 的总面积,N 为景观中的斑块总数。

(3)景观破碎度 (C_i)

指绿洲景观类型在给定时间和给定性质上被分割的破碎程度,在一定程度上反映出人为因素对绿洲景观的干扰程度^[28],其计算公式为:

$$C_i = n_i / A_i \tag{8}$$

式中, A_i为绿洲景观类型 i 的总面积, n_i为绿洲景观类型 i 的斑块数。

3 结果与分析

3.1 绿洲时空变化过程

3.1.1 1963—2009 年金塔绿洲变化速度与趋势分析

图 1 可知,1963—1973 年间,金塔绿洲面积变化及其变化速度较快,其面积变化量和绿洲累计动态度高 达 49.53 km² 和 15.45%。绿洲与荒漠间相互转化剧烈且频繁,其绿洲化荒漠化双向变化动态度较高 (1.56%),绿洲处于非平衡的状态。1973—1986 年间绿洲变化速度相对较小(其绿洲累计动态度仅为 0.24%),但总体上绿洲面积仍保持持续增长的态势,绿洲与荒漠间的相互转化也很剧烈,表现为绿洲面积扩 张且抵消了荒漠扩大的面积,其整体变化趋势趋于平衡且相对稳定(*k* 值仅为-0.63%)。1986—1999 年间,金 塔绿洲面积呈现退缩的状况,荒漠化过程大于绿洲化过程,但绿洲与荒漠间转化趋向于平缓。1999—2009 年 绿洲面积快速增长,其绿洲面积变化量及其累计变化速度均达到最大。至 2009 年,绿洲面积达 523.17 km², 绿洲与荒漠间相互转化过程剧烈且频繁,绿洲扩张速度远大于退缩速度,绿洲处于极端不平衡状态(图 1)。 整个研究期间,金塔绿洲面积总体呈现稳定增长的趋势,绿洲规模逐渐扩大,绿洲化过程大于荒漠化过程,绿 洲变化趋势呈现表现出非平衡—平衡—极端不平衡的起伏波动变化。





3.1.2 1963—2009 年金塔绿洲空间变化分析

由图 1 和图 2 可知,1963—1973 年间金塔绿洲呈现快速增长的趋势,其荒漠转为绿洲的年均面积分别为 13.84 km²/a,绿洲重心偏向西北方位,其迁移距离最长(2.12 km)(图 2A);绿洲扩张区域主要发生在西坝乡、 以板井滩—生地湾农场—前进村—金马村、晨光村—西红村—北海子盐场等乡村;绿洲萎缩区主要在三合乡 北部的冰草洼村至东坝镇和大庄子乡一带。1973—1986 年间金塔绿洲面积持续增长,且呈现先慢后快的态势,至 1986 年达到一个小高峰(386.40 km²),绿洲重心方位为南偏东,迁移距离为 1.19 km。此期间除了西坝 乡的生地湾农场外,绿洲变化剧烈区域主要是沿西干渠方向的金塔镇建国村—上三分村—官营沟村—头号 村、东干渠方向上的营泉—天生场和下新坝村—头墩大队—带(图 2B 和 C)。1986—1999 年间绿洲变化起伏 波动较大,表现为先减少后增加的峰谷状^[13],总体呈现下降的趋势,其退缩面积达 109.83 km²,且主要发生在 下述 4 个区域:西坝乡北部的北海子盐场,生地湾农场及其周边的荒漠草滩,东北方向的东坝镇和大庄子乡的



图 2 1963—2009 年金塔绿洲重心迁移变化及绿洲扩张与退缩区域空间分布图 Fig.2 The change of barycenter and oasification area, desertification area in Jinta oasis from 1963 to 2009

天然绿洲及绿洲荒漠过渡带,中东镇沙漠森林公园北面的荒草过渡带等(图 2D)。而绿洲扩张区域主要是羊 并子湾乡(主要原因是移民和土地开垦与整理等)。对于整个金塔绿洲,移民安置区和新开垦地块多是对原 有弃耕地的复垦和开荒整地,且多是村落之间及其边缘地区和条件较好的荒草地被开垦。因而,该时段绿洲 边界不稳定,其重心向东南方向迁移,迁移距离为1.56 km。1999—2009 年间绿洲又快速扩张,绿洲化面积达 最大(184.33 km²),年均扩张速度为16.76 km²/a,远大于荒漠化速度(0.91 km²/a),但绿洲重心位置相对偏移 较小,其迁移仅 0.43 km,这说明 1999—2009 年间绿洲在各个方向上均有变化且较均匀。从空间上看,东坝 镇、古城乡、中东镇和金塔土地开发整理示范区(即场站机关辖属的绿洲)等乡镇辖区绿洲变化较大,绿洲新 增面积以"星斗填充式"为主,多发生在绿洲内部的荒滩或绿洲的边缘上,或远离主体老绿洲(如沙边子井、沙 枣树井和三个锅庄等),其形状大小不一(图 2E)。整个研究期间里,绿洲重心迁移的大致方向是先朝金塔县 的西北方向,后折向东南,再迂回向北迁移,近46 年来绿洲重心位置整体向南迁移,其迁移距离为1.97 km(图 2A)。

3.2 绿洲景观特征变化

绿洲面积规模与空间格局的变化直接导致绿洲景观格局变化。由表 3 和图 1 可知,1963—2009 年间绿 洲规模不断扩大,面积比例由 18.02%增至 29.87%。绿洲的形状指数(LSI)总体呈现下降的趋势,总体上绿洲 景观几何形状趋于简单化,斑块不规则程度逐渐下降。1963—2009 年间,面积加权平均分维数(AWMPFD)数 值均低于 1.30,且呈现波动状,表明绿洲分形特征边缘周长较简单,绿洲面积变化对绿洲几何形状复杂程度影 响不显著(表 3)。同时,也间接地说明绿洲斑块数量、规模与边缘特征也影响着绿洲景观分形特征变化^[29-30]。

绿洲景观分离度(DIVISION)数值表现为先降后升再降的趋势,表明近46年来绿洲总体趋向于集中,密 集程度逐渐增大,斑块个体的离散程度下降。但在1973—1986、1986—1999年间绿洲景观分离度呈增长趋势,主要是由于该时期人工绿洲面积不断扩张与集中,同时绿洲过渡带的天然灌丛荒草地不断受到荒漠化和 土地开垦与整理行为的干扰,致使其破碎化和空间分布的离散程度增大。2002年以后,绿洲面积增加明显, 大斑块绿洲不断兼并周边零散的小斑块,且新开垦与复垦绿洲多分布在绿洲内部的荒滩和(或)绿洲边缘区, 绿洲趋向于集中化,内部结构更趋复杂化;同时天然绿洲或转变为人工绿洲,或紧密连并到耕地或林地中,或 是退化为盐碱地或荒滩、稀疏草地(覆盖率低于 5%)^[13],大大降低绿洲景观空间离散程度。绿洲景观破碎度 值变化在 1963 年时最大(1.457),1973 年时最小(0.171),这可能是由不同分辨率的遥感数据源造成的;但绿 洲景观破碎化程度与景观形状指数变化趋势基本一致,总体上随着绿洲面积的增长而呈现下降的态势,表明 绿洲扩张过程中面积规模的增大与绿洲景观破碎化密切相关(表 3)。

	Table 5 The spata	ai pattern ei	genvalue in Jin	a Oasis anu i	ts regression e	quation
年份 Year	1963	1973	1986	1999	2009	与绿洲面积比重的回归分析 Regression analysis with area proportion
景观形状指数 Landscape shape index	40.94	24.13	32.32	30.11	25.48	$y = 0.2711x^2 - 14.16x + 206.76$ $R^2 = 0.6914$
面积加权平均分维数 Area-weight mean fractal dimension index	1.21	1.25	1.26	1.21	1.24	$y = -0.0008x^2 + 0.0419x + 0.7184$ $R^2 = 0.5899$
景观分离度 Landscape division index	0.94	0.72	0.89	0.89	0.65	$y = 0.00065x^2 - 0.0029x + 0.0359$ $R^2 = 0.6808$
景观破碎度 Fragmentation index	1.46	0.17	0.58	0.56	0.44	$y = 0.0266x^2 - 1.3546x + 17.129$ $R^2 = 0.8034$

表 3 金塔绿洲景观空间格局特征及其回归方程 Table 3 The snatial nattern eigenvalue in Jinta Oasis and its regression equation

4 讨论

(1)干旱区绿洲研究是一个多学科交叉的复杂研究领域,要探讨较长时间尺度绿洲时空变化,就必须要 对时间和空间跨度较大的不同数据源数据开展处理和分析。本研究的数据源来自不同卫星传感器,其空间分 辨率及其光谱信息不一致(如1963年的Keyhole卫星相片分辨率2.7m,而1973年的LandsatMSS的分辨率 仅为80m,其他LandsatTM/ETM+数据的分辨率为30m),即在绿洲提取过程中阈值的设置与不同影像中地 物解译的标志(如形状、颜色、纹理等)必然存在着一定的差异。本研究通过对影像进行重采样,并在同一比 例尺下进行影像解译过程,且通过相关资料(如地形图、土地利用现状图及土地利用数据变更数据库、Google Earth卫星影像等)和多次野外实地调查以及与当地居民访谈验证等方式来核查解译数据,试图尽可能地减小 不同数据源影像的解译误差,提高影像解译结果的准确度,分析表明,解译的数据结果能很好地满足本研究分 析需要。但由于多源遥感数据之间存在着本质上的差异性,致使绿洲景观特征变化上仍存在着一定的误 差^[31],这也是研究中景观形状指数、分离度和破碎度在1963年的值较高,1973年的值较低,而同源数据间 (1986—2009年)则较好地反映了绿洲景观结构变化的缘故。因此,如何降低不同数据源间带来的误差,减少 遥感图像"同物异谱"或"同谱异物"的现象,以提高分类结果的精度和研究结果的准确性,仍将是今后研究需 要突破的一个重要内容^[23,31]。

(2)绿洲变化包含绿洲内部属性和时空格局变迁两个方面,绿洲的属性变化可以看作是绿洲的演化,即 绿洲内部组分、结构和功能的变化过程;绿洲时空格局变迁,则可以看成是绿洲在时间尺度上的空间格局变 迁,体现在绿洲与外围荒漠的相互作用、相互博弈的时空变化过程,即绿洲的扩张(绿洲化)与退缩(荒漠化)。 绿洲变化过程中,其时空格局的变迁不仅是绿洲内部属性变化状况的反映,而且是绿洲时空演变过程中最直 观的体现。因此,在现有数据源能满足研究的需要的前提下,从整体性和系统性角度出发,将绿洲视为单一的 地理景观单元^[30],结合数理统计模型从绿洲面积量的变化、速度、趋势状态和空间分布格局,是反映和分析较 长时间序列的绿洲时空格局变化的一种有效手段^[17]。

(3)绿洲景观特征是绿洲结构变化的外在形式体现,绿洲时空变化又必然会影响绿洲结构的变化。绿洲 变化是一个非常复杂的过程,其时空分布格局受到多方面因素的影响。金塔绿洲是河西走廊的典型农业绿 洲,近几十年来绿洲景观格局变化的主要受人文社会因素的影响,即人口变化、政策、可利用水资源的开发、社 会经济发展、科技科学技术以及人们文化修养、思想观念、受教育程度等其他因素的影响,且在各个不同时期 内其作用大小也不同^[13]。本研究主要考虑金塔绿洲整体的扩张与退缩的变化过程及其与绿洲景观格局的关 系,结果表明 1963—2009 年间绿洲面积波动起伏变化较大,总体呈现增长的趋势^[13],对绿洲景观的影响深 刻,表现为绿洲斑块几何形状趋向于规则与简单化、破碎化程度下降的态势,其绿洲面积比重变化状况与景观 形状指数和破碎度相关性较大,但对绿洲斑块面积加权分维数和景观分维数不显著。这可能是由于绿洲内部 组分、结构等变化(如耕地、林地、城镇建设用地、天然绿洲(灌丛草滩)、道路与渠系的建设、土地利用方式(如 耕种方式))对绿洲景观斑块特征变化有着重要的影响^[17]。同时,可用水资源量是影响干旱区绿洲时空分布 及其景观特征变化的首要制约因素,其可开采利用的数量与分布状况直接影响着地表覆被类型与变化趋势, 进而影响着绿洲景观格局的变化。金塔绿洲是以灌溉渠系和地下水抽取灌溉形成的农业绿洲,目前已经逐渐 形成了以鸳鸯池水库及灌渠为主的,实行引蓄结合、渠库相连、调剂余缺等的灌溉网络体系,很大程度上影响 着绿洲生产活动和景观格局变化。因此,水资源及灌溉渠系分布格局也是决定绿洲景观结构的变化主要影响 因子^[17,28],在后期的研究中应注意加强该方面的研究分析。另外,也可能是由于研究时段间隔较大,数据样 本量较少,且部分景观指数对二元景观反映存在不规律现象^[32],各不同绿洲景观格局指标之间的相关性及其 对不同格局系列在不同水平上反应及其效应有待进一步研究。

5 结论

1963—2009 年金塔绿洲以扩张的态势为主,并在 2009 年绿洲达到最大(523.17 km²)。研究期间,绿洲扩 张速度远大于退缩速度,绿洲与荒漠间的相互转化过程剧烈且频繁,且以 1963—1973 年间绿洲与荒漠的转化 最剧烈。绿洲变化趋势主要呈现为非平衡—平衡—极端不平衡的起伏波动状态,绿洲重心位置发生较大 变化。

近46年来金塔绿洲变化直接影响着绿洲景观结构,主要表现为绿洲形状分维特征趋于简单化和规则化, 绿洲分散程度和破碎化程度总体呈现减少的态势,致使绿洲斑块镶嵌体的呈现出散布—扩张—破碎—融合扩 展的复杂过程,绿洲趋于集中和密集化。

金塔绿洲变化影响着绿洲景观特征变化,但绿洲化与各个景观指数之间并不存在显著的相关性,这可能 是绿洲内部组分、结构、人类活动对区域水土资源利用程度以及文章数据样本量有关。本研究对绿洲内部组 分与结构变化对绿洲景观格局的影响探讨涉及较少,在下一步研究中,建议加强并深入探讨绿洲土地利用/覆 被变化与绿洲景观结构与功能的关系及其生态环境效应评价研究,这也是绿洲学及干旱区土地变化科学研究 的一个重要方向。

参考文献(References):

- [1] 王涛. 干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势. 中国沙漠, 2009, 29(1): 1-9.
- [2] Jia B Q, Zhang Z Q, Ci L J, Ren Y P, Pan B R, Zhang Z. Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang, China. Journal of Arid Environments, 2004, 56(1): 11-26.
- [3] 申元村, 汪久文, 伍光和, 韩德麟. 中国绿洲. 郑州: 河南大学出版社, 2001: 1-18.
- [4] 汪久文.论绿洲、绿洲化过程与绿洲建设.干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 1-12.
- [5] 申元村. 绿洲发展面临的挑战、目标及 21 世纪发展研究展望. 干旱区资源与环境, 2000, 14(1): 1-11.
- [6] 贾宝全,慈龙骏,韩德林,杨洁泉.干旱区绿洲研究回顾与问题分析.地球科学进展,2000,15(4):381-388.
- [7] 钱云,郝毓灵.新疆绿洲.乌鲁木齐:新疆人民出版社,1999:133-133.
- [8] 韩德麟.关于绿洲若干问题的认识.干旱区资源与环境,1995,9(3):13-31.
- [9] 陈曦. 中国干旱区土地利用与土地覆被变化. 北京: 科学出版社, 2008: 16-23.
- [10] Luo G P, Feng Y X, Zhang B P, Cheng W M. Sustainable land-use patterns for arid lands: A case study in the northern slope areas of the Tianshan Mountains. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(4): 510-524.
- [11] 罗格平,周成虎,陈曦.干旱区绿洲土地利用与覆被变化过程.地理学报,2003,58(1):63-72.

http://www.ecologica.cn

[12]	Zhou D C, Luo G P, Lu L. Processes and trends of the land use change in Aksu watershed in the central Asia from 1960 to 2008. Journal of Arid Land, 2010, 2(3): 157-166.
[13]	谢余初. 近 60 年金塔绿洲时空变化及其驱动力研究. 兰州: 兰州大学, 2012.
[14]	Wang T, Sun J G, Han H, Yan C Z. The relative role of climate change and human activities in the desertification process in Yulin region of
	northwest China. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184(12): 7165-7173.
[15]	罗格平,周成虎,陈曦.从景观格局分析人为驱动的绿洲时空变化——以天山北坡三工河流域绿洲为例.生态学报,2005,25(9):
	2197-2205.
[16]	Ma M G, Wang X M, Cheng G D. Study on the oasis corridor landscape in the arid regions based on RS and GIS methods-application of Jinta
	Oasis, China. Journal of Environmental Sciences, 2003, 15(2); 193-198.
[17]	Luo G P., Zhou C H., Chen X., Li Y. A methodology of characterizing status and trend of land changes in oases, a case study of Sangong River
[- ,]	watershed Xinijang China Journal of Environmental Management 2008 88(4) · 775-783
[18]	四异星 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 十批利用变化对于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
[19]	Tsegave D. Moe S.R. Vedeld P. Avnekulu E. Land-use/cover dynamics in Northern Afar rangelands. Ethiopia Agriculture: Ecosystems and
[17]	Environment $2010 - 139(1-2) \cdot 174-180$
[20]	Huzui A.F. Călin I. Pătru-Stunariu I. Snatial nattern analyses of landscane using multi-temporal data sources. Procedia Environmental Sciences
[20]	2012 14. 98-110
[21]	Xie X W Li L L Wang H X. Zhao X I. The application of threshold methods for image segmentation in pasis vegetation extraction // Proceedings
[21]	of the 18th International Conference on Conjunctions, Reijing, IEEE 2010, 1-4
[22]	Petit C.C. Lambin F.F. Integration of multi-course remote sensing data for land cover change detection. International Journal of Coographical
[22]	Information Science 2001 15(8), 785-803
[23]	Denis B. Antoine T. Christian P. Claudine D. Comparison of methods for LUCC monitoring over 50 years from aerial photographs and satellite
[23]	images in a Sabalian catchment. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(6), 1747-1777
[24]	Sate K C. Franking Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics.
[24]	Landscape Follow 2005 20(7), 871-888
[25]	王用远 刘纪远 张馗祥 周令斌 王长有 近 10 年中国土地利田格局及其演变 地理学报 2002 57(5),523,530
[26]	工态运,私纪运,派指评,两主流,工长行、近10 平平西土地村所带两次突破支、远程学说,2002,57(5): 525-550.
[20]	Environments 2001 48(4), 521-535
[27]	Šímová P. Cdulová K. Landscane indices behavior, a review of scale effects. Applied Ceography. 2012. 34, 385-394
[28]	Morgan LL Cargel S. F. Quantifying historic landscape heterogeneity from aerial photographs using object-based analysis. Landscape Feelogy
[20]	2010, 25(7): 985-998.
[29]	蒙吉军,吴秀芹,李正国.河西走廊土地利用/覆盖变化的景观生态效应——以肃州绿洲为例.生态学报,2004,24(11):2535-2541.
[30]	巩杰,谢余初,孙朋,颉耀文.乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化.生态学报,2013,33(11):3470-3479.
[31]	Lechner A M, Langford W T, Bekessy S A, Jones S D. Are landscape ecologists addressing uncertainty in their remote sensing data? Landscape
	Ecology, 2012, 27(9): 1249-1261.
[32]	李秀珍,布仁仓,常禹,胡远满,问青春,王绪高,徐崇刚,李月辉,贺红仕.景观格局指标对不同景观格局的反应.生态学报,2004,24
	(1): 123-134.