

松嫩平原西部土地整理区景观格局指数的粒度效应研究

顿耀龙^{1,2}, 王 军², 白中科^{1,2}, 郭义强²

(1. 中国地质大学(北京) 土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部 土地整治中心土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘 要:以松嫩平原西部大安市土地整理项目区为研究区,基于大安市土地整理前(2008 年)1:10 000 土地利用现状图和土地整理后(2014 年)项目区 1:10 000 土地整理规划设计图,运用 GIS 技术绘制研究区土地整理景观类型图。运用 Fragstats 软件分别计算 2 种不同空间幅度土地整理区整理前后的景观格局指数,选取 10 个能综合反映土地整理景观格局特征的景观指数,在 5~300 m 之间的 21 个粒度范围内分析景观格局指数的粒度效应,并使用数学模型对景观格局指数随粒度增加的变化趋势进行曲线拟合。结果表明:景观格局指数随粒度增加呈现单调上升或下降、先上升后下降和无规律变化 3 种变化趋势;不同空间幅度下部分景观格局指数粒度效应的转折点存在差异,土地整理前后部分景观格局指数随粒度增加而变化的敏感性不同;斑块数量、斑块密度、最大斑块指数等 8 个指数能用数学模型很好的拟合,斑块面积方差和 Shannon 多样性指数拟合效果并不理想,斑块数量、斑块密度、最大斑块指数、斑块面积方差和景观形状指数整理后的拟合效果优于整理前;大安市土地整理项目区景观格局分析的适宜粒度为 15~35 m。

关键词:土地整理;空间幅度;景观格局指数;粒度效应

中图分类号:F301.21, P901

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)05-0066-06

Grain Effect of Landscape Pattern Index of Land Consolidation Area in the West of Songnen Plain

DUN Yao-long^{1,2}, WANG Jun², BAI Zhong-ke^{1,2}, GUO Yi-qiang²

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Land consolidation project of Da'an City in the west of Songnen Plain was selected as the study area. Based on 1:10 000 current land use map before land consolidation (2008) and 1:10 000 land consolidation planning map after land consolidation (2014), GIS technology was used to make the land consolidation landscape type map and the landscape pattern index was calculated by using the software of Fragstats. 10 landscape pattern indices which are good to describe land consolidation landscape pattern characteristics were selected to analyze their grain effect in the range of 5~300 meter grain size under two different spatial extents. And mathematical model was used to fit the change trend of landscape pattern indices. The results indicated that the landscape pattern index showed a monotonic increase or decrease, decline after the first increase and irregular change of 3 kinds of trend along with the increase of grain. There are differences with turning point on different spatial extents of part of landscape pattern indices, part of landscape pattern indices have different sensitivity along with grain size increase before and after land consolidation. Most of indices can be very well fitted with mathematical model. Part of indices such as patch number, patch density, largest patch index, patch area variance and landscape shape index were fitted better after land consolidation. The suitable grain of landscape pattern analysis is 15~35 meters in land consolidation project area of Da'an City.

Key words: land consolidation; spatial extent; landscape pattern index; grain effect

收稿日期:2014-01-15

修回日期:2014-03-12

资助项目:国家自然科学基金(41171152)

作者简介:顿耀龙(1988—),男,湖北荆州人,硕士研究生,主要研究方向为土地整理与复垦、土地可持续利用。E-mail: dunyaolong2012@163.com

通信作者:王军(1970—),男,河南新乡人,博士,研究员,主要研究方向为景观生态学、土地可持续利用与土地整理。E-mail: wangjun@lrcr.org.cn

土地整理是在一定区域内,按照土地利用规划确定的目标和用途,采取行政、经济、法律和工程手段,对土地利用状况进行调整改造、综合整治,提高土地利用率和产出率,改善生产、生活条件和生态环境的过程^[1]。土地整理是对土地资源及其利用方式的再组织和再优化过程,是一项复杂的系统工程。其土地平整、田间道路、农田水利和防护工程等改变了地表生态系统结构组成、物质循环、能量流动等特征^[2-3],也必然会产生一定的景观效应与生态效应^[4]。土地整理过程涉及地块规模、形状的调整,以及排灌沟渠、道路的重新布设等工程,从景观斑块、廊道和景观多样性等方面对景观格局和功能造成影响^[5]。

景观格局的定量描述把景观的空间特征与时间过程联系起来,能够从更深层次上揭示景观格局的变化。用景观格局指数描述景观格局及其变化,建立景观格局与过程之间的联系,是景观生态学最常用的量化研究方法^[6]。景观格局指数分析方法被越来越多应用于土地整理的景观格局变化研究中,如 Bonfanti 等^[7]以及杨晓艳等^[8]学者从区域的角度探讨了土地整理对景观格局的影响,提出了全面、有价值的土地整理格局变化信息需要利用的景观格局指数。而景观格局特征的尺度和尺度效应是景观格局分析的核心之一^[9]。空间尺度问题是生态学研究的基础之一,通常以空间幅度和粒度来表达。空间幅度是研究对象在空间的持续范围;空间粒度指景观中最小可辨识单元所代表的特征长度、面积和体积^[10]。景观格局指数具有明显的尺度依赖性,其对空间幅度和粒度变化的响应曲线存在临界点或转折点现象。当空间尺

度大于或小于临界值时,景观格局指数对空间尺度变化非常敏感^[11-12]。

现有研究中多针对研究区空间幅度不变的情况,对景观格局指数的粒度效应进行研究,对不同空间幅度土地整理区整理前后景观格局指数粒度效应的研究则较少。因此,本文以松嫩平原西部的大安市土地整理项目区为例,基于景观生态学理论,针对两种不同空间幅度,研究土地整理前后景观格局指数的变化及其粒度效应,对于深入研究土地整理的景观格局效应具有重要意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

土地整理项目区位于松嫩平原西部的吉林省大安市,地理位置为东经 123°42′02″—124°41′20″,北纬 45°14′23″—45°46′45″,分布在大安市的 14 个乡(镇),是吉林省西部苏打盐碱土分布区的核心地带。项目区地形平坦开阔,东南部低,西北部高,高程为 129.5~132.0 m,地貌类型涉及沙垅、微起伏平地、盐渍低地、垄间低地、湖沼洼地和漫滩 6 种地貌单元,总面积约 1 201.9 km²,辖区内人口 42.08 万左右。本文选取两种空间幅度的土地整理项目区作为研究对象。较小空间幅度(幅度 1)选取小西米片区,涉及新平安镇、两家子镇,总面积 202.1 km²,整理前后景观类型见图 1a,b。较大空间幅度(幅度 2)选取小西米片区、幸福渠片区和一期六区 3 个土地整理区,涉及新平安镇、两家子镇、乐胜乡和海坨乡 4 个乡镇,总面积 491.7 km²,整理前后景观类型见图 1c,d。

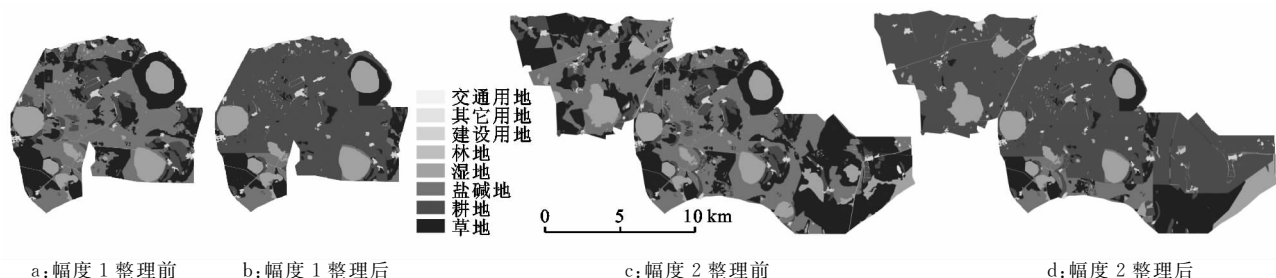


图 1 研究区不同空间幅度土地整理前后景观类型

1.2 数据来源与处理

通过搜集项目区的文字资料、社会统计数据 and 基础图件资料等,获取项目区自然、经济社会和土地利用等数据。其中主要数据来源于土地整理前(2008 年)大安市 1:10 000 土地利用现状图和土地整理后(2014 年)项目区 1:10 000 土地整理规划设计图。利用 ArcGIS 9.3 对整理前后土地利用图形数据进行预处理,并依据《土地利用现状分类(2007)》和项目区景观构成特点,将项目区景观类型划分为耕地、园地、

林地、草地、交通运输用地、村镇及工矿用地、湿地、盐碱地及其它用地共 9 类景观类型,然后建立拓扑关系,并进行图形相应的属性赋值。在此基础上,分别选取幅度 1 和幅度 2 下土地整理项目区在不同阶段的图形矢量数据。

1.3 研究方法

1.3.1 粒度获取 在 ArcGIS 9.3 软件中利用 Conversion Tools-To Raster-Feature to Raster 工具,将矢量数据转为栅格数据。针对不同空间幅度的研究

区,将土地整理不同阶段的景观类型图转化成不同粒度的栅格图。根据前人研究成果^[13]及大安市项目区的实际情况,将粒度选取标准设置为:5~50 m 间,每 5 m 递增;50~100 m 间,每 10 m 递增;100~200 m 间,每 25 m 递增;200~300 m 间,每 50 m 递增。

1.3.2 景观格局指数选取及计算 景观格局指数包括斑块水平(patch level)、斑块类型水平(class level)、景观水平(landscape level)3 种类型。能够表征景观的基本特征、形状特征、空间构型特征以及多样性特征等。本文选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、斑块面积方差(AREA_CV)等基本特征指数;景观形状指数(LSI)、周长面积分维数(PAFRAC)等形状特征指数;面积加权平均邻近指数(CONTIG_AM)、蔓延度指数(CONTAG)、聚合度指数(AI)等空间构型特征指数;Shannon 多样性

指数(SHDI),来分析研究区土地整理前后景观格局指数的变化及其粒度效应。其中各景观指数具体计算方法及生态学含义见有关文献^[14-15]。借助 Fragstats 3.3 软件计算两种幅度下不同粒度栅格数据的上述 10 个景观格局指数。在 Excel 软件中完成景观格局尺度检测图,利用 SPSS 19.0 软件建立土地整理景观格局指数与空间粒度之间的函数关系,并利用 R^2 检验其相关性。

2 结果与分析

2.1 景观类型与结构组成

研究区景观类型包括耕地、林地、草地、交通运输用地、村镇及工矿用地、湿地、盐碱地和其他用地类型 8 种类型,2 种空间幅度下土地整理前后各景观类型的面积及其比例如表 1 所示。

表 1 研究区整理前后土地利用结构对照表

景观类型	幅度 1				幅度 2			
	整理前/hm ²	比例/%	整理后/hm ²	比例/%	整理前/hm ²	比例/%	整理后/hm ²	比例/%
耕地	2545.39	12.59	13252.92	65.57	4558.8	9.27	33262	67.61
林地	52.96	0.26	172.96	0.86	189.43	0.39	204.29	0.42
草地	8144.12	40.29	2589.67	12.81	18916.72	38.45	6297.38	12.8
交通运输用地	3.1	0.02	2.32	0.01	72.66	0.15	27.77	0.06
村镇及工矿用地	381.9	1.89	264.98	1.31	773.57	1.57	774.82	1.57
湿地	2750.15	13.61	2662.69	13.17	5958.31	12.11	5625.46	11.43
盐碱地	6332.32	31.33	1265.7	6.26	18686.27	37.98	2997.51	6.09
其他用地类型	2.4	0.01	1.1	0.01	39.38	0.08	5.91	0.01
合计	20212.34	100	20212.34	100	49195.14	100	49195.14	100

土地整理前后,景观类型面积变化主要表现为草地、盐碱地面积减少和耕地面积增加。幅度 1 区域整理前后草地、盐碱地面积比例由 40.29%,31.33%分别下降到 12.81%,6.26%,耕地面积比例由 12.59%增加到 65.57%。幅度 2 区域整理前后草地、盐碱地面积比例分别由 38.45%,37.98%下降到 12.8%,6.09%,耕地面积比例则由 9.27%增加到 67.61%。从景观类型空间格局来看,土地整理前研究区耕地主要以旱地为主,受荒草地、盐碱地等优势斑块和道路、沟渠等分割的影响,其分布比较零散。土地整理后,荒草地和盐碱地斑块大量减少,道路和沟渠布局呈网络型,耕地斑块形状更加规整且集中连片,整体达到了“田成方,路成网,渠相连,林成行”的规划效果。

2.2 不同幅度景观格局指数随粒度增加的变化特征

在图 2 中分别对幅度 1 整理前与幅度 2 整理前、幅度 1 整理后与幅度 2 整理后的尺度检测图进行对比分析,可以看出,随粒度的增加,研究区不同幅度景观格局指数表现出不同的变化趋势,表明空间粒度改变对不同空间幅度景观格局指数变化具有明显影响。两种空间幅度下景观格局指数随粒度增加主要有两

种变化趋势:(1) 不同幅度景观格局指数随粒度增加的变化趋势相对一致;(2) 不同幅度景观格局指数随粒度增加的变化趋势不一致。

第 1 种变化趋势指数包括景观形状指数、周长面积分维数、面积加权平均邻近指数、聚合度指数、蔓延度指数和 Shannon 多样性指数。其中景观形状指数、面积加权平均邻近指数、聚合度指数和蔓延度指数随粒度增加呈下降趋势,且无明显转折点,表明随着粒度增大,景观形状由复杂变得越来越简单、斑块类型间离散程度变高。周长面积分维数呈增加趋势,且在 35 m 和 80 m 粒度处出现明显转折点。Shannon 多样性指数随粒度增加无明显变化,即粒度变化过程中,景观中斑块类型保持不变,因而该指数不表现出粒度效应。第 2 种变化趋势指数包括斑块数量、斑块密度、最大斑块指数和斑块面积方差。其中斑块数量、斑块密度、斑块面积方差 3 个指数随粒度增加呈下降趋势,且存在转折点,表现出明显的粒度效应。但是,这 3 个指数在不同幅度下的转折点不同。如斑块数量,整理前后幅度 1 和幅度 2 粒度效应的转折点分别为 60 m 和 40 m 左右,表明这 3 个指数在不同的

景观空间幅度下具有不同的粒度效应。最大斑块指数随粒度增加呈上升趋势,且无明显的转折点,但其在不

同空间幅度下其粒度效应曲线变化趋势并不一致,即该指数的粒度效应也受研究区空间幅度的影响。

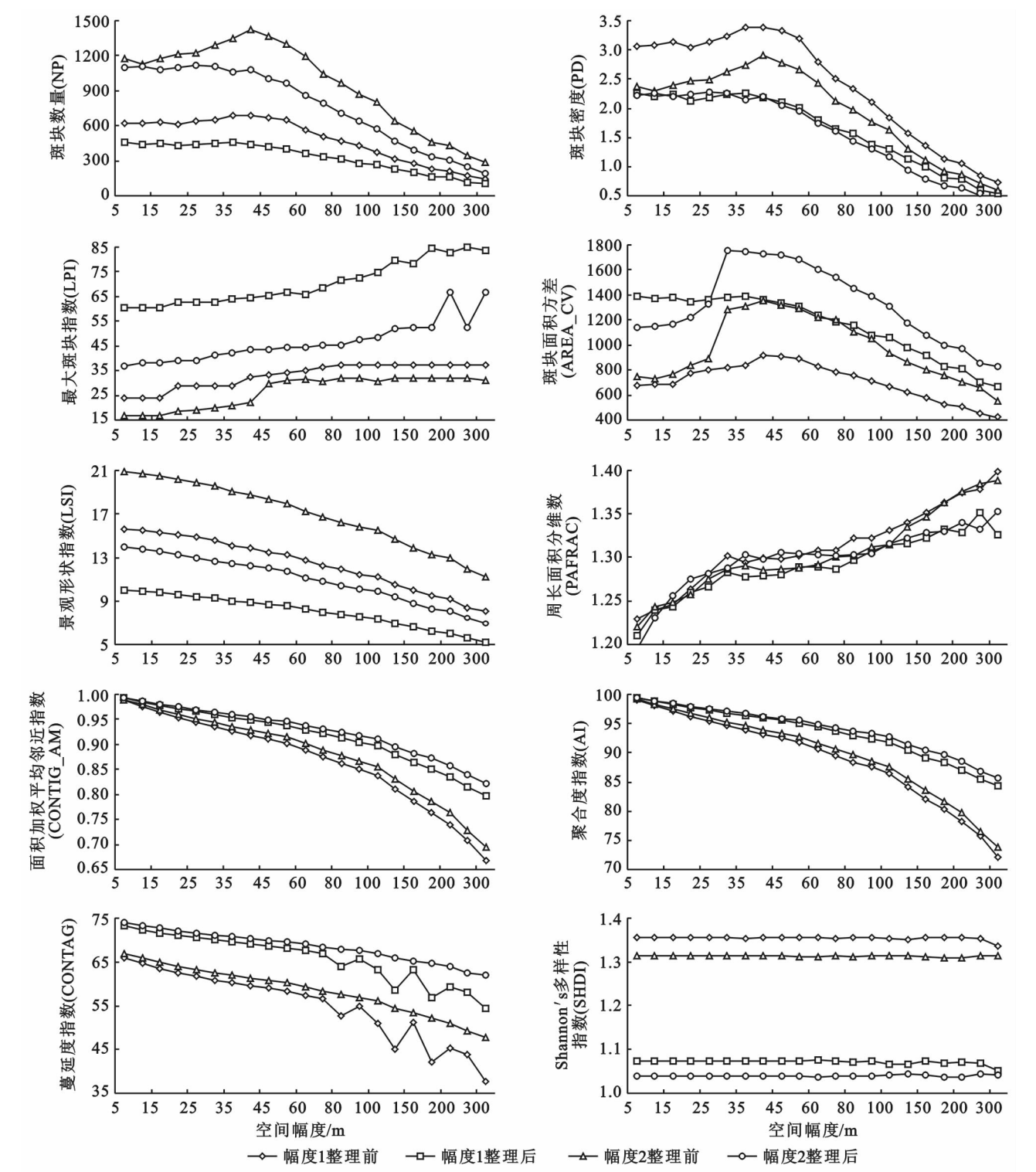


图 2 不同空间幅度下土地整理前后景观格局指数的粒度变化效应

2.3 整理前后景观格局指数随粒度增加的变化特征

对比分析图 2 中幅度 1 整理前与幅度 1 整理后、幅度 2 整理前与幅度 2 整理后的景观指数尺度检测图,可以得到,土地整理前后,最大斑块指数、斑块面积方差、面积加权平均邻近指数、聚合度指数、蔓延度指数增加;斑块数量、斑块密度、景观形状指数、Shan-

non 多样性指数减少;周长面积分维数变化不明显。这些变化可以反映出土地整理后,斑块形状趋于规则、景观连通性提高、破碎化程度降低,表明土地整理在斑块和景观水平上具有一定正的生态效应。同时,土地整理也会导致景观多样性降低。

从图 2 可以看出,相同空间幅度上,对比分析土

地整理前后景观格局指数的粒度效应,表现出 3 种变化趋势:(1) 蔓延度指数和 Shannon 多样性指数的粒度效应保持较好的一致性;(2) 斑块数量、斑块密度、斑块面积方差、景观形状指数、面积加权平均邻近指数和聚合度指数的粒度效应呈现相对一致性,但其粒度效应的敏感性不同。整理前斑块数量和斑块密度在 5~45 m 粒度范围内粒度效应的敏感性比整理后强,在 5~300 m 粒度范围内,整理前景观形状指数、面积加权平均邻近指数和聚合度指数粒度效应的敏感性比整理后强;(3) 最大斑块指数和周长面积分维数的粒度效应呈无规律变化。

土地整理前后,随粒度增加,斑块数量、斑块密度、斑块面积方差、景观形状指数、面积加权平均邻近指数、聚合度指数、蔓延度指数降低,其中斑块数量、斑块密度在 45 m 处出现转折点,斑块面积方差在 25 m 和 45 m 处出现转折点。最大斑块指数和周长面积分维数随粒度变大呈增加趋势,其中最大斑块指

数无明显转折点,而周长面积分维数在 35 m 和 80 m 处出现转折点。以上指数均表现出一定的粒度效应,Shannon 多样性指数则无明显的粒度效应。

2.4 景观格局指数粒度变化效应的曲线拟合

研究区不同幅度不同整理时期的各景观格局指数都表现出一定的粒度效应,且一部分景观格局指数的粒度变化效应可用数学模型拟合(表 2)。本文对研究区 2 种空间幅度土地整理前后的一部分景观格局指数进行拟合分析。结果表明:斑块数量、斑块密度用指数函数拟合效果比较好,周长面积分维数用幂函数拟合效果较好;斑块面积方差和 Shannon 多样性指数用三次函数拟合效果最优,但是拟合度并不理想,其原因可能是粒度选取不合适或指数本身无规律性;其他指数用三次函数拟合效果均比较好,拟合度在 0.90 以上。不同土地整理时期,斑块数量、斑块密度、最大斑块指数、斑块面积方差和景观形状指数整理后的拟合效果优于整理前。

表 2 研究区土地整理前后景观格局指数随粒度变化的拟合曲线

景观格局指数	幅度 1 整理前		幅度 1 整理后		幅度 2 整理前		幅度 2 整理后	
	拟合函数	R ²	拟合函数	R ²	拟合函数	R ²	拟合函数	R ²
斑块数量	指数函数	0.953	指数函数	0.974	指数函数	0.934	指数函数	0.973
斑块密度	指数函数	0.953	指数函数	0.974	指数函数	0.934	指数函数	0.973
最大斑块指数	三次函数	0.96	三次函数	0.982	三次函数	0.921	三次函数	0.942
斑块面积方差	三次函数	0.847	三次函数	0.881	三次函数	0.657	三次函数	0.728
景观形状指数	三次函数	0.992	三次函数	0.996	三次函数	0.994	三次函数	0.997
周长面积分维数	幂函数	0.967	幂函数	0.962	幂函数	0.943	幂函数	0.912
面积加权平均邻近指数	三次函数	0.997	三次函数	0.997	三次函数	0.997	三次函数	0.996
聚合度指数	三次函数	0.997	三次函数	0.996	三次函数	0.997	三次函数	0.996
蔓延度指数	三次函数	0.952	三次函数	0.947	三次函数	0.998	三次函数	0.997
Shannon 多样性指数	三次函数	0.421	三次函数	0.248	三次函数	0.364	三次函数	0.184

3 结论与讨论

景观格局指数的粒度效应研究中,所选取的空间幅度大小、空间粒度的变化范围、空间数据聚合方式以及景观格局指数计算方法的差异都会导致分析结果有所不同^[16-18]。本研究系统分析了土地整理区景观格局指数的粒度效应,不仅考虑了空间幅度的影响,也考虑了土地整理前后景观格局指数的粒度效应差异。从变化趋势上看,除 Shannon 多样性指数外,各景观格局指数对土地整理区的景观均存在粒度效应,可分为 3 种类型:单调上升或下降、先上升后下降和无规律变化。其中,斑块数量、斑块密度和斑块面积方差呈先上升后下降的趋势,这与孟陈等^[19]对上海市景观格局和龚建周等^[20]对广州土地覆盖景观格局的研究结果一致,而与刘源鑫等^[21]的研究结果有所差异;景观形状指数、面积加权平均邻近指数、聚合度指数和蔓延度指数随粒度增加呈下降的趋势,最大

斑块指数和周长面积分维数的粒度效应并无明显规律,但其变化趋势具有较好的可预测性,这与申卫军等^[17]、Wu^[16]的研究结果比较一致。上述现象的存在是由于研究粒度的改变导致栅格单元不断变化,改变了景观斑块边界的复杂程度,且尺度的过滤作用使小斑块被合并甚至消失,从而导致景观格局发生变化。Shannon 多样性指数在所选取的粒度范围内无明显变化,而 Wu^[16]检测到 Shannon 多样性指数随粒度增加呈阶梯状下降趋势,主要原因可能是本研究选取的粒度范围比较小,在此粒度范围内粒度增加并没有使某斑块类型被完全合并。从粒度效应的转折点上,本研究检测到景观格局指数的第一尺度域集中在 5~45 m 范围内,适宜粒度为 15~35 m,而赵文武等^[12]使用不同比例尺的土地利用图研究延河流域景观格局粒度效应发现两种比例尺下的适宜粒度分别为 70~90 m 和 90~120 m,造成此差异可能是因为粒度选取的范围和粗细度的划分不同。

不同空间幅度景观格局指数的粒度效应存在差异。在本研究所选取的两种空间幅度下,景观形状指数、周长面积分维数、面积加权平均邻近指数、聚合度指数、蔓延度指数和 Shannon 多样性指数随粒度增加的变化趋势相对一致;斑块数量、斑块密度、最大斑块指数和斑块面积方差在两种空间幅度下的粒度效应不一致,表现在其变化的转折点不同,表明这些指数的粒度效应与研究的空间幅度有关。土地整理前后景观格局指数的粒度效应也有差异。斑块数量、斑块密度、斑块面积方差、景观形状指数、面积加权平均邻近指数和聚合度指数整理前后粒度效应的敏感性不同,斑块数量和斑块密度在 5~45 m 粒度范围内整理前粒度效应的敏感性比整理后强,景观形状指数、面积加权平均邻近指数和聚合度指数在 5~300 m 范围内整理前粒度效应的敏感性比整理后强,其原因可能是整理前有大量小斑块零星分布,在重采样过程中存在小斑块合并消失的现象,通过土地整理小斑块被整合到大斑块中,在重采样时由于粒度变大导致斑块消失的情况变少,因此整理前景观格局指数的粒度效应更加敏感;蔓延度指数和 Shannon 多样性指数的粒度效应在整理前后保持较好的一致性;最大斑块指数和周长面积分维数在整理前后的粒度效应呈无规律变化。通过对景观格局指数的变化趋势进行曲线拟合发现,斑块数量、斑块密度、最大斑块指数等 8 个景观指数能使用指数函数、三次函数或幂函数等数学模型进行很好的拟合,这与孟陈等^[19]、徐丽等^[22]的研究结果比较一致。斑块面积方差和多样性指数拟合效果并不理想,分析原因可能是选取的粒度范围比较小,无法反映指数的整体特征,或指数本身计算方法的局限导致不能拟合。同时研究发现,斑块数量、斑块密度、最大斑块指数、斑块面积方差和景观形状指数整理后的拟合效果优于整理前。

本文对不同空间幅度整理区在土地整理前后景观格局指数的粒度效应进行研究发现:不同空间幅度下景观格局指数粒度效应的转折点存在差异;土地整理前后景观格局指数随粒度增加而变化的敏感性不同;大安市土地整理项目区景观格局分析的适宜粒度为 15~35 m。因此,在对土地整理区进行景观格局分析时应根据土地整理的不同时期选择合适的空间幅度和粒度。研究区域空间幅度和粒度的变化范围及划分的粗细度对景观格局指数尺度效应的研究具有重要影响。本研究中对空间幅度和粒度的设计相对比较简单,增大空间幅度和粒度的变化范围并降低粒度的划分间隔,将是下一步深入研究的重要方向。

参考文献:

- [1] 鹿心社. 论中国土地整理的总体方略[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1): 1-3.
- [2] 高向军, 罗明, 张惠远. 土地利用和覆被变化(LUCC)研究与土地整理[J]. 农业工程学报, 2001, 17(4): 151-156.
- [3] 罗明, 张惠远. 土地整理及其生态环境影响综述[J]. 资源科学, 2002, 24(2): 60-63.
- [4] Niroula G S, Thapa G B. Impacts and causes of land fragmentation, and lessons learned from land consolidation in South Asia[J]. Land Use Policy, 2005, 22: 358-372.
- [5] 王军, 余莉, 罗明, 等. 土地整理研究综述[J]. 地域研究与开发, 2002, 22(2): 8-11.
- [6] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 104-105.
- [7] Bonfanti P, Fregonese A, Sigura M. Landscape analysis in areas affected by land consolidation[J]. Landscape and Urban Planning, 1997, 37(1): 91-98.
- [8] 杨晓艳, 朱德举, 鄢文聚, 等. 土地开发整理对区域景观格局的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 67-71.
- [9] 岳文泽, 徐建华, 谈文琦, 等. 城市景观多样性的空间尺度分析: 以上海市外环线以内区域为例[J]. 生态学报, 2005, 25(1): 122-128.
- [10] Jenerette G D, Wu J. On the definitions of scale[J]. Bulletin of the Ecological Society of America, 2000, 81: 104-106.
- [11] 申卫军, 邬建国, 任海, 等. 空间幅度变化对景观格局分析的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2219-2231.
- [12] 赵文武, 傅伯杰, 陈立顶. 景观指数的粒度变化效应[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 326-333.
- [13] 朱开群, 金晓斌, 周寅康. 土地整理项目区景观格局粒度效应初探[J]. 中国土地科学, 2011, 25(3): 45-51.
- [14] 傅伯杰, 陈立顶. 景观多样性的类型及其生态意义[J]. 地理学报, 1996, 51(5): 454-462.
- [15] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 等. 景观格局指数的相关分析[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [16] Wu J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations [J]. Landscape Ecology, 2004, 19(2): 125-138.
- [17] 申卫军, 邬建国, 林永标, 等. 空间粒度变化对景观格局分析的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2506-2519.
- [18] 布仁仓, 李秀珍, 胡远满, 等. 尺度分析对景观格局指标的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(12): 2181-2186.
- [19] 孟陈, 李俊祥, 朱颖, 等. 粒度变化对上海市景观格局分析的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(7): 1138-1142.
- [20] 龚建周, 夏北成, 李楠, 等. 快速城市化地区土地覆盖景观特征的粒度效应[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2198-2206.
- [21] 刘源鑫, 焦峰. 黄土高原丘陵区景观特征与景观指数粒度效应研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(3): 23-31.
- [22] 徐丽, 卞小庆, 秦小林, 等. 空间粒度变化对合肥市景观格局指数的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(5): 1167-1173.