

空间尺度转换数据精度评价的准则和方法

徐芝英^{1,2}, 胡云锋¹, 刘 越^{1,2}, 艳 燕¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:空间尺度问题是地理学、生态学和水文学等多个学科的基础科学问题之一。空间数据尺度转换是将数据从一个空间尺度转换到另一个空间尺度的过程,它是尺度科学研究的重要内容之一。对尺度转换后的成果数据深入分析,提炼尺度转换成果数据精度评价的原则、指标以及模型方法,这对正确选择和应用尺度转换成果数据具有重要意义。在详细评述尺度和尺度转换研究概念、内容和主要进展的基础上,本文主要从数据处理、地图学角度出发,提出了空间数据尺度转换精度评价的3项基本准则,即保持构成信息守恒、保持面积信息守恒、保持区域空间格局和形态信息守恒。继而据此将当前常见的指标进行了梳理和归并;根据上述准则和指标,结合GIS方法、常规统计方法、地统计方法等,给出了上述评价指标的计算模型及其应用方法和典型案例。最后指出,在实际应用中需结合研究目标,针对性选择尺度转换效应函数,通过开展模型模拟和对比分析,最终确定合适的尺度转换方法。

关 键 词:尺度;尺度转换;精度评价;准则;数学模型

1 引言

尺度一般是指时间的长短或空间范围的大小,即所谓时间尺度和空间尺度;地学研究中常采用狭义的尺度概念,即空间尺度。空间数据尺度转换是将数据从一个空间尺度转换到另一个空间尺度的过程,在生态学上称为尺度推绎。通常,地学过程的运行尺度与科学研究的观测尺度、分析尺度、应用尺度并不一致,因此,只有正确理解、选择、转换和应用尺度,才能避免用错误的空间尺度观察问题、解读事物之间的因果关系。

20世纪50年代,Robinson最早发现地学和社会学研究中的尺度依赖性问题^[1]。随后,生态学、地图学和遥感研究、水文和气象科学领域的研究人员也陆续总结了各自领域内尺度问题的意义^[2-5]。Moody等^[6]、Turner等^[7]针对遥感影像地图缩编过程的误差,分析了空间数据尺度转换误差与斑块大小、均方差、类型初始比例等多种因素之间的关系,Zhu等^[8]、岳天祥^[9]、刘学军等^[10]、杨勤业等^[12]等提出使用点扩散函数、邻域分析、小波分析等方法对

DEM、土地利用与覆被等空间数据开展尺度转换,Wolock等^[13]、Le Coz等^[14]、刘纪远等^[15]则针对具体尺度转换效应,分析了不同尺度转换方法对于DEM、生态系统评估、气候变化等方面的具体影响。在全球变化研究背景下,尺度理论和尺度转换方法研究的重要性日显突出,Meyer等^[16]、Kasperson等^[17]、Kates等^[18]指出,全球环境变化研究必须在多种尺度下进行,Pearson等认为应在不同尺度下分别探讨气候与土地利用对物种分布的影响^[19]。

总的来看,虽然研究人员已经清楚尺度和尺度转换问题的意义,目前也已经有了一些有效的空间尺度转换方法,但是对于不同空间尺度转换方法的研究、精度分析以及效应评估还未得到研究人员足够重视。为此,本文在深入回顾和评价尺度科学和尺度转换方法的基础上,提出了定量评价尺度转换数据精度的一般性准则及评价指标体系;继而根据这些准则,在GIS和有关数学模型的基础上,梳理确定了当前研究中常见的评价计算模型、应用方法和典型案例。

收稿日期:2012-05; 修订日期:2012-08.

基金项目:科技部973计划项目(2010CB950904);国家自然科学基金项目(40971223);国家科技支撑计划项目(2008BAH31B04)。

作者简介:徐芝英(1987-),女,硕士研究生,主要从事空间尺度转换研究。E-mail: xuzhappy11@gmail.com

通讯作者:胡云锋(1974-),男,副研究员,主要从事资源环境遥感与地理信息技术应用研究。E-mail: huyf@ireis.ac.cn

2 研究回顾

2.1 尺度概念和研究重点

不同学科领域对于尺度的理解和定义并不完全相同,其学科名词和术语也呈多样化。在地图学中,尺度通常表述为比例尺;在遥感科学和图像处理中,尺度是指像元、分辨率;在生态学中,尺度是指粒度、幅度、范围、细节、采样大小、研究层次和等级等;在水文学中,尺度不仅仅包括粒度、幅度的涵义,通常还与时间周期相关;在气象学中,尺度往往表述为经纬度、网格分辨率等术语。

尺度问题最早来自Robinson^[1]、McCarthy等^[20]、Alker^[21]的研究。他们发现:在某一尺度下得出的结论不能无差别地适用于另一尺度,这即著名的“生态谬论”问题。随后,Openshaw等提出的可变元面积(Modifiable Areal Unit Problem, MAUP)问题^[22],Goodchild^[23]、Dudley^[24]、Marceau等^[25]研究了MAUP对于统计模型和地学分析的影响。这种研究过程和研究结论依赖于特定空间尺度的特点,称为尺度依赖性。

自20世纪50年代以来,尺度依赖性问题得到生态学界和地理学界的关注,尺度和尺度转换被认为是地学研究的重要理论问题和关键技术^[26-28]。Goodchild提出建立“尺度科学”,美国大学地理信息协会(UCGIS)也将尺度问题列入了地理研究的重点领域等^[29];李小文认为尺度理论、尺度转换方法与尺度效应问题是定量遥感4大方向之一^[30];陈佑启等提出尺度问题将是未来土地利用/覆盖变化研究的主要方向^[31]。

一些著名学者对尺度科学的研究内容和重点方向作过精辟总结,不同尺度间的联系和转换一直被认为是尺度研究的重要内容。Haggett^[32]在1965年就指出尺度相关的3个基本问题:尺度覆盖、尺度间的联系、尺度的标准化。20世纪80年代末,Meentemeyer^[33]和Goodchild等^[29]认为尺度科学研究应回答3个基本问题:①尺度在空间模式和地表过程检测中的作用,以及尺度对环境建模的影响;②尺度域和尺度阈值的识别;③尺度转换、尺度分析和多尺度建模方法的实现。

2.2 尺度转换类型和方法

尺度转换是实现数据同化、形成统一协调的数据模型和知识的关键。在自然地理与人文地理日益交叉以及全球气候变化的大背景下,尺度转换的

典型应用包括:①针对全球气候变化开展的,其主要目的是将全球大气环流模型输出结果转化为区域或者更小尺度上,作为区域气候模式和其他相关研究的基本输入数据;②针对人文地理、经济地理研究而开展的,其主要目的是将基于行政区划的调查、普查和统计数据转化为能够与自然地理区域或者标准格网系统相兼容的数据,由此形成统一的地学分析数据平台。

从尺度转换前后尺度大小的变化方向来区分,尺度转换过程可以分为升尺度与降尺度两类(表1)。升尺度是指将小尺度的信息推绎到大尺度上的过程,意味着对客观的认识趋向宏观、整体,亦可称之为尺度扩展或尺度上推;降尺度是指将大尺度上的信息通过空间内插赋予到小尺度的空间数据上去,是对客观的认识趋向细节、局部,亦可称之为尺度收缩或尺度下推。

Wu等^[34]将生态学中的尺度上推方法总结为两类:基于相似性原理的尺度上推和基于动态模型的尺度上推。前者包括量纲分析、相似性分析、传统异速生长学及空间异速生长学方法;后者则包括简单聚合法、直接外推法、期望值外推法、显示积分法、有效参数外推法、空间相互作用模型方法等;张娜^[35]、吕一河等^[36]也有类似总结。在尺度下推方面,生态学中常常要用到随机概率方法,同时辅以小尺度的附加信息。这些方法通常可以分为两大类^[37]:经验型统计模型和嵌套动态模型途径。前者包括线性回归、神经网络(ANNs)、分类回归树(CART)等方法;后者包括单向嵌套模型、双向嵌套模型等。

在地图学和地理空间分析研究中,涉及尺度转换的方法主要有:图示法、回归分析法、半变异函数法、自相关分析法、谱分析法、分形法、小波分析法、格点生成法、网格计算、遥感与地理信息系统技术等^[36]。孟斌等^[38]列举了应用于地图学、GIS与遥感、社会经济学等领域的升尺度方法,如小波分析方法、面域插值方法、小区域统计学等。在降尺度方面,Nordhaus认为尺度下推方法包括回归、三角内插和“择多原则”^[39];程结海等认为GIS中尺度下推的一般方法包括面域加权法、最大化保留等,尺度上推的一般方法为地统计学方法^[40]。同时,小波分析法、分形法也适用于尺度下推^[36]。

2.3 尺度转换研究方向和进展

近10年来,遥感、地理信息系统以及大规模计算机模拟计算技术在尺度转换研究中发挥着越来越

表 1 地理生态学中尺度转换原理和方法

Tab.1 Theories and methods of scaling in geography and ecology

类别	原理	方法	应用领域
升尺度	相似性原理	量纲分析	工程学、物理学、生物学
		相似性分析	物理学、土壤学、水文学、地球物理学
		传统的异速生长学	生物学、生态学
		空间异速生长学方法	景观生态学、景观地貌学、水文学
	动态模型	简单聚合法	生态学
		直接外推法	水文学、土壤学、生态学
		期望值外推法	生态学
		显式积分法	生态学
		有效参数外推法	土壤物理学、水文学、微气象学、生态学
		空间相互作用模型方法	水文学、生物地球化学、社会经济学、景观生态学、GIS、遥感等
		云梯尺度推绎	社会经济学、土壤学、水文学、地貌学、景观生态学等
	空间分析	小波分析	遥感、地图学、水文学、气象学等、生态学
		分维分形法	地貌学、水文学、生态学、地图学
		空间自相关性	生态学、地理学
降尺度	经验型统计模型	线性回归	气候学、地理学
		ANNs	
		CART	
	嵌套动态模型	单向嵌套模型	气候学
		双向嵌套模型	
	地理学第一定律	点与多边形叠加	GIS、地图学、社会经济学
		面插值	
		择多原则	
		面域加权法	
		最大化保留	
		小区域统计	

注:根据文献34、35和38整理。

越重要的作用。遥感技术为多尺度的地理学研究提供了丰富的数据源,地理信息系统与大规模计算机模拟计算技术为海量的空间数据的分析处理提供了平台,三者的发展为尺度转换提供了技术支持以及新的研究思路。Stohlgren 等利用改进的多尺度采样技术、数学模型以及基于地理信息系统的生态模型研究了科罗拉多洛杉矶国家公园的资源问题^[41]。岳天祥和刘纪远分析了地理信息系统的尺度转换研究进展,即空间插值模型、数字地面模型与地理信息系统的集成,并提出了基于曲面论和遥感反演方法的第四代地理信息系统的尺度转换数字模型^[42]。

尺度研究的基本目的是理解和掌握各种地学规律的尺度依赖性。因此,研究尺度转换后的数据和信息,提炼不同领域尺度转换成果数据精度评价的原则与具体指标和方法,评价尺度转换所得成果

数据,对于正确选择和应用尺度转换成果数据具有重要意义。在这方面,韩鹏等^[43]结合空间分辨率和SSM两个遥感影像评价指标形成新的评价思路,对5种遥感数据空间尺度上推方法进行尺度转换的定量评价。石志宽等^[44]提出缩编结构相似度指数、缩编布局相似度指数、缩编图斑适应度指数等指标来评价土地利用数据缩编后的精度,总结出基于GIS的土地利用数据缩编质量评价的方法。雍斌等^[45]在不同的尺度转换方法及不同尺度下,分析了地形离散、地理平滑及地形指数随尺度变化的结果。

综上所述,大部分研究人员在思想上对尺度、尺度转换的重要意义是有一定认识的,目前也已经有了一些有效的空间尺度转换方法及模型;但是,在具体的研究中,研究人员在尺度选择、尺度转换技术、尺度转换数据精度评价方法等方面还存在一些模糊的、甚至是错误的做法^[35,46],如:①尺度选择

不当,导致研究不能准确地揭示地学现象或过程的本质及规律,甚至可能得出有偏差的或是错误的结论;②未意识到尺度域问题,盲目地进行跨尺度域转换,导致尺度转换结果数据不能进行分析;③未针对具体问题选择恰当的尺度转换方法,导致尺度转换数据的有用信息大量丢失。

3 空间尺度转换数据精度评价

3.1 评价准则和指标

空间数据的尺度转换肯定会导致不同程度的信息丢失、信息歪曲等。因此,尺度转换方法研发和应用的关键在于准确分析研究目的,承担一部分信息歪曲和信息丢失的代价,减少对研究目标有重大影响要素的信息损失量。

在地图学中,尺度转换(也就是制图综合)精度评价有维持几何精度、维持位置精度、保持逻辑一致性和保持地理特征等4个主要准则。Dendoncker等特别针对土地利用数据的尺度转换提出了3个标准:景观构成、景观格局和方差分析^[47];李双成等认为尺度转换应围绕两个问题开展评估^[46]:①尺度转换结果需与所在尺度上的现象相吻合,且能够解释相关地学问题;②尺度转换结果误差需在预先设定的范围内。

从数据处理的一般理论以及地图学一般原理上考虑,本研究提出尺度上推应当遵循以下3项基

本准则:构成信息守恒、面积信息守恒、区域空间格局和形态信息守恒。在此3项基本准则之下,可以将当前国内外关于尺度转换成果数据精度评价的众多模型、方法和指标体系归并到合适的编目下(表2)。

3.2 精度评价方法

在构建形成空间数据尺度转换精度评价的准则、指标体系之后,可以在现代RS、GIS软件系统支持下,基于简单或复杂的常规统计分析、地统计分析等数学模型,构建具体的精度评价的模型方法。

3.2.1 构成信息守恒评价方法

构成信息守恒评价方法是观察能否完整或尽可能多地保留原始数据全部构成类型;在某一尺度下,保留的构成类型越多、越完整,则该尺度转换方法越好。该方法也可以等价地采用比较类型斑块消失时的尺度来进行,即分析某一特定的、重要的构成类型转换后彻底消失时的尺度;显然,消失时刻的尺度与原始数据尺度之间的距离越远越好——升尺度时,消失尺度越大越好;降尺度时,消失尺度越小越好。具体公式可表为:

类型数量:任意时刻类型数目

$$Count = Uni_code(Z)$$

(1)

类型融合的尺度:某类型斑块消失的尺度

$$SC = Scale(Z_{diss})$$

(2)

式中: Z 为斑块类型; Z_{diss} 为消失的斑块类型。
构成信息评价方法能够粗略反映类型数据尺度转换后产生的精度损失,多用于地类数据尺度转

表 2 空间尺度转换成果精度分析的基本准则和指标

Tab.2 Criteria and indicators in accuracy analysis of scale-transformation for spatial data

准则	指标	描述
构成信息守恒	全局或区域构成类型的数量	保持空间构成要素类型的数目不变,从而保证空间构成的完整性
	类型消失时的尺度	
面积信息守恒	单一要素类型总面积绝对值/相对值	保持各地理要素的面积不变,以及保持各地理要素面积比例不变,从而保证各地理要素的面积均衡
	全体要素总面积绝对值/相对值,斑块数目	
	平均斑块面积	
区域空间格局与形态信息守恒	形状指数、面积指数	保持区域各要素的形态、维数、结构组成等信息,从而保证了地理要素的空间分布格局和分布规律,可以通过景观格局指数、地统计方法以及其他方法来评判
	均匀度指数、多样性指数、信息熵	
	分维数 D	
	方差分析	
	Moran's I 系数	
	Geary's C 系数	
	半变异函数法	
	小波分析方法	

换的精度评价。构成信息守恒评价指标内涵明确、模型简单,评价方便;但其总体较为粗糙,不宜单独使用,通常与面积信息守恒、空间格局和形态信息守恒指标配合进行综合分析。

3.2.2 面积信息守恒评价方法

面积信息守恒评价方法的主要思路是:以尺度转换前数据的各类型面积为基准面积,将进行尺度转换后各目标尺度下的各类型面积与基准面积进行比较,得到不同尺度下各类型面积损失的绝对值或者相对值。显然,不管是损失的绝对值还是相对值,其值越小,则意味着该尺度转换方法越好。

地类的损失精度计算式为:

$$E = A_g - A_b \quad (3)$$

$$L = E/A_b \times 100 \quad (4)$$

式中: E 表示面积损失绝对值,取正值表示比实际的面积大,取负值表示比实际的小; A_g 表示各目标尺度下求算的面积; A_b 表示基准面积; L 表示面积损失的相对值(%),也可以称之为损失精度。

在借鉴测量学中有关均方根误差模型基础上,本文进一步提出了改进的区域土地面积变化评价指数模型。新的模型不仅能够评估空间数据中某一特定类型的面积损失情况,还可以对区域整体的面积损失情况进行评估。数学模型可表达为:

$$L_i = (A_i - A_{bi})/A_{bi} \times 100 \quad (5)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^2}{n}} \quad (6)$$

式中: L_i 表示面积损失的相对值; A_i 表示某一类型在尺度转换后的面积; A_{bi} 表示该类型在尺度转换前的面积; S_i 表示区域土地面积变化指数; n 表示区域土地类型数目。 S_i 越大,表明区域内各类型土地面积变化越大,尺度转换后各类型土地面积精度越差。

如同构成信息守恒评价方法中有关模型方法一样,面积信息守恒方法也反映了研究区内构成信息的变化,但这种反映是隐含性的;更为明确的表征则是该模型方法定量地给出了研究区内不同构成类型的面积变化情况,因此这一方法在国内外得到广泛应用^[48-53]。研究人员主要利用公式(3)和公式(4)对矢量数据的栅格化过程、1 km 栅格数据的尺度上推、多尺度土地利用数据精度以及多源、多尺度 DEM 数据精度等进行分析。

3.2.3 空间格局与形态信息守恒方法

一种优秀的尺度转化方法和适宜的转换尺度

应该尽可能保持区域各类型斑块(如土地类型)整体空间分布格局,同时还要保持各类型斑块各自的形态特征和复杂程度。是否保持空间数据分布格局和形态变化,一方面可以通过目视解读作定性判断,另一方则可以借助景观生态学、地统计学等中的相关指标和模型进行定量评价。

(1) 景观指数法

景观生态学研究由许多不同生态系统所组成的整体(即景观)的空间结构、相互作用、协调功能及动态变化。景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单的、定量的指标,最常用的景观指数有形状指数、分维指数、多样性指数等。

斑块形状指数:即斑块周长与面积之比。结构最紧凑而又简单的几何形状(如圆或正方形)常被用来标准化周长与面积之比,从而使其具有可比性。公式如下:

$$S = \frac{P}{4\sqrt{A}} \quad (7)$$

式中: S 是斑块形状指数, P 是斑块周长; A 是斑块面积。当某一地类的形状为正方形时, S 取值最小,为 1;随着斑块形状变得复杂或变长, S 的值相应变大。

分维数:反映复杂形体占有空间的有效性,是复杂形体不规则性的定量量度。可以直观理解为不规则几何形状的非整数维数。公式如下:

$$D = 2 \times \frac{\ln(\frac{P}{4})}{\ln A} \quad (8)$$

式中: D 为分维数; P 为地类总周长; A 为地类总面积。分维数用来测定斑块形状的复杂程度。 D 值的理论范围是 1~2 之间,1 代表形状最简单的正方形斑块,2 表示等面积下周边最复杂的斑块。

Shannon 多样性指数:用来度量景观结构组成的复杂程度,其公式可表为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln(P_i) \quad (9)$$

式中: H 是香农指数; P_i 是斑块类型 i 在景观中出现的概率(通常以该类型占有栅格细胞数或像元数占景观栅格细胞总数的比例来估算); n 是景观中斑块类型的总数。

(2) 地统计学方法

地统计学是以区域化变量理论为基础,分析自然现象的空间变异与空间结构,其目的是描述事物

在空间上的分布特征(如随机的、聚集的、有规则的),确定空间自相关关系对格局的影响程度。通过空间自相关系数、半变异函数等指标的计算,可以用于定量分析空间数据尺度转换前后的空间格局变化。

空间自相关系数:用来测量事物在空间上的分布特征及其对邻域的影响程度。空间自相关系数有多种,分别适用于多种数据类型,其中最常用的自相关系数有 Moran's I 系数,它反映了空间数据的聚集程度。其数学模型可表示为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

式中: I 为 Moran 系数; x_i 和 x_j 是变量 x 在相邻配空间单元(或栅格细胞)的取值; \bar{x} 是变量的平均值; w_{ij} 是相邻权重(通常规定,若空间单元 i 和 j 相邻, $w_{ij}=1$, 否则 $w_{ij}=0$); n 是空间单元总数。 I 系数的取值在 $-1 \sim 1$ 之间, $I < 0$ 表示负相关, $I=0$ 表示不相关, $I > 0$ 表示正相关。

半变异函数:半变异函数是地统计学的核心内容,是进行空间异质性研究的重要方法。半变异函数的变程体现了空间数据分布的粗糙程度,若变程小则空间数据分布较为复杂,反之则较为简单、光滑。半变异函数表示为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [X(i) - X(i+h)]^2 \quad (11)$$

式中: $\gamma(h)$ 为半变异函数; $N(h)$ 为滞后距离等于 h 时的点对数; $X(i)$ 、 $X(i+h)$ 分别为区域化随机变量 X 在位置 i 和 $i+h$ 时的取值。通过公式(11)可以获得半变异函数的估计值,变异函数适合对一定范围内空间尺度上的变异特征和规律进行研究。

对事物的地理空间分布格局及其空间形态变化的判断是一项非常复杂和困难的工作,涉及到人类心理学、图形学、机器识别、人工智能等科学和技术。虽然景观生态学提供了丰富的景观指数,地统计学也有大量的地理空间分析模型和方法,但上述5种指数因其模型相对简单、指示意义非常明确,因此在实践中得到较为广泛的应用^[53-59]。此外,小波分析作为现代地理学研究的一种新型的方法手段,由于能够有效地分析和处理多尺度、多层次、多分辨率的问题,能够将格局、尺度与具体空间位置明确地表示出来,因此也受到国外学者们的关注,但

国内这方面的应用案例相对较少^[60-63]。

4 结论

尺度是地理学家观察和认识世界的一个透镜,针对尺度依赖性问题的研究是地理学、生态学、水文学、气象学等多个学科近几十年来研究的重点和难点之一。空间尺度转换是尺度研究中的核心问题之一;不同的尺度转换方法,其生成的结果数据是不同的,造成的信息损失的程度也是不同的。因此,对空间数据尺度转换的精度开展定性、定量评价,是正确理解和应用尺度的关键。

尺度转换的精度分析是评价尺度转换方法优劣的必要手段,它保证了尺度效应分析结果的正确性。然而,目前少有学者对于这一方面进行深入研究,仅仅是简单地通过面积统计或是景观指数进行尺度效应的比较分析。随着尺度问题研究的不断深入,对于尺度转换效应开展分析,并对尺度转换所得结果数据开展定性和定量的评价是尺度转换研究的重要环节。因此,发展一套完整的尺度转换精度评价的准则和方法模型是尺度转换深入研究的必然趋势。

本研究主要是从纯粹的数据处理、地图学、图像分析以及自然地理学研究角度开展论述,并得到相对通用的空间数据尺度转换精度评价的准则、指标以及最常见的模型方法。在实际应用过程中,除了依据上述通用准则、指标和模型方法之外,需要更加强调结合具体研究目的,针对性选择尺度转换效应函数,通过开展模型模拟、对比和综合分析,最终确定合适的尺度转换方法。

参考文献

- [1] Robinson W S. Ecological correlations and the behavior of individuals. *American Sociological Review*, 1950, 15 (3): 351-357.
- [2] Lam N S-N, Quattrochi D A. On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences. *The Professional Geographer*, 1992, 44(1): 88-98.
- [3] Blöschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modelling: A review. *Hydrological Processes*, 1995, 9 (3-4): 251-290.
- [4] Goodchild M F. Scale in GIS: An overview. *Geomorphology*, 2011, 130(1-2): 5-9.

- [5] 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, 2007.
- [6] Moody A, Woodcock C E. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land-cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology*, 1995, 10 (6): 363-379.
- [7] Turner M G, O'Neill R V, Gardner R H, et al. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecology*, 1989, 3(3-4): 153-162.
- [8] Zhu C Q, Shi W Z, Wan G. Reducing remote sensing image and simplifying DEM data by the multi-band wavelet. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(3): 525-536.
- [9] 岳天祥. 第四代地理信息系统研究中的尺度转换数字模型. *中国图象图形学报: A辑*, 2001, 6(9): 907-911.
- [10] 刘学军, 王彦芳, 晋蓓. 利用点扩散函数进行DEM尺度转换. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2009, 34(12): 1458-1462.
- [11] 于浩, 杨勤科, 张晓萍, 等. 基于小波多尺度分析的DEM数据综合研究. *测绘科学*, 2008, 33(3): 93-96.
- [12] 杨勤科, Jupp D, 郭伟玲, 等. 基于滤波方法的DEM尺度变换方法研究. *水土保持通报*, 2008, 28(6): 58-62.
- [13] Wolock D M, McCabe G J. Differences in topographic characteristics computed from 100- and 1000-m resolution digital elevation model data. *Hydrological Processes*, 2000, 14(6): 987-1002.
- [14] Le Coz M, Delclaux F, Genthon P, et al. Assessment of digital elevation model (DEM) aggregation methods for hydrological modeling: Lake Chad basin, Africa. *Computers & Geosciences*, 2009, 35(8): 1661-1670.
- [15] 刘纪远, 邵全琴, 延晓冬, 等. 土地利用变化对全球气候影响的研究进展与方法初探. *地球科学进展*, 2011, 26 (10): 1015-1022.
- [16] Meyer W B, Turner II B L. Human population growth and global land-use/cover change. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1992, 23: 39-61.
- [17] Kasperson J X, Kasperson R E, Turner II B L. *Regions at Risk: Comparisons of Threatened Environments*. Tokyo: United Nations University Press, 1995.
- [18] Kates R W. Labnotes from the Jeremiah Experiment: A hope for a sustainable transition. *Annals of the Association of American Geographers*, 1995, 85(4): 623-640.
- [19] Pearson R G, Dawson T P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: Are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology & Biogeography*, 2003, 12(5): 361-371.
- [20] McCarthy H H, Hook J C, Knos D S. The Measurement of Association in Industrial Geography[D]. Iowa: State University of Iowa, 1956.
- [21] Alker H R. A typology of ecological fallacies//Dogan M, Rokkan M. *Social Ecology*. Boston: The MIT Press, 1969: 69-86.
- [22] Openshaw S, Taylor P J. A million or so correlation coefficients: Three experiments on the modifiable areal unit problem//Wrigley N. *Statistical Methods in the Spatial Science*. London: Pion, 1979: 127-144.
- [23] Goodchild M F. The aggregation problem in location-allocation. *Geographical Analysis*, 1979, 11(3): 240-255.
- [24] Dudley G. Modifiable areal units and human geographical inquiry: An empirical investigation [D]. Ontario, Canada: Department of Geography, University of Waterloo, 1991.
- [25] Marceau D J, Howarth P J, Grattom D J. Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment: The scale and spatial aggregation problem. *Remote Sensing of Environment*, 1994, 49(2): 93-104.
- [26] Rediscovering Geography Committee, National Research Council. *Rediscovering Geography: New Relevance for Science and Society*. Washington, DC: National Academies Press, 1997.
- [27] 蔡运龙, 陆大道, 周一星, 等. 地理科学的中国进展与国际趋势. *地理学报*, 2004, 59(6): 803-810.
- [28] 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.
- [29] Goodchild M F, Quattrochi D A. Scale, multiscale, remote sensing and GIS//Goodchild M F, Quattrochi D A. *Scales in Remote Sensing and GIS*. Boca Raton: CRC/Lewis Publisher, 1997.
- [30] 李小文. 定量遥感的发展与创新. *河南大学学报: 自然科学版*, 2005, 35(4): 49-56.
- [31] 陈佑启, 何英彬. 论土地利用/覆盖变化研究中的尺度问题. *经济地理*, 2005, 25(2): 152-155.
- [32] Haggett P. Scale components in geographical problems//Choley T J, Haggett P. *Frontiers in Geographical Teaching*. London: Methuen and Co Ltd, 1965.
- [33] Meenenmeyer V, Box E O. Scale effects in landscape studies//Turner M G. *Landscape Heterogeneity and Disturbance*. New York: Springer-Verlag, 1987: 15-34.
- [34] Wu J, Li H. Concepts of scale and scaling//Wu J, Jones K B, Li H. *Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications*. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2006: 1-13.
- [35] 张娜. 生态学中的尺度问题: 尺度上推. *生态学报*,

- 2007, 27(10): 4252-4266.
- [36] 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.
- [37] Wu J, Li H. Perspective and methods of scaling//Wu J, Jones K B, Li H, et al. Scaling and Uncertainty Analysis in Ecology: Methods and Applications. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2006:15-42.
- [38] 孟斌, 王劲峰. 地理数据尺度转换方法研究进展. 地理学报, 2005, 60(2): 277-288.
- [39] Nordhaus W. Creation and analysis of a geophysically scaled economic data set[R/OL]. 2001-05[2012-04]. <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/>.
- [40] 程结海, 薛华柱, 胡圣武. 空间数据尺度转换问题研究. 测绘与空间地理信息, 2008(5): 17-19.
- [41] Stohlgren T J, Coughenour M B, et al. Landscape analysis of plant diversity. Landscape Ecology, 1997, 12(3): 155-170.
- [42] 岳天祥, 刘纪远. 第四代地理信息系统研究中的尺度转换数字模型. 中国图象图形学报: A 辑, 2001, 6(9): 907-911.
- [43] 韩鹏, 龚健雅, 李志林, 等. 遥感影像空间尺度上推方法的评价. 遥感学报, 2008, 12(6): 964-971.
- [44] 石志宽, 汤国安. 土地利用现状数据缩编的质量评价方法. 地理研究, 2011, 30(2): 233-242.
- [45] 雍斌, 张万昌, 符淙斌. 用于区域气候模式的地形指数空间尺度转换效果分析. 自然科学进展, 2007, 17(3): 346-352.
- [46] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. 地理研究, 2005, 24(1): 11-18.
- [47] Dendoncker N, Schmit C, Rounsevell M. Exploring spatial data uncertainties in land-use change scenarios. International Journal of Geographical Information Science, 2008, 22(9): 1013-1030.
- [48] 杨存建, 张增祥. 矢量数据在多尺度栅格化中的精度损失模型探讨. 地理研究, 2001, 20(4): 416-422.
- [49] 刘明亮, 唐先明, 刘纪远, 等. 基于 1 km 格网的空间数据尺度效应研究. 遥感学报, 2001, 5(3): 183-190.
- [50] 白燕, 廖顺宝, 孙九林. 栅格化属性精度损失的评估方法及其尺度效应分析: 以四川省 1:25 万土地覆被数据为例. 地理学报, 2011, 66(5): 709-717.
- [51] Wu W, Shibasaki R, Yang P, et al. Validation and comparison of 1 km global land cover products in China. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(13): 3769-3785.
- [52] Meyer C B, Thuiller W. Accuracy of resource selection functions across spatial scales. Diversity and Distributions, 2006, 12(3): 288-297.
- [53] Mutluoglu O. Investigation of the effect of land slope on the accuracy of digital elevation model (DEM) generated from various sources. Scientific Research and Essays, 2010, 5(11): 1384-1391.
- [54] 张雪艳, 胡云锋, 庄大方, 等. 蒙古高原 NDVI 的空间格局及空间分异. 地理研究, 2009, 28(1): 10-19.
- [55] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华, 等. 不同尺度下城市景观综合指数的空间变异特征研究. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2053-2059.
- [56] 毕如田, 高艳. 典型地貌景观指数的多尺度效应分析: 以山西省运城市为例. 地球信息科学学报, 2012, 14(3): 338-343.
- [57] Fu W J, Zhao K L, Zhang C S, et al. Using Moran's I and geostatistics to identify spatial patterns of soil nutrients in two different long-term phosphorus-application plots. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2011, 174(5): 785-798.
- [58] Diniz J A, Bini L M, Hawkins B A. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. Global Ecology and Biogeography, 2003, 12(1): 53-64.
- [59] Leimgruber P, McShea W J, Schnell G D. Effects of scale and logging on landscape structure in a forest mosaic. Environmental Monitoring and Assessment, 2002, 74(2): 141-166.
- [60] Martinez B, Gilabert M A, Garcia-Haro F J, et al. Characterizing land condition variability in Ferlo, Senegal (2001-2009) using multi-temporal 1-km apparent green cover (AGC) SPOT Vegetation data. Global and Planetary Change, 2011, 76(3-4): 152-165.
- [61] 陈建裕, 郭德方. 基于连续小波变换的 NOAA 影像尺度分析. 中国图象图形学报, 2004, 9(7): 837-840.
- [62] Kaheil Y H, Creed I F. Detecting and downscaling wet areas on boreal landscapes. Geoscience and Remote Sensing Letters, 2009, 6(2): 179-183.
- [63] Sakamoto T, Van Nguyen N, Kotera A, et al. Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. Remote Sensing of Environment, 2007, 109(3): 295-313.

A Review on the Accuracy Analysis of Spatial Scaling Data

XU Zhiying^{1,2}, HU Yunfeng¹, LIU Yue^{1,2}, YAN Yan¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Scale is like a lens through which geographers observe and study the world. Scale dependence is one of the key studies and a challenge in geography, ecology, hydrology and meteorology in recent decades. One of the core scale issues is spatial scaling. Different scaling methods produce different resulting data with different degree of information loss. Thus, quantitative and qualitative assessment of scaling accuracy for spatial data is critical for correctly understanding and using scales. In the scaling research the basic theoretical frameworks include level theory, fractal theory, regional variable theory and first law of geography. In eco-geographical fields, scaling methods mainly are: spatial allometry, the dynamic model-based scaling method, wavelet analysis, auto-correlation analysis, fractal methods, semi-variogram method, and so forth. For the last ten years, remote sensing, GIS, and large-scale computer simulation technology have become more and more important in scaling research. As an important part of scaling process, accuracy analysis qualitatively or quantitatively evaluates the resulting data, based on the rules such as spatial composition, area precision, spatial pattern, patch characteristics, etc. Certain evaluation models and methods also involve type area statistics, landscape metrics, geostatistics, wavelets analysis, etc., with several indexes. In addition, comparing the simulation results of scaling data is also an important method in accuracy analysis. Although there are several methods of scaling accuracy analysis, few researchers have tried to develop a systematic methodology to evaluate resulting data. Therefore, it is an inevitable trend in scaling research to improve or even develop a new methodology for scaling accuracy analysis.

Key words: scale; scaling transformation; accuracy assessment; principle; mathematic model

本文引用格式:

徐芝英, 胡云锋, 刘越, 等. 空间尺度转换数据精度评价的准则和方法. 地理科学进展, 2012, 31(12): 1574-1582.