

# 基于 Ripley's K 函数的绿洲景观格局演变分析 ——以张掖市甘州区为例

罗君<sup>1,2</sup>, 孙振元<sup>1,3,4</sup>, 张学斌<sup>2</sup>

(1. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 兰州 730070; 2. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院 冰冻圈科学国家重点实验室, 兰州 730000; 4. 中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049)

**摘要:**基于1987年、2000年、2011年、2016年张掖市甘州区土地利用数据,应用Ripley's K函数与空间自相关分析,对甘州区绿洲景观格局及其变化进行了研究,结果表明:耕地是甘州区绿洲区域的景观基质,未利用地环绕耕地周围,林地、水域、草地和城乡建设用地以斑块或廊道形式镶嵌在耕地与未利用地中;耕地、建设用地和林地面积逐渐增加,水域、草地和未利用地面积明显减少,水域和建设用地的空间聚集性强于草地、未利用地、林地和耕地;各年的景观要素均表现出较弱的聚集特征,具有较低程度的空间正相关,相关性逐年减弱,说明研究区域景观格局正在向随机化发展;草地和建设用地在较大尺度下呈现聚集的空间格局,林地、未利用地和耕地在小尺度下呈现出聚集的空间格局,1987年和2000年水域在小尺度下呈现出聚集的空间格局,2011年和2016年在较大尺度下呈现聚集的空间格局;自然景观的空间聚集性均有不同程度的增强,其面积比例不断下降,人工景观面积所占比例不断上升,表明研究区域景观类型趋向单一,人类活动对景观格局变化造成了显著影响。

**关键词:**景观格局; 尺度; 聚集; 张掖绿洲

**中图分类号:** P901

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2019)04-0224-08

## Analysis of the Characteristics and Changes of Landscape Pattern of Oasis in Ganzhou District of Zhangye City Based on Ripley's K Function

LUO Jun<sup>1,2</sup>, SUN Zhenqi<sup>1,3,4</sup>, ZHANG Xuebin<sup>2</sup>

(1. College of Environment and Resources, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China;

2. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

3. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** By using the land use data of Ganzhou District, Zhangye City in 1987, 2000, 2011 and 2016, according to the Ripley's K and the spatial autocorrelation analytical method, we studied the characteristics and changes of landscape pattern in oasis of Ganzhou District. The results showed that from 1987 to 2016, farmland was the landscape matrix in the research area, which was surrounded by unutilized land, while forestland, water area, grassland and urban and rural construction land were the patches or corridors, which spatially clumped significantly at all scales. The areas of farmland, urban and rural land and forestland were increasing, the areas of water area, grassland and unutilized land were reducing, and the spatial aggregation of water area and urban and rural land were stronger than grassland, unutilized land, forestland and farmland. The landscape elements had small aggregation features and positive spatial correlation every year, the correlation gradually declined, which seemed that landscape pattern of research area was developing towards random distribution. The spatial patterns of grassland and urban and rural land were cluster at the bigger scale, forestland, unutilized land and farmland were cluster at smaller scale, and water area was cluster at smaller scale of the order time, and cluster at bigger scale of the recent time. The spatial aggregation of natu-

ral landscape was stronger at different levels, and the proportion of area was keeping falling, but the proportion of area was continuously rising for the artificial landscape, which seemed that the types of landscape had become simple in the research area, and human activity had caused significant effect on the landscape pattern.

**Keywords:** landscape pattern; scale; cluster; Zhangye Oasis

对土地利用格局与生态过程及其尺度效应的研究是国内景观生态学研究的核心重点领域,是景观生态学研究的核心<sup>[1]</sup>。现有的土地利用景观格局研究主要结合土地利用情况进行景观生态风险评价<sup>[2-6]</sup>和基于土地利用数据的景观格局变化<sup>[7-13]</sup>及其驱动力分析上<sup>[14-18]</sup>,研究方法以对土地利用状况的统计分析与单一尺度下各类景观格局指数结合为主。景观生态学迅速发展初期,人们利用景观格局指数将复杂的自然现象用数值简单化,极大增强了人类认识自然的能力。然而目前绝大部分景观指数来源于数理统计和几何特征与空间关系的数学表达,指数本身并没有生态学意义。同时对于景观格局的研究,选择适宜的研究尺度,对景观格局的分析和过程的研究才有意义。通过多尺度景观格局分析,可构建一个景观格局随尺度变化的特征曲线,从而将特征曲线与相应生态过程对应<sup>[19]</sup>。多距离空间聚类分析是一种能够在不同空间尺度下对景观格局进行分析的空间点格局分析法。通过该方法可获得空间特征尺度和强度两个指数,可较好反映景观类型的空间聚集程度,并具有简单高效等优点<sup>[20]</sup>。目前国内对张掖市甘州区景观格局进行研究的案例较少,尚无应用多距离空间聚类分析方法研究张掖市甘州区景观格局的案例。本研究借助 GIS 技术,应用多距离空间聚类分析方法从多个空间尺度上对张掖市甘州区人工绿洲区域的景观格局进行分析,结合空间自相关分析方法,研究其 1987—2016 年景观格局的聚集特征及其变化,以为张掖市甘州区的可持续发展及景观规划提供科学依据。

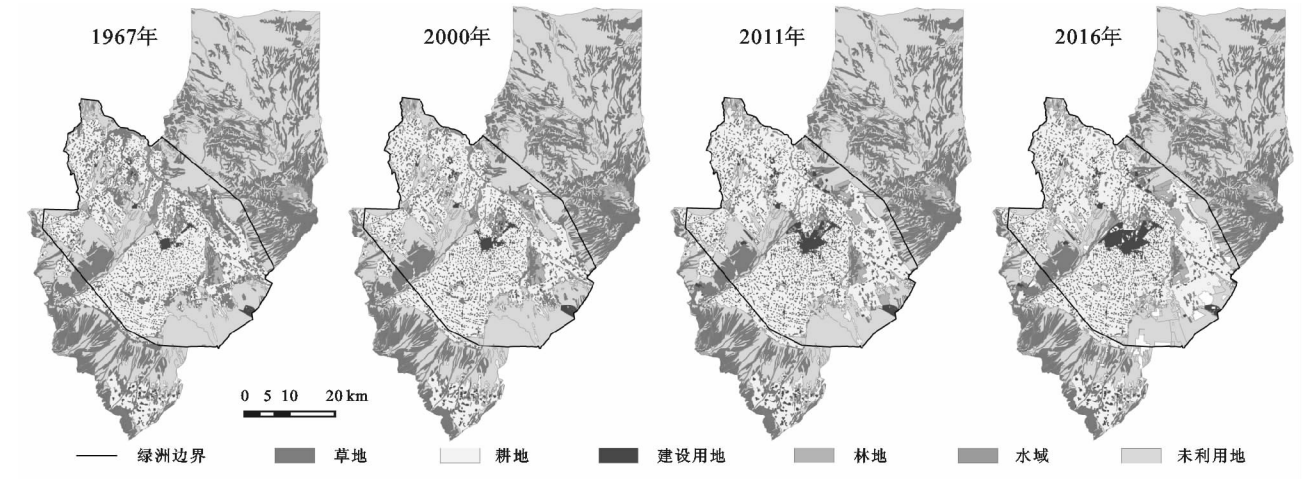


图 2 甘州区土地利用数据

# 1 研究区概况及数据来源

## 1.1 研究区概况

张掖市甘州区位于河西走廊中部,南依祁连山,北邻龙首山与合黎山,地处东经 100°6′—100°52′,北纬 38°32′—39°24′,属温带大陆性气候。研究区以甘州区范围内海拔低于 1 600 m 的河西走廊地势平缓区为主,相比南北两山区域,该区域属绿洲区域,灌溉农业发达,人文景观丰富,景观变化较为频繁,具有典型研究意义(图 1)。

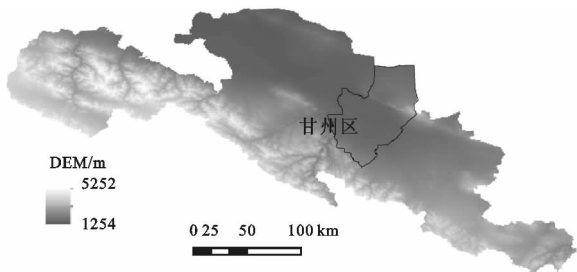


图 1 甘州区位置及 DEM

## 1.2 数据来源及预处理

土地利用数据通过对 1987 年、2000 年、2011 年、2016 年张掖市甘州区的遥感影像数据解译得到,遥感数据来源于美国 USGS 网站(<http://glovis.usgs/Imgviewer>),张掖市 DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),为排除甘州区南北两山区域景观数据对研究结果的影响,使用 ArcGIS 10.2 软件对各年份土地利用数据大致沿海拔 1 600 m 等高线进行裁剪,保留各年份的人工绿洲区域作为研究对象(图 2)。

## 2 研究方法

### 2.1 空间自相关

景观格局的最大特征就是空间自相关性。美国地理学家 Tobler<sup>[21]</sup>在 1969 年提出:任何事物之间都存在相关性,邻近事物之间相关性更强。空间自相关分析可检验某类地物的某一属性是否与相邻空间上该类地物的该属性相关,以及相关性强弱。应用 ArcGIS 10.2 软件中的数据管理工具将张掖市甘州区绿洲区域土地利用数据中的面要素图斑按用地类型提取后分别转换为点要素,然后在空间统计工具箱中利用空间自相关(Moran's  $I$ )分析工具进行不同年份的空间自相关分析。

### 2.2 Ripley's K 函数分析

Ripley's  $K$  函数分析把局部景观视为空间内的一个点,绘制点位置分布图,以点图为基础分析景观空间分布格局,是点格局分析的最常用方法。设  $n$  是研究区内景观观点数, $A$  是研究区面积,Ripley's  $K$  函数被定义为:

$$K(d) = A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{d_{ij}(d)}{n^2} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j, d_{ij} \leq d) \quad (1)$$

式中: $n$  为景观观点数; $d$  为距离尺度; $d_{ij}$  是景观点  $i$  与  $j$  之间的距离; $A$  为研究区面积。Besag<sup>[22]</sup>提出用  $L(d)$  取代  $K(d)$ ,并对  $K(d)$  作开平方的线性变换,以保持方差稳定。在随机分布的假设下  $L(d)$  期望值为 0,  $L(d)$  为:

$$L(d) = \sqrt{\frac{K(d)}{\pi}} - d \quad (2)$$

在 ArcGIS 10.2 软件空间统计工具箱中利用多距离空间聚类分析(Ripley's  $K$  函数)工具对各年份各景观类型的点位置图进行 Ripley's  $K$  函数分析及显著性检验。设置起始距离与距离步长均取值 3 km,计算 30 次;Ripley's  $K$  指数偏离随机性的显著性检验采用蒙特卡洛模拟法,置信度设置为 99%;边界校正设置为 simulate outer boundary values。

将计算得到的 .dbf 格式计算结果导入 Excel 软件,生成距离值  $d$  值、观测值  $L(d)$  值、上包迹线、下包迹线和  $d$  值与  $L(d)$  值差值 DiffK 的关系图。若  $L(d)$  值大于上包迹线,则该景观类型显著聚集分布;若  $L(d)$  值小于下包迹线,则该景观类型显著均匀分布;若  $L(d)$  值位于上下包迹线之间,则该景观类型显著随机分布。当  $L(d)$  值大于  $d$  值,且两条曲线相距越远即 DiffK 值越大时,则该景观类型空间分布聚集程度越强;当  $L(d)$  值小于  $d$  值,且两条曲线相距越远即 DiffK 值越小时,则该景观类型空间分布离散程度越强。

## 3 结果与分析

### 3.1 空间自相关

对甘州区绿洲区域景观分布在空间上的平均关联程度和显著性进行探测,结果见表 1。

表 1 空间自相关计算结果

年份	Moran's $I$ 指数	预期指数	方差	$z$ 得分	$p$ 值
1987	0.184473	-0.000464	0.000016	46.696432	0.000000
2000	0.151200	-0.000478	0.000011	44.758897	0.000000
2011	0.151007	-0.000480	0.000021	32.725490	0.000000
2016	0.066681	-0.000457	0.000003	36.484491	0.000000

在置信度 99% 水平下,各年份 Moran's  $I$  指数均大于 0,表明 1987—2016 年,研究区域景观要素之间存在空间正相关性,但其值较小,最大值不超过 0.2,表明正相关性不强。Moran's  $I$  指数逐年降低,其中 2011—2016 年降低速度较快,2016 年的 Moran's  $I$  指数明显低于其他年份,其值为 0.066 681,趋近于 0,表明不同景观要素的空间异质性增强,景观格局正在向随机化发展,2011 年后景观随机化分布速度明显加快。

### 3.2 多距离空间聚类分析

3.2.1 甘州区绿洲区域景观格局特征 在研究区域,耕地所占面积比例最大,连通性最好,是甘州区绿洲区域的景观基质;林地和建设用地以斑块形式镶嵌其中,水域以廊道形式贯穿绿洲区域中部,草地和未利用地集中分布在绿洲南北侧山区,空间上形成山前的未利用地景观特征,绿洲区的耕地景观特征。水域、林地所占比例最小,是绿洲农业和生态环境建设的限制性因素。如图 3 所示,1987—2016 年,研究区耕地、建设用地和林地面积比例逐渐增大,水域、草地和未利用地面积比例不断减小。草地和建设用地在较大尺度下呈现聚集的空间格局;林地、未利用地和耕地在小尺度下呈现出聚集的空间格局;水域在 1987 年和 2000 年在小尺度下呈现出聚集的空间格局,在 2011 年和 2016 年在较大尺度下也能够呈现出聚集的空间格局。随着空间尺度不断增大,各用地类型的空间格局均转为随机性分布。水域、建设用地和草地的空间聚集程度比未利用地、林地和耕地更强。

3.2.2 甘州区绿洲景观格局演变特征 随着空间尺度  $d$  值的逐渐增加,某类景观对应的空间尺度  $L(d)$  值出现的第一个峰值相应的  $d$  值可表示其空间聚集的特征,其  $L(d)$  值的峰值可表示该景观类型的空间分布聚集程度<sup>[23]</sup>。

从图 4 可以看出,各年份研究区林地的特征空间尺度均为 3 km;1987 年、2000 年、2011 年和 2016

年,林地在 12,21,18,39 km 内的微分值均大于 0,表明在 1~12,1~21,1~18,1~39 km 的空间尺度上,林地表现为聚集分布特征,随着空间尺度的增加,开始呈现为随机分布特征。将研究尺度统一在 24 km 范围来看,1987—2011 年均不同程度存在分散化趋势,但 2016 年 24 km 范围内的微分值均大于 0,表明林地的空间集聚强度不断降低,聚集分布的空间尺度呈现出增加趋势,说明研究区域林地分布范围增大,空间聚集分布的特征逐渐减弱,随机分布特征逐渐增强。

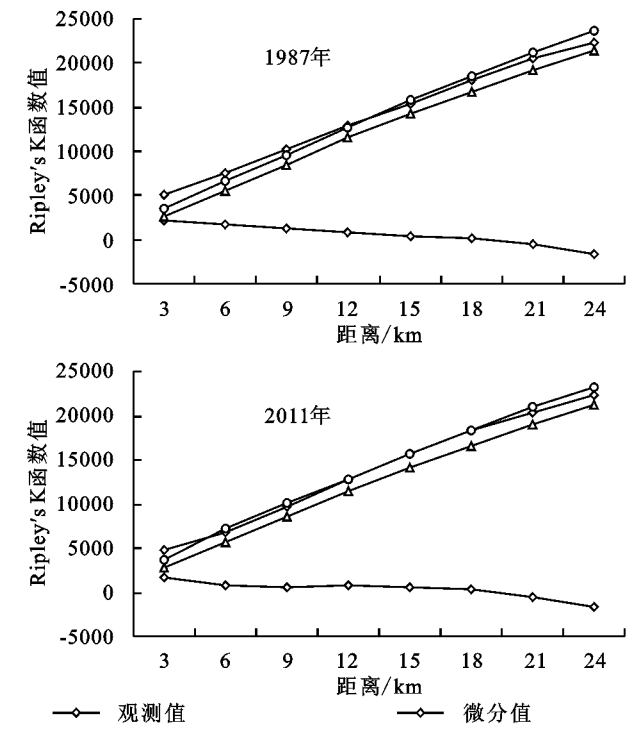


图 4 林地空间分布特征

从图 5 可以看出,水域的特征空间尺度在 1987 年、2000 年和 2016 年均均在 9 km 处,而 2011 年在 12 km 处,同时聚集程度明显高于其他年份;1987 年和 2000 年在 1~27 km 的空间尺度上,2011 年在 1~48 km,2016 年在 1~54 km 的空间尺度上,水域表现为聚集分布特征,随着空间尺度的增加,开始表现出随机分布特征。水域的空间聚集程度先增强后减弱,聚集分布的空间尺度增大,说明水域的空间分布随着水域面积的减小聚集性不断增强。其主要原因由于水是绿洲社会经济发展的限制性因素,张掖市对黑河流域的开发利用,呈现出各县区在黑河流域不同断面上分水取水,流域总体用水量增加,部分小水域、水库水量无充足水源而断流,形成分水取水处等小范围集中趋势明显。

从图 6 可以看出,未利用地的特征空间尺度在

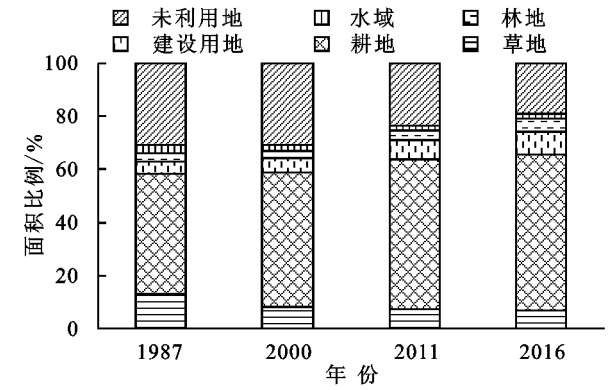
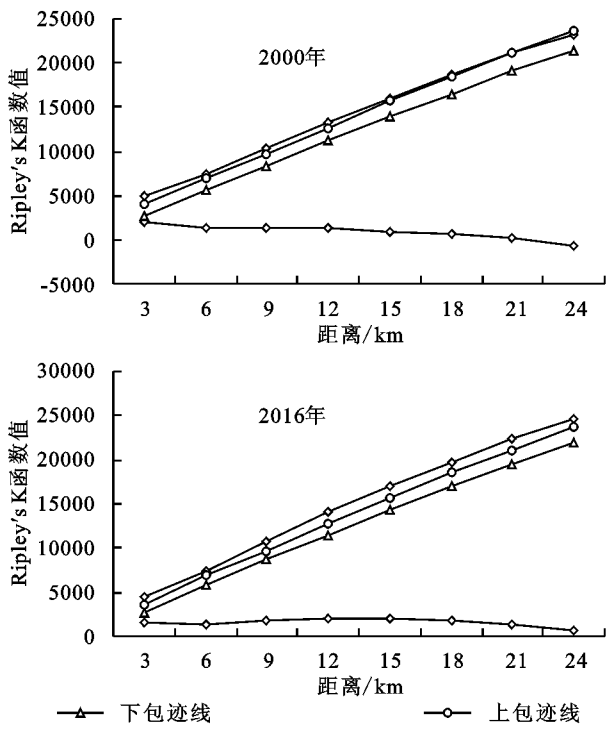


图 3 土地利用变化情况



1987 年和 2016 年为 3 km,2000 年和 2011 年为 6 km;1987 年在 1~12 km,2000 年在 1~15 km,2011 年在 1~24 km,2016 年在 1~21 km 的空间尺度上,未利用地呈聚集分布特征,聚集程度总体增加。随着空间尺度的增加,开始表现出随机分布特征。结合甘州区土地利用总体情况看,耕地和建设用地面积不断增加,未利用地面积不断减小,表明绿洲范围不断扩张,未利用地为绿洲扩张提供了必要的土地资源。

从图 7 可以看出,草地的特征空间尺度在 1987 年为 9 km,在 2000 年和 2011 年为 6 km,2016 年为 15 km;1987 年和 2011 年在 1~54 km,2000 年在 1~51 km,2016 年在 1~48 km 的空间尺度上,草地表现为聚集分布特征,随着空间尺度的增加,开始表现出随机分布特征;1987—2016 年,草地聚集程度总体增加。

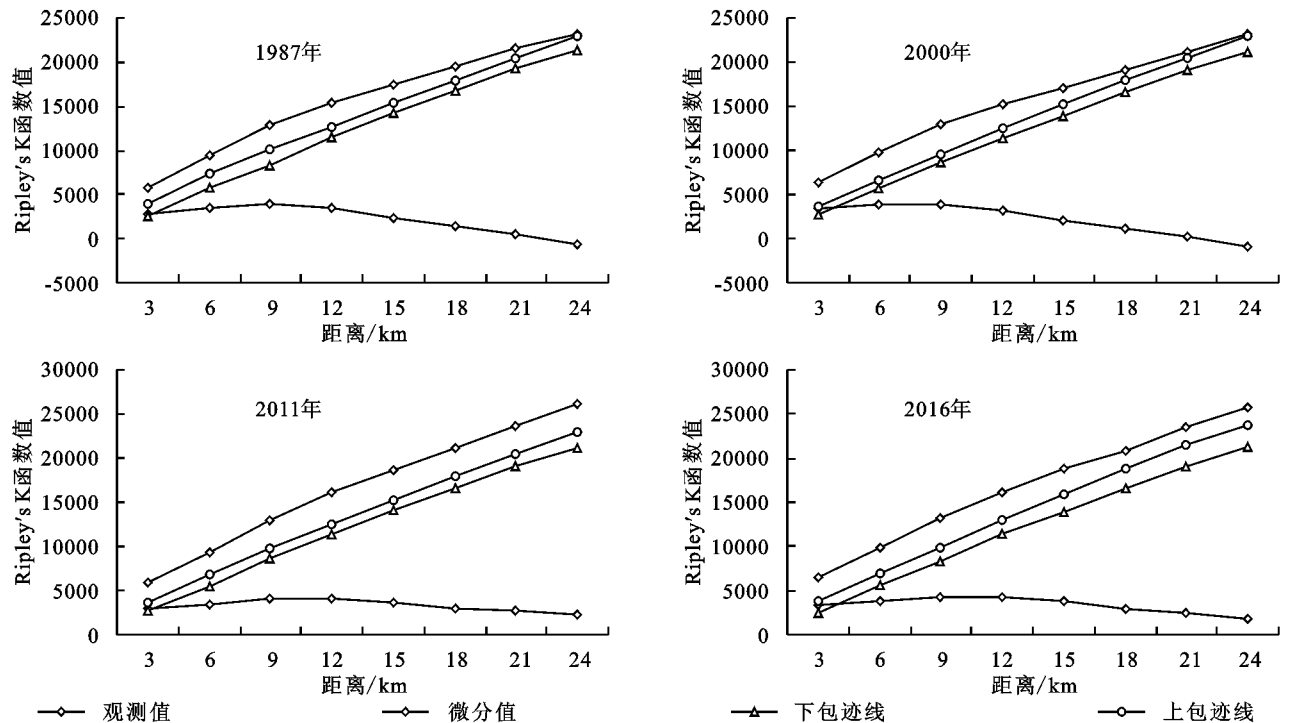


图 5 水域空间分布特征

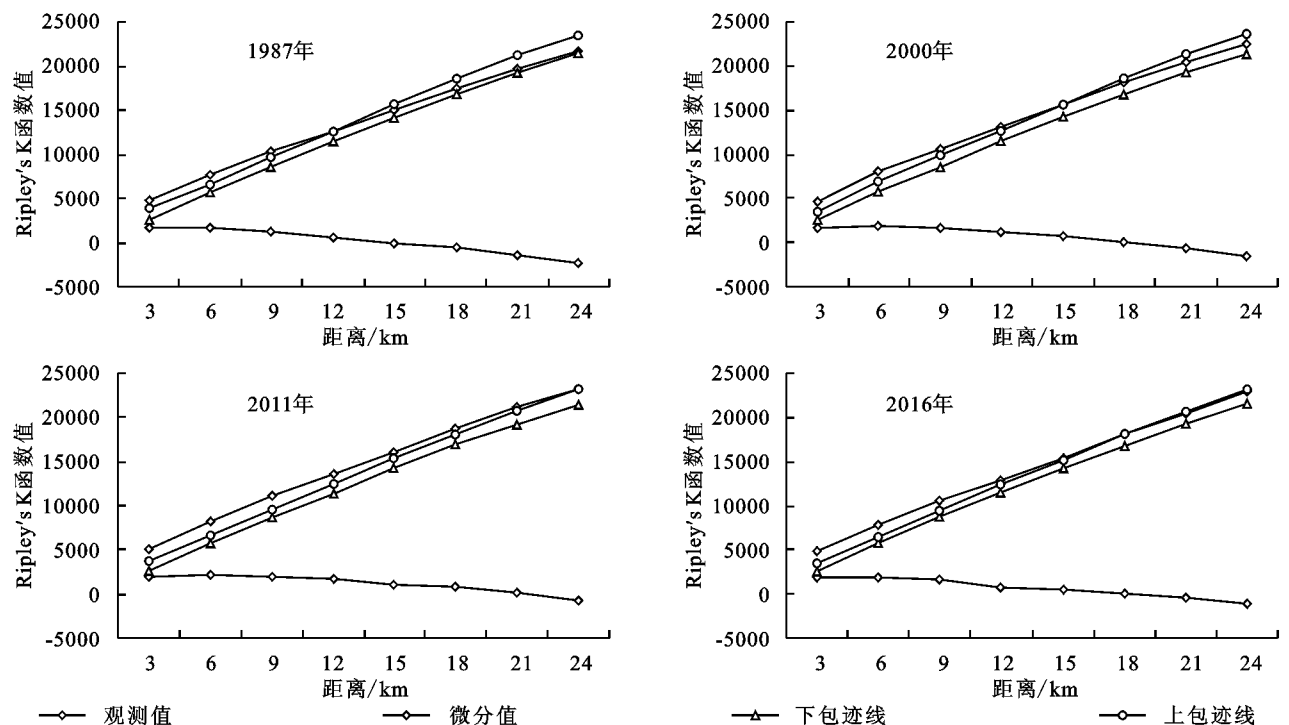


图 6 未利用地空间分布特征

从图 8 可以看出,耕地的特征空间尺度在 1987 年、2000 年和 2016 年均为 3 km,2011 年为 6 km;1987 年在 1~21 km,2000 年在 1~15 km,2011 年在 1~15 km,2016 年在 1~12 km 的空间尺度上,耕地表现为聚集分布特征,随着空间尺度的增加,开始表现出随机分布特征;耕地聚集程度在 1987—2000 年呈现出减弱状况,在 2000—2011 年又出现大幅增长情况,而在 2016 年,耕地聚集程度又出现回落趋势。

由于耕地是绿洲景观的基质,建设用地呈镶嵌状分布在绿洲中,城乡建设用地的扩张对耕地的占用使得耕地景观在空间上呈现出破碎化特征,加之近年来甘州区积极推进高标准基本农田建设和土地整治工程建设,使耕地的集聚程度不断增加,两因素抑制抵消,呈现出耕地集聚特征的波动现象。

从图 9 可以看出,建设用地的特征空间尺度各年份均在 9 km 处,空间尺度在 1~63 km 时,表现为聚

集分布特征,随着空间尺度的增加,建设用地开始表现出随机分布特征。1987—2016 年,建设用地的空

间聚集程度逐渐降低,所占比例逐渐增大,这很好地体现了张掖市甘州区近 30 a 来的城镇化进程。

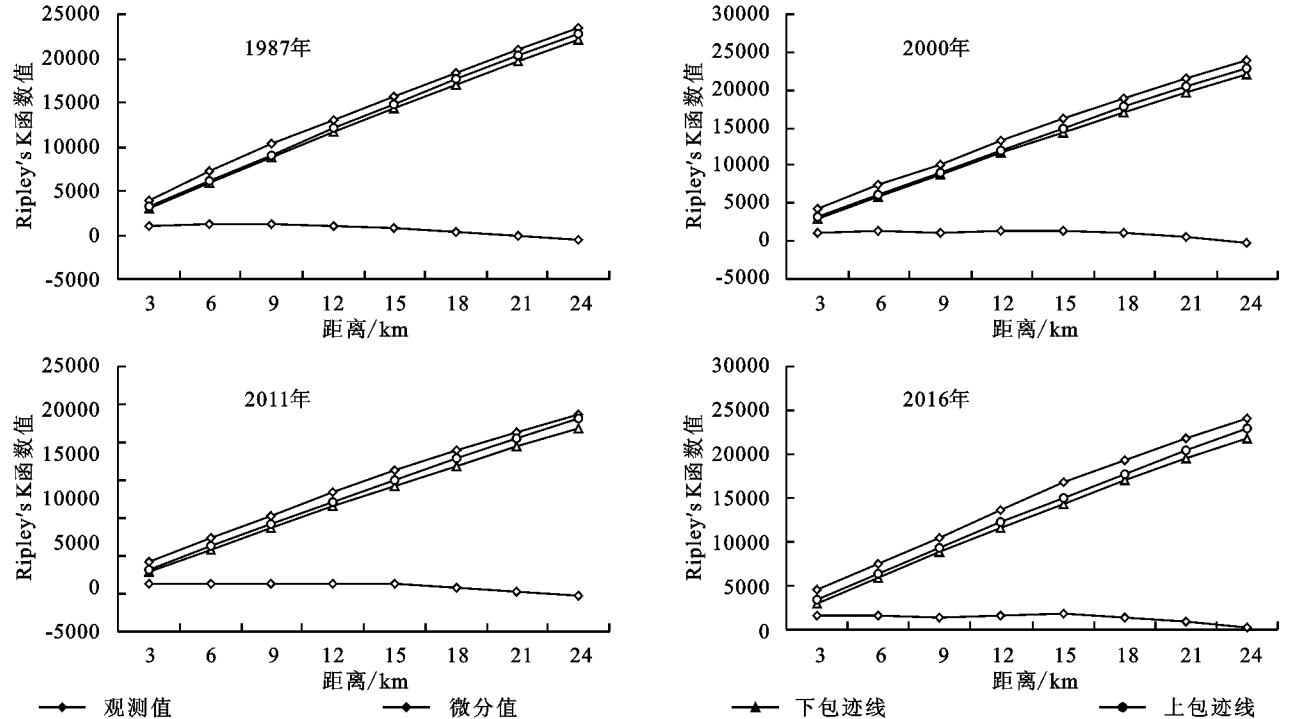


图 7 草地空间分布特征

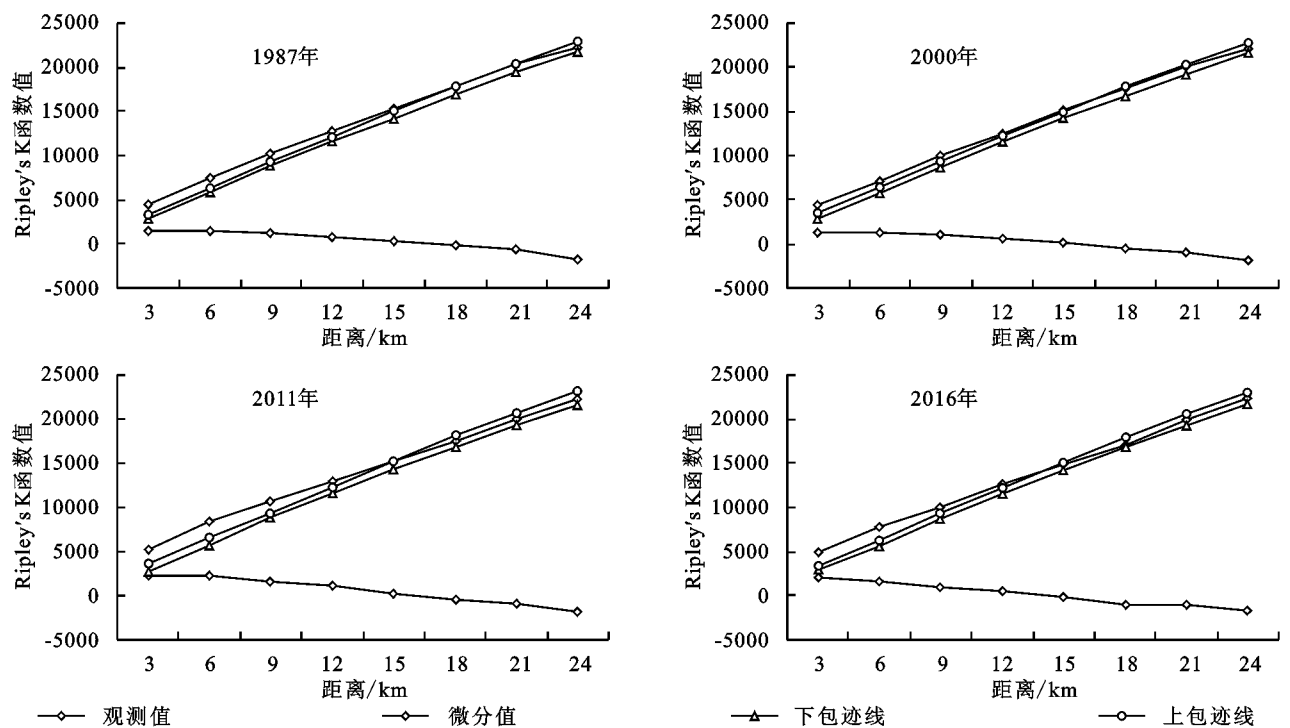


图 8 耕地空间分布特征

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

张掖市地处我国西北内陆的黑河流域中游地区,降水量低(年均降水量 108.6 mm),而且地表径流的

绝大多数水量来源于降水量(96%),生态环境形势严峻,生态较为脆弱<sup>[24]</sup>。随着近年来河西地区人口增加和当地居民活动加剧,张掖市甘州区绿洲区域的耕地和建设用地所占比例不断增加,大量未利用地和草地被占用开发为耕地和建设用地(图 4)。林地从从

原有地块向周围扩展的过程中,其分布范围扩大,空间聚集性随之减弱。当地居民不断加剧的各种活动在很大程度上增加了研究区水资源消耗量,而研究区深居欧亚大陆内部,难以得到外界水资源补给,这使得区域水资源总量逐渐减少,故水域面积在研究区内

所占比例不断下降,水域的空间聚集性增加。不断扩张的耕地和建设用地将会增加本区域耗水量,影响本区域景观多样性,进而威胁到黑河流域内 160 余万人口的生存。控制耕地开垦规模、提高土地利用效率,尽可能遏制生态环境退化势在必行。

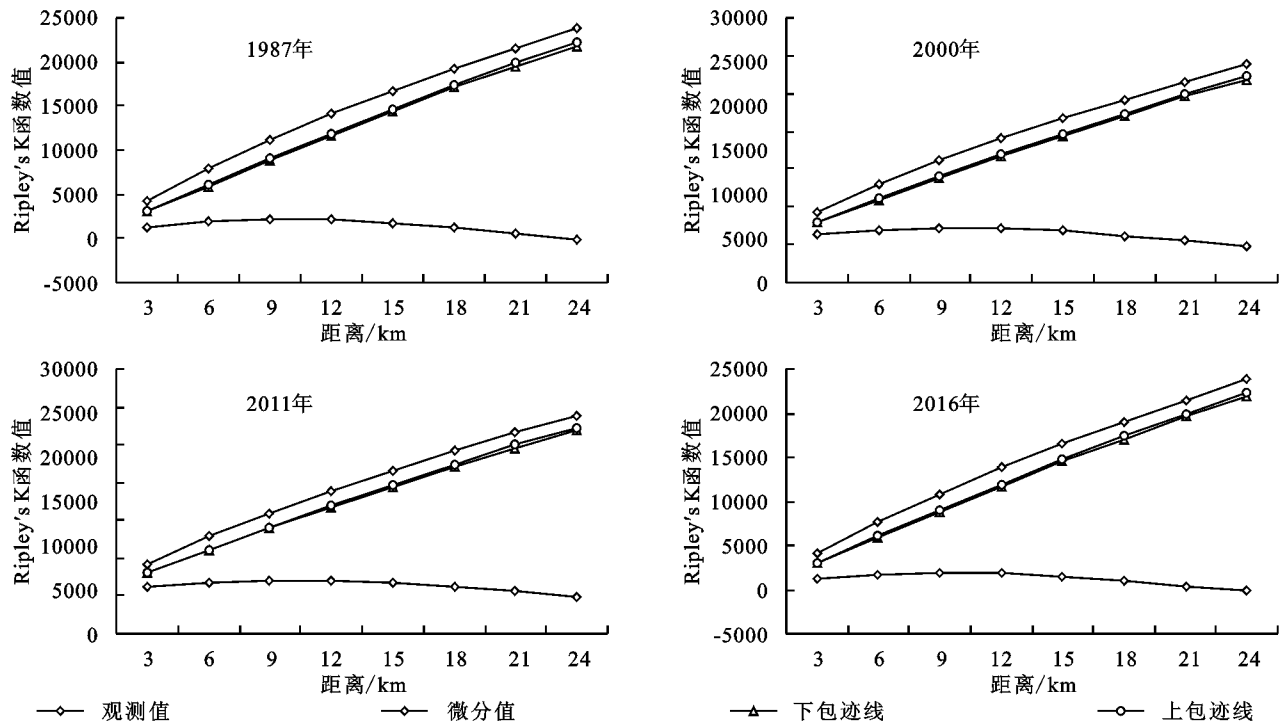


图 9 建设用地空间分布特征

原本连通的大片未利用地被扩张的耕地切割为数个团块,使其分布范围缩小,故未利用地的空间聚集性在上下波动中呈现出逐渐增强的趋势。被占用的草地多被开发为耕地,同时靠近北山的草地也在逐步向北延伸,但其延伸速度远低于被开发为耕地速度,因此草地聚集程度总体增加。耕地在研究区域内所占比例最高,连通性最好,1987—2000 年,城镇扩展具有沿其边界向外依次推进扩展的特点,一些处于连片耕地周围的零散耕地块被直接吞噬,这使其分布趋于均匀;2000 年后,在一些远离原连片耕地的未利用地腹地区域开始出现一些小面积的、相距较近的耕地小斑块分布,同时甘州城区开始加速外扩、城区周围一些破碎建设用地也有一定扩张,占用了一些耕地,这使得耕地的空间聚集性转而增强;2011 年后,随着原连片耕地的进一步外扩,2000 年后开发的耕地小斑块被中部连片耕地吞噬,形成整片耕地,因此耕地的空间聚集性又开始减小。随着城镇化的进行,城乡建设用地面积和斑块数不断增加,空间分布变得更为随机,这使得建设用地的集聚程度逐步降低。

#### 4.2 结论

(1) 1987—2016 年,张掖市甘州区绿洲区域耕

地、建设用地和林地面积呈现逐渐增大趋势,水域、草地和未利用地面积呈现逐渐减少趋势,水域和建设用地的空间集聚性比草地、未利用地、林地和耕地更强。

(2) 张掖市甘州区绿洲区域景观要素在 1987—2016 年,均表现出一定的聚集特征,具有较低程度的空间正相关,且相关性逐年减弱,这说明研究区域景观格局正在向随机化发展,在 2011 年后景观随机化分布速度明显加快,景观空间异质性增强。

(3) 张掖市甘州区绿洲区域草地和建设用地在较大尺度下呈现聚集的空间格局;林地、未利用地和耕地在小尺度下呈现出聚集的空间格局;水域在 1987 年和 2000 年在小尺度下呈现出聚集的空间格局,在 2011 年和 2016 年在较大尺度下也能够呈现出聚集的空间格局。随着研究尺度的增大,各用地类型的空间格局均转为随机分布。

(4) 张掖市甘州区绿洲区域大部分自然景观(草地、水域、未利用地)的空间聚集性在 1987—2016 年均不同程度的增强,其面积在研究区域内所占比例不断下降,而人工景观(耕地、建设用地)的面积所占比例不断上升,尤其是 2000 年之后人工景观面积扩张速度大大加快,这表明研究区域景观类型趋向单一,人为活动对景观格局变化造成了显著影响。

## 参考文献:

- [1] 陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等.中国景观生态学发展历程与未来研究重点[J].生态学报,2014,34(12):3129-3141.
- [2] 彭文君,舒英格.基于GIS的石漠化山区县域土地利用空间变化的生态风险测度[J].水土保持研究,2018,25(1):342-348.
- [3] 张学斌,石培基,罗君,等.基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析:以石羊河流域为例[J].自然资源学报,2014,29(3):410-419.
- [4] 丁肇慰,陈锡云,陈昌华,等.开垦60年东北三江平原典型产粮区生态脆弱性时空格局演变分析:以859农场为例[J].干旱区资源与环境,2018,32(1):77-83.
- [5] 周汝佳,张永战,何华春.基于土地利用变化的盐城海岸带生态风险评价[J].地理研究,2016,35(6):1017-1028.
- [6] 汪翡翠,汪东川,张利辉,等.京津冀城市群土地利用生态风险的时空变化分析[J].生态学报,2018,38(12):4307-4316.
- [7] 时振钦,邓伟,张少尧.近25年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J].地理研究,2018,37(3):607-621.
- [8] 刘世梁,安南南,尹艺洁,等.广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测[J].生态学报,2017,37(18):5915-5923.
- [9] 叶均艳,王亚娟,刘小鹏,等.基于最佳粒度的生态移民安置区土地利用景观格局分析:以宁夏红寺堡区为例[J].水土保持研究,2018,25(2):300-306,314.
- [10] 张莽,王萍,陈慧,等.长江上游地区土地利用格局时空演变:以四川省宜宾市为例[J].水土保持通报,2018,38(2):210-216.
- [11] 年雁云,王晓利,陈璐.1930—2010年额济纳三角洲土地利用景观格局变化[J].应用生态学报,2015,26(3):777-785.
- [12] 陈颐,林毅伟,朱志鹏,等.基于RS和GIS的莆田市土地利用景观格局变化分析[J].西北林学院学报,2017,32(1):279-286.
- [13] 王世金,何元庆,赵成章.西北内陆河流域水资源优化配置与可持续利用:以石羊河流域民勤县为例[J].水土保持研究,2008(5):22-25.
- [14] 王芳,陈芝聪,谢小平.太湖流域建设用地与耕地景观时空演变及驱动力[J].生态学报,2018,38(9):3300-3310.
- [15] 刘春艳,张科,刘吉平.1976—2013年三江平原景观生态风险变化及驱动力[J].生态学报,2018,38(11):3729-3740.
- [16] 佟光臣,林杰,陈杭,等.1986—2013年南京市土地利用/覆被景观格局时空变化及驱动力因素分析[J].水土保持研究,2017,24(2):240-245.
- [17] 刘娟,刘华民,卓义,等.毛乌素沙地1990—2014年景观格局变化及驱动力[J].草业科学,2017,34(2):255-263.
- [18] 张金茜,巩杰,柳冬青.地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析[J].地理科学,2018,38(8):1370-1378.
- [19] 陈利顶,刘洋,吕一河,等.景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J].生态学报,2008,28(11):5521-5531.
- [20] 张东菊,左平,邹欣庆.基于加权Ripley's K-function的多尺度景观格局分析:以江苏盐城滨海湿地为例[J].生态学报,2015,35(8):2703-2711.
- [21] Tobler W. A computer movie simulating urban growth in the detroit region[J]. Economic Geography, 1970, 46(2):234-240.
- [22] Besag J E. Comments on Ripley's Paper[J]. Journal of Royal Statistic Society, B, 1977, 39:193-195.
- [23] O' Driscoll R L. Description of spatial pattern in sea-bird distributions along line transects using neighbour K statistics[J]. Marine Ecology Progress, 1998, 165(1):81-94.
- [24] 郭巧玲.黑河流域生态需水及系统健康评价[M].北京:中国水利水电出版社,2012.