

土地利用监测适宜尺度选择方法研究 ——以塔里木河流域为例

赵 金^{1,3}, 陈 曦¹, 包安明¹, 段远斌²

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆塔里木河流域管理局, 库尔勒 841300; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 适宜尺度选择是生态学、地理学等学科的重要问题之一。在不同的研究目的下, 尺度选择的方法和标准也随之变化。以塔里木河流域 20 世纪 50 年代土地利用数据为例, 将面积作为尺度选择的参数, 统计斑块面积分布直方图, 然后计算 9 种比例尺 (1:2 000 000, 1:1 000 000, 1:500 000, 1:250 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000 和 1:5 000) 下的归一化尺度方差, 最后结合 Shannon-Weaver 景观多样性指数、Simpson 多样性指数和分维数补充归一化尺度方差的结果, 探讨塔里木河流域土地利用的空间分布特征和尺度规律。结果如下: ① 归一化尺度方差值显示塔里木河干流 50 年代土地利用监测适宜尺度为 1:50 000 比例尺 (约 20km×20km 网格大小), 除沙地适宜尺度在 1:100 000 比例尺外, 有林地、灌木林地和盐碱地的适宜比例尺均在 1:50 000 比例尺上; ② Shannon-Weaver 多样性指数、Simpson 多样性指数和分维数结果表明盐碱地的多样性指数的适宜尺度与归一化尺度方差结果相同, 沙地的多样性指数与归一化尺度方差的适宜尺度域相同, 有林地和灌木林地多样性指数最优尺度在 1:10 000 比例尺与归一化尺度方差结果不同; ③ 沙地和盐碱地的分维数在 1:10 000 比例尺处有明显的上升, 沙地达到最大值 1.35, 而在其他尺度分维数值接近, 有林地和灌木林地则在各个尺度分维数值接近, 且值不超过 1.2。

关键词: 适宜尺度; 土地利用监测; 归一化尺度方差; 景观指数; 塔里木河流域

1 引言

20 世纪 60 年代, 生态学家和地理学家就注意到了尺度问题的重要性^[1], 并在各自的领域对尺度问题做了大量研究。尺度问题研究主要集中在尺度效应、适宜尺度选择、尺度转换三个方面^[2-4], 研究人员认识到, 某种空间形式 (包括形态、结构与过程) 会随着 (空间) 尺度的不同而发生变化, 因此, 对于某种空间形式的研究应该选择其适宜的尺度。Tunner^[5]指出: 一种尺度上的重要参数和过程, 在另一种尺度上往往是不重要的。Openshaw^[6-8]在总结前人研究地理学中尺度效应的问题后提出了“可变面积元问题 (modifiable areal unit problem, MAUP)”, 成为空间尺度效应分析的经典方法。MAUP 指随着面积单元聚合为更大或更小分析元时结果也随之发生变化。人文地理学中许多统计分析, 如空间分配模型、投入产出分析、空间相互作用模型以及传统的多变量统计分析等方面的研究中也揭示了可变面元问题^[9, 10]。

收稿日期: 2006-12-20; 修订日期: 2007-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40571030); 中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB2-03); 世界银行及国家重点工程项目 (TTTQ-126; TTTQ-128); 中科院知识创新工程项目 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40571030; Western Action Program of CAS (KZCX2-XB2-03); World Bank and National Key Project, No.TTTQ-126; No.TTTQ-128; Knowledge Innovation Program of CAS]

作者简介: 赵金 (1980-), 女, 在读博士, 主要研究方向定量遥感及尺度效应。E-mail: zhao_jin@yeah.net

通讯作者: 陈曦, chenxi@ms.xjb.ac.cn

选择适合的尺度来了解研究对象的信息已经成为包括生态学、水文学在内的地球科学研究的热点。在近十几年的国际及各国的景观生态学会议上,尺度问题均成为会议的主题之一。2005年8月在加拿大召开的第9届国际生态学大会的主题被定为“多尺度上的生态学”^[11]。生态学中尺度问题研究的核心之一是选择合适的尺度分析生态学现象,如检测植物群落的空间结构、保护区最适大小的确定等。学者们认为,生态学的研究尺度决定可以检测到的结构和过程,应该确定对于所研究的现象或过程的最合适的尺度。在这种认识的基础上,生态学家提出了尺度域 (Scale domain) 和尺度门坎 (Scale threshold) 的概念。尺度域是指随着尺度变化,特定的现象或结构不变或单调变化的区域;尺度域由尺度门坎分割开。尺度门坎是连续的空间尺度上一些剧烈变化的过渡区或一些重要的点。在尺度门坎附近一些变量的变化会影响这个生态过程的发生。陈利顶^[12]等人认为,在实验设计上选择适宜的尺度,在研究格局与过程关系上探究科学有效的尺度转换方法已经成为目前景观生态学发展中必须认真解决的问题。

刘苏峡和刘昌明在流域水文研究子单元划分问题上,提出了“代表单元尺度”的概念^[13]。他们认为,在划分子单元规模时,大于代表单元尺度的子区域之间相互独立,而小于代表单元尺度的子区域之间则彼此空间结构相关。无独有偶,Wood等^[14]提出了代表单元面积 (Representative Element Area, REA) 的概念。他们发现,当子流域面积小于 REA 时,降雨径流关系明显受地形、土壤及雨强的空间变异的影响;而当子流域面积大于 REA 时,可以只对空间变异予以古典统计研究,而不用考虑其结构,对流域响应可以用简化模型模拟。

尺度问题在遥感和 GIS 中同样受到广泛的关注^[15],1993年在法国召开的热红外遥感尺度问题国际会议,认为尺度问题是对从天空观测地球的首要挑战^[12, 16]。早在 80 年代初期,科学家就研究了遥感数据空间分辨率对土地覆被分类精度的影响^[17, 18]。土地利用数据是土地资源管理、土地覆被的生物物理参数 (叶面积指数、地表反照率等) 的基础数据,植被空间分布影响生化、生态过程,对区域气候、生态环境和社会经济起到重要作用。中国最长的内陆河塔里木河 20 世纪 70 年代下游河道断流,以胡杨、怪柳代表的荒漠植被大面积衰败,生态环境恶化,2000 年生态放水以来研究人员对植被的输水响应、地下水位的变化、群落分布等做了大量研究,然而由于塔里木河面积达 43681.6 km²,地面研究不可能覆盖全流域,塔里木河流域土地利用监测究竟在多大面积上最大限度体现整个流域特征?还没有人就土地利用监测的适宜尺度探讨,这也是文章要讨论的主题。

2 适宜尺度的选择与方法

2.1 适宜尺度的选择

根据适宜尺度的含义和数据的使用形式及前人研究发现:①对于某种目的的研究,存在比较适宜的地理数据尺度,而同样的地理过程和现象对于不同的应用目的,其适宜尺度是不尽相同的,适宜尺度的衡量标准也是不同的^[19, 20];②对于给定的数据在栅格化过程中,也存在比较适宜的格网大小^[21-25],如遥感空间分辨率地理数据作为描述对象本身直接使用,地理数据本身即是要描述的对象,如土地利用、植被类型、作物分布等,这些主题内容是通过对应的地理数据直接说明的,这时数据尺度对分析结果影响较大,即同一描述对象在不同尺度数据中表现的规律可能有很大的差别;③网格必须足够大,能够包括研究对象^[26],并能表征和量化地类面积的异质性和多样性;④数据的适宜尺度还和研究区范围、研究对象的特征有关。Marceau 指出对于复杂的自然环境,不存在单一的适合于判别所有地理实体的空间分辨率^[22]。因此,准确的描述地学过程和现象要使用有过程和现象自身决定的时间和空间尺度。

2.2 适宜尺度方法研究

由于研究对象、研究目的、现有数据和影响因素的不同,适宜尺度选择的方法也不尽相同,如沽源县土地利用格局的多尺度模拟与分析中通过分析影响土地利用格局的因素用logistic回归确定最佳尺度^[27];滑坡风险评价中格网大小选取以地形为主要影响因素,建立适宜尺度与等高线的经验公式^[20];李军、庄大方在地理空间数据的适宜尺度分析中将各尺度下分类面积与土地详查面积进行对比确定最佳尺度^[19]。

由于遥感信息普遍存在尺度效应,对于特定的应用目标,我们总是希望找到一个合适分辨率的遥感信息来反映特定尺度上研究目标的空间分布结构等特性。最优分辨率被定义为对应于所研究的地理实体的尺度或集聚水平特征的空间采样单元^[28]。Openshaw将选取面元作为空间分析的组成部分之一。他首先假设对给定模型或分析方法的期望结果,然后将面元逐渐集聚直到得到期望的结果。这种思路为作为MAUP特例的遥感信息尺度问题中最优分辨率的选取奠定了理论基础。Marceau^[22]等将类似的方法用于温带森林环境中针叶林类型判别时遥感数据最优分辨率的确定。其方法是首先定义所研究的地理实体,然后确定选取采样系统的优化标准。将数据从细的采样格网逐步进行空间集聚,用优化标准检验空间集聚的数据,选取最优的分辨率,最后根据研究目标,验证结果的合理性,研究中以各森林类别的类内方差作为选取最优分辨率的标准。当类内方差最小时的空间分辨率被认为最好地反映各森林类别的本质特征。其结果显示,对每一森林类别,都存在一个最小的类内方差,即存在最优分辨率。

Woodcock and Strahler^[21]提出了一种用遥感图像平均局部方差确定最优分辨率的方法。此方法首先计算不同分辨率图像的平均局部方差,然后比较平均局部方差随空间分辨率的变化,当局部方差达到最大时的分辨率被认为是最优的空间分辨率。此方法的基本前提之一是假设遥感图像中的景是由离散的互不重叠的目标镶嵌而成。当图像空间分辨率小于景的目标时,相邻像元之间属于同一个目标而具有空间依赖;当图像像元大小等于景的目标时,相邻像元属于不同的景的对象,因此它们之间空间依赖程度最弱,局部方差最大;当像元进一步增大时,像元内都含有不同的目标,相邻像元之间的空间依赖程度又开始增强,局部方差开始减小。Hyppanen^[29]将此方法用于森林景观研究中最优空间分辨率的确定。局部方差方法的局限性之一是将图像从细分辨率逐步扩展到粗分辨率并计算各分辨率的平均局部方差时存在的边界效应影响计算的局部方差的值,总有m或n个像元宽的边界内像元没有计算其周围的局部方差^[30]。当图像局部方差达到最大时,表明图像的空间分辨率相当于地面景的。这时类别之间的可分性最大,混合象元最少。但这只是理想情况。由于地物类别的大小,形状和集聚水平有很大差异,实际选用的图像分辨率应高于目标物的大小。

空间统计学,特别是地统计学被逐步用于最优分辨率的选取问题。Atkinson and Curran^[30, 31]通过计算不同分辨率的图像的变异函数确定不同遥感应应用中的最优分辨率。该方法首先计算最小分辨率图像的实验变异函数,并用理论变异函数模型拟合,然后通过过去正则化处理过程,从一定大小像元上的实验变异函数得到点的变异函数(punctual variogram),再通过正则化过程从点的变异函数得到任意尺度上的变异函数。这时以空间分辨率为横坐标,以不同分辨率情况下一个像元步长时的半方差为纵坐标画图,当半方差达到最大时对应的空间分辨率即为最优空间分辨率。基于类似的计算过程,Wang Guangxing等^[32]以不同分辨率变异函数的块金方差和基台方差的比作为确定最优分辨率的指标。随着像元增大,当块金方差和基台方差的比变得稳定时,意味着测量误差的方差相对与结构方差达到最小,此时的图像分辨率被认为是最优的空间分辨率。半方差的利用还有Stein^[33]用来确定环境变量的最恰当空间和时间尺度。Sergio^[34]等利用多尺度遥感影像的半方差做变异图确定热带雨林覆盖监测的最佳分辨率,及南加利福尼亚丛林和草原

用植被指数 NDVI、WBI 和 PRI 作变异图选择最佳像元大小^[24]。

显然, 变异函数和平均局部方差法具有相同的意义。当图像分辨率较小时, 相邻像元具有很大空间依赖性, 因此其半方差也较小; 当图像分辨率相当于图像中景的目标物大小时, 相邻像元之间不具有空间依赖性, 此时半方差达到最大。Atkinson 等^[30]分别用将此方法和和局部方差方法选取的图像的最优分辨率进行了比较, 得到了相似的结果。但这个方法的计算过程 (实验变异函数的去正则化和点变异函数的正则化) 是非常复杂的过程, 需要不断的迭代运算, 而且需要人为给定一些参数, 不便于实际应用。

尺度方差是 Moellering 和 Tobler 1972 年提出的一种空间等级分析方法^[35], 是将整个系统的方差按照等级系统的水平逐渐分解, 在思路上与半方差、空间自相关分析有相似之处。尺度方差的值是某一层级的每个斑块的值与其上一层级的平均值之差的平方和经自由度标准化所得, 值最大的尺度为最优尺度, 若想要知道某个层次对系统整体变异性的相对贡献, 可直接将各平方和与尺度作图。采用尺度方差分析时, 空间数据必须重新取样, 使其具有巢式等级结构 (如空间粒度的大小按 $2n$ 或 $22n$, $n = 0, 1, 2 \dots$ 的序列来增加)。遥感领域中的应用表明尺度方差在研究多尺度上的空间变异性及确定格局的特征尺度方面是很有效的^[36-38]。

四叉树结构是一种常用的多尺度数据结构, 与尺度方差一样, 数据具有 $2n \times 2n$ 巢式结构, 并且网格连续互不覆盖。Ju Junchang 等^[23]用四叉树结构结合土地类型有限模型选择遥感土地利用分类的空间最优尺度和类别最优尺度, 结果表明四叉树的多尺度方法优于简单聚合算法。

3 塔里木河土地利用监测适宜尺度方法

3.1 研究方法

塔里木河流域选择最佳尺度的目的是确定土地利用监测的最佳网格大小, 使单元网格上土地类型面积多样性最大, 便于今后的地面研究实验设计和遥感调查。选择适宜尺度的过程主要分为三步: 首先统计塔里木河流域总的和各个类别的面积分布频率, 找到面积众数; 第二根据面积众数计算各尺度下归一化尺度方差, 讨论塔里木河生态监测的适宜尺度; 第三计算多样性指数和分维数, 对方法进行补充和验证。

原始数据取自 20 世纪 50 年代航测 60 年代调绘成图的 1:10 万比例尺地形图 52 幅, 由于塔里木河流域面积辽阔和其他的原因, 地形图的航测时间不一致, 其中 1958 年航测 12 幅、1959 年航测 26 幅、1960 年航测 6 幅、1952-1960 年航测 3 幅、1963~1967 年航测 5 幅。地形图在 ARCGIS 1:10 万比例尺下解译得 cov 格式的矢量图, 矢量图拼接并按塔里木河流域管理局的塔里木河流域界线裁剪, 坐标为北京 54 坐标系的 Albers 等积投影, 投影参数 36、48、85。尺度网格大小对应的比例尺分别为小比例尺 1:200 万、1:100 万、1:50 万、1:25 万, 中比例尺 1:10 万、1:5 万、1:2.5 万和大比例尺 1:10 000、1:5000, 实地面积分别约为 $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$, $500 \text{ km} \times 500 \text{ km}$, $250 \text{ km} \times 250 \text{ km}$, $120 \text{ km} \times 120 \text{ km}$, $40 \text{ km} \times 40 \text{ km}$, $20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$, $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$, $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$, $2.5 \text{ km} \times 2.5 \text{ km}$, 原图像比例尺 1:200 万。1:10 万比例尺以下采用国家标准分幅, 包括 1:10 万在内, 1:10 万以上的比例尺网格由 1:10 万比例尺合并而成, 未考虑网格起点造成的统计特征变化。

3.1.1 归一化尺度方差 A 为某一尺度下网格的面积, n 为某一尺度下的斑块数, x_i 为第 i 个斑块的面积, $e(x)$ 为统计频率最大的面积范围 (原图面积频率众数)。归一化尺度方差 S 越大, 表示单位面积下地类面积多样性越大, 生态功能的组合就越多。

$$S = \frac{1}{(n-1)A} \sum_{i=1}^n (x_i - e(x))^2 \quad e(x) \in (e(x_1), e(x_2)) \quad (1)$$

若 $e(x_1) \leq x \leq e(x_2)$, $x - e(x) = 0$
 $x \leq e(x_1)$, $e(x) = e(x_1)$
 $e(x_2) \leq x$, $e(x) = e(x_2)$

3.1.2 多样性指数 多样性指数是基于信息论的度量系统结构组成复杂程度的指数，在这里选用 Shannon-Weaver 多样性指数和 Simpson 多样性指数，表示面积的丰富程度，其大小取决于两个方面：一是面积类型的多少，二是面积类型在个数上的均匀程度。

$$H_{\text{Shannon-Weaver}} = - \sum_{k=1}^n p_k \ln(p_k) \quad (2)$$

$$H_{\text{Simpson}} = 1 - \sum_{k=1}^n p_k^2 \quad (3)$$

式中： p_k 为第 k 类面积个数占总斑块个数的比例， n 为面积类型数。

3.1.3 分维数 自 Mandelbrot 引入了分形的概念以来，分维方法已被广泛应用在地貌、水文、生态学等空间格局分析中，分维数 f_d 一方面量度了斑块形状的复杂程度，另一方面反映了对象在不同尺度下是否具有自相似性，若分维数在某一尺度域上不变，那么该景观在这一尺度范围可能具有结构的自相似性，若分维数随着尺度与改变，那么变化的转折点有可能指示景观具有等级结构。

$$f_d = 2\ln(p/k)/\ln(A) \quad (4)$$

式中： P 为斑块周长， A 为斑块面积， k 为常数，在这里取 $k = 4$ 。

3.2 结果

3.2.1 塔里木河干流斑块数频率分布 塔里木河干流斑块面积相差悬殊，最小面积 0.0001 km² 最大至 14484 km²，面积中最大的斑块为沙地，占整个流域面积的 33%，沙地为塔里木河流域的基质。塔里木河干流斑块数频率分布符合正态分布 (图 1)，并在 0.1~1 km² 内数量最多，达 828 个，占总斑块数 38.1%，在 1~10 km² 处斑块数占总斑块数 31.78%，则总体 $e(x) \in (0.1, 1)$ 。图 2 显示大部分地类面积的分布仍服从正态分布，水浇地、有林地、灌木林、疏林地、天然草地、沙地、盐碱地面积峰值在 1 km² 在至 10 km² 之间；荒漠草地、河流、水库坑塘、滩地、沼泽地、裸土地的面积频率众数在 0.1 km² 至 1 km² 范围内，另外沙地在 0.1 km² 至 1 km² 之间斑块数也很多；湖泊则在 0.01 km² 至 0.1 km² 之间斑块数最多。依照塔里木河干流区各地类占总面积比例，沙地、盐碱地、有林地和灌木林地从大到小排在前四位，排除人类影响，沙地和盐碱地与有林地和灌木林地在面积上是互补的关系，从生态恢复、生态监测的角度上，这四类地物的适宜性尺度也是我们最关心的，因此将沙地、盐碱地、有林地、灌木林作为适宜尺度研究的重点。表 1 为图 1 横坐标和图 2 左上角数字表示的

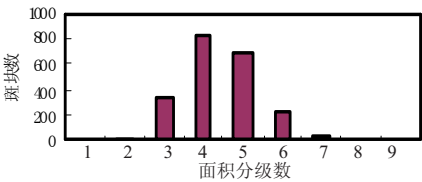


图 1 塔里木河干流斑块数直方图
Fig. 1 Histogram of patch in the mainstream of Tarim River

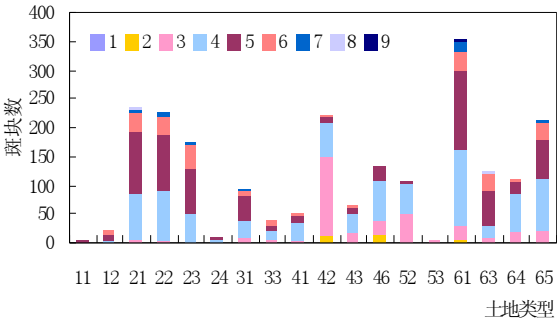


图 2 塔里木河干流地类斑块数频率图
Fig. 2 Frequency of landtype in the mainstream of Tarim River

表 1 面积分级表 (单位: km²)
Tab. 1 Hierarchy of area (unit: km²)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
面积范围	<0.001	0.001-0.01	0.01-0.1	0.1-1	1-10	10-100	100-1000	1000-10000	10000-100000

面积范围。

图 2 横坐标各类代码如下: 水田 = 11, 水浇地 = 12, 有林地 = 21, 灌木林地 = 22, 疏林地 = 23, 其他林地 = 24, 天然草地 = 31, 荒漠草地 = 33, 河流 = 41, 湖泊 = 42, 水库、坑塘 = 43, 滩地 = 46, 农村居民点 = 52, 工矿交通 = 53, 沙地 = 61, 盐碱地 = 63, 沼泽地 = 64, 裸土地 = 65。

3.2.2 归一化尺度方差 归一化尺度方差结果是在现有尺度下选择最佳尺度, 有可能最佳的网格并未选择到, 因此在这里最佳尺度是现有的尺度方差的拐点或是一个范围。

归一化尺度方差 (图 3) 显示塔里木河干流总体尺度在 1:50 000 或 1:50 000 至 1:100 000 之间是最适宜尺度, 而除沙地最佳尺度在 1:100 000 比例尺范围在 1:50 000 至 1:100 000 之间外, 有林地, 灌木林地和盐碱地的最适宜尺度也在 1:50 000 的比例尺上。沙地的最佳尺度和各类最佳尺度也说明了即使在地类相对简单的荒漠地区, 也并不存在单一的适合于判别所有地理实体的空间分辨率, 同时也看到在不同的应用目的下并非尺度越小就越是最佳尺度。各地类的归一化尺度方差曲线呈正态分布, 有林地和灌木林地的归一化尺度方差曲线非常接近, 说明面积频率相似。

3.2.3 塔里木河流域景观特征 塔里木河干流总体景观指数曲线平缓 (图 4), 尤其是 Simpson 指数, 在 1:50 000、1:25 000、1:10 000 比例尺三处均为 0.75, 达到最大; 中间的曲线为分维数 fd, 在 1:10 000 比例尺处最大, 1:1 000 000 和 1:250 000 比例尺处最小, 其他尺度分维数相似, 说明 1:10 000、1: 1000 000 及 1:250 000 比例尺可能是等级结构发生变化的尺度, 而其它尺度下结构相对不变; 值最大的 Shannon-Weaver 指数在 1:50 000 比例尺处以 1.55 微弱的优势取得最大值, 与归一化尺度方差计算结果相同。

有林地、灌木林、沙地和盐碱地面积的三个指数, 有林地和灌木林地的指数值范围小于沙地和盐碱地, 有林地和灌木林地的 Shannon-Weaver 指数和 Simpson 指数均在 1:10 000 比例尺处达到最大, 沙地和盐碱地的 Shannon-Weaver 指数和 Simpson 指数均在 1:50 000 比例尺处最大, 分维数除沙地在 1:10 000 比例尺处有一明显上升外, 其它地类分维数曲线平坦, 没有显著变化。

与归一化尺度方差比较, 有林地、灌木林地的多样性指数在 1:10 000 比例尺处达到最大, 与归一化尺度方差的 1:50 000 比例尺有差异, 沙地和盐碱地的多样性指数在 1:50 000 比例尺处达到最大, 与归一化尺度方差结果的适宜尺度范围一致, 盐碱地的结果最为吻合。

不同地类相同指数比较发现, 有林地和灌木林地三个指数的结果非常相近, 指数曲线结果几乎重合, 有林地和灌木林归一化尺度方差结果值也很接近, 说明 50 年代有林地和灌木林地的面积频率分布相近, 归一化尺度方差和指数在反映有林地和灌木林地面积

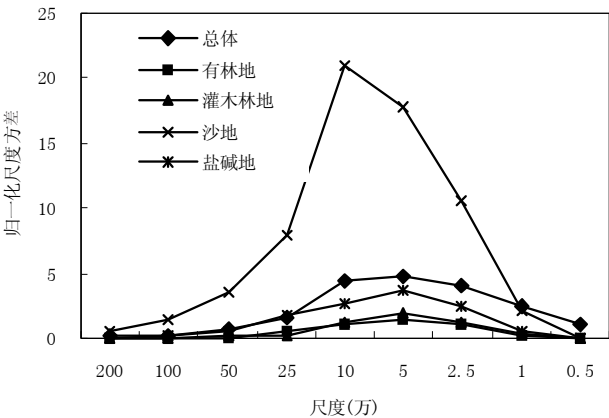


图 3 归一化尺度方差图
Fig. 3 Normalized scale variance

频率时有很好的 consistency。分维数图表示沙地和盐碱地在 1:10 000 比例尺处明显上升, 而在其它尺度结果相近, 1:10 000 比例尺有可能是沙地和盐碱地等级结构发生变化的尺度, 有林地和灌木林地的分维数最大没超过 1.1, 曲线平缓, 说明有林地和灌木林地的结构未发生变化。

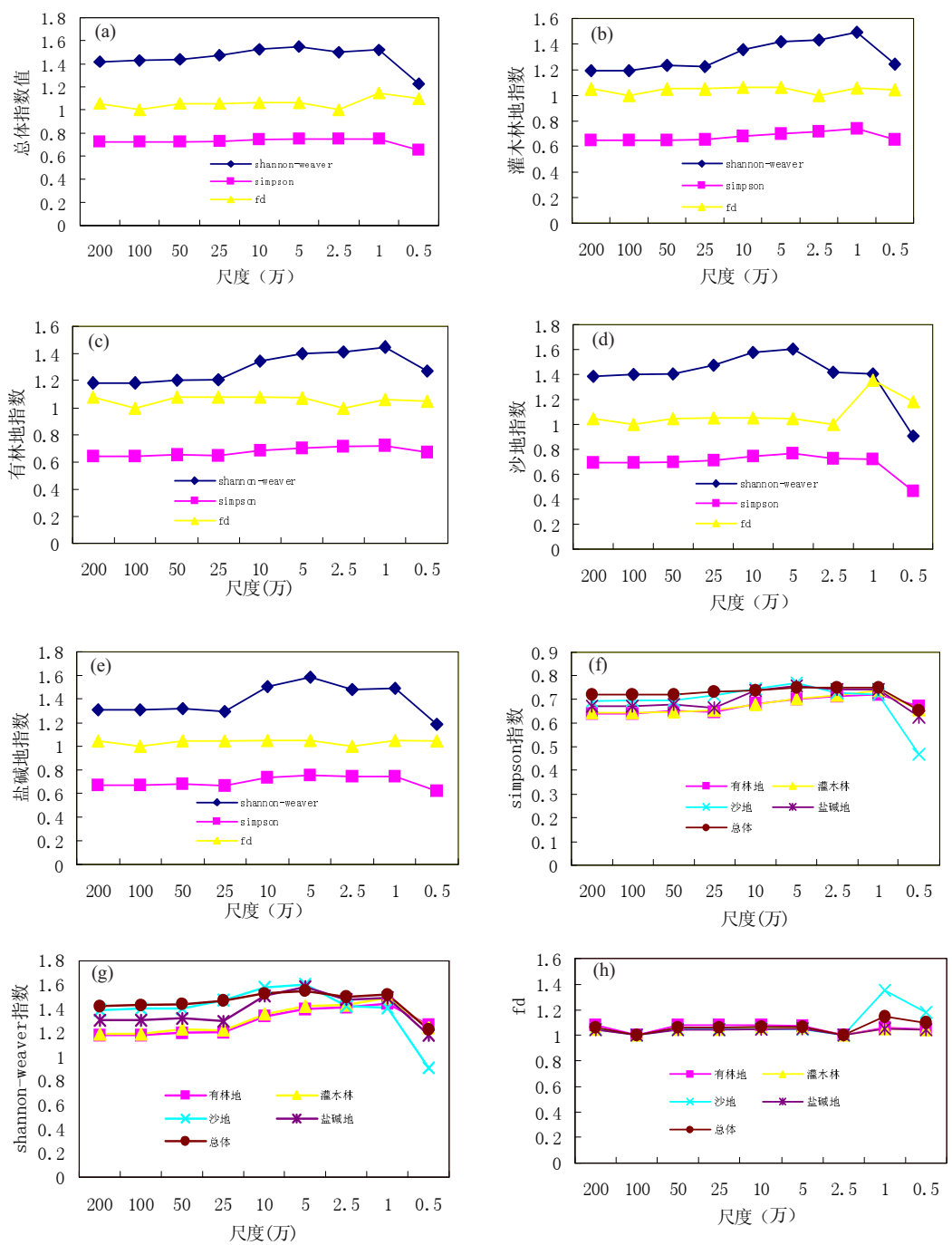


图4 景观指数
Fig. 4 Landscape index

4 结论和讨论

在不考虑原始数据造成的尺度效应下,我们用归一化尺度方差选择塔里木河流域土地利用监测的适宜尺度,景观多样性指数和分维数的结果表明塔里木河流域的归一化尺度方差适宜尺度和景观指数结果相同,适宜尺度在 1:50 000 比例尺上,有林地、灌木林地、沙地和盐碱地四个地类的归一化尺度方差和景观指数比较,盐碱地的结果相同,都在 1:50 000 比例尺上,沙地的尺度域相同,在 1:50 000 到 1:100 000 之间,有林地和灌木林地结果不同,归一化尺度方差在 1:50 000 比例尺上,而景观指数显示在 1:10 000 比例尺上。有林地和灌木林地的最优尺度不一致,因此要揭示塔里木河流域土地利用的尺度规律和适宜尺度还需要进一步讨论。

塔里木河流域土地利用监测适宜尺度中数据可能带来的误差主要来自四个方面:第一是地形图制图比例尺为 1:100 000,土地利用面积和适宜尺度的结果是在 1:100 000 比例尺下得到的,李军、庄大方^[19]认为 1:100 000 比例尺的数据满足土地利用精度的需要,然而若制图尺度与本征尺度不一致仍会产生误差;其次是尺度选择参数面积,土地利用图采用等积投影尽量使斑块面积保持不变,则相对的形状有所改变,分维数中用到周长,可能对结果有所影响;再次从分类精度上看,有林地、灌木林地、沙地和大部分盐碱地都有明确的边界和颜色,分类误差较小;最后是尺度的网格采用国家标准分幅,未考虑网格起始位置对结果的影响可能会造成误差。

致谢:衷心感谢北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感与地理信息系统研究中心、遥感科学国家重点实验室刘素红老师给予的帮助和指导。

参考文献 (References)

- [1] Marceau D J. The scale issue in the social and natural science. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25: 347-356.
- [2] Bai Yanchen, Wang Jinfeng. *Uncertainty in Remote Sensing: Classification and Scale Effect Modeling*. Beijing: Geological Press, 2003. 17-20. [柏延臣, 王劲峰. 遥感信息的不确定性研究: 分类与尺度效应模型. 北京: 地质出版社, 2003. 17-20.]
- [3] Lu Yihe, Fu Bojie. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2096-2105. [吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. *生态学报*, 2001, 21(12): 2096-2105.]
- [4] Lu Xuejun, Zhou Chenghu, Zhang Hongyan et al. Analytical scheme on scale-structure of geographical space. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 107-114. [鲁学军, 周成虎, 张洪岩 等. 地理空间的尺度. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 107-114.]
- [5] Tunner M G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, 1990, 4: 21-30.
- [6] Openshaw S. A geographical solution to scale and aggregation problems in region building, partitioning and spatial modeling. *Institute of British Geographers, Transactions, New Series*, 1977, 2: 459-472.
- [7] Openshaw S. An empirical study of some zone-design criteria. *Environment and Planning A*, 1978, 10: 781-794.
- [8] Openshaw S. Ecological fallacies and the analysis of areal census data. *Environment and Planning A*, 1984, 16: 17-31.
- [9] Fotheringham A S, Wong D W S. The modifiable areal unit problem in multivariate statistical analysis. *Environmental and Planning A*, 1991, 23: 1025-1044.
- [10] Arbia G, Benedetti R, Espa G. Effect of the MAUP on image classification. *Geographical System*, 1996, 3: 123-141.
- [11] Zhang Na. Scale issues in ecology: Concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2340-2355. [张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. *生态学报*, 2006, 26(7): 2340-2355.]
- [12] Chen Liding, Lu Yihe, Fu Bojie et al. A framework on landscape pattern analysis and scale change by using pattern recognition approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 663-670. [陈利顶, 吕一河, 傅伯杰 等. 基于模式识别的景观格局分析与尺度转换研究框架. *生态学报*, 2006, 26(3): 663-670.]
- [13] Liu Suxia, Liu Changming. Concept of representative elementary length and its case application. *Yangtze River*, 1994, 25(8): 19-22. [刘苏峡, 刘昌明. 代表单元尺度概念及其在洋河流域控制雨量站布设中的应用. *人民长江*, 1994, 25(8): 19-22.]
- [14] Wood E F, Sivapalan M, Beven K. Similarity and scale in catchment storm response. *Reviews of Geophysics*, 1990, 28

- (1): 1-18.
- [15] Su Lihong, Li Xiaowen, Huang Yuxia. An review on scale in remote sensing. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(4): 544-548. [苏理宏, 李小文, 黄裕霞. 遥感尺度问题研究进展. *地球科学进展*, 2001, 16(4): 544-548.]
- [16] Zhao Wenwu, Fu Bojie, Chen Liding. Some fundamental issues in scaling. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(6): 905-911. [赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 尺度推绎研究中的几点基本问题. *地球科学进展*, 2002, 17(6): 905-911.]
- [17] Welch R. Spatial resolution requirements for urban studies. *International Journal of Remote Sensing*, 1982, 3: 139-146.
- [18] Johnson D D, Howarth P J. The effects of spatial resolution on land cover/land use theme extraction from airborne digital data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1987, 13: 68-74.
- [19] Li Jun, Zhuang Dafang. Study on the appropriate scale of geo-spatial data. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(suppl.): 52-59. [李军, 庄大方. 地理空间数据的适宜尺度分析. *地理学报*, 2002, 57(增刊): 52-59.]
- [20] Li Jun, Zhou Chenghu. Appropriate grid for terrain based landslide risk assessment in Lantau Island, Hong Kong. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(2): 86-92. [李军, 周成虎. 基于栅格 GIS 滑坡风险评价方法中格网大小选取分析. *遥感学报*, 2003, 7(2): 86-92.]
- [21] Woodcock C E. The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 1987, 21(3): 11-332.
- [22] Marceau D J, Gratton D J. Remote sensing and the measurement of the geographical entities in a forested environment: 2. The optimal spatial resolution. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 49(2): 105-117.
- [23] Ju Junchang, Gopala S, Kolaczyk E D. On the choice of spatial and categorical scale in remote sensing land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96: 62-77.
- [24] Rahman A F, Gamon A J, Sims A D et al. Optimum pixel size for hyperspectral studies of ecosystem function in southern California chaparral and grassland. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(2): 192-207.
- [25] Phinn S R, Menges Carl, Hill G J E et al. Optimizing remotely sensed solutions for monitoring, modeling, and managing coastal environments. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 73: 117-132.
- [26] Garrigues S, Allard D, Baret F et al. Quantifying spatial heterogeneity at the landscape scale using variogram models. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 103: 81-96.
- [27] Zhang Yongmin, Zhou Chenghu, Zheng Chunhui et al. Spatial land use patterns in Guyuan County: Simulation and analysis at multi-scale levels. *Resources Science*, 2006, 28(2): 88-96. [张永民, 周成虎, 郑纯辉 等. 沽源县土地利用格局的多尺度模拟与分析. *资源科学*, 2006, 28(2): 88-96.]
- [28] Marceau D J, Hay G J. Remote sensing contributions to the scale issue. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25 (4): 357-366.
- [29] Hyppanen H. Spatial autocorrelation and optimal spatial resolution of optical remote sensing data in boreal forest environment. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(17): 3441-3452.
- [30] Atkinson P M, Curran P J. Choosing an appropriate spatial resolution for remote sensing investigations. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997, 63(12): 1345-1351.
- [31] Atkinson P M. Defining an optimal size of support for remote sensing investigations, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1995, 33(3): 768-776.
- [32] Wang G X, Gertner G, Xiao X et al. Appropriate plot size and spatial resolution for mapping multiple vegetation types. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2001, 67(5): 575-584.
- [33] Stein A, Riley J, Halberg N. Issues of scale for environmental indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 82: 215-232.
- [34] Colombo S, Chica-Olmo M, Abarca F et al. Variographic analysis of tropical forest cover from multi-scale remotely sensed imagery. *Photogrammetry & Remote Sensing*, 2004, 58: 330-341.
- [35] Moellering H, Tobler W. Geographical variances. *Geographical Analysis*, 1972, 4: 34-64.
- [36] Townshend J R G, Justice C O. Selecting the spatial resolution of satellite sensors required for global monitoring of land transformations. *International Journal of Remote Sensing*, 1988, 9: 187-236.
- [37] Townshend J R G, Justice C O. The spatial variation of vegetation changes at very coarse scales. *International Journal of Remote Sensing*, 1990, 11: 149-157.
- [38] Barnsley M J, Barr S L. Scaling and generalisation in land cover mapping from satellite sensors. In: P R van Gardingen, Foody G M, Curran P J. *Scaling-up from Cell to Landscape*. New York: Cambridge University Press, 1997. 173-199.

Choice of Appropriate Scale for Land Use Monitoring: A Case of the Tarim River Basin

ZHAO Jin^{1,3}, CHEN Xi¹, BAO Anming¹, DUAN Yuanbin²

(1. *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;*

2. *Xinjiang Management Bureau of Tarim River, Korla 841300, China;*

3. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: After wastelands reclamation in the Tarim River Basin in recent 50 years, one third of the stream flow in the Tarim River (the longest continental river in China) has been cut off. The natural ecosystems are seriously degenerated, and the situation of land use is tempestuously changed. Therefore, it is urgent to resolve the problems that whether there exist the changing laws of scales and what kinds of scales are suitable in monitoring land use. Adaptive choice of scale is one of the important issues in ecology and geography. In different studies, the choice of methods and standards vary with purpose. This article summarized methods on how to choose appropriate scale based on land-use data of the Tarim River Basin in Xinjiang of China in the 1950s. Regarding the areas of land use types as the scales, the parameters are selected, the histograms of the areas of patches are charted, and then normalized scale variance calculated under 9 scales (1:2 000 000, 1:1 000 000, 1:500 000, 1:250 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000 and 1:5 000), furthermore, some landscape indexes of patch area counted to examine and add result of normalized scale variance as well, which include Shannon-Weaver's landscape diversity index, Simpson's diversity index and fractal dimension respectively. The scale laws of general land use and 4 main land use types including woodlands, shrub land, sandy land and saline or alkaline lands in the mainstream area of the Tarim River are lucubrated by interpreting the land use data in the 1950s. The result showed that: (1) Normalized scale variance of the Tarim River reached maximum at scale of 1:50 000 in the 1950s, that 20km×20km grid sizes, diversity of patch size at 1:50 000 richer than in other scale's, so 1:50 000 used as appropriate scale of the Tarim River. In addition to appropriate scale of sandy land at scale of 1:100 000, the optimal scale of woodland, shrub land and saline land is at 1:50 000. (2) Shannon-Weaver's diversity index, Simpson's diversity index and fractal dimension of saline land have the same results as normalized scale variance. Diversity indexes and normalized scale variance of sand land proved the appropriate scale being in the same scale domain. It is noticed that there is a significant difference in woodland and shrub land. The optimal scale of diversity indexes are at 1:10 000 rather than 1:50 000. (3) Fractal dimension of sandy land and saline land showed a marked increase and up to 1.35 at 1:10 000 and similar at other levels, however, fractal dimension of woodland and shrub land are close at all scale levels and no more than 1.2, which reveals that hierarchical structure areas of sandy land and saline land are probably changed at scale of 1:10 000, while woodlands and shrubby lands's are distributed under the same hierarchical structure in the region.

Key words: appropriate scale; land use monitoring; normalized scale variance; landscape indexes; Tarim River Basin