

县域尺度下景观指数的粒度效应

崔杨林¹, 董斌¹, 位慧敏^{2,3}, 徐文瑞¹, 杨斐¹, 彭亮¹, 方磊¹, 王裕婷¹

(1. 安徽农业大学理学院, 安徽 合肥 230036; 2. 中国科学院测量与地球物理研究所 环境与灾害监测评估湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430077; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 【目的】尺度的合理确定是景观格局和生态研究过程的关键。研究县域尺度下景观指数的粒度效应, 并计算景观指数的适宜粒度范围对分析景观格局变化具有重要意义。【方法】以2017年安徽省宿松县的景观分布图为数据源, 从类型和景观水平分析了各个景观指数在20~500 m粒度范围内的粒度效应, 并选取适宜的粒度范围; 通过拟合函数揭示不同景观格局指数随粒度增大的变化特征; 结合景观面积损失精度评价模型确定宿松县景观格局变化的最适宜空间粒度值。【结果】景观指数具有一定的空间粒度效应性, 其中大部分景观指数的可预测性强, 但景观总面积、平均面积分维数、平均形状指数、Simpson多样性、Simpson均匀度指数对空间粒度响应不敏感; 景观指数的粒度效应曲线可分为单调递减、单调递增、无变化、复杂变化4种类型; 景观指数的拐点主要集中在70和200 m; 在景观水平下景观指数粒度效应曲线拟合后的函数主要为幂函数, 且拟合程度高。【结论】宿松县景观格局变化的适宜粒度为100~110 m, 最佳粒度为100 m。图3表1参27

关键词: 景观生态学; 景观指数; 粒度效应; 地理国情; 斑块; 宿松县

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2020)04-0778-09

Granularity effect of landscape index at the county scale

CUI Yanglin¹, DONG Bin¹, WEI Huimin^{2,3}, XU Wenrui¹, YANG Fei¹, PENG Liang¹, FANG Lei¹, WANG Yuting¹

(1. School of Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China; 2. Key Laboratory for Environment and Disaster Monitoring and Evaluation of Hubei, Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, Hubei, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] Reasonable scale determination is the key to the research of landscape pattern and ecology and has become one of the research focuses in landscape ecology and geography. Hence, the present research is focused on the granularity effect of landscape index at the county scale and appropriate granularity range of landscape index which is of great significance to the analysis of landscape pattern changes. [Method] First, with the landscape distribution map of Susong County, Anhui Province in 2017 was used as the data, an analysis was conducted of the granularity effect of each landscape index in the granularity range of 20–500 m from the two levels of type and landscape with the appropriate granularity range selected. Then, the fitting function was used to reveal the variation features of different landscape pattern indexes with the increase of granularity. Lastly, the optimal spatial granularity value of landscape pattern changes in Susong County was determined by the results of the precision evaluation model of landscape area loss. [Result] (1) The landscape indexes had a certain spatial granularity effect and most of them were highly predictable; (2) Landscape total area index, average area fractal dimension, average shape index, Simpson diversity index and Simpson evenness

收稿日期: 2019-08-21; 修回日期: 2020-01-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41571101, 41401022); 北京林业大学青年教师科学研究中心长期项目计划(2015ZCQ-LX-01)

作者简介: 崔杨林, 从事地理信息系统+数字农林研究。E-mail: 947674758@qq.com。通信作者: 董斌, 教授, 博士, 从事测绘地理信息技术及其生态环境应用等研究。E-mail: dbhy123@sina.com

index demonstrated low response sensitivity to spatial granularity; (3) There were four different types of granularity effect curves of the landscape index: monotonically decreasing, monotonically increasing, no change, and complex change and their inflection points were mainly occurred at 70 and 200 m; (4) Power function was the main function upon the favorable fitting of the landscape index granularity effect curve. [Conclusion] The suitable grain size range landscape pattern change was 100–110 m in Susong County, Anhui Province, and the optimal grain size value was 100 m. [Ch, 3 fig. 1 tab. 27 ref.]

Key words: landscape ecology; landscape index; granularity effect; geographical conditions; patches; Susong County

尺度的合理选择对研究区土地利用景观变化和生态效应的分析具有科学的指导意义，也是目前景观生态学和地理学研究的热点问题之一。尺度的选择是进行生态学研究的基础，通常由空间粒度和幅度来描述。空间粒度是指景观中可以辨别的最小单元，所代表的特征长度、面积和体积，在空间数据和图像资料中通常对应于最大分辨率和像元的大小^[1]。进行生态学研究的位置不同，粒度的划分方法、划分范围、步长的选择等均不相同^[2-4]；数据源大多采用遥感影像人工解译法获得的解译图或土地利用现状图等^[5-7]，研究区域多集中于城市热岛^[8-10]、典型区域^[11]、生态脆弱区^[12-13]、流域或交通沿线等^[14-18]。地形和地貌的差异会造成景观指数不同的粒度响应，只有当测量尺度、研究对象及本质特征与研究区符合时，景观指数才能将研究区的景观格局特征显示和反映出来^[2]。因此，适宜空间粒度的选择，是反映景观格局状况和景观生态研究的关键。县域不仅是行政区划的重要单元，更是连接城市与乡村的重要节点。目前，景观指数粒度效应多以大尺度区域为研究对象，如孟楠等^[19]研究发现：中国澳门城市生态系统格局分析的最佳粒度为25 m，张玲玲等^[20]研究得出：沂蒙山区景观指数最佳粒度为35 m，马胜等^[13]研究表明：黄土高原生态脆弱区景观生态风险分析的最佳粒度为120 m。而对县域尺度等中小区域的案例研究较少。鉴于此，本研究分析了安徽省宿松县不同景观指数在类型和景观水平下的粒度效应，以探讨长江中下游县域景观的粒度效应问题，对揭示县域景观生态规律具有一定的指导意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

宿松县($29^{\circ}47' \sim 30^{\circ}26'N$, $115^{\circ}52' \sim 116^{\circ}35'E$)位于安徽省西南方向，是长江中下游北岸的顶端。全县东西宽约67 km，南北长约72 km，总面积达 $2\ 394\ km^2$ 。东北接壤太湖县，西边紧邻湖北省的蕲春县和黄梅县，东南角连接望江县，南边隔江相望于江西省的湖口县和彭泽县，是皖、鄂、赣三省的交界处，也是八县结合部。宿松县地势高低起伏明显，呈阶梯形式自西北向东南方向地势逐渐降低，属北亚热带湿润季风气候，四季分明，季风性明显，光照充足，雨水多，平均无霜期为255 d，植物生长期长。

1.2 方法

1.2.1 数据来源及预处理 以宿松县研究区2017年的地理国情普查成果为依据，结合研究目标，参考GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》，根据土地实际用途以及地物意义，将地理国情普查数据中的地表覆盖分类重新划分为耕地、园地、林地、草地、建筑用地(房屋建筑区、构筑物、人工堆掘地)、交通用地(道路)、水域、未利用地(荒漠与裸露地表)等8个土地利用类型^[21]。通过ArcGIS对划分后的土地斑块类型进行分类合并处理。

1.2.2 粒度推绎 研究区范围以及景观格局的不同，粒度范围及步长的选择也大小不一，通常大步长会掩盖小步长的变化规律，小步长则可重演大步长的尺度变化规律^[22]。因此，本研究以筛选合并的景观类型专题图为基础，参考前人粒度范围及步长的划分案例^[8-12]，结合研究区实际概况，运用ArcToolbox中的Feature to Raster工具和重采样工具，将源数据转化为20~150 m以10 m为步长的14个数据，150~500以50 m为步长的7个数据，共21幅不同景观类型栅格图。

1.2.3 土地利用景观格局指数筛选 本研究根据实际需要从景观面积、形状复杂程度、聚集和散布状况、优势度、多样性等方面选取对粒度变化敏感且能较全面反映整个景观格局特征的景观指数。其中：

在类型水平上选取斑块类型面积、斑块密度、斑块形状指数、平均分维数、最大斑块面积比例、斑块数量、斑块类型面积比例、平均斑块面积、有效网格大小；在景观水平上，面积边缘指标选取了景观总面积、景观总周长、边缘密度、周长面积分维数，密度大小及差异指标选取了斑块密度、斑块数量、平均斑块面积，形状指标选取了平均形状指数、平均分维数、景观形状指数。聚散性指标选取了散布与并列指数、景观聚合度、景观聚集度、景观凝聚度。多样性指标选取了斑块丰富度、Simpson多样性指数、Simpson均匀度指数^[13-15, 23-25]。

1.2.4 最佳景观粒度效应分析 利用 Fragstats 4.2 软件计算景观格局指数，并在 Origin 2018 下绘制不同空间粒度下的景观指数曲线，最后建立景观格局指数与粒度之间的函数关系，用拟合度(R^2)检验其相关性， R^2 最大为1， R^2 越接近于1，表明回归直线对景观指数曲线的拟合程度越高，反之，回归直线对景观指数曲线拟合程度越差。然后利用拐点法和景观面积损失评价法^[26]，确定研究区土地利用景观最佳适宜粒度。景观面积损失评价模型为：

$$P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^2}{n}}; L_i = \frac{A_i - A_{bi}}{A_{bi}} \times 100\%. \quad (1)$$

式(1)中： P 表示区域景观面积损失值； L_i 表示*i*类景观面积损失相对值； A_i 表示*i*类景观类型粒度变化后景观面积； A_{bi} 表示第*i*类景观粒度变化前的景观面积； n 表示景观类型的总数目。

2 结果与分析

2.1 类型水平下粒度效应分析

类型水平下宿松县的景观指数随着粒度的变粗呈不同的变化趋势(图1)。根据各种土地利用类型景观指数对粒度变化的响应差异，可以将宿松县类型水平指数分为以下4种类型。

指数类型1包括斑块密度、斑块形状指数、斑块个数和平均分维数，呈逐渐减小的趋势，“L”型变化，与粒度的变化具有明显的响应关系。随着粒度的变粗，斑块个数、斑块密度、斑块形状指数下降幅度均比较剧烈，明显拐点为70 m，表明粒度的增加造成景观破碎度明显下降，景观异质性减小。其中草地、交通用地的斑块个数、斑块密度下降的最为剧烈，未利用地、园地变化幅度相对较小，这与研究区中草地分布较分散，交通用地相互交错、复杂分散，未利用地、园地面积较少，且分布较集中有关。水域、园地、未利用地景观形状指数变化不明显，与研究区中水域集中分布，耕地、水域、林地逐渐融合周围景观类型造成小斑块逐渐消失，斑块形状趋于单一有关。平均分维数明显的拐点为60 m，未利用地、园地、耕地、林地的下降的幅度较显著，建筑用地和园地降幅较大，未利用地变化趋势较复杂，与未利用地的斑块数目最少及呈聚集状态分布有关。

指数类型2包括斑块类型面积和斑块类型面积比例指数，无明显变化趋势，与粒度的变化具有明显的响应关系。随着粒度的增大，景观指数值均基本保持不变，粒度>350 m后，林地的斑块类型面积和斑块类型面积比例上下波动，但变化较小，整体基本不变。研究区中土地利用类型的面积比例从大到小依次为耕地、水域、林地、草地、建筑用地、园地、交通用地、未利用地。

指数类型3包括最大斑块面积和有效网格大小指数，呈现“无规则”变化趋势，与粒度变化不具有明显的响应关系。林地、交通用地、未利用地、园地的景观指数变化幅度很小，且无明显拐点；草地明显拐点为70 m，在20~70 m内呈单调下降趋势，降幅明显；水域明显拐点为130 m，>130 m后发生剧烈的浮动变化；建筑用地和耕地明显拐点为100 m，整体呈剧烈的不规则变化，但100~130 m呈轻微的波动变化，这与耕地、建筑用地分布较分散，130 m后景观异质性发生了变化有关；其他土地利用类型粒度效应响应不明显，这与自身斑块类型面积少且破碎度较大有关。

指数类型4包括平均斑块面积指数，呈现“J”上升趋势，与粒度的变化具有明显的响应关系。在不同的粒度范围内呈现出不同程度的增加趋势，转折点为150 m，20~70 m幅度增加很小；70~150 m幅度增加较大，但相对来说变化不大，>150 m各土地利用类型的平均斑块面积指数急剧增大。这说明粒度的增大会引起大斑块夺取周围小斑块造成各土地类型的破碎度逐渐降低。

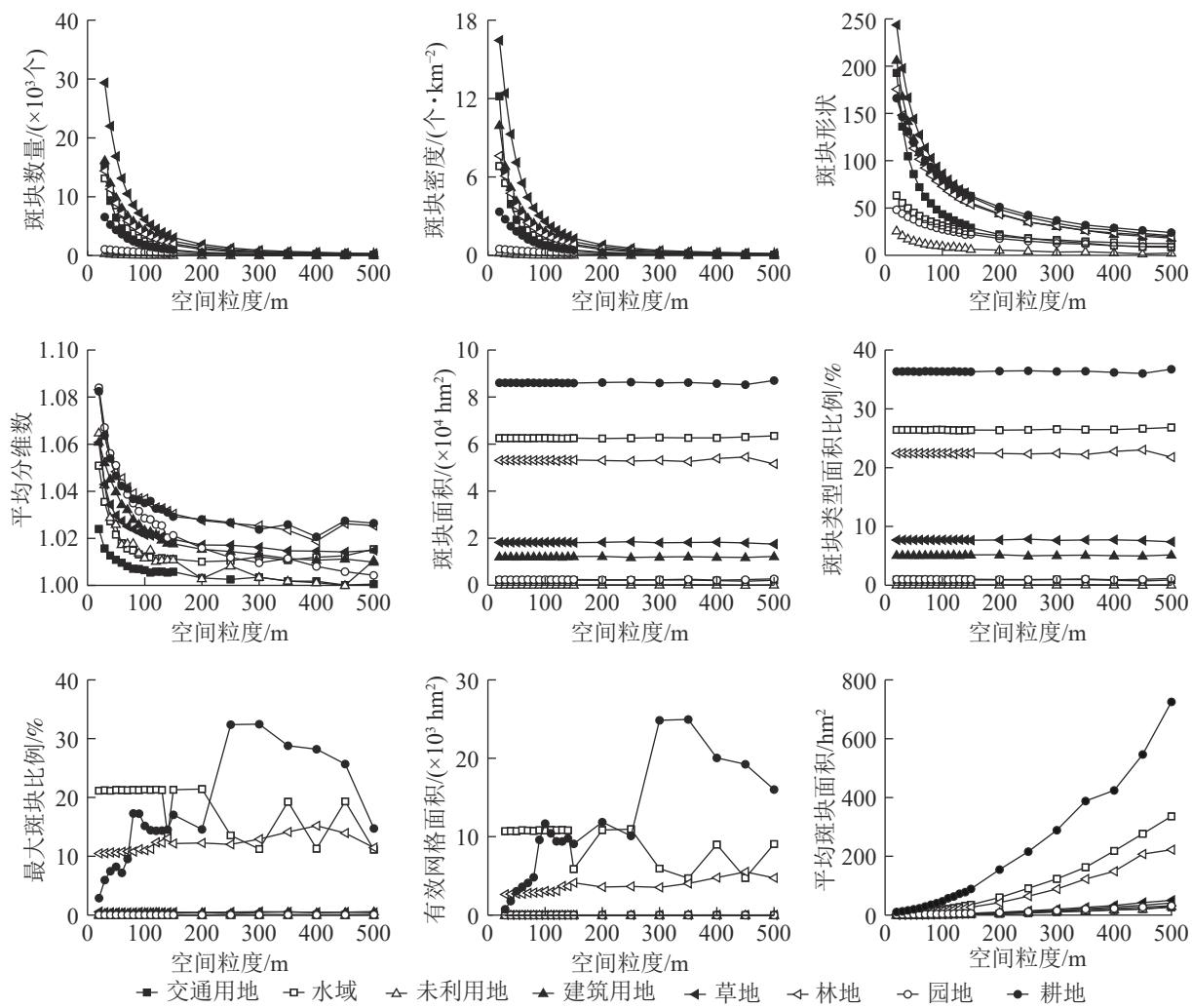


图1 类型水平下景观指数的粒度变化

Figure 1 Grain sizes change of landscape indices under type level

2.2 景观水平下粒度效应分析

分别对不同的景观指数进行拟合，选取拟合程度最高的函数作为该景观指数的拟合函数（表1）。从图2可以看出：景观水平下的景观指数随着粒度的增大具有明显的响应关系。

指数类型1包括景观总周长、斑块数量、景观形状指数、景观聚集度、景观聚合度、边缘密度和斑块密度，总体呈“L”型单调下降变化趋势，景观指数拟合度高，可预测性强。斑块数量、斑块密度、景观总周长、景观形状指数的粒度响应曲线变化规律相似，明显拐点为70 m，70~200 m景观指数值下降幅度较小，>200 m后景观指数值逐渐趋于稳定状态。据此可知随着粒度的增大整个景观内的小斑块逐渐被优势斑块融合，景观破碎化程度降低，整体景观形状趋于单一，小的斑块被融合，不同土地利用类型的分散程度逐渐增大。

指数类型2包括散布与并列指数、平均分维数、平均形状指数和景观凝聚度，总体呈单调下降后出现不同程度的波动变化，但整体依然呈下降趋势，其中：散布与并列指数、景观凝聚度拟合度高可预测性强，平均分维数、平均形状指数拟合度一般。景观凝聚度随着粒度的增大而下降，整体变化范围不大，值接近于100 m说明整个景观的连通性比较好，>300 m后呈单调下降趋势，且降幅增大，表明景观的连通性降低且程度增加。散布与并列指数曲线明显拐点为70 m，70~300 m为适宜粒度域，>300 m呈不同程度的波动变化，并且波动程度逐渐加剧但总体呈下降趋势，表明粒度的增大导致斑块类型周围的小斑块被优势斑块融合，邻接的斑块类型逐渐降低，景观的形状越来越简单。平均分维数、平均形状指数的适宜粒度为70~400 m，>400 m呈现波动变化的趋势，表明随着粒度的增大斑块形状逐渐变得规则。

表1 景观水平下景观指数的拟合函数

Table 1 Fitting function of landscape horizontal landscape index

指标(y)	景观指数(x)	函数类型	拟合函数	拟合度(R^2)	预测强度
面积边缘	景观总面积	二次多项式	$y = 12 \times 10^{-4} x^2 - 0.4747x + 236.751$	0.570	较低
	边缘密度	幂函数	$y = 1434.2x^{-0.702}$	0.988	极高
	周长面积分维数	对数	$y = 0.0427 \ln x + 1.3762$	0.903	高
	景观总周长	幂函数	$y = 3 \times 10^8 x^{-0.702}$	0.988	极高
密度大小及差异	斑块密度	幂函数	$y = 8089.4x^{-1.503}$	0.986	极高
	斑块数量	幂函数	$y = 2 \times 10^7 x^{-1.503}$	0.986	极高
	平均斑块面积	二次多项式	$y = 6 \times 10^{-4} x^2 + 0.0392x + 0.686$	0.999	极高
形状	平均形状指数	二次多项式	$y = 2 \times 10^{-6} x^2 - 0.001x + 1.2481$	0.752	一般
	平均分维数	幂函数	$y = 1.0781x^{-0.011}$	0.856	一般
	景观形状指数	幂函数	$y = 1634.4x^{-0.681}$	0.989	极高
聚散性	散布与并列指数	幂函数	$y = 77.157x^{-0.019}$	0.927	高
	景观聚合度	幂函数	$y = 123.05x^{-0.122}$	0.997	极高
	景观聚集度	幂函数	$y = 65.514x^{-0.099}$	0.975	极高
	景观凝聚度	二次多项式	$y = -10^{-5} x^2 - 0.0005x + 98.848$	0.944	高
多样性	斑块丰富度	常数	$y = 8$	1.000	极高
	Simpson多样性	二次多项式	$y = -10^{-8} x^2 + 4 \times 10^{-6} x + 0.7388$	0.770	一般
	Simpson均匀度	二次多项式	$y = -2 \times 10^{-8} x^2 + 5 \times 10^{-6} x + 0.8443$	0.771	一般

指数类型3包括周长面积分维数和平均斑块面积，总体呈上升趋势，景观指数拟合度高可预测性强。周长面积分维数的明显拐点为70 m，适宜粒度为70~200 m，>200 m呈波动变化且变化强度逐渐增强；粒度>200 m后平均斑块面积指数呈急剧增长趋势，表明在200 m下景观格局发生了剧烈的变化，且对平均斑块面积指数影响较大。据此可知：随着粒度的增大，斑块间相互融合引起斑块周长不断的减小，周长面积分维数值增大，整体景观内的斑块形状复杂性增大。

指数类型4包括景观总面积、斑块丰富度、Simpson多样性和Simpson均匀度，整体呈无变化或复杂变化趋势，拟合度整体一般。Simpson多样性和Simpson均匀度指数变化幅度很小；>110 m后变化程度增强，但是变化依然很小，表明随着粒度的增大斑块之间会不断进行分割和融合；>110 m后Simpson多样性和Simpson均匀度指数的变化强度加剧且总体景观值呈降低趋势，说明随着粒度的增大景观的破碎化程度逐渐降低，斑块类型在景观中的均衡化趋势分布逐渐降低。斑块丰富度在所选的粒度范围内一直未变，说明在所选的粒度范围内，随着粒度的增大整个景观的空间组分未消失。

2.3 最佳空间粒度的选取

对同一县域景观进行景观格局分析，空间粒度的选取直接影响结果的科学性和合理性，因此，适宜粒度的选取对研究县域的景观格局具有重要意义。景观指数曲线转折点附近景观特征会发生较大的变化，在适宜粒度域内选取最佳的景观分析粒度，以保证空间的边界信息损失值降到最小。适宜粒度域内的景观指数变化相对平稳，没有剧烈的波动变化，景观格局特征保持相对稳定状态^[27]。根据景观指数的粒度效应曲线所对应不同转折点，将第1个变化相对稳定的区域作为适宜粒度区域，过大的粒度会造成交通用地、园地、未利用地等比较分散，且会让较小的斑块丢失边界空间信息，造成空间内部的景观特征发生改变，粒度越小越接近真实的景观特征。在类型水平下主体景观类型耕地景观指数的适宜粒度域为100~130 m，林地适宜粒度域为100~110 m，水域适宜粒度域为20~130 m。据此可知：类型水下景观指数的适宜粒度域为100~130 m。景观水平下指数类型4在粒度为110 m后开始出现逐渐增强的变化，因此，景观水平下的适宜粒度域为100~130 m。

根据不同水平下对应的景观指数粒度效应曲线的拐点分布，以及适宜粒度域，表明宿松县内部景观格局的最佳适宜粒度为100~110 m。从图3可见：在粒度为100~110 m内，景观面积损失值由0.7%上升

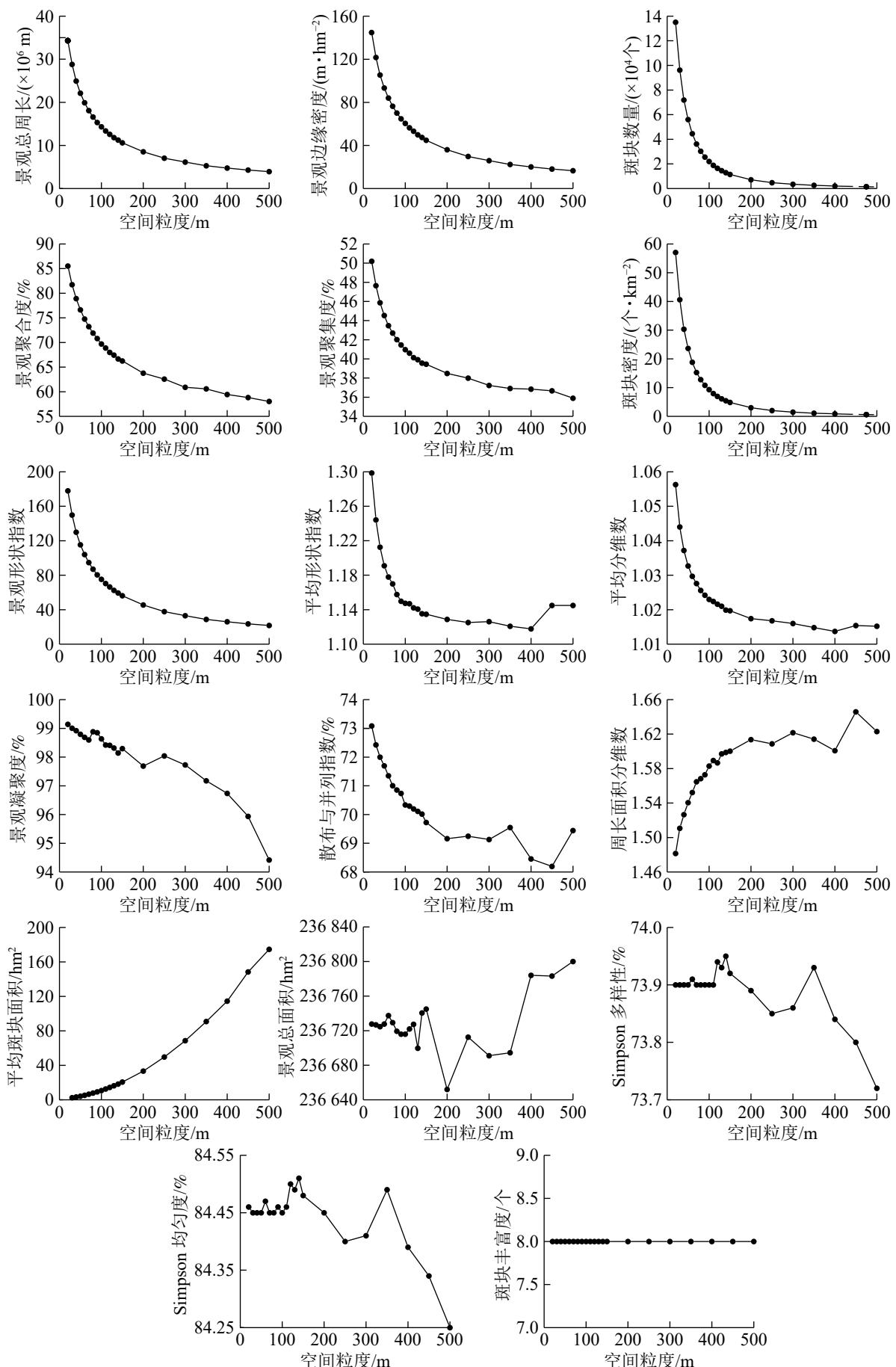


图 2 景观水平下景观指数的粒度变化

Figure 2 Grain sizes change of landscape indices under landscape level

到3.4%，呈现出逐渐增高的趋势。综合可知：宿松县县域水平下适宜的景观粒度为100 m。

3 讨论

数据源、研究对象、粒度变化方式、空间数据聚合方式、景观类型的不同均会造成景观结构组成的不同空间特征^[11]。目前，大尺度区域的粒度效应研究^[2-3, 9, 14]，数据源多采用人工解译的遥感数据，存在人工目视解译误差大、地物类别判定等问题，而本研究采用的地理国情数据源是高分辨率的影像，具有精度高、要素全、尺度精细等优点^[5]。本研究区位于大别山南麓，位于长江中下游北岸，西北向东南依次地跨大别山山脉、丘陵岗地和平原、湖畈区，自然条件的差异形成了资源的多样性，林地、耕地、水域为研究区的主体类型。不同地貌下相同景观指数的拐点不同，如在景观水平下，施英俊等^[25]研究发现：森林景观地貌下景观指数拐点为120 m，翟俊等^[15]研究认为：青海湖流域地貌下的景观指数拐点集中于60和90 m，张韧璎^[9]研究认为：天水市景观指数拐点集中于10、15和35 km，任梅等^[11]研究表明：喀斯特山地城市安顺市的景观指数拐点集中于20和100 m，本研究表明：宿松县景观指数曲线的拐点主要集中于70和110 m，说明不同研究区地貌、土地类型的分布特征对确定区景观格局分析的粒度有较大影响。丁雪姣等^[24]认为：安徽省省域尺度下的合适粒度为100~125 m，但并未确定粒度值，且选择粒度步长为25 m。本研究选择粒度步长为10和50 m，确定宿松县最佳粒度为100 m，这为研究整个安徽省的景观格局提供了一定的参考，也表明了粒度划分粗细的重要性。在景观水平下大部分景观指数均可用幂函数来对景观指数进行拟合，且拟合程度高，这与翟俊等^[15]的研究结果类似，表明随着粒度的增大，部分景观指数粒度效应可预测性强。为减少粒度效应引起的误差，需要根据研究区特有的地形、地貌景观组成成分、面积大小来选择合适的粒度区间及景观指数。

4 结论

本研究表明：在类型水平上，宿松县耕地景观指数的适宜粒度域为100~130 m，林地适宜粒度域为100~110 m，水域适宜粒度域为20~130 m。研究区草地、耕地、建筑用地分布比较分散，交通用地相互交错，复杂分散，未利用地、园地面积较少且分布比较集中。在景观水平上，景观指数的粒度效应曲线呈现4种不同的变化趋势，且大部分景观指数粒度效应可用拟合函数来进行预测，包括幂函数、对数函数、二次多项式、常数函数4种，主要函数类型为幂函数，且幂函数拟合程度高($R^2 > 0.92$)。随着粒度的变化，景观指数的粒度响应也各不同，综合不同水平下各个景观指数的拐点信息确定了宿松县景观格局的最佳粒度域为100~110 m，结合景观面积损失模型，确定宿松县景观格局分析的最佳粒度为100 m。

5 参考文献

- [1] 邬建国. 景观生态学——格局、过程与等级[M]. 北京：高等教育出版社, 2007: 106–115.
- [2] 陈永林, 谢炳庚, 李晓青. 长沙市土地利用格局变化的空间粒度效应[J]. 地理科学, 2016, 36(4): 564 – 570.
CHEN Yonglin, XIE Binggeng, LI Xiaoqing. Spatial grain size effect on land use pattern changes in Changsha City [J]. *Sci Geogr Sin*, 2016, 36(4): 564 – 570.
- [3] 殷小彤. 西北地区农村居民点景观格局指数的尺度效应及其最佳粒度选择分析：以西安市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(12): 149 – 154.
YIN Xiaotong. Analysis of the scale effect on landscape spatial pattern of rural residential area: taking Xi'an City as an example [J]. *Chin J Agric Resour Reg Plann*, 2016, 37(12): 149 – 154.
- [4] 郭琳, 宋戈, 张远景, 等. 基于最佳分析粒度的巴彦县土地利用景观空间格局分析[J]. 资源科学, 2013, 35(10): 2052 – 2060.

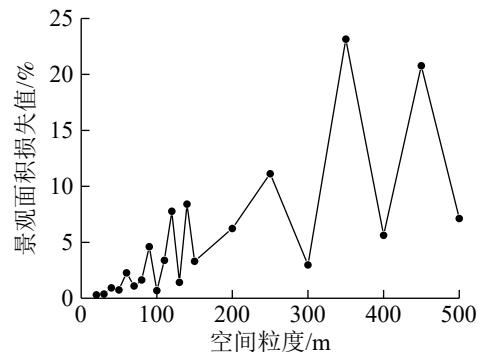


图3 景观面积损失值的粒度变化

Figure 3 Grain sizes change of landscape area loss value

- GUO Lin, SONG Ge, ZHANG Yuanjing, et al. Land-use spatial analysis for Bayan County based on optimal grain size [J]. *Resour Sci*, 2013, **35**(10): 2052–2060.
- [5] 王彦军, 杨月. 基于地理国情普查成果的城市景观格局分析[J]. *现代测绘*, 2018, **41**(2): 27–30.
- WANG Yanjun, YANG Yue. Analysis on landscape pattern of city based on the survey of geographical conditions [J]. *Modern Surv Mapp*, 2018, **41**(2): 27–30.
- [6] 刘玉卿, 张华兵, 张云峰. 盐城海岸带生态系统服务价值时空分异[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, **36**(4): 774–782.
- LIU Yuqing, ZHANG Huabing, ZHANG Yunfeng. Spatio-temporal variation of ecosystem services value in Yancheng coastal zone [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2019, **36**(4): 774–782.
- [7] 周媛. 多元目标导向下的成都中心城区绿地生态网络构建[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, **36**(2): 359–365.
- ZHOU Yuan. Developing urban greenspace ecological network in Chengdu City center based on multiple objectives [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2019, **36**(2): 359–365.
- [8] 冀亚哲, 张小林, 吴江国, 等. 聚落景观格局的空间粒度转换响应及其机理分析: 以江苏省镇江地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2013, **22**(3): 322–330.
- JI Yazhe, ZHANG Xiaolin, WU Jiangguo, et al. Analysis of mechanism of the settlements landscape change during transforming data with several spatial granularities [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2013, **22**(3): 322–330.
- [9] 张韧璎. 天水市土地利用景观格局动态及空间幅度效应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- ZHANG Renying. *Study on Dynamics of Landscape Pattern and Spatial Extent Effect in Tianshui*[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [10] 乔伟峰, 吴江国, 王亚华. 多尺度粒度变化对区域土地利用景观格局的影响: 以镇江市为例[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2015, **38**(3): 120–126.
- QIAO Weifeng, WU Jiangguo, WANG Yahua. Effect of multi-scale granularity change to regional land use landscape pattern: a case study of Zhenjiang [J]. *J Nanjing Norm Univ Nat Sci Ed*, 2015, **38**(3): 120–126.
- [11] 任梅, 王志杰, 王志泰, 等. 黔中喀斯特山地城市景观格局指数粒度效应——以安顺市为例[J]. 生态学杂志, 2018, **37**(10): 3137–3145.
- REN Mei, WANG Zhijie, WANG Zhitai, et al. Grain size effect of karst mountainous urban landscape pattern indices in the central Guizhou: a case study of Anshun City [J]. *Chin J Ecol*, 2018, **37**(10): 3137–3145.
- [12] 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[J]. 水土保持通报, 2013, **33**(4): 206–210.
- LIU Delin, FANG Xuan, LI Bicheng. Effects of grain change on landscape metrics of landuse in small watershed on Loess Plateau [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2013, **33**(4): 206–210.
- [13] 马胜, 梁小英, 刘迪, 等. 生态脆弱区多尺度景观生态风险评价: 以陕西省米脂县高渠乡为例[J]. 生态学杂志, 2018, **37**(10): 3171–3178.
- MA Sheng, LIANG Xiaoying, LIU Di, et al. Multi-scale landscape ecological risk assessment in ecologically fragile regions: a case study in Gaoqu Town in Mizhi County, Shaanxi Province [J]. *Chin J Ecol*, 2018, **37**(10): 3171–3178.
- [14] 孟瑶瑶, 薛丽芳. 南四湖流域土地利用及其景观格局变化分析[J]. 水土保持研究, 2017, **24**(3): 246–252.
- MENG Yaoyao, XUE Lifang. Analysis on landscape pattern change and land use in Nansi Lake Basin [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2017, **24**(3): 246–252.
- [15] 翟俊, 侯鹏, 赵志平, 等. 青海湖流域景观格局空间粒度效应分析[J]. *国土资源遥感*, 2018, **30**(3): 159–166.
- ZHAI Jun, HOU Peng, ZHAO Zhiping, et al. An analysis of landscape pattern spatial grain size effects in Qinghai Lake watershed [J]. *Remote Sensing Land Resour*, 2018, **30**(3): 159–166.
- [16] 孔维静, 王一涵, 潘雪莲, 等. 辽宁太子河上游沿岸景观格局的幅度效应[J]. *山地学报*, 2013, **31**(3): 287–293.
- KONG Weijing, WANG Yihan, PAN Xuelian, et al. Extent effect of landscape pattern along upper reaches of Taizi River, Liaoning, China [J]. *J Mt Sci*, 2013, **31**(3): 287–293.
- [17] 易海杰, 张丽, 罗维, 等. 1990–2013年洋河流域土地利用景观格局的粒度效应[J]. 中国农学通报, 2018, **34**(19): 83–95.
- YI Haijie, ZHANG Li, LUO Wei, et al. Spatial grain size effect on land use pattern changes within the Yanghe Watershed in 1990–2013 [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2018, **34**(19): 83–95.

- [18] 王德智, 邱彭华, 方源敏. 丽香铁路建设对沿线景观格局影响的尺度效应及其生态风险 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2493 – 2503.
WANG Dezhi, QIU Penghua, FANG Yuanmin. Scale effect of Li-Xiang Railway construction impact on landscape pattern and its ecological risk [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2015, 26(8): 2493 – 2503.
- [19] 孟楠, 韩宝龙, 王海洋, 等. 澳门城市生态系统格局变化研究 [J]. 生态学报, 2018, 38(18): 6442 – 6451.
MENG Nan, HAN Baolong, WANG Haiyang, et al. Study on the evolution of urban ecosystem patterns in Macao [J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, 38(18): 6442 – 6451.
- [20] 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 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 459 – 464.
ZHANG Lingling, SHI Yunfei, LIU Yuhua. Effects of spatial grain change on the landscape pattern indices in Yimeng Mountain area of Shandong Province, East China [J]. *Chin J Ecol*, 2013, 32(2): 459 – 464.
- [21] 杨晓红, 张双双, 汪鑫. 基于地理国情数据的土地利用景观格局分析 [J]. 地理空间信息, 2019, 17(10): 32 – 36, 40, 10.
YANG Xiaohong, ZHANG Shuangshuang, WANG Xin. Land use landscape pattern analysis based on geographical conditions data [J]. *Geospat Inf*, 2019, 17(10): 32 – 36, 40, 10.
- [22] 邱海军, 曹明明. 土地利用景观格局指数的粒度效应: 以黄龙县为例 [J]. 地域研究与开发, 2011, 30(1): 126 – 129.
QIU Haijun, CAO Mingming. The effects of grain change on land use landscape pattern indices: a case study of Huanglong County [J]. *Areal Res Dev*, 2011, 30(1): 126 – 129.
- [23] 张皓玮, 李欣, 殷如梦, 等. 旅游城镇化地区土地利用景观格局指数的粒度效应: 以扬州市广陵区为例 [J]. 南京师大学报(自然科学版), 2018, 41(3): 122 – 130.
ZHANG Haowei, LI Xin, YIN Rumeng, et al. Grain size effect of urbanization tourist areas of land use landscape pattern index: a case study of Guangling District of Yangzhou [J]. *J Nanjing Norm Univ Nat Sci Ed*, 2018, 41(3): 122 – 130.
- [24] 丁雪姣, 沈强, 聂超甲, 等. 省域尺度下不同时序景观指数集与粒度效应分析 [J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 111 – 120.
DING Xuejiao, SHEN Qiang, NIE Chaojia, et al. Analysis of landscape indice set and grain effect of different time series at provincial scale [J]. *Chin J Agric Resour Reg Plann*, 2019, 40(3): 111 – 120.
- [25] 施英俊, 高健, 雷亚君, 等. 阿尔泰山森林景观特征及其适宜粒度分析 [J]. 西部林业科学, 2019, 48(1): 63 – 69.
SHI Yingjun, GAO Jian, LEI Yajun, et al. Landscape characteristics and suitability analysis of the Altai Mountains [J]. *J West China For Sci*, 2019, 48(1): 63 – 69.
- [26] WU Jianguo, HOBBS R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis [J]. *Landscape Ecol*, 2002, 17(4): 355 – 365.
- [27] 黄晶晶, 于银霞, 于东升, 等. 利用景观指数定量化评估历史土壤图制图精度 [J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 44 – 54.
HUANG Jingjing, YU Yinxia, YU Dongsheng, et al. Quantitative evaluation of mapping precision of historical soil maps with landscape indices [J]. *Acta Pedol Sin*, 2019, 56(1): 44 – 54.