

DOI: 10.5846/stxb201405171015

吴未, 许丽萍, 张敏, 欧名豪, 符海月. 不同斑块类型的景观指数粒度效应响应研究——以无锡市为例. 生态学报, 2016, 36(9): - .

Wu W, Xu L P, Zhang M, Ou M H, Fu H Y. Impact of landscape metrics on grain size effect in different types of patches: A case study of Wuxi City. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(9): - .

不同斑块类型的景观指数粒度效应响应研究 ——以无锡市为例

吴 未, 许丽萍, 张 敏, 欧名豪*, 符海月

南京农业大学土地管理学院, 南京 210095

摘要: 斑块类型与景观格局粒度效应响应关系密切。以无锡市为研究区域, 针对地区社会经济活动频繁、人为干扰强烈和生态脆弱等特性, 以土地利用类型、热力等级和生态贡献为斑块类型划分依据, 构建出对应的 3 种不同景观格局。在相同粒度变化情况下, 选用了 19 个景观水平指数和 *Moran's I* 指数, 分析了不同景观格局粒度效应的响应情况。结果表明, 随粒度变粗: 1) 土地利用类型、热力等级和生态贡献斑块的部分景观指数响应曲线变化剧烈程度依次减弱; 2) 3 类斑块的 *Moran's I* 指数均存在尺度效应。其中, 土地利用类型和生态贡献斑块的 *Moran's I* 指数存在负相关, 热力等级斑块没有。生态贡献斑块响应曲线在正相关区域内变化相对平缓, 土地利用类型与热力等级斑块响应曲线变化趋势相反; 3) 指数反映的第一临界粒度基本一致, 但景观指数响应曲线的临界现象更为明显。总体上, 不同类型斑块在同一研究区构成的景观格局、指数响应曲线变化趋势和第一临界粒度都较为相似; 斑块类型对景观指数粒度效应响应存在影响, 但还有待深入探讨。

关键词: 粒度效应; 斑块类型; 景观指数; *Moran's I* 指数; 响应; 无锡

Impact of landscape metrics on grain size effect in different types of patches: A case study of Wuxi City

WU Wei, XU Liping, ZHANG Min, OU Minghao*, Fu Haiyue

College of Land Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Grain size effect is a major issue in landscape ecology research. Its importance is determined by the effective and precise transformation of the information and characteristics of a landscape pattern as well as the ecological process embodied during the scaling procedure. A landscape pattern that consists of patches has a close relationship with patch classification. In previous studies, grain size effect was analyzed from the perspective of a landscape pattern generated from one particular patch classification. However, differences in the grain size effect caused by different types of patch classification have been ignored. The aim of this study was to explore the effect of different patch classifications on the grain size effect. We used Wuxi City as a study case because it has undergone rapid urban development, has been subject to dramatic changes in land use, and has a vulnerable environment. Three patch classifications were applied: land use/land cover (LULC), urban heat island (UHI), and ecological contribution (EC). Their matching landscape patterns were generated accordingly. In the LULC pattern, the patches were divided into eight categories: cropland, woodland, grassland, garden land, rivers, lakes and ponds, construction land, marshland, and unused land, which were generated from the 2010 Land-use Updating Map for Wuxi. Patches in the UHI pattern were obtained through the following two main steps: (1) Land surface temperatures

基金项目: 中国博士后基金特别资助项目 (2010003592); 江苏高校哲学社会科学研究一般项目 (2015SJD096); 南京农业大学中央高校基本科研业务费人文社会科学研究基金配套项目 (SKPT2015018)

收稿日期: 2014-05-17; 网络出版日期: 2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mhoul@njau.edu.cn

(LST) were obtained from Landsat TM using the mono-window algorithm. (2) The mean-standard deviation method was employed to transform LST into a thematic map of five thermal categories: very high, high, middle, low, and very low. EC pattern patches were also generated. The ecological system service value (ESSV) of a patch varies depending on the land-use type. The ESSV of patches representing the same land-use type also vary due to its natural features and disturbance from nearby different land-use patch types. Considering its natural features and the received disturbance, the ESSV for each LULC patch was calculated using the multi-weight factors model in the ARCGIS software. The natural breakpoint method was used to transform the LULC pattern into an EC pattern with three value categories: high, middle, and low. The basic spatial unit was 30 m. The pixels scale on the side of the grid cell enabled another 23 basic cells to be assembled, which represented 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 2000, and 3000 m. Nineteen landscape metrics, including patch density (PD), largest patch index (LPI), landscape shape index (LSI), area-weighted patch fractal dimension (AWMPFD), perimeter area fractal dimension (PAFRAC), cohesion index (COHESION), division index (DIVISION), mean shape index (MSI), and the global spatial autocorrelation index for Moran's I , were computed to detect the LULC, UHI, and EC patterns at different spatial scales using FRAGSTATS and ARCGIS software. The results showed that increasing the spatial grain size changed the response curves for some of the landscape metrics and altered the Moran's I index values. Furthermore, the different patch classifications altered the grain size effect. However, the critical grain sizes for most of the landscape metrics and Moran's I were the same. There was also an interrelationship between grain size effect and patch classification. However, how and to what degree the differences in patch classification alter the grain size effect needs further study.

Key Words: grain size effect; types of patches; landscape metrics; *Moran's I* index; response; Wuxi

尺度(包括粒度和幅度)效应一直是景观生态学研究领域的一个热点和难点问题^[1-2]。研究粒度效应的重要意义在于进行尺度推绎时须对景观格局中所蕴涵的数据信息(格局组成、配置特征及其对应的生态过程等)进行有效传递和转移^[3]。景观格局是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列,是各种生态过程在不同尺度上综合作用的结果^[3]。正确理解和分析景观斑块及其生态含义对景观格局粒度效应的研究具有重要意义。

粒度效应分析中,需要考虑研究区特性(如尺度、自然、社会、经济等属性)、粒度、斑块类型、景观指数类型等因素^[4]。斑块类型选择与研究区特性关系密切;人为干扰强烈地区多选用土地利用或覆被类型^[5-7]或反映人为干扰强弱的热力等级^[8]等为划分依据;生态脆弱区多选用自然植被^[9]类型或表征自然干扰强弱的土壤侵蚀强度^[10]等为划分依据。以往基于单一斑块类型的分析结果提供的是部分景观特征信息,针对研究区多重特性采用不同斑块类型反映景观特征信息的研究还较少。因此,本文以无锡市为研究区域,以地区特性为斑块类型划分依据,通过构建同一区域 3 种不同类型景观格局,比较相同测度指数和粒度变化下的响应情况,以探讨景观格局的尺度效应问题。

1 研究区概况

无锡(31°07'—32°00'N, 119°31'—120°36'E)位于长三角江湖间走廊部分(图 1),总面积 4 627.47 km²。2010 年地方国民生产总值 5 793.30 亿元,总人口 637.26 万人,其中城镇人口 448.19 万人。

无锡地处经济快速发展且人为干扰强烈的长三角地区,区内土地利用结构和空间格局变化显著^[11-12]。随着城市不断扩张,热辐射强的硬质地表不断扩大,热岛效应显著^[13]。同时,经济和城市化的快速发展已使无锡处于生态脆弱区^[14]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文所采用的数据主要包括无锡市土地利用更新图(1:5 万,2010 年)、TM 遥感数据(2010 年)、1:5 万数字高程模型图(DEM)、行政区划图(2010 年)。

2.2 斑块类型划分依据及识别对应斑块

研究区具有社会经济活动频繁、人为干扰强烈、热岛效应显著、生态脆弱等特性。其中,土地利用类型斑块反映了不同的地表覆盖特征,即通过土地利用格局状况反映出人类社会经济活动及其对自然生态环境产生的影响^[3];相互作用的热力斑块以一定规律组成的热力景观是人类在改造、适应自然环境基础上建立起来的人工生态系统在热力学上的表现,反映出社会经济活动、人为干扰以及热岛效应等特性^[15-16];水、土、生物资源等在区域生态环境持续发展中具有不可替代的作用,是区域生态环境服务能力的重要保障^[14],在生态脆弱地区尤为突出。生态贡献斑块等级差异反映出人类社会经济活动对自然生态环境及物种多样性保护的影响程度。通过上述 3 种不同斑块类型构建的景观格局能够较好地反映出研究区的多重特性。

2.2.1 识别土地利用类型斑块

以无锡市 2010 年土地利用更新图为数据源,结合研究需要,将原有地类归并为 8 种土地利用类型,分别是耕地、林地、牧草地、园地、河流、湖泊、建设用地、滩涂沼泽和未利用地,形成土地利用类型分布图(图 2)。

2.2.2 识别热力等级斑块

参照相关研究成果^[15,17-18],以 Landsat TM 遥感影像为数据源,采用单窗算法进行地表温度反演,得到研究区地表温度图(land surface temperature,LST),采用均值—标准差法将地表温度划分成 5 个等级,分别为高温、次高温、中温、次中温和低温,形成热力等级分布图(图 2)。

2.2.3 识别生态贡献斑块

已有研究对斑块生态贡献大小的判定主要依据土地利用类型的生态系统服务价值,如陆地生态系统单位面积生态服务价值^[19]、长江三角洲生态系统服务价值^[20]等直接认定湿地、林地、水域等地类为生态贡献值高的斑块^[21]。这种方法忽略了周边人为干扰对其生态贡献的影响。大量成果表明,人类活动会对生态环境产生压力和威胁,如贯穿林地的道路对动植物活动与分布形成阻隔效应^[22]、居民点对周边草地产生退化影响^[23]。同时,直接认定的方法忽略了在生态—地理过程量化研究中发挥关键作用的一些自然地理因素,如高程、坡度^[24]等。因此本文引入人为干扰和自然环境 2 类影响因素,对相同地类因受周边不同地类和自然地理因素的影响进行量化分析。研究思路为:测算斑块受周边地类地块影响得到的生态贡献值,按生态贡献值划分的等级识别和获取生态贡献斑块。具体步骤为:(1)在数据获取性基础上,选取土地利用类型、到居民点距离、到交通路网距离 3 个人为干扰因子和高程、坡度 2 个自然影响因子,(2)借鉴已有成果^[25-26]对上述因子赋值

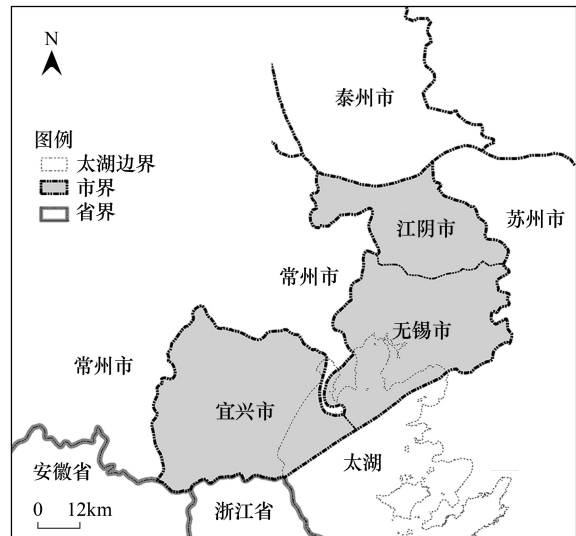


图 1 无锡行政区划及在长三角中的位置
Fig. 1 Location map of Wuxi, the Yangtze River Delta Region

表 1 自然地理因子分级标准及对应属性值
Table 1 Grading standards and attribute value of natural geographic factors

高程 Height		坡度 Slope	
类型 Type/m	属性值 Attribute value	类型 Type/(°)	属性值 Attribute value
0—200	1	0—3	1
200—300	3	3—15	3
>300	5	15—25	5
		>25	4

(表 1,表 2)。自然地理因子属性值从高至低表示生态贡献程度逐次降低;人为干扰因子属性值从高到低,表示干扰程度从小到大、生态贡献程度逐次降低;(3)运用层次分析法得到各因子的对应权重(表 3);(4)借助 ArcGIS 软件采用多因子加权叠加模型测算出每一斑块的生态贡献值;(5)参照已有成果^[27-29]采用自然断点的方法对生态贡献值划分等级。结合研究目的,采用 3 级划分标准,分别为高、中、低,形成生态贡献等级分布图(图 2)。

表 2 人为干扰因子分级标准及对应属性值
Table 2 Grading standards and attribute value of human disturbance factors

土地利用类型 Land use type		到居民点的距离 Distance to residential area		到交通路网的距离 Distance to traffic network	
类型 Type	属性值 Attribute value	类型 Type/m	属性值 Attribute value	类型 Type/m	属性值 Attribute value
滩涂沼泽及未利用地 Marsh and unused land	5	0—500	1	0—400	1
河流 River	5	500—1 000	3	400—800	3
湖泊 Lake	4	>1 000	5	>800	5
林地 Woodland	4				
园地 Garden land	4				
牧草地 Grassland	3				
耕地 Cropland	2				
建设用地 Construction land	1				

2.3 选取粒度及粒度变换

选择适宜粒度是粒度效应研究的重要内容之一^[30]。已有成果选择的粒度从 1—3 000 m 不等,得到的临界粒度包括 10—20, 30—40, 40, 50, 60, 30—80, 70—120, 120, 150, 160, 400, 640, 800, 500—1 000 不等^[31]。参照上述成果,本文选择了 24 个粒度,即 30、40、50、60、70、80、90、100、120、150、180、210、240、270、300、400、500、600、700、800、900、1 000、2 000 和 3 000 m (栅格单边长度)。设定 30 m×30 m 栅格图像为初始栅格,在 ArcGIS 中运行 Resample 指令和 grid 模块优势规则进行栅格像元聚合,分别得到其余的 23 个粒度。

2.4 选取指数

测度景观格局多采用景观指数、空间统计学等方法^[32]。景观指数法反映了格局结构组成和某些配置特征;空间统计学法反映了格局变化的某种趋势或统计学规律^[33-34]。两类方法视角不同,将之联合应用有利于更好的揭示格局随粒度变化而变化的特征或规律。

(1)景观指数 本文旨在研究不同斑块类型的粒度效应关系,即区域整体性特征随尺度变化的响应情况。参照国内外类似研究成果中的指数选择^[9,35],考虑到不同指数间冗余性和相关性^[36]以及指数对空间范围、粒度和斑块类型个数变化的敏感性^[37-38],确定了 19 个景观水平指数,即斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、平均斑块面积(MPS)、加权平均斑块面积(AWMPS)、斑块面积标准差(PSSD)、斑块面积变异系数(PSCV)、平均形状指数(MSI)、面积加权平均形状指数(AWMPSI)、平均斑块周长面积比(MPAR)、面积加权平均斑块周长面积比(AWMPAR)、平均斑块分维数(MPFD)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)、周长面积分维数(PAFRAC)、蔓延度指数(CONTAG)、散布与并列指数(IJI)、凝聚度指数(COHESION)、分离度指数(DIVISION)、辛普森多样性指数(SIDI)。借助 Fragstats4.1 获得上述景观指数值。

(2)空间自相关指数 空间自相关统计的内容包括空间对象空间位置及其属性,即每一个对象与其它相邻

表 3 因子权重
Table 3 The weight of factors

因子类型 Type of factors	权重 Weight	因子名称 Name of factors	权重 Weight
自然环境因子 Factors of natural environment	0.3500	高程	0.2333
		坡度	0.1167
人为干扰因子 Factors of human disturbance	0.6500	土地利用	0.3094
		与居住地的距离	0.2168
		与交通路网的距离	0.1238

统计分析对象之间的空间位置关系及其属性取值特征。最常用的是 *Moran's I* 指数,分全局空间自相关和局部空间自相关。前者是描述总体特征的统计指标,重在反映区域整体特性^[39],故为本文所采用。计算公式如下^[5]:

$$Moran's I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X}) (X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})^2} \quad i \neq j$$

式中, x_i 和 x_j 表示景观要素在相邻配对空间单元的取值; $\bar{X}$ 表示变量 x 的平均值; W_{ij} 是邻接权重矩阵; n 是空间单元总数。*Moran's I* 指数取值一般在-1 和 1 之间,等于 0 表示不相关,大于 0 和小于 0 分别表示正相关和负相关。借助 ArcGIS 获得 *Moran's I* 指数值。

3 结果与分析

3.1 斑块空间布局情况

图 2、表 4 是粒度为 30 m 时,无锡市域生态贡献等级斑块、热力等级斑块和土地利用类型斑块空间分布及景观特征情况。

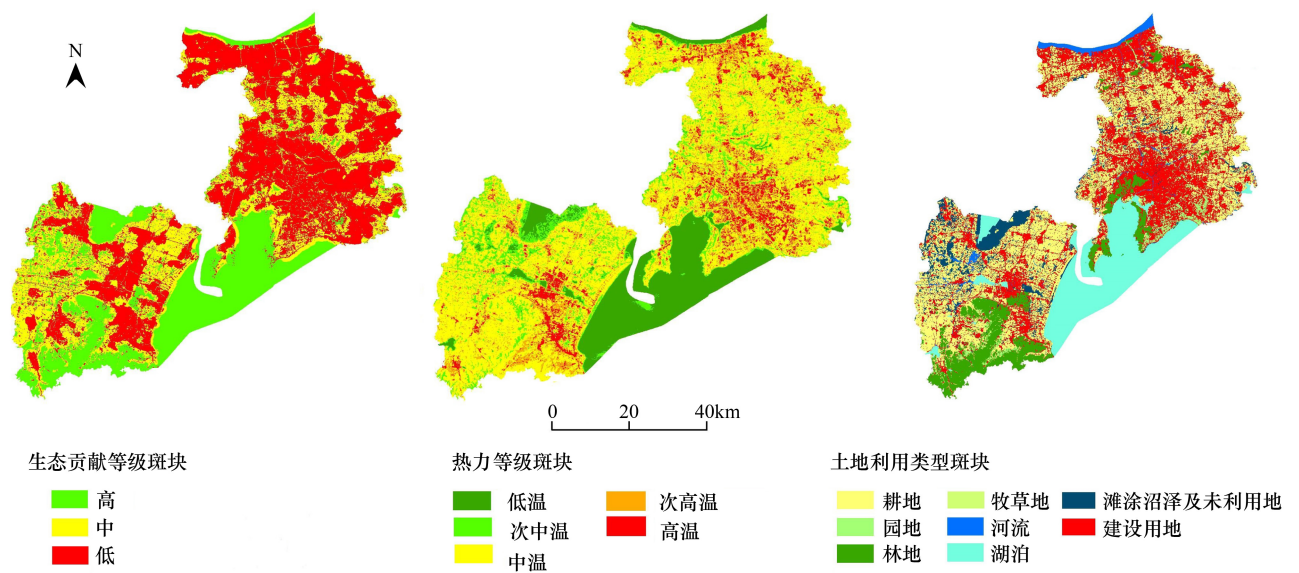


图 2 不同斑块类型的斑块空间分布情况(粒度:30 m)
Fig. 2 The spatial distributions of different types of patches (grain size: 30 m)

表 4 粒度 30 m 时不同斑块类型斑块的景观特征

Table 4 landscape features of different types of patches (grain size: 30 m)				
景观指数 Landscape metrics	单位 Unit	生态贡献斑块 Patches of ecological contribution	热力等级斑块 Patches of urban heat island	土地利用类型斑块 Patches of land use/land cover
斑块数量 (NP) ⁽¹⁾	个	9861	64799	14357
斑块密度 (PD) ⁽²⁾	个/km ²	2.1302	13.9875	3.1025
平均斑块面积 (MPS) ⁽³⁾	hm ²	46.9442	7.1493	32.2317
最大斑块指数 (LPI) ⁽⁴⁾	%	32.8154	25.589	12.7883
周长面积分维数 (PAFRAC) ⁽⁵⁾	—	1.4128	1.4624	1.4535

(1) 斑块数量, number of patches; (2) 斑块密度, patch density; (3) 平均斑块面积, mean patch size; (4) 最大斑块指数, largest patch index; (5) 周长面积分维数, perimeter area fractal dimension。

斑块类型不同是形成同一研究区 3 个景观格局斑块数量、斑块面积、平均斑块面积以及最大斑块指数出现差异的根本原因,但对周长面积分维数影响不明显。周长面积分维数取值范围一般在 1—2 之间,受人为干

扰程度越大时值越接近 1;受人为干扰程度越小时值越接近 2。说明斑块类型对周长面积分维数指数在反映同一地区人为干扰程度时的影响不明显。

3.2 粒度效应对比分析

(1)景观指数 19 个景观水平指数随粒度变化的响应曲线可分为 2 类:一类,曲线变化趋势不同(图 3),对应指数为平均形状指数、最大斑块指数、加权平均斑块面积和分离度指数 4 个。土地利用类型斑块指数曲线变化最显著。另一类,曲线变化趋势基本一致(图 4),对应了其余的 15 个指数。表明相同研究区内随粒度变粗,土地利用类型斑块、热力等级斑块、生态贡献等级斑块的部分响应曲线变化剧烈程度依次减弱,或者说斑块类型对景观格局粒度效应存在一定影响。除上述指数外,受斑块类型影响的景观指数还有待进一步甄别。

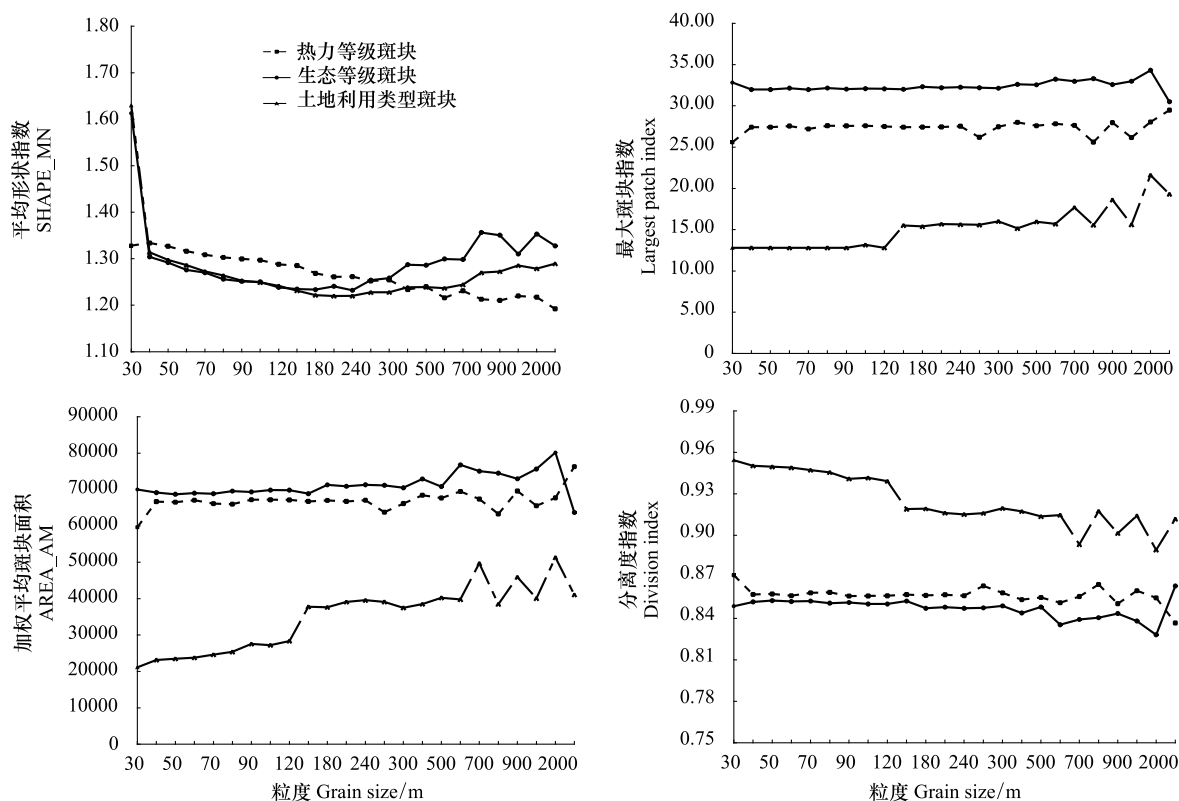


图 3 随粒度变粗有变化趋势差异的景观指数响应曲线

Fig. 3 Curves of landscape metrics in response to changing grain size (in difference)

(2)空间自相关指数 以横轴为粒度变化轴、纵轴为指数值变化轴,得到 3 类斑块 *Moran's I* 指数随粒度变化的响应曲线(图 5)。结果表明,3 类斑块 *Moran's I* 指数存在尺度效应:(1)热力等级斑块不存在负相关、生态贡献等级斑块和土地利用类型斑块存在负相关;(2)生态贡献等级斑块响应曲线在正相关区域变化相对平缓、热力等级斑块与土地利用类型斑块响应曲线变化趋势相反;(3)与多数景观指数响应曲线变化情况一致,存在第一临界粒度。简言之,斑块类型在同一研究区内,对 *Moran's I* 指数响应变化有较大影响、但对第一临界粒度影响不明显。

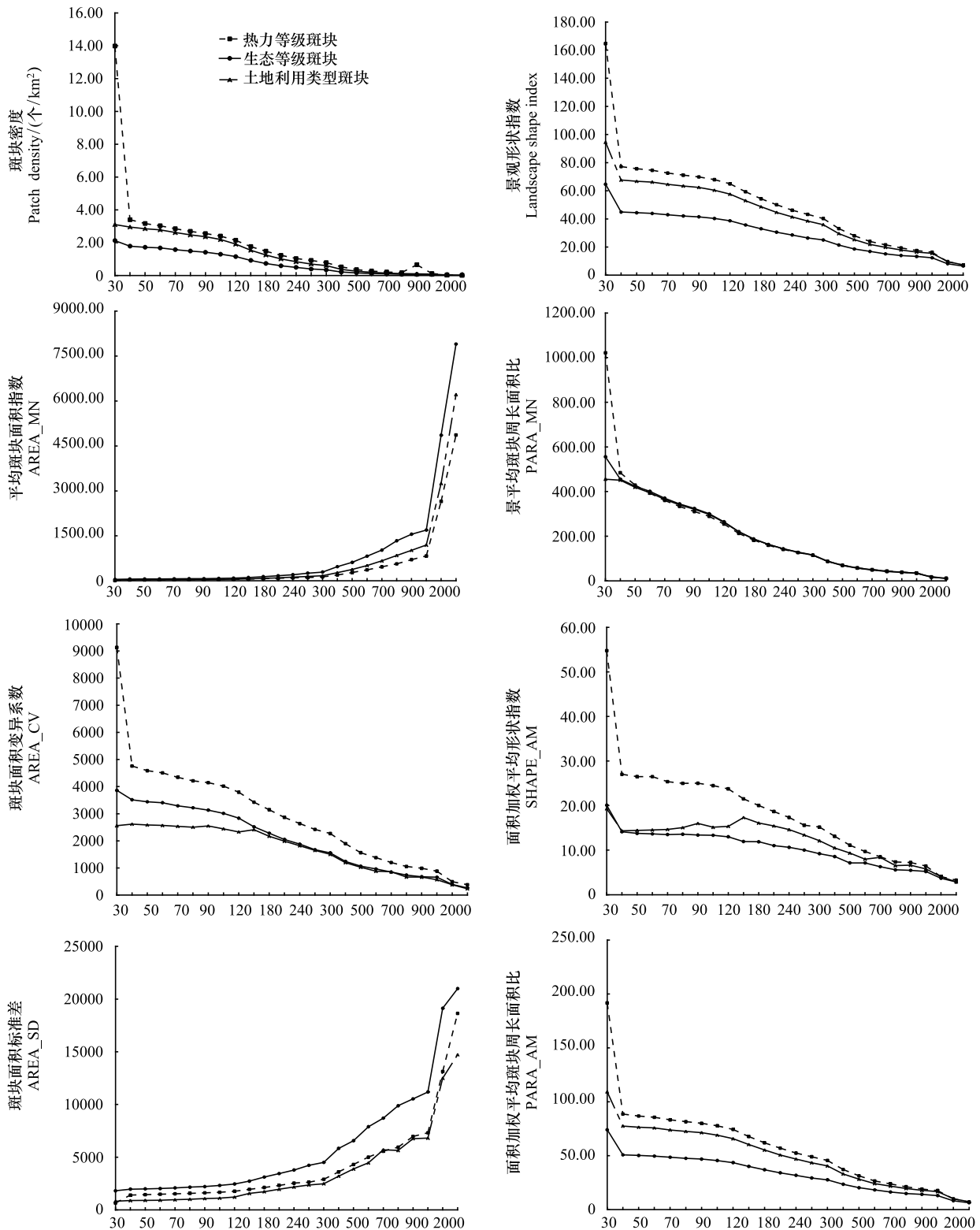
4 结论与讨论

以上结果表明,在研究区、指数类型、粒度变化相同的情况下,随粒度变粗:(1)部分景观指数及 *Moran's I* 指数响应曲线因斑块类型不同出现变化趋势差异,*Moran's I* 指数响应曲线之间的差异更明显。(2)2 类指数的第一临界粒度基本一致,但景观指数响应曲线的临界现象更明显。总体上,同一研究区不同类型斑块构成

的景观格局具有相似性,指数响应曲线具有相似变化趋势和第一临界粒度;但斑块类型影响了景观指数的粒度效应,可能会导致格局分析结果的不准确或不正确^[40-41]。

不同斑块类型在不同粒度时的响应情况不同,选择的适宜粒度域也不同。如热力等级斑块适宜粒度域可为 30—150 m,150 m 是研究热力景观格局的临界粒度^[15];土地利用类型斑块适宜粒度域可为 5—15 m^[42]或 50—70 m^[43]或 75—120 m^[44]不等。因此,需要对不同斑块类型的景观格局尺度效应进行深入分析。

指数意义解释及其局限性已有较多研究^[45],文中指数响应曲线变化趋势差异表明,如空间自相关分析、



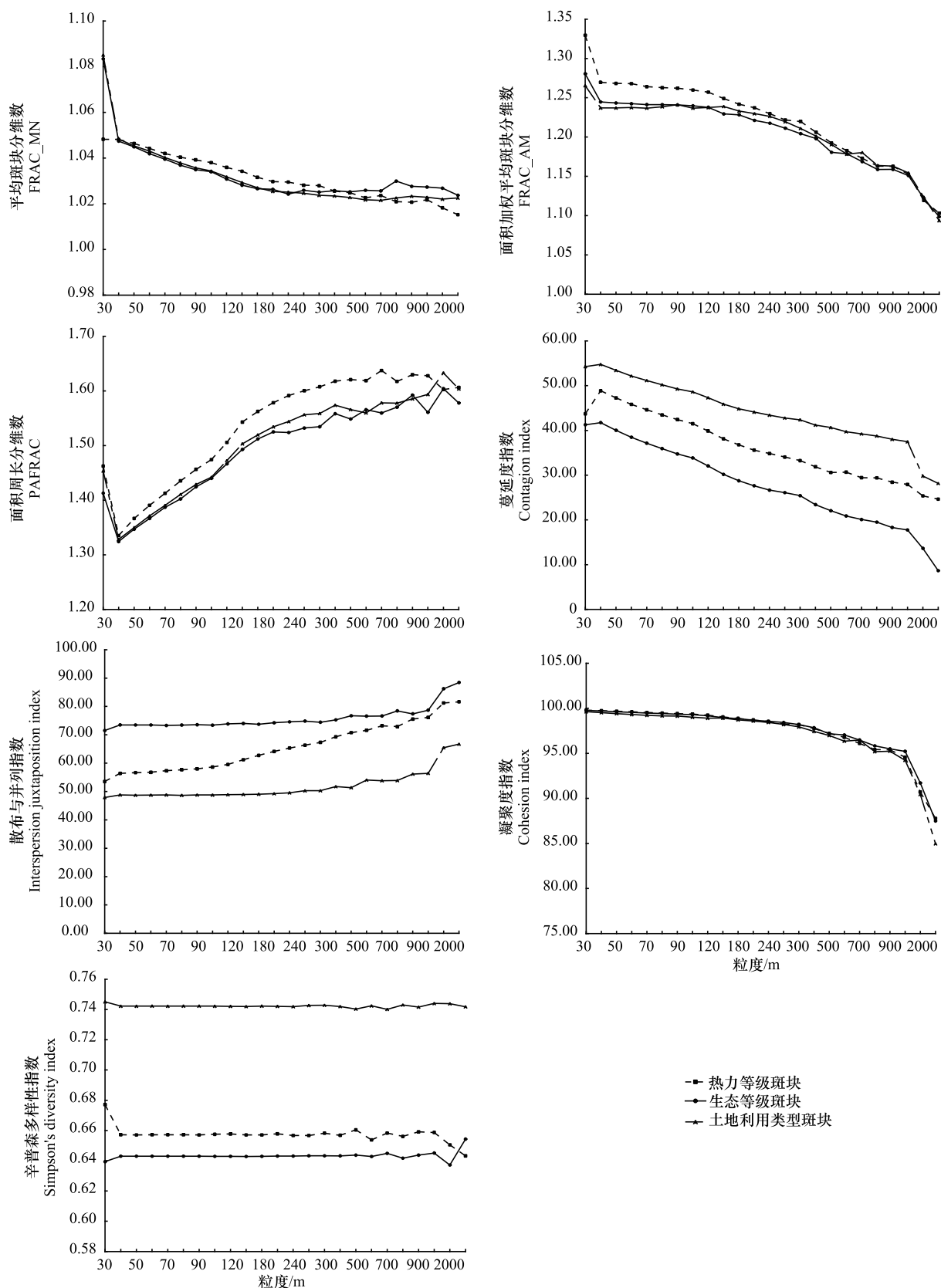


图 4 随粒度变粗变化趋势相近的景观指数响应曲线

Fig. 4 Curves of landscape metrics in response to changing grain size (in similarity)

半方差分析、小波分析等空间统计分析方法在识别格局空间结构特征及随尺度变化规律方面具有不同的重点和优势^[46],但在景观格局尺度效应的应用分析上还有待加强。

此外,在 ArcGIS 软件中对栅格像元聚合运行优势、最邻近分配、双线性插值等不同规则时,被归并地类特征的差异易被忽略,出现格局—生态过程分析结果的差异。因此,粒度变换规则对粒度效应响应产生的影响也值得深入研究。

致谢:本文在写作过程中得到安徽师范大学国土资源与旅游学院博士生导师麻金继教授、福州大学福建省空间信息工程研究中心吴俊副研究员及研究生郝贵彬的大力支持,特此表示由衷感谢。

参考文献 (References):

- [1] 邬建国. 景观生态学中的十大研究论题. 生态学报, 2004, 24(9): 2074-2076.
- [2] Wu J G. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. Landscape Ecology, 2013, 28(1): 1-11.
- [3] 王计平, 杨磊, 卫伟, 陈利顶, 黄志霖. 黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平. 生态学报, 2011, 31(19): 5739-5748.
- [4] Šimová P, Gdulová K. Landscape indices behavior: a review of scale effects. Applied Geography, 2012, 34: 385-394.
- [5] 徐建华, 岳文泽, 谈文琦. 城市景观格局尺度效应的空间统计规律——以上海中心城区为例. 地理学报, 2004, 59(6): 1058-1067.
- [6] Buyantuyev A, Wu J G, Gries C. Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: time, space and thematic resolution. Landscape and Urban Planning, 2010, 94(3/4): 206-217.
- [7] Alhamad M N, Alrababah M A, Feagin R A, Ghararabeh A. Mediterranean drylands: the effect of grain size and domain of scale on landscape metrics. Ecological Indicators, 2011, 11(2): 611-621.
- [8] Wu J G, Jelinski D E, Luck M, Tueller P T. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: scale variance and pattern metrics. Geographic Information Sciences, 2000, 6(1): 6-19.
- [9] 申卫军, 邬建国, 林永标, 任海, 李勤奋. 空间粒度变化对景观格局分析的影响. 生态学报, 2003, 23(12): 2506-2519.
- [10] 张玲玲, 史云飞, 刘玉华. 空间粒度变化对沂蒙山区景观格局指数的影响. 生态学杂志, 2013, 32(2): 459-464.
- [11] 章波, 濮励杰, 黄贤金, 周青, 吕敏眸, 李宪文. 城市区域土地利用变化及驱动机制研究——以长江三角洲地区为例. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 28-33.
- [12] 何剑锋, 庄大方. 长江三角洲地区城镇时空动态格局及其环境效应. 地理研究, 2006, 25(3): 388-396.
- [13] 夏翮, 李云梅, 王桥, 王彦飞, 金鑫, 徐恩惠. 无锡市城市扩张与热岛响应的遥感分析. 地球信息科学学报, 2009, 11(5): 677-683.
- [14] 许妍, 高俊峰, 郭建科. 太湖流域生态风险评价. 生态学报, 2013, 33(9): 2896-2906.
- [15] 郭冠华, 陈颖彪, 魏建兵, 吴志峰, 容晓臻. 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响. 生态学报, 2012, 32(12): 3764-3772.
- [16] 陈云浩, 李晓兵, 史培军, 何春阳. 上海城市热环境的空间格局分析. 地理科学, 2002, 22(3): 317-323.
- [17] 孟丹, 李小娟, 宫辉力, 赵文吉. 北京地区热力景观格局及典型城市景观的热环境效应. 生态学报, 2010, 30(13): 3491-3500.
- [18] 江学顶, 夏北成. 珠江三角洲城市群热环境空间格局动态. 生态学报, 2007, 27(4): 1461-1470.
- [19] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [20] 阎水玉, 杨培峰, 王祥荣. 长江三角洲生态系统服务价值的测度与分析. 中国人口. 资源与环境, 2005, 15(1): 93-97.
- [21] 傅强, 宋军, 毛锋, 吴永兴, 姚涵, 唐剑波. 青岛市湿地生态网络评价与构建. 生态学报, 2012, 32(12): 3670-3680.
- [22] 田甜, 李绍才, 孙海龙, 龙凤, 陈敏. 道路建设扰动下的生态效应分析及其消减对策. 水土保持通报, 2010, 30(1): 199-204.
- [23] 张德铨, 刘林山, 摆万奇, 沈振西, 阎建忠, 丁明军, 李双成, 郑度. 黄河源地区草地退化空间特征. 地理学报, 2006, 21(1): 3-14.
- [24] 温晓金, 杨海娟, 刘焱序. 基于地形因子的千米尺度景观生态廊道布局研究. 地理科学进展, 2013, 32(2): 298-307.

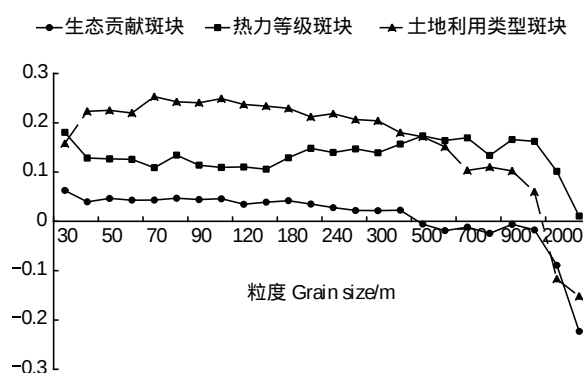


图5 随粒度变粗的 Moran's I 指数响应曲线

Fig. 5 Curves of spatial autocorrelation index of Moran's I in response to changing grain size

- [25] 李王鸣, 刘吉平, 王纪武. 城镇生态廊道规划研究——以浙江湖州市埭溪镇为例. 城市发展研究, 2010, 17(3): 75-79.
- [26] 赵岩洁, 李阳兵, 邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区小流域生态风险评价——以草堂溪为例. 自然资源学报, 2013, 28(6): 944-956.
- [27] 陈杰, 梁国付, 丁圣彦. 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例. 生态学报, 2012, 32(12): 3773-3781.
- [28] 王永艳, 李阳兵, 邵景安, 李源, 杨华. 基于斑块评价的三峡库区腹地坡耕地优化调控方法与案例研究. 生态学报, 2014, 32(12): 3245-3256.
- [29] 梁国付, 许立民, 丁圣彦. 道路对林地景观连接度的影响——以巩义市为例. 生态学报, 2014, 34(16): 4775-4784.
- [30] 朱明, 濮励杰, 李建龙. 遥感影像空间分辨率及粒度变化对城市景观格局分析的影响. 生态学报, 2008, 28(6): 2753-2763.
- [31] 摆万奇, 孙会首, 阎建忠. 大渡河上游地区土地覆被动态变化的尺度效应. 自然资源学报, 2009, 24(2): 335-343.
- [32] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000: 17-18.
- [33] Li H B, Wu J G. Use and misuse of landscape indices. Landscape Ecology, 2004, 19(4): 389-399.
- [34] Wu J G. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. Landscape Ecology, 2004, 19(2): 125-138.
- [35] Plexida S G, Sfougaris A I, Ispikoudis I P, Papanastasis V P. Selecting landscape metrics as indicators of spatial heterogeneity: a comparison among Greek landscapes. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 26: 26-35.
- [36] 布仁仓, 胡远满, 常禹, 李秀珍, 贺红土. 景观指数之间的相关分析. 生态学报, 2005, 25(10): 2764-2775.
- [37] Saura S. Effects of remote sensor spatial resolution and data aggregation on selected fragmentation indices. Landscape Ecology, 2004, 19(2): 197-209.
- [38] 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.
- [39] 孟丹, 王明玉, 李小娟, 宫辉力. 京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究. 生态学报, 2013, 33(5): 1545-1558.
- [40] Chao F, Myint S. A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation. Landscape and Urban Planning, 2014, 121: 117-128.
- [41] Shao G F, Wu J G. On the accuracy of landscape pattern analysis using remote sensing data. Landscape Ecology, 2008, 23(5): 505-511.
- [42] 刘德林, 方炫, 李壁成. 黄土高原小流域尺度土地利用景观格局指数的粒度效应. 水土保持通报, 2013, 33(4): 206-210.
- [43] 周伟, 钟星, 袁春. 1: 10000 比例尺土地利用景观指数的粒度效应分析. 中国土地科学, 2010, 24(11): 20-26.
- [44] 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. 水土保持研究, 2013, 20(3): 23-31.
- [45] 刘宇, 吕一河, 傅伯杰. 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性. 生态学报, 2011, 31(1): 267-275.
- [46] 邱炳文, 随银坡, 陈崇成. 南方丘陵山区典型地物景观特征尺度研究. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1970-1978.