

DOI: 10.5846/stxb201310132463

康孝岩, 王艳慧, 段福洲. 单一景观空间分布指数及其适用性评价. 生态学报, 2015, 35(5): 1311-1320.

Kang X Y, Wang Y H, Duan F Z. Spatial distribution index and its applicability evaluation for single-type landscape. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(5): 1311-1320.

单一景观空间分布指数及其适用性评价

康孝岩, 王艳慧*, 段福洲

首都师范大学资源环境与旅游学院; 城市环境过程与数字模拟国家重点实验室培育基地; 三维信息获取与应用教育部重点实验室; 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100048

摘要:为描述单一景观的空间分布离散性和广度特征, 引入基于香农熵的空间分布指数(MSHDI, Modified Shannon's Distribution Index), 利用河南省中南部地区 1990、2001 和 2007 年 3 期 TM/ETM⁺ 遥感影像, 进行了 MSHDI 与经典景观指数的比较, 并分析了 MSHDI 与面积指数(PLAND, Percentage of Landscape) 在多网格尺度下的相关关系。结果表明: (1) MSHDI 在描述单一景观的空间分布广度和离散程度特征方面具有较好的适用性。MSHDI 能适应不同制图综合程度的影响, 并能反映出景观斑块边缘的细微差别。(2) 通过分析 MSHDI 与 PLAND 之间相关系数的大小和变化程度可以分别验证 MSHDI 的表征性和稳定性。(3) MSHDI 适用于基底和散布状景观, 两种指数之间有显著的正相关性(农用地 $\bar{r} = 0.939$, $\bar{P} = 0.000$; 城市建设 $\bar{r} = 0.877$, $\bar{P} = 0.004$; 工矿仓储 $\bar{r} = 0.870$, $\bar{P} = 0.002$; 自然绿地 $\bar{r} = 0.966$, $\bar{P} = 0.001$), 且随网格粒度变化不大(农用地 $r = 0.921 \pm 0.054$; 城市建设 $r = 0.867 \pm 0.107$; 工矿仓储 $r = 0.883 \pm 0.052$; 自然绿地 $r = 0.964 \pm 0.024$); 而对网状景观则缺乏稳定性。

关键词: 香农熵; 单一景观; 空间分布指数; 面积指数; 适用性

Spatial distribution index and its applicability evaluation for single-type landscape

KANG Xiaoyan, WANG Yanhui*, DUAN Fuzhou

College of Resources Environment & Tourism; State Key Laboratory Incubation Base of Urban Environmental Processes and Digital Simulation; Key Laboratory of 3-Dimensional Information Acquisition and Application, Ministry of Education; Beijing Key Laboratory of Resource Environment and Geographic Information System, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract: A single-type landscape, as an important component of the landscape ecological system, is an abstract for the complicated landscape. The SHDI (Shannon's Diversity Index), typically used to describe the complexity of nonlinear system, consists of various components, measures the diversity and variability on spatial structure, functional mechanism and temporal dynamics. Because the single-type landscape cannot be described by SHDI, based on Shannon Entropy, a spatial distribution index MSHDI (Modified Shannon's Distribution Index) was proposed to address the spatial distribution division and breadth of single-type landscapes. Remote sensing technique can be used effectively to extract information of single landscapes, which directly represent their development. Using three Landsat images (May 4, 1990 by TM sensor, May 10, 2001 by ETM⁺ sensor and May 19, 2007 by TM sensor), this paper presents the quantitative comparison between MSHDI and classic landscape indices (MPS, FI, et al), and discusses the correlative relationship between MSHDI and area index (PLAND, Percentage of Landscape) with multiple mesh grains, choosing the South Central of Henan Province as our study area. The method based on MSHDI in this study is mainly used in six single landscapes (Agriculture land, Transportation landscape, Surface water landscape, Forest and Grassland, Urban construction landscape and Industrial and

基金项目: 国家自然科学基金(41371375); 北京市自然科学基金(8132018); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAH33B03, 2012BAH33B05)

收稿日期: 2013-10-13; **网络出版日期:** 2014-07-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huiwangyan@sohu.com

mining area). Results show that the spatial distribution index on spatial distribution scope and division's description has significant feasibility and adaptability, as it accurately reveals different types of single landscapes' spatial distribution scope and reflects the nuances of edges of different landscape patches. It is relatively stable in the spatial distribution relationships among various single landscapes in this study area (MSHDI: Agriculture land (0.982 ± 0.002) > Transportation (0.822 ± 0.020) > Water (0.789 ± 0.015) > Forest and Grassland (0.778 ± 0.015) > Urban construction (0.643 ± 0.020) > Industrial and mining area (0.626 ± 0.025)). Area index can partially reflect the spatial distribution of single-type landscape; moreover, it does not vary with the size of the mesh. Hence according to the intrinsically closely correlation coefficient (between MSHDI and area index) and its degree of change, MSHDI's characterization and stability can be verified respectively. The correlation between the two indices is significantly positive for matrix and scatter landscape (Agriculture land: $\bar{r} = 0.939$, $\bar{P} = 0.000$; Urban construction: $\bar{r} = 0.877$, $\bar{P} = 0.004$; Industrial and mining area: $\bar{r} = 0.870$, $\bar{P} = 0.002$; Forest and Grassland: $\bar{r} = 0.966$, $\bar{P} = 0.001$), and little change (Agriculture land: $r = 0.921 \pm 0.054$; Urban construction: $r = 0.867 \pm 0.107$; Industrial and mining area: $r = 0.883 \pm 0.052$; Forest and Grassland: $r = 0.964 \pm 0.024$), while it is more complicated for the webbed landscape (Transportation and Surface water landscape). Consequently, in order to address the single-type landscape appropriately, we proposed the spatial distribution index MSHDI. This study clearly demonstrates that MSHDI is appropriate for single-type landscape on its scope and division's description. We compared MSHDI with conventional landscapes indices comprehensively to prove its characterization. Then, MSHDI's stability was certified by the correlation coefficient between MSHDI and PLAND and its magnitude of change. Thus, it is rigorous and complete for the applicable certification of MSHDI. There are some inadequacies that need to be considered in the future study. First, we only selected the study area in which agriculture is predominated. The regions of other predominant land use types should be considered. Second, for the webbed landscape, the spatial distribution index should be improved to meet its stability. These inadequacies will be resolved in the next step of the study.

Key Words: Shannon entropy; single-type landscape; spatial distribution index; area index; applicability

信息熵概念^[1]与分析方法起源于信息论领域,最早应用于物种分布和遗传变异特征信息的描述,香农熵作为度量生物多样性的指标被 MacArthur^[2]应用于他的早期研究中。自 20 世纪 50 年代以来,香农多样性指数被广泛应用于景观生态学、土壤学等地学领域^[3-6], Ibáñez^[3-4] 基于土壤学和景观学的研究,提出了香农多样性在地学研究中具有广泛性和普适性的特征。

以上各研究领域中,香农熵多是用于定量描述生物圈各非线性系统的复杂程度,即由不同类型要素构成的景观在空间结构、功能机制和时间动态方面的多样性或变异性^[7];而由于经典香农公式的缺陷,其无法解释单一类型景观的空间分布特征。Yabuki 等^[8]基于日本北海道的土壤和土地利用的研究,对经典香农熵进行了修改,赋予其新的内涵,并基于此对土壤多样性和土地利用多样性进行了关联评价;段金龙、张学雷等^[9-10]分别选取中国中、东部不同尺度典型样区为研究区域,将 MSHDI 应用于土壤、区域地表水、植被指数和热环境等领域,并对它们进行了关联评价。景观指数名目繁多,之间的相关性往往很高,同时采用同一类型的指数并不能增加新信息^[11];且在不同空间分辨率和重采样粒度下,景观格局分析的结果往往差别很大^[7]。近年来,布仁仓等^[12]应用辽宁省影像数据对经典景观指数进行了系统的相关分析,并指出影响指数间相关关系的因素有景观格局、生态学意义和计算公式等;曹银贵等^[13]利用三峡库区长时间幅度遥感数据研究了经典景观指数的粒度效应。

然而,在不同粒度下对指数之间的相关关系的研究相对较少^[14]。为了描述单一景观的空间分布的离散性和广度特征,本研究将引入 MSHDI (Modified Shannon's Distribution Index) 指数;并通过与经典景观指数的比较及其在多网格 (Mesh) 尺度下与面积指数 (PLAND, Percentage of Landscape) 的相关关系来定量评价 MSHDI 的适用性 (表征性和稳定性), 以期香农熵理论在描述单一景观空间分布特征方面的适用性提供论证,并为

土地资源的合理配置和持续利用提供基础资料和科学依据。

1 研究材料与方法

1.1 研究区概况

选取河南省中南部典型样区(平顶山市的市区、汝州市、郟县、宝丰县和叶县,许昌市的市区、许昌县、长葛市、禹州市和襄城县以及漯河市的舞阳县和临颖县等三市连片区域)为研究区(图1),区域内自然、气候与人文状况相差不大,主体为典型农业景观。平顶山市位于河南省中南部,介于东经 112°14′—113°39′,北纬 33°9′—34°21′之间,地势西高东低,呈梯形展布,处于暖温带和亚热带气候交错的边缘地区,具有明显的过渡性特征。许昌市地处中华中东部腹地,介于东经 113°04′—114°19′,北纬 33°46′—34°28′之间,属北温带季风气候。漯河市位于河南省中南部,介于东经 113°27′—114°16′,北纬 33°24′—33°59′之间,四季分明,属暖湿性季风气候。

1.2 数据源及数据预处理

选用美国地球资源卫星(Landsat)1990年5月4

日、2001年5月10日和2007年5月19日覆盖研究区域的3个时期的TM或ETM⁺影像数据作为数据源。由于3期影像获取时间相近,研究忽略数据间的时相差异。其他相关数据包括19.5 m分辨率CEBERS配准基准图、研究区行政分布和轮廓图等。首先对研究区影像数据进行监督分类,然后结合Google Earth高清影像对分类数据进行了精细校正。鉴于研究区域环境特点、土地利用的实际情况、影像数据的可分辨能力以及技术处理等问题,研究以《土地利用现状分类》(2007版)^[15]为依据,将研究区域的土地利用方式分为地表水体(含水利设施用地)、城市建设用地(包括主城区及较大乡镇)、农用地(包括面积较小的乡镇和农村)、工矿仓储用地、交通运输用地(仅包括主要道路桥梁)和自然绿地(山区的林地、草地,包括其他较大面积的林地等)等6个类型景观。研究中使用的GIS和遥感软件分别为ArcGIS 9.3和ENVI 4.5;数据分析软件为IBM SPSS 19.0。

1.3 研究方法

1.3.1 单一景观指数的测度方法

描述斑块类型水平的经典景观指数主要有PLAND、平均斑块面积(MPS)、破碎化指数(FI)、景观分离度(DIVISION)、单位周长的斑块数(NPUP)和边界密度(ED)等^[7,11](表1)。

经典景观指数侧重描述景观异质性,而对景观整体性缺乏把握。本研究在前人^[8-10]对MSHDI研究的基础上,归纳抽象出空间实体(或现象)空间分布离散性(广度)的计量公式,并对单一景观进行表征:

$$\text{MSHDI} = \frac{-\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i}{\ln S} \quad (7)$$

式中,MSHDI为空间实体(或现象)的空间分布指数(或称空间分布香农熵指数),取值为[0, 1]; $i = 1, 2, \dots, S$;S为某网格粒度下网格的数目; P_i 为第*i*个网格中空间实体(或现象)所覆盖的面积占区域内该空间实体(或现象)所覆盖的总面积的比例。MSHDI取值越大,表明区域空间实体(或现象)的空间分布的广度越大,离散性分布越突出;反之亦然。该公式形式上与Pielou均匀度类同,但内涵不同。

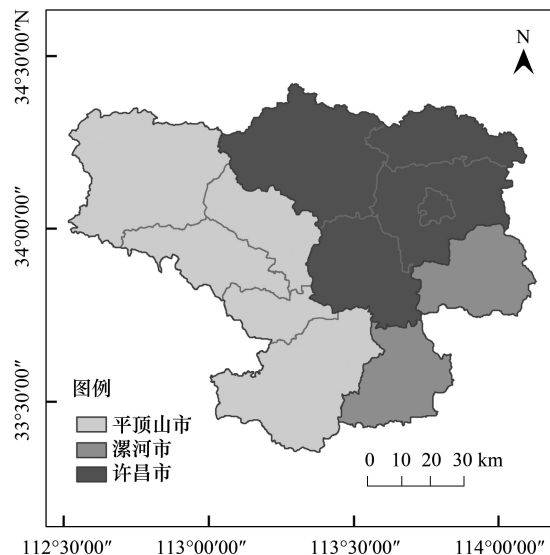


图1 研究区位置示意图

Fig.1 Location of study area schematic plot

本研究的具体空间实体为单一景观,是对土地利用分类结果的进一步抽象。以农用地景观为例,它包括两种组分,将农用地视为一种组分,而将区域内其他土地利用类型归为一种组分^[5];其他类型单一景观定义与之相同。这与传统意义上的以基底类型命名的单一景观不同,以下不再赘述。

1.3.2 关联分析的测度方法

为探究单一景观的 MSHDI 与其 PLAND 的关联程度,定义了一种关于两者之间相关性的关联系数,其公式为:

$$r(A, B) = \pm \max\{|r_l(A, B)|, |r_{nl}(A, B)|\} \quad (8)$$

式中, A 和 B 分别为单一景观的 MSHDI 和 PLAND 指数, $r(A, B)$ 即为两者之间的关联系数,其符号与所取值的原始值符号保持一致。其中, $r_l(A, B)$ 为两者之间的线性相关系数(Pearson 积矩相关系数); $r_{nl}(A, B)$ 为两者的非线性相关系数,定义如下:

$$r_{nl}(A, B) = \pm \max\{|r_l(\ln A, B)|, |r_l(A, \ln B)|, |r_l(\ln A, \ln B)|\} \quad (9)$$

式中, $r_l(\ln A, B)$ 、 $r_l(A, \ln B)$ 和 $r_l(\ln A, \ln B)$ 分别为 MSHDI 的自然对数与 PLAND、MSHDI 与 PLAND 的自然对数和 MSHDI 的自然对数与 PLAND 的自然对数之间的 Pearson 积矩相关系数, $r_{nl}(A, B)$ 的符号与所取值的原始值符号一致。

表 1 经典的类型水平景观指数及其生态意义

Table 1 Classic indices and their ecological meaning of patch types

指数 Metrics	计算公式 Expression		应用层次 Level	生态意义 Ecological significance
面积指数 PLAND Percentage of Landscape	$\frac{A}{TA}$	(1)	斑块类型	景观的组分,反映斑块类型空间分布情况
平均斑块面积 MPS Mean Patch Area	$\frac{A}{N}10^{-4}$	(2)	斑块类型	描述景观粒度,一定意义上揭示景观的破碎化程度
破碎化指数 FI Fragmentation Index	$1 - \frac{a_{\max}}{TA}$	(3)	斑块类型	景观异质性的重要组成部分,指征斑块破碎化程度,侧重景观内部
景观分离度 DIVISION Landscape Division Index	$1 - \sum_{j=1}^N \left(\frac{a_j}{TA}\right)^2$	(4)	斑块类型	度量某类型景观不同斑块个体分布的离散程度,侧重景观内部
单位周长斑块数 NPUP Number of Patches of Unit Perimeter	$\frac{N}{L}$	(5)	斑块类型	揭示某一景观破碎化程度
边界密度 ED Edge Density	$\frac{L}{A}$	(6)	斑块类型	揭示某类型景观被边界的分割程度,直接反映景观破碎化程度

A : 区域内某类型景观的总面积(hm^2); TA : 区域的总面积(hm^2); N : 某类型景观的斑块数目; a_j : 某类景观的第 j 个斑块的面积(hm^2),其中 $a_{\max}$ 为最大斑块面积(hm^2); L : 某类型景观的总边长(m)。

最后,在 $P=0.01$ 和 $P=0.05$ 下进行显著性检验。当 $|r|>0.8$, $P<0.01$ 时,为显著相关关系;当 $0.7<|r|<0.8$, $P<0.01$ 时,为明显变化趋势关系;当 $|r|<0.7$, $P>0.01$ 时,为无相关关系。

1.3.3 主要分析过程

在 ArcGIS 9.3 环境下,利用精校正土地利用分类图,分别提取各类型景观的图形数据库及相应属性数据库。然后对部分研究区的栅格分类图和矢量数据分别进行重采样化和网格化,分析两种粒度推绎的异同;在许昌市样区影像图(1990 年)的基础上,分别定量论述 MSHDI 与经典景观指数对于不同制图综合结果的敏感程度,以验证其表征性。而后以公里网格化的 3 期景观数据为材料,以研究区为例,分析 6 类景观的 MSHDI 与 PLAND 是否存在同步变化关系。最后,将研究区以县域为单位进行分区,应用 SPSS 19.0 软件进行 Pearson 相关性分析来探究不同网格粒度下各类单一景观 MSHDI 与 PLAND 之间的内在联系的大小和变化程度,进而评价 MSHDI 的适用性。

2 结果与分析

2.1 土地利用分类结果

依据上述方法,本研究对研究区 3 期遥感影像进行了解译,精纠正过程采用了相同程度的制图综合得到

土地利用类型图(图2)。从中可以看出,研究区整体上为典型农业景观,3个时相的农业用地面积均高于80%;其次为自然绿地,占10%左右;地表水体和城市建设用地约占2%—3%;而交通运输及工矿仓储用地均约占1%—2%。由于斑块、廊道和基底的区分具有相对性,并且在实际研究中很难确切区分,故本研究将其统称为斑块,即基底可看作是整体景观中占支配作用的斑块;而将廊道视为狭长型的斑块^[11]。其中,整体水平上,农用地为主要类型景观,交通运输与地表水体为网状景观,自然绿地、工矿仓储及城镇建设用地为散布状景观。

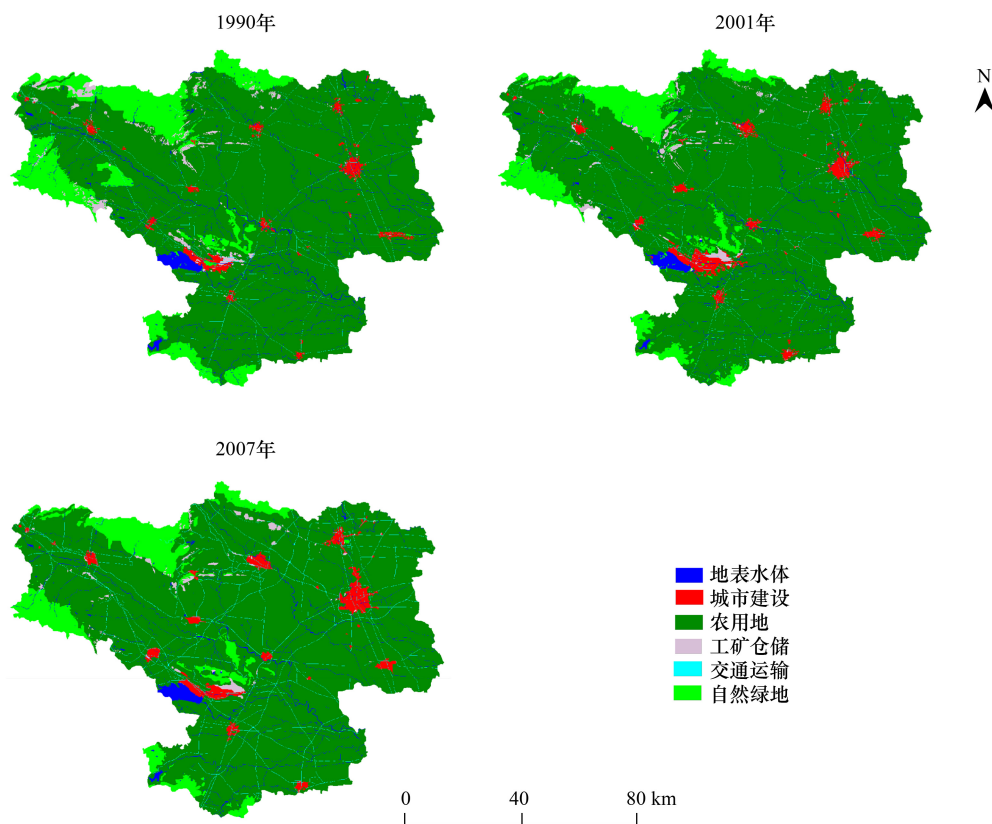


图2 研究区土地利用类型图

Fig.2 Maps of land-use types of the study area

2.2 网络粒度效应与经典粒度效应的比较

经典景观指数的粒度效应本质上是由于栅格影像随着空间粒度的变化,对斑块的分割、聚合和改变斑块边界所致^[16]。Hess^[17]曾明确指出景观格局分析中误差的严重性和普遍性。目前,通用的景观指数软件,如FRAGSTATS,多是利用栅格数据来估算景观指数,在研究粒度效应时多是通过聚合相邻栅格来实现粒度推绎,而此时数据的质量也会随着粒度逐渐增大而下降,甚至出现错误,这是研究方法的系统误差。对研究区的栅格分类图和矢量图分别进行了重采样化和网格化,以图3所示样区(33 km×33 km)为例,由图3b—f可以明显看出,景观影像随着粒度1—5 km向上推绎,其复杂程度和精度逐渐降低(以城建用地为例,其分布形状逐渐规整,位置发生偏移),误差逐渐积累(其中除农用地面积增加外,其他类型均逐渐减小)。

网络粒度效应指的是指数模型本身与选取网格大小相关的情况。网格化后的矢量数据并没有改变景观的复杂程度,仅仅划定出研究的基本单元(网格粒度)。尤其对于地表水系和交通道路等廊道景观,经过“粗粒化”重采样后,其连通性等分布特征被完全破坏而呈现斑块性,甚至在4—5 km粒度下,交通类型消失,从而使得经典指数对其描述时失效;而基于网格化的矢量数据的MSHDI则避免了该情况的发生,且更具有现实意义。

本研究采用矢量数据(图3g—i)进行精确计算和分析景观指数,而基于重采样的空间粒度效应不是此次

研究的内容(图 3b—f)。

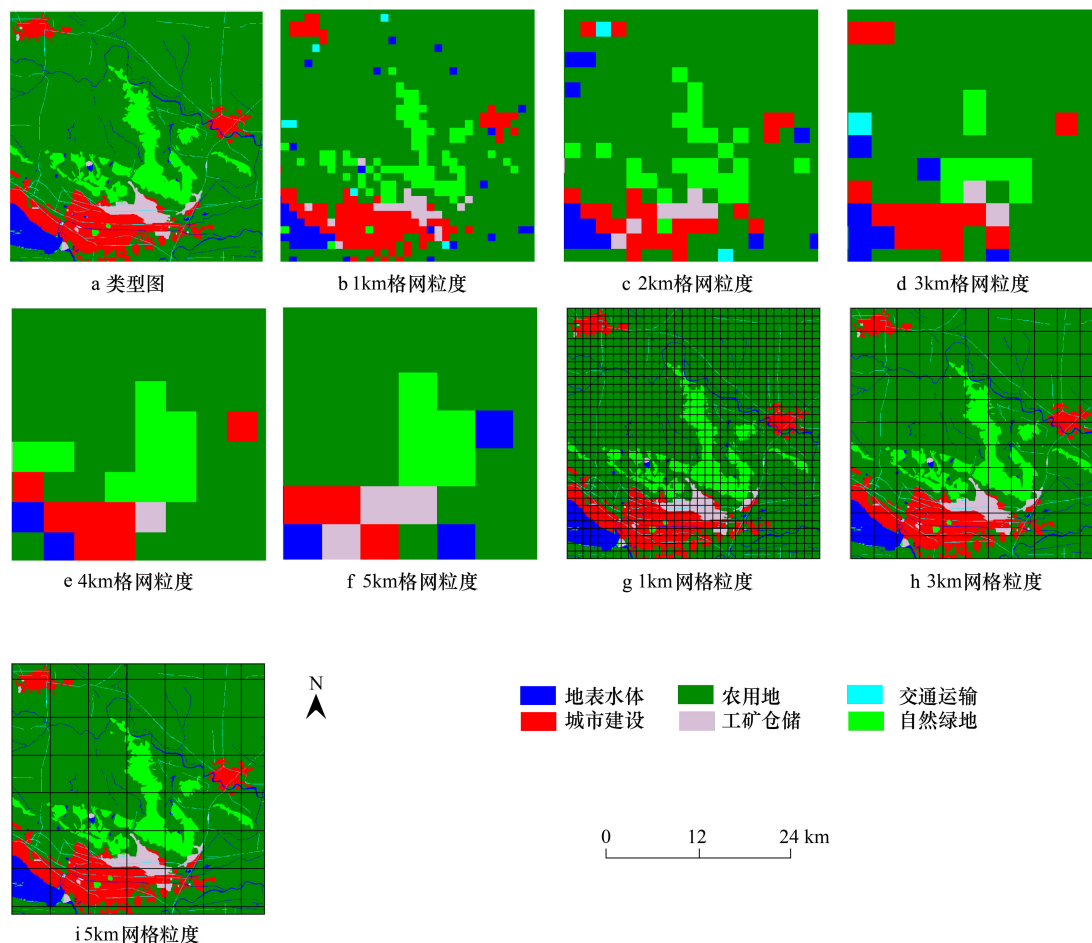


图3 2001年研究区(部分)粒度推绎示意图

Fig.3 The sketch map of grain scaling of the study area in 2001

2.3 MSHDI 与经典类型水平指数的比较

上述经典的景观指数均可以从不同角度不同程度地揭示单一景观的空间分布特征(多样性、离散性或破碎性),但是它们的影响因素及侧重反映的生态意义各不相同。从计算公式上看,MPS、DIVISION、NPUP 均与单一景观斑块个数 N 直接相关;FI 由景观最大斑块的面积决定;ED 与景观斑块周长之和成正比;而 MSHDI 则与 N 无关。对于地表水体和交通道路景观,由于其具有空间连续性而难以判定斑块数目 N ,故讨论其 MPS、FI、DIVISION 等经典指数显然是无意义的。

在数据采集的工作中,采集者的主观思维对数据质量影响较大,不同的人或同一人不同时间对同一影像解译的结果往往不同。本研究以许昌市区及周边区域为样区($11\text{ km}\times 11\text{ km}$),选用 1990 年监督分类后影像,提取主城区建设用地,并进行精校正和不同程度的制图综合(图 4)。其中,结果 I 的斑块复杂程度最高,而结果 V 最低,5 种提取结果的复杂程度依次递减,综合程度依次递增;5 种情况下,斑块的核心区基本一致,只有边缘部分略有变化。基于此,研究对 MSHDI 与经典类型水平指数进行定量比较,讨论它们对不同程度制图综合的敏感程度,并评价 MSHDI 在描述空间分布离散性和广度特征方面的适用性。

由于本研究所引入的 MSHDI 指数是基于矢量数据解算的,为了排除无关变量的干扰,经典景观指数也使用了矢量数据进行求解。图 5 展示了对应于图 4 中 5 种提取结果的 MSHDI 和经典景观指数的变化情况,从图中可以明显看出不同提取结果对各种指数的影响程度:

(1)城建景观面积最大为 3483.8 hm^2 (I),最小为 3308.3 hm^2 (V),平均为 3422.5 hm^2 ,相对偏差为

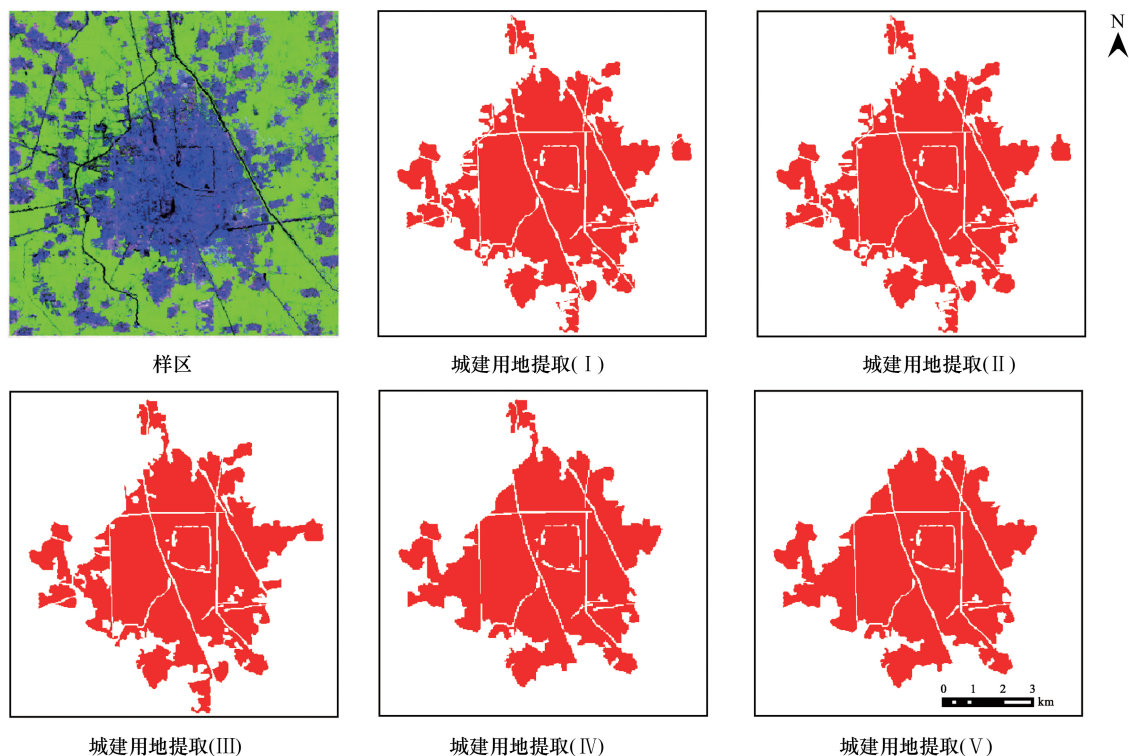


图4 1990年样区(许昌市区)提取城市建设用地的不同结果

Fig.4 Different extractions of urban construction land of the sample area (Xuchang Downtown) in 1990

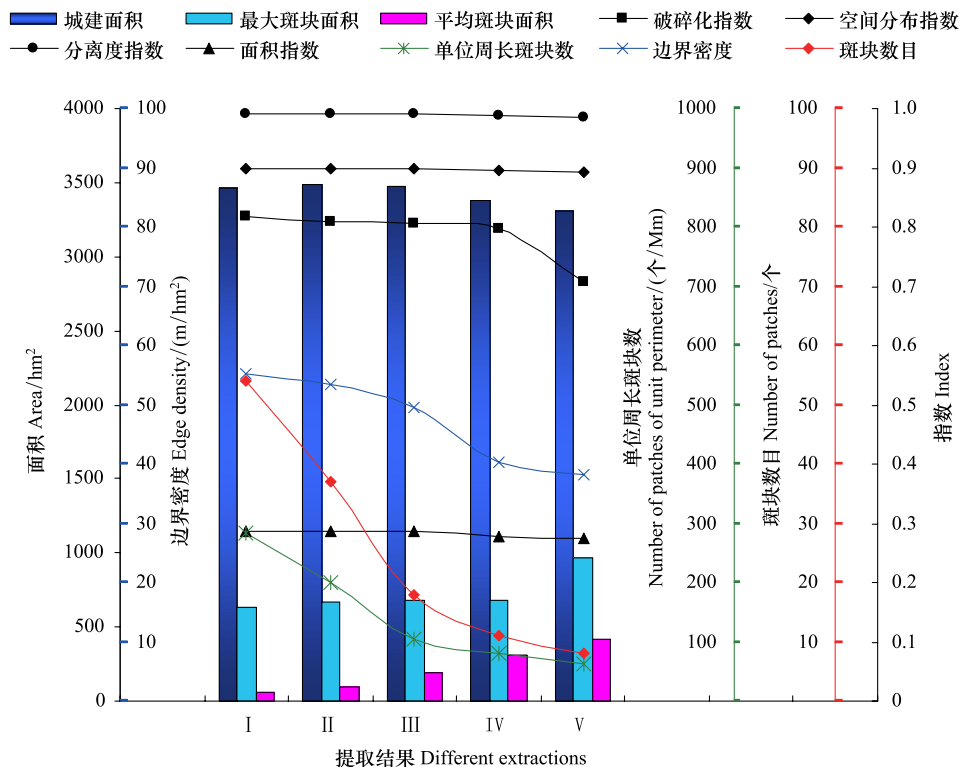


图5 1990年样区(许昌市区)城建用地景观指数统计图

Fig.5 The chart of indices of urban construction land of the sample area (Xuchang Downtown) in 1990

(-3.3%, 1.7%);最大斑块面积对不同提取结果的敏感程度相对较高,尤其是结果V较之其他4种(比结果IV(次大)高41.8%);MPS对不同提取结果的敏感程度十分显著,并且呈现递增态势,这是因为制图综合直接影响 N 的变化,而MPS由景观面积与 N 决定。

(2)FI受不同提取结果的影响也比较明显,总体上呈现递减态势;而MSHDI与PLAND对提取结果的敏感程度相对温和,并且两者变化基本上呈现同步态势,其中MSHDI的大小顺序为II(0.898)>I(0.897)=III(0.897)>IV(0.894)>V(0.892),PLAND的大小顺序也为II(0.288)>I(0.287)=III(0.287)>IV(0.280)>V(0.273);而DIVISION对提取结果也不敏感,并且相对偏差较小(-0.3%至0.2%),但是其与其他各种指数均无同步变化关系。

(3)ED、NPUP和 N 等3种指数受不同提取结果的影响比较明显,三者整体上均呈现递减趋势。其中,ED的变化幅度明显高于景观面积的变化,其主要受斑块总周长的影响;可以推断,对于面积相当的景观,其斑块数 N 与斑块总周长呈正相关关系,并且 N 的递减速度高于总周长,从而使得NPUP也逐渐减少。

选用研究区其他样区和单一景观进行了相同试验,反映出来类似的规律。因此,研究认为:(1)较之MPS、FI、DIVISION等经典景观指数,MSHDI更能适应制图综合的影响以准确地描述出单一景观的广度分布特征,并能反映出其中的偏差,即MSHDI有良好的表征性。(2)PLAND与MSHDI存在一定的相关关系;并且由于网格化不改变各类用地的空间位置和面积大小,即不对PLAND的大小产生影响,故可以通过两者在不同网格粒度下的相关性的变化程度来评价MSHDI在描述单一景观分布特征方面的稳定性。(3)PLAND可以一定程度上反映单一景观的分布特征,故分析两者相关系数的大小也可佐证MSHDI的表征性。

2.4 单一景观的空间分布特征分析

选取1990—2007年长时间序列中的3个时期的遥感影像数据,对6类单一景观的PLAND和MSHDI在1 km网格粒度下进行了解算(图6)。结果显示:(1)总体上讲,6种类型单一景观的MSHDI大小关系为:农用地(0.982±0.002)>交通运输(0.822±0.020)>地表水体(0.789±0.015)>自然绿地(0.778±0.015)>城市建设(0.643±0.020)>工矿仓储(0.626±0.025),由此可见在研究的时间幅度范围内各类型景观之间的空间分布关系相对稳定。(2)交通道路景观的MSHDI逐渐增大,3个时期分别为0.802、0.834和0.842,其空间分布的广度有所增大。(3)地表水体、工矿仓储和自然绿地的MSHDI呈递减态势,说明3类景观在空间上的复杂性和广度在降低,不过前者的降低趋势较为显著;后两者在2001—2007年的减小程度不明显。(4)城市建设和农用地景观的MSHDI均为先升后降,前者变化较为明显,后者变化较为缓和。(5)相较而言,各类型景观的PLAND之间的大小关系规律性不强,各时期的PLAND大小关系有所变化。

研究还发现:(1)在整体景观水平上,MSHDI与PLAND无明显相关关系, $P>0.01$ (1990年 $P=0.052$,2001年 $P=0.050$,2007年 $P=0.061$)。换言之,不同单一景观的MSHDI与PLAND不具有可比性,以1990年为例,地表水面积为交通用地的3倍,但两者的MSHDI相当(前后两者分别为0.804, 0.802)。从图中也可以明显看出,同一时期各类型景观的MSHDI与PLAND明显无同步变化趋势,以1990年为例,6类单一景观PLAND递增,而MSHDI呈现“先降后升,再降再升”的变化趋势。(2)在单一景观水平上,MSHDI与PLAND存在普遍

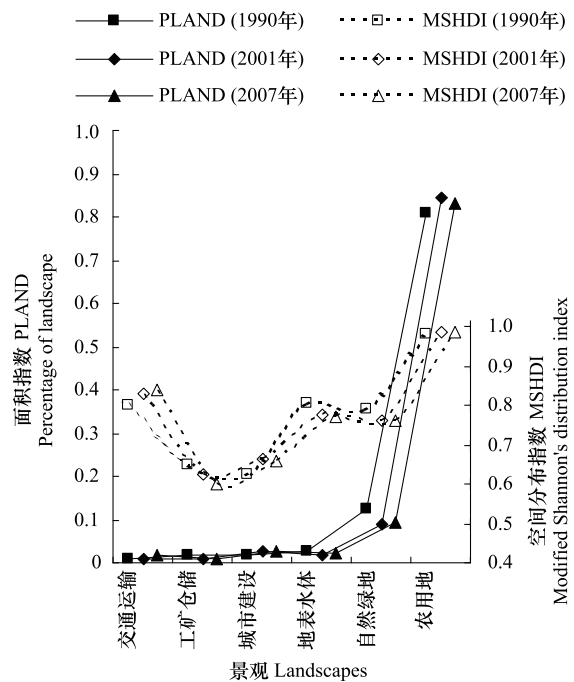


图6 各类型单一景观的面积指数和空间分布指数
Fig.6 PLAND and MSHDI of various types of single landscapes

意义上的变化趋势,即同一类型景观在不同时期的两种指数变化趋势大致相同,这点从图中可以看出。

2.5 MSHDI 与 PLAND 的相关分析

在上两节讨论的基础上,为了验证 MSHDI 在描述单一景观空间分布特征的稳定性,对研究区进行细化研究(图 7)以探讨同一时期各类单一景观的两种指数的相关性。首先,参照图 7 所示方法对 3 期数据分别进行分区(Z1—Z12),并分别计算各分区 6 种单一景观在 1 km、3 km 和 5 km 等 3 种网格粒度下的 MSHDI 和 PLAND 指数。然后,对同一时期同一景观同一网格粒度下两种指数进行线性相关和非线性相关分析,并取绝对值最大的相关系数作为两者之间的相关系数(公式(8)),并对其进行显著性检验(表 2)。

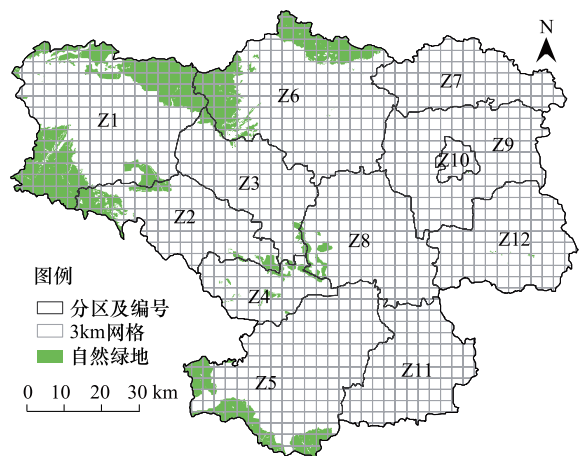


图 7 1990 年研究区自然绿地及分区分布

Fig.7 Forest and grassland and subareas of the study area in 1990

表 2 空间分布指数与面积指数的相关分析

Table 2 The correlation analysis between MSHDI (Modified Shannon's Distribution Index) and PLAND (Percentage of Landscape)

网格 Mesh	1 km	3 km	5 km	1 km	3 km	5 km	1 km	3 km	5 km
农用地 Agriculture land			地表水体 Water			交通运输 Transportation			
1990	0.966 **	<u>0.944 **</u>	<u>0.833 **</u>	0.281	-0.619 *	-0.805 **	0.804 **	0.523	-0.507
2001	0.974 **	1.000 **	0.837 **	0.434	-0.505	-0.662 *	0.769 **	0.292	-0.327
2007	0.985 **	0.979 **	0.929 **	0.318	-0.627 *	-0.730 **	0.756 **	0.406	0.134
城市建设 Urban construction			工矿仓储 Industrial land			自然绿地 Forest and grassland			
1990	0.977 **	0.871 **	0.613 *	0.961 **	0.938 **	0.942 **	0.981 **	0.987 **	0.982 **
2001	0.966 **	0.877 **	0.759 **	0.894 **	0.749 **	0.745 **	0.988 **	0.936 **	0.916 **
2007	0.981 **	0.942 **	0.908 **	0.948 **	0.807 **	0.845 **	0.995 **	0.983 **	<u>0.922 **</u>

* $P<0.05$; ** $P<0.01$; 下划线表示为线性相关系数,否则为非线性相关系数

可以明显看出:(1)在描述基底景观(农用地)和散布状景观(城市建设、工矿仓储和自然绿地)的空间分布离散性和广度特征方面,MSHDI 具有良好的稳定性。MSHDI 与 PLAND 存在显著的正相关关系($\bar{r}>0.8, \bar{P}<0.01$),且随网格粒度的变化程度不大。(2)对于网状景观(地表水体和交通道路),因其两种指数的相关性与网格粒度紧密相关,MSHDI 的稳定性较差。其中交通景观在 1 km 网格下两种指数有着明显变化趋势($\bar{r}=0.776, \bar{P}<0.01$),而在 3 km 和 5 km 粒度下表现为无相关关系($P>0.05$);地表水体在 5 km 粒度下两种指数存在明显的负相关趋势($\bar{r}=-0.732, \bar{P}<0.01$),在 3—1 km 推绎过程中发生不显著的负相关向不显著的正相关的转变。

3 结论与讨论

(1)利用 MSHDI 来描述单一景观的空间分布离散性和广度,具有可行性和适用性。相较于经典香农熵描述景观的内部特征,侧重于揭示非线性系统的空间异质性,MSHDI 描述的是单一景观的整体性特征,更侧重于表征空间实体(或现象)的空间广度。与经典景观指数多使用栅格数据估算不同,MSHDI 运用矢量数据网格化精确解算,尤其在描述网状景观时更具有现实意义;其能够准确描述出单一景观整体上分布的广度特征,并可以反映出景观边缘区的细微差别。

(2)在描述各类单一景观的广度分布特征方面,与经典景观指数相比,MSHDI 具有良好的表征性,并能反映出不同制图综合程度的偏差。故可以预见,对多源数据而言,其会有较好的适应性。

(3)在研究区整体景观水平上,各类单一景观之间的 MSHDI 和 PLAND 指数不具有可比性。不同单一景

观各有自己的空间分布特点,其 MSHDI 大小关系与 PLAND 并不同步。

(4)通过分析 MSHDI 和 PLAND 在不同网格粒度下的相关性变化程度,可以定量考量 MSHDI 指数的稳定性。研究得到:在单一景观水平上,对于基底和散布状景观,MSHDI 具有较好的稳定性;而对于网状景观,MSHDI 则不稳定。对于农用地、城市建设、工矿仓储和自然绿地等 4 类单一景观,其两种指数之间存在显著的正相关关系(农用地 $\bar{r}=0.939$, $\bar{P}=0.000$;城市建设 $\bar{r}=0.877$, $\bar{P}=0.004$;工矿仓储 $\bar{r}=0.870$, $\bar{P}=0.002$;自然绿地 $\bar{r}=0.966$, $\bar{P}=0.001$),并且随粒度变化不大(农用地 $r=0.921\pm0.054$;城市建设 $r=0.867\pm0.107$;工矿仓储 $r=0.883\pm0.052$;自然绿地 $r=0.964\pm0.024$);而对于网状景观的情况则较为复杂且不可预期。研究推测其复杂性可能与网状景观的线度及其线状分布特征有关,在下一步的研究中,将考虑对模型进行进一步修改和细化网格粒度来探究网状景观的空间广度分布特征。

此外,必须指出的是,本研究是基于“粗粒化”网格实现的,对于“细粒化”推绎是否具有以上规律有待进一步研究;并且本研究区总体上为典型农业景观,故研究结论是否适用于其他景观系统或者区域,尚需相关案例的验证。

致谢:郑州大学张学雷教授及其课题组对本文给予了研究方法、样区数据的支持与帮助,特此感谢。

参考文献 (References):

- [1] Rosenzweig M L. Species Diversity in Space and Time. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [2] MacArthur R. Fluctuations of animal population and a measure of community stability. *Ecology*, 1955, 36(3): 533-536.
- [3] Ibáñez J J, De-Alba S, Bermúdez F F, García-Álvarez A. Pedodiversity: concept and measures. *Catena*, 1995, 24(3): 215-232.
- [4] Ibáñez J J, De-Alba S, Lobo A, Zucarello V. Peddiversity and global soil patterns at coarser scales. *Geoderma*, 1998, 83(3/4): 171-214.
- [5] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. *生态学报*, 1997, 17(5): 453-461.
- [6] 张建辰, 王艳慧. 黄河下游沿岸湿地景观格局变化研究. *地理信息世界*, 2013, 20(1): 97-102.
- [7] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [8] Yabuki T, Matsumura Y, Nakatani Y. Evaluation of pedodiversity and land use diversity in terms of the Shannon entropy. <http://cdsweb.cern.ch/record/1178038>.
- [9] 段金龙, 张学雷. 中国中、东部典型样区土壤和水体多样性关联分析. *水科学进展*, 2012, 23(5): 635-641.
- [10] 段金龙, 张学雷. 区域地表水体、归一化植被指数与热环境多样性格局的关联分析. *应用生态学报*, 2012, 23(10): 2812-2820.
- [11] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [12] 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.
- [13] 曹银贵, 周伟, 王静, 袁春. 三峡库区 30a 间土地利用景观特征的粒度效应. *农业工程学报*, 2010, 26(6): 315-321.
- [14] 冯湘兰. 景观格局指数相关性粒度效应研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 21010-2007 土地利用现状分类. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [16] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 景观指数的粒度变化效应. *第四纪研究*, 2003, 23(3): 326-333.
- [17] Hess G. Pattern and error in landscape ecology: A commentary. *Landscape Ecology*, 1994, 9(1): 3-5.