

基于多尺度遥感测量的区域土地覆盖格局研究

李晓兵 陈云浩* 李霞

(北京师范大学资源科学研究所, 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要 利用 1 km、4 km 和 8 km 3 种空间分辨率的 NOAA/AVHRR 数字影像, 对中国 NECT 样带西部地区进行了土地覆盖分类及其景观特征的比较研究。重点比较了几种空间分辨率遥感数据分类结果边界的一致性和空间差异, 以及影像所记录的景观格局的差异。为进一步在不同尺度上研究景观变化过程以及尺度转换研究奠定了基础。研究表明: 3 种空间分辨率的遥感影像所反映的区域土地覆盖的宏观空间格局是一致的, 但类型的边界、每一类型斑块的形状和数量均产生较大的差异; 经过对反映景观空间结构的 4 种指标(分维数、破碎度、多样性、优势度)的比较显示出随着遥感影像空间分辨率的变化, 影像所反映的景观结构发生了较大的变化。其中, 各覆盖类型的分维数表现出最大差异, 表征着空间分辨率的变化对斑块复杂程度的影响最大。

关键词 多尺度遥感 土地覆盖 景观特征 NECT 样带

STUDY ON REGIONAL LAND COVER PATTERNS DERIVED FROM MULTI-SCALE REMOTELY SENSED DATA

LI Xiao-Bing CHEN Yun-Hao* and LI Xia

(*Institute of Resources Science, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of the Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

Abstract We estimated quantitatively the effect of spatial scale magnification on land cover monitoring and landscape characteristics at regional scale, using different spatial remotely sensed data from RS (Remote Sensing), GIS (Geographic Information System) and GPS (Global Positioning System), and taking the west of the Northeast China Transect (NECT), one of the IGBP international transects in China, as the study area. A comparison study on land cover classification and landscape characteristics, using NOAA/AVHRR digital images of 3 different spatial resolutions, was performed in this paper in the study area. USGS EROS (Earth Resources Observation System) Data Center (EDC) provided the monthly remote sensing images as data resources, which were in uniform tempo and region at three different spatial resolutions: 1 km × 1 km, 4 km × 4 km and 8 km × 8 km, spanning a 12-month period (April 1992-March 1993). Firstly, unsupervised classification algorithm ISODATA was employed to process 3 different spatial resolution images and obtained land classification information. Secondly, information transfer among different resolution images was calculated using a map algebraic algorithm. Finally, regional landscape characteristics of land cover types at different spatial scales were compared, taking landscape spatial structure indices such as fractal dimension, fragmentation, diversity and dominance as standards. Particular emphasis was put on the comparison of boundary consistency and spatial difference of classification result from remotely sensed data at 3 different spatial resolutions, and the difference of landscape pattern revealed by the images. The study results showed: 1) 9 land cover types obtained from remote sensing data were: temperate deciduous broadleaf forest, temperate upland deciduous leaflet forest, single crops + temperate typical steppe, temperate deciduous scrub and low forest, temperate meadow steppe, temperate typical steppe, temperate desert steppe, meadow + graminaceous swamp and water body; 2) the macro spatially pattern of regional land cover revealed by images of 3 different spatial resolutions was consistent, but the boundary of land cover type, the shape and the number of patches of each type differed greatly; 3) comparison of four indices (Fractal dimension, Fragmentation, Diversity, and Dominance) showed that the structure of the landscape changed greatly with change of spatial resolution as revealed by images. Fractal dimension of each cover type showed the most obvious variation, which indicated the change of spatial resolution contributed most to the patch complexity. This paper sets up a basis for further study at different scales on landscape change processes.

收稿日期: 2002-08-20 接受日期: 2003-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(30000027)、国家重点基础研究发展规划项目“草地与农牧交错带生态系统重建机理及优化生态-生产模式”(G2000018604)和北京师范大学青年基金资助

感谢美国伯克利加州大学资源与环境学院宫鹏教授给予本项研究的建议和指导

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: cyh@bnu.edu.cn

Key words Multi-scale remote sensing, Land cover, Landscape characteristics, Northeast China Transect

1 研究背景及目的

遥感影像以不同的时空分辨率记录了地表的覆盖特征。遥感影像的空间分辨率限定了遥感对地观测的最小单元。地理环境特征监测的基本时空尺度的适宜性对遥感提出了多分辨率的需求,同时,不同的全球变化模型对土地覆盖类型、空间分布特征需求的尺度也不同。因此,作为模型重要参数的土地覆盖特征的多分辨率遥感监测对满足不同模型的需求以及尺度转换研究是非常重要的(Peter & Curran, 1997)。

近 40 年来,尺度效应的问题一直被研究人类活动的空间特征、地球表面物理过程的科学家们所重视(Marceau, 1999)。特别是近年来,人类活动对全球变化的影响越来越深刻,全球尺度和区域尺度的研究越来越受到重视。空间数据的尺度转换已经被广泛地应用在从局部到区域甚至全球尺度的环境分析和建模上(Bian & Butler, 1999)。人类活动在时间和空间多尺度上对生态环境造成影响,因此,在陆地生态系统研究中,需要建立从长期地面网络观测到卫星对全球地表观测,从每小时的日照变化监测到年际间的净生物量变化监测甚至到利用模型的长期预测。对这些不同时空尺度数据进行有机地整合是研究中的重要内容(Marceau & Hay, 1999; Running *et al.*, 1999)。在地学和生态学研究,研究尺度效应需要解答的问题主要在于:(1)在哪种尺度上,可以正确地表达特定的地理现象?(2)如何有效地将数据和信息从一种尺度转换为另一种尺度(Marceau & Hay, 1999)?(3)原始数据和信息经过尺度转换后,会出现何种信息的损失或效应?即不同尺度的数据反映相同的地物和现象时的差异如何(刘明亮等, 2001)?许多环境问题,如全球变暖、森林采伐和区域水管理等均需要在不同时空尺度上进行综合观测和研究。在不同空间尺度上地表过程是如何变化的以及如何将这些变化过程在不同尺度上连接起来已经成为当前研究这些复杂现象的一个主要目标。在自然科学研究中,分析尺度问题的一个重要方向是发展一套合适的、在不同尺度上出现的规则的和不规则的景观模式,以及发展检测尺度的定量化方法体系和指标体系。现行的遥感系统为检测地表格局提供了从厘米到公里级的数据源,以便于在不同空间尺度上理解变化的过程(Woodcock & Strahler,

1987; Marceau, 1999)。

本文选择 IGBP 国际样带之一的中国东北样带(Northeast China Transect: NECT)的西部为研究区域(Koch *et al.*, 1996; 张新时等, 1997),在遥感、地理信息系统支持下,从遥感数据采集的空间分辨率的角度探讨空间尺度放大的实验方案,定量化判断尺度放大过程对区域土地覆盖监测及景观特征信息的影响。

2 研究区域

NECT 在 112°~130°30' E 之间沿 43°30' N 中线设置,东西延伸约 1 600 km,带宽跨 42°~46° N,南北幅度约为 300 km。样带西起内蒙古自治区与蒙古人民共和国边界处的二连浩特,向东穿过内蒙古高原,沿大兴安岭南端山地而下至西辽河谷地进入吉林省境与辽宁省西北部,为松嫩平原的主要农业区,向东是以长春为中心的城市与工业区,再向东经延吉进入吉林省东部延边的农业区与长白山北坡,以及张广才岭的低山森林地带而止于中、俄、朝边界的沿海山地与河口(张新时等, 1997)。

研究区域选定在 NECT 的西部,位于 42°~46° N、110°~121° E 间(图 1),跨越了半干旱区和半湿润区。植被呈明显的东西向带状分布,由东至西依次出现农田、农田与草甸草原的混合类型、温带山地落叶阔叶林、温带草甸草原、温带典型草原、温带荒漠草原等,包含了整个样带中的大多数植被类型。这也是该地区被选为研究区的理由。从西到东,年降水量为 100~500 mm,年平均温度为 -2~3℃,辐射干燥指数(Radiative Dry Index: RDI)为 0.6~1.5。高度为 1 000~1 300 m。土壤类型主要有棕壤、栗钙土和黑钙土等(Koch *et al.*, 1996; 张新时等, 1997)。

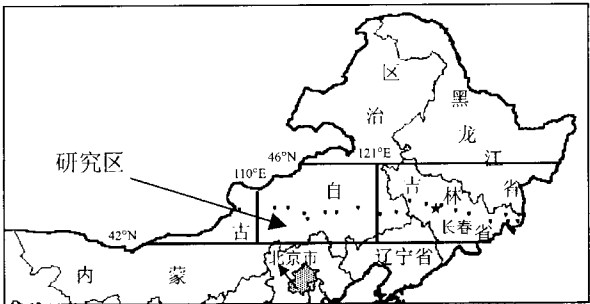


图 1 研究区域位置
Fig.1 Location of study area

3 数据源及数据的预处理

3.1 数据源

采用美国地质调查局地球资源观测系统 (Earth Resources Observation System: EROS) 数据中心 (EDC) 提供的统一时相的 (1992 年 4 月 ~ 1993 年 3 月)、覆盖同一区域的、3 种空间分辨率 (1 km × 1 km、4 km × 4 km、8 km × 8 km) 的逐月遥感影像作为研究的数据源。3 种影像投影均统一为 Geographic (Long/Lati), 并均采用统一的预处理方法 (大气纠正、辐射校正、云检验、几何纠正和 NDVI 影像计算等等), 以保证数据的质量 (Townshend, 1994; Loveland *et al.*, 2000)。采用最大值合成方法 (Maximum Value Composite: MVC) 计算逐月的 NDVI 影像, 采用该方法处理图像的目的是为了减少大气、云、颗粒、阴影、视角以及太阳高度角的影响 (Brent, 1986; Townshend, 1994)。

$$NDVI_i = \max\{NDVI_j\}$$
 (1)

其中, $i = 1, 2, \dots, 12$, 表示月份。 $j = 1, 2, \dots, 30$, 表示日期。

3.2 数据预处理方法

3.2.1 图像配准

以 1:100 万地形图为准, 采用 3 次多项式及最近邻域插值法对遥感影像进行几何纠正, 配准误差控制在 1 个像元内。

3.2.2 图像分类

图像分类在 ERDAS 软件中完成。首先利用 ERDAS 中的 Layer Stack 模块, 把 3 种空间分辨率的、12 个月逐月的 NDVI 图像分别形成含有 12 个逻辑波段的影像。然后采用非监督分类算法 ISODATA 对上述 3 个逻辑影像再分别进行分类, 得到初始的分类信息簇 (Loveland *et al.*, 2000; 李晓兵等, 1999)。分类参数见表 1。

表 1 非监督分类算法的参数
Table 1 Parameters of unsupervised classification algorithm

标准差 Standard deviation	空间分辨率 Spatial resolution	聚类数 No. of cluster
0.01	1 km × 1 km	78
	4 km × 4 km	39
	8 km × 8 km	15

然后利用 1:100 万中国植被图作为基本定类依据 (中国科学院中国植被图编辑委员会, 2001), 确定并描述每一个信息类。同时, 采用时间序列分析 (Time Series Analysis: TSA) 的方法确定不同信息类 NDVI 随季节变化的曲线, 根据不同信息类 NDVI 值

的不同曲线形态所表达的植被生长随季节变化的节律, 确定每一个信息类应归属的土地覆盖类型 (Ehrlich *et al.*, 1994; 李晓兵等, 1999; Pan *et al.*, 2003), 各类型的命名以 1:100 万中国植被图分类体系作为基准, 并经修改而成。

3.2.3 空间信息转移的过程分析

为了定量计算不同分辨率的遥感影像上所记录的土地覆盖类型的格局与变化, 将不同分辨率的覆盖分类图进行空间一致性分析, 即采用图像空间交叉运算的方法求出不同分辨率影像所表达的土地覆盖类型间的信息转移矩阵 (Change matrix), 以实现对上述问题的精确定量分析 (史培军等, 2000)。

对任意两幅覆盖分类图 $A_{m \times n}^k$ 和 $A_{m \times n}^{k+1}$, 按照下式的地图代数方法, 可以求得:

$$C_{m \times n} = A_{m \times n}^k \times 10 + A_{m \times n}^{k+1}$$
 (植被覆盖等级 < 10 时适用) (2)

式中: $C_{m \times n}$ 为由 k 尺度到 $k + 1$ 尺度的覆盖分类变化图, 它表现了不同类型的空间分布。据此可以求得覆盖类型互相转化的数量关系的原始转移矩阵, 然后根据原始转移矩阵求出两个不同尺度下, 覆盖类型之间的相互转化率, 得到覆盖类型信息转移矩阵表。

3.2.4 景观空间结构度量指标

1) 分维数 (Fractal dimension) (Benson & MacKenzie, 1995)

用来测定斑块的复杂程度, 根据面积与周长的关系, 将分维数定义如下 (傅伯杰, 1995; Moody & Woodcock, 1995):

$$P = K(A^{D/2})$$
 (3)

对单个正方形斑块, 取 $K = 4$, 有

$$D = 2 \log \left(\frac{P}{4} \right) / \log A$$
 (4)

式中: D 为分维数, P 为斑块周长, A 为斑块面积。 D 值的范围为 1.0 ~ 2.0, 1.0 代表最简单的正方形斑块, 2.0 表示等面积下周边最复杂的斑块的 分维数。

2) 破碎度 (Fragmentation)

破碎度表示景观被分割的破碎程度。以单位面积中斑块总个数作为景观破碎度的判别指标 (陈利顶等, 1996)。

$$FN_1 = (NP - 1) / NC$$
 (5)

$$FN_2 = MPS \times (NP - 1) / NC$$
 (6)

式中: FN_1 为整个区域的破碎度, FN_2 为区域内某一类型的破碎度, NC 是用栅格个数表示的研究区总

面积(由总面积与最小斑块面积之比得到), NP 是各类型的总数, MPS 是各类型的平均斑块面积。

3) 多样性(Diversity)

景观空间格局的多样性是指景观在结构、功能随空间变化而变化程度。根据信息论原理,采用信息理论的计测指数 Shannon-Weaner 指数来计算景观的多样性(异质性)(O'Neill *et al.*, 1988; 肖笃宁等, 1990),景观多样性指数表示为:

$$H = - \sum_{i=1}^m C_i \times \log_2 C_i$$
 (7)

式中: H 为多样性指数, C_i 为类型 i 所占面积的比例, m 为类的数目。 H 值的大小反映了斑块类型的多少和各类斑块要素所占比例的不同。当景观由一种类型构成时,景观是均质的,其多样性指数为 0; 当由多类斑块要素构成景观,且各类斑块所占比例相同时,其景观多样性指数最高。若各类斑块之间的比例差异加大,其景观的多样性指数值就减小。多样性指数越大表明景观的信息含量越高,类型则丰富。

4) 优势度(Dominance)

用于测度景观结构中 1 种或几种景观类型支配景观的程度,它的大小直接反映了各类斑块在景观变化中的作用。具有较大优势度值的斑块体,在景观中具有重要的作用,对其它各类斑块体的转化速率有一定的影响,对景观格局的形成往往起到主导性作用。

参照传统生态学中计算植被重要值的算法,对研究区域以 8 km × 8 km 采样,计算相对密度 R_d 、相对频率 R_f 和景观比例 L_p 。

$$R_{di} = \frac{N_i}{N} \times 100\%$$
 (8)

N :总斑块数; N_i : i 类斑块数

$$R_{fi} = \frac{S_{Ni}}{S_N} \times 100\%$$
 (9)

S_N :总采样数; S_{Ni} : i 类斑块数

$$L_{pi} = \frac{A_i}{A} \times 100\%$$
 (10)

A_i : i 类斑块面积; A :样地总面积

然后,按照肖笃宁提出的加权方法(肖笃宁等, 1990):

$$D_i = \frac{(R_{di} + R_{fi})/2 + L_{pi}}{2} \times 100\%$$
 (11)

4 结果与分析

4.1 土地覆盖分类结果的比较

为了深入分析空间分辨率的变化对土地覆盖分

类结果的影响,特别是为了从景观生态学的角度探讨遥感影像空间分辨率的变化对景观格局的影响,以便为进一步在不同尺度上研究景观过程奠定基础,根据 1:100 万中国植被图将在 3 种分辨率影像中得到的分类信息簇均归并为 9 种土地覆盖类型,分别为:温带落叶阔叶林、温带山地落叶小叶林、单季作物 + 温带典型草原、温带落叶灌丛与矮林、温带草甸草原、温带典型草原、温带荒漠草原、草甸 + 草本沼泽和水体(图 2)。

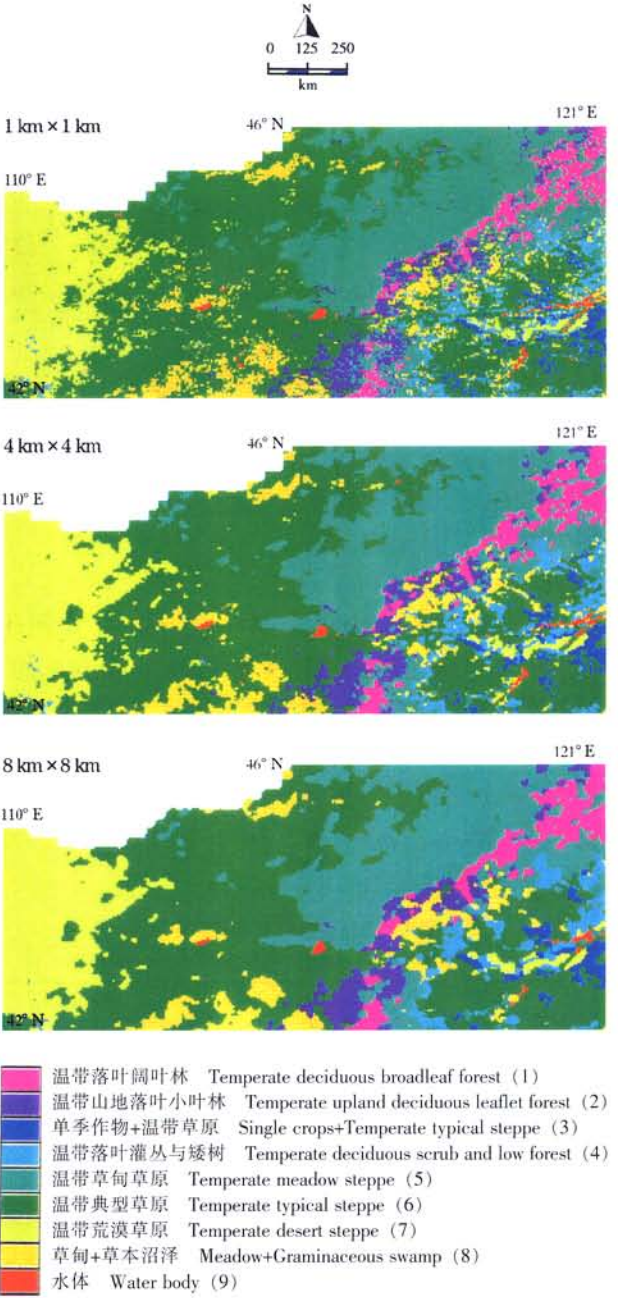


图 2 3 种空间分辨率影像 NDVI 分类结果
Fig. 2 Result of classification at three spatial resolution images

4.2 不同分辨率影像中同一地物斑块结构与数量的比较

在图 3 所示的 3 种空间分辨率影像中,以影像上的白色部分表示的水体为例,可以看出,表达该地物斑块的形状、结构和数量在信息的重采样过程中即空间分辨率降低的过程中都发生了巨大的变化。经统计,3 种影像上表征水体的像元数分别为:454、31 和 6 个;面积统计分别为:454 km²、496 km² 和 384 km²。

4.3 不同分辨率分类信息转移过程

4.3.1 信息转移的空间分析

为了比较并确定在不同尺度上遥感影像记录的地表信息的差异及其空间分布特征,对图 2 中的 3 种分类结果图像进行了比较分析(图 4)。图 4 中白色代表发生变化的像元,即在两个图像上属于不同类型的像元。图 4a、b 分别表示出 1 km 与 4 km、4 km 与 8 km 两种图像分类结果间的差异。经过与图 2 的植被类型图的叠加分析,发现位于研究区东端的温带山地森林、灌丛以及单季作物与温带典型草原混合分布区在不同空间分辨率影像上记录的特征

差异较大。由图 2 可以看出,这些地区地表破碎程度较西部的草原区大,因此在信息转移过程中产生的差异较大。

4.3.2 信息转移的统计分析

表 2、表 3 分别为 1 km 与 4 km、4 km 与 8 km 影像间的覆盖类型互相转化的数量关系的原始转移矩阵(表 2、表 3 中以斜体加黑字体表示的数值),然后根据原始转移矩阵求出两个不同尺度下覆盖类型之间的相互转化率(表 2、表 3 中对应于 B、C 行的数值),得到覆盖类型信息转移矩阵表。

表 2、表 3 表明了从 1 km 分辨率到 4 km 分辨率再到 8 km 分辨率,研究区的土地覆盖分类信息变化有以下特点:

- 1) 根据土地覆盖分类信息在不同空间分辨率影像上的信息变化过程,可以将其变化等级归纳为 3 种类型:增加型(温带落叶阔叶林、温带典型草原);减少型(单季作物+温带典型草原、温带草甸草原、草甸+草本沼泽、水体);波动型(温带山地落叶小叶林、温带落叶灌丛与矮林、温带荒漠草原)。

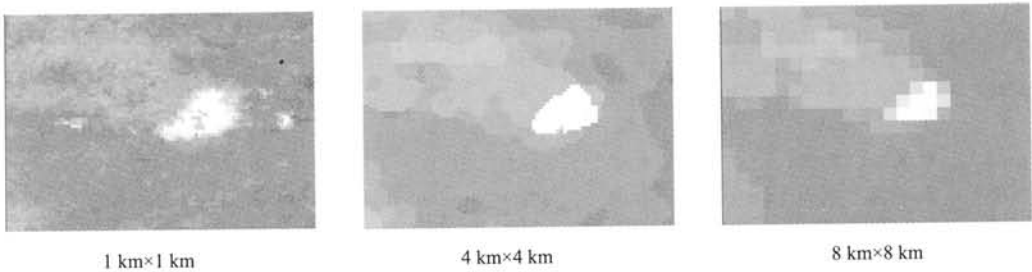
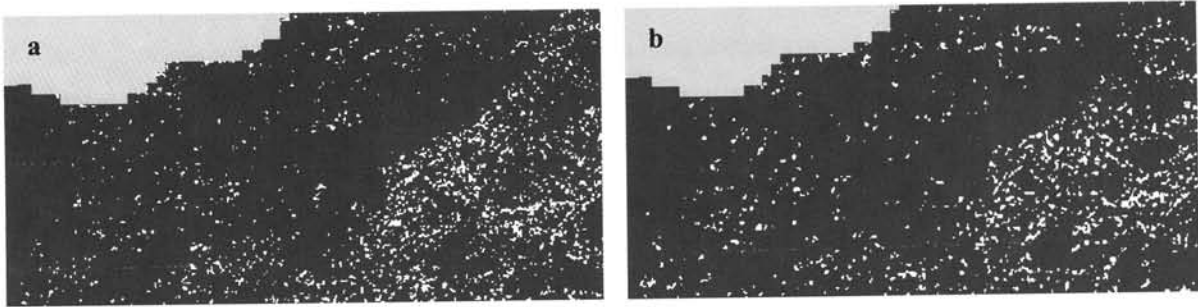


图 3 3 种空间分辨率影像 NDVI 原始数据对比图

Fig.3 Comparison of NDVI original data images at three spatial resolution images

白色为水体,反映出不同分辨率遥感影像所记录信息的损失与概括 White stands for water body, which shows the information loss and generalization in various spatial resolution images



1 km 分辨率与 4 km 分辨率信息转移
Information transfer from 1 km to 4 km images

4 km 分辨率与 8 km 分辨率信息转移
Information transfer from 4 km to 8 km images

图 4 不同空间分辨率影像间的信息转移过程
Fig.4 Information transfer in various spatial resolution images

表 2 1 km 分辨率与 4 km 分辨率分类信息转移矩阵
Table 2 Classification information change matrix from 1 km to 4 km image

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合计 Total (km ²)	占有率 Occupied rate (%)
1	5 152	240	0	16	784	0	0	16	0	6 208	3.72
B	82.99	3.87	0.00	0.26	12.63	0.00	0.00	0.26	0.00		
C	78.16	3.56	0.00	0.29	1.98	0.00	0.00	0.16	0.00		
2	288	5 104	0	0	896	464	0	96	16	6 864	4.11
B	4.20	74.36	0.00	0.00	13.05	6.76	0.00	1.40	0.23		
C	4.37	75.77	0.00	0.00	2.27	0.64	0.00	0.96	2.13		
3	0	0	2 224	96	64	768	32	32	0	3 216	1.93
B	0.00	0.00	69.15	2.99	1.99	23.88	1.00	1.00	0.00		
C	0.00	0.00	81.29	1.73	0.16	1.06	0.14	0.32	0.00		
4	16	0	64	3 952	352	1 072	240	208	0	5 904	3.54
B	0.27	0.00	1.08	66.94	5.96	18.16	4.07	3.52	0.00		
C	0.24	0.00	2.34	71.18	0.89	1.48	1.06	2.07	0.00		
5	1 120	848	16	256	35 728	1 504	0	256	32	39 760	23.83
B	2.82	2.13	0.04	0.64	89.86	3.78	0.00	0.64	0.08		
C	16.99	12.59	0.58	4.61	90.44	2.08	0.00	2.55	4.26		
6	0	464	400	688	1 312	64 544	1 392	1 568	64	70 432	42.22
B	0.00	0.66	0.57	0.98	1.86	91.64	1.98	2.23	0.09		
C	0.00	6.89	14.62	12.39	3.32	89.35	6.14	15.63	8.51		
7	0	0	16	128	0	1 088	21 024	0	0	22 256	13.34
B	0.00	0.00	0.07	0.58	0.00	4.89	94.46	0.00	0.00		
C	0.00	0.00	0.58	2.31	0.00	1.51	92.67	0.00	0.00		
8	16	80	16	416	304	2 608	0	7 808	32	11 280	6.76
B	0.14	0.71	0.14	3.69	2.70	23.12	0.00	69.22	0.28		
C	0.24	1.19	0.58	7.49	0.77	3.61	0.00	77.83	4.26		
9	0	0	0	0	64	192	0	48	608	912	0.55
B	0.00	0.00	0.00	0.00	6.95	20.85	0.00	5.21	66.02		
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.27	0.00	0.48	80.85		
合计(km ²) Total	6 592	6 736	2 736	5 552	39 504	72 240	22 688	10 032	752	166 832	
占有率(%) Occupied rate	3.95	4.04	1.64	3.33	23.68	43.30	13.60	6.01	0.45	100	
变化率(%) Conversion rate	6.19	-1.86	-14.93	-5.96	-0.64	2.57	1.94	-11.06	-17.54		

表 2 中 1~9 对应于图 2 中不同的土地覆盖类型。表 2 中,行表示的是 k 尺度下 i 类覆盖类型,列则表示 $k+1$ 尺度下 j 类覆盖类型;斜体加黑字体表示的是 k 尺度下覆盖类型转变为 $k+1$ 时期的各种类型的面积,即原始覆盖类型变化转移矩阵 A_{ij} 。 $B_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{j=1}^5 A_{ij}$, 表示 $k+1$ 尺度下 j 类覆盖类型中由 k 尺度下 i 类覆盖类型转化而来的比例; $C_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{i=1}^5 A_{ij}$, 表示 k 尺度下 i 类覆盖类型转变为 $k+1$ 尺度下 j 类覆盖类型的比例。行、列的合计分别表示 k 尺度下和 $k+1$ 尺度下各种覆盖类型的面积及其占总面积的比例。变化率 = $(\sum_{i=1}^5 A_{ij} - \sum_{j=1}^5 A_{ij}) \times 100 / (\sum_{j=1}^5 A_{ij})$, 表示 $k+1$ 尺度下各种覆盖类型相对于 k 尺度下变化程度 Number 1 to 9 in this Table corresponds respectively to land cover types in Fig.2. Numbers in row denote i kinds of land cover types at the k scale, numbers in column denote j kinds of land cover types at the $k+1$ scale. Italic and bold fonts denote conversion area of all land cover types from the k to the $k+1$ scale, that is conversion matrix A_{ij} of initial land cover types. $B_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{j=1}^5 A_{ij}$, denotes conversion proportion in type j at the $k+1$ scale derived from type i at the k scale. $C_{ij} = A_{ij} \times 100 / \sum_{i=1}^5 A_{ij}$, denotes conversion proportion from type i at the k scale to type j at the $k+1$ scale. Total of row and column denotes respectively area of all land cover types and their proportions occupied in total area at the k scale and the $k+1$ scale. Occupied rate of row and column denotes respectively proportions of all land cover types occupied in total area at the k scale and the $k+1$ scale. Conversion rate = $(\sum_{i=1}^5 A_{ij} - \sum_{j=1}^5 A_{ij}) \times 100 / (\sum_{j=1}^5 A_{ij})$, denotes converting degree of all land cover types from the k to the $k+1$ scale

表3 研究区4 km分辨率与8 km分辨率分类信息转移矩阵
Table 3 Classification information change matrix from 4 km to 8 km image

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	合计 Total (km ²)	占有率 Occupied rate (%)
1	5 856	240	0	0	432	0	0	64	0	6 592	3.95
B	88.83	3.64	0.00	0.00	6.55	0.00	0.00	0.97	0.00		
C	84.53	3.51	0.00	0.00	1.12	0.00	0.00	0.69	0.00		
2	160	5 712	0	0	432	304	0	128	0	6 736	4.04
B	2.38	84.80	0.00	0.00	6.41	4.51	0.00	1.90	0.00		
C	2.31	83.61	0.00	0.00	1.12	0.41	0.00	1.39	0.00		
3	0	0	2 128	16	32	512	16	16	16	2 736	1.64
B	0.00	0.00	77.78	0.58	1.17	18.71	0.58	0.58	0.58		
C	0.00	0.00	78.24	0.29	0.08	0.69	0.07	0.17	3.45		
4	0	0	112	4 160	144	832	192	112	0	5 552	3.33
B	0.00	0.00	2.02	74.93	2.59	14.99	3.46	2.02	0.00		
C	0.00	0.00	4.12	74.71	0.37	1.12	0.86	1.22	0.00		
5	912	528	16	336	36 384	1 072	0	256	0	39 504	23.68
B	2.31	1.34	0.04	0.85	92.10	2.71	0.00	0.65	0.00		
C	13.16	7.73	0.59	6.03	94.40	1.45	0.00	2.78	0.00		
6	0	256	352	688	896	68 528	608	896	16	72 240	43.30
B	0.00	0.35	0.49	0.95	1.24	94.86	0.84	1.24	0.02		
C	0.00	3.75	12.94	12.36	2.32	92.45	2.71	9.72	3.45		
7	0	0	48	64	16	944	21 616	0	0	22 688	13.60
B	0.00	0.00	0.21	0.28	0.07	4.16	95.28	0.00	0.00		
C	0.00	0.00	1.76	1.15	0.04	1.27	96.36	0.00	0.00		
8	0	96	32	304	192	1 680	0	7 712	16	10 032	6.01
B	0.00	0.96	0.32	3.03	1.91	16.75	0.00	76.87	0.16		
C	0.00	1.41	1.18	5.46	0.50	2.27	0.00	83.68	3.45		
9	0	0	32	0	16	256	0	32	416	752	0.45
B	0.00	0.00	4.26	0.00	2.13	34.00	0.00	4.26	55.32		
C	0.00	0.00	1.18	0.00	0.04	0.35	0.00	0.35	89.66		
合计(km ²) Total	6 928	6 832	2 720	5 568	38 544	74 128	22 432	9 216	464	166 832	
占有率(%) Occupied rate	4.15	4.10	1.63	3.34	23.10	44.43	13.45	5.52	0.28	100	
变化率(%) Conversion rate	5.10	1.43	-0.58	0.29	-2.43	2.61	-1.13	-8.13	-38.30		

表3的说明同表2 Explanation of Table 3 is the same as Table 2

2) 在所有的类型中水体的面积变化幅度最大,由 912 km²减少到 752 km²和 464 km²,相应的变化率为-17.54%(1~4 km 分辨率)和-38.30%(4~8 km 分辨率);此外,草甸+草本沼泽、单季作物+温带典型草原两种类型在 1 km 分辨率到 4 km 分辨率再到 8 km 分辨率影像中的信息损失也比较显著,两种类型的相应变化率分别为-14.93%、-0.58%和-11.06%、-8.13%;温带草甸草原也有相应地减少趋势,但变化率很小。面积较小或分布较为分散的土地覆盖类型往往会导致尺度转换中的信息损失。而温带落叶阔叶林和温带典型草原在尺度转换中的存在信息夸大的趋势,温带落叶阔叶林的相应

的变化率分别为 6.18%和 5.10%;温带典型草原的相应的变化率分别为 5.57%和 2.61%。温带山地落叶小叶林、温带落叶灌丛与矮林、温带荒漠草原的信息变化趋势不显著。

4.4 不同尺度下的覆盖类型的景观特征比较研究

为定量分析不同尺度下的土地覆盖类型的空间格局的变化,对 1 km 分辨率、4 km 分辨率和 8 km 分辨率下的各土地覆盖类型的斑块数、分维数、优势度、破碎度和 Shannon 多样性指数等表征空间景观格局的参数进行了计算,结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出,从 1 km 分辨率到 4 km 分辨率再到 8 km 分辨率的影像上,研究区空间景观格局

表 4 不同尺度下景观的空间特征
Table 4 Landscape spatial characteristics at different scales

尺度 Scale	覆盖类型 Land cover types	面积 Area (km ²)	斑块数 No. of patch	分维数 Fractal dimension	优势度 Dominance	破碎度 Fragementation	破碎度 Fragementation	多样性指数 Diversity index
1 km × 1 km	温带落叶阔叶林 ¹⁾	6 208	248	1.69	4.46	0.040		
	温带山地落叶小叶林 ²⁾	6 864	449	1.74	6.76	0.065		
	单季作物 + 温带典型草原 ³⁾	3 216	266	1.69	3.75	0.083		
	温带落叶灌丛与矮林 ⁴⁾	5 904	592	1.74	7.97	0.100		
	温带草甸草原 ⁵⁾	39 760	844	1.76	20.76	0.021	0.028	1.633
	温带典型草原 ⁶⁾	70 432	1080	1.81	32.42	0.015		
	温带荒漠草原 ⁷⁾	22 256	288	1.76	9.69	0.013		
	草甸 + 草本沼泽 ⁸⁾	11 280	926	1.75	13.08	0.082		
	水体 ⁹⁾	912	79	1.51	1.10	0.087		
4 km × 4 km	温带落叶阔叶林 ¹⁾	6 592	62	1.51	5.03	0.009		
	温带山地落叶小叶林 ²⁾	6 736	91	1.43	6.50	0.014		
	单季作物 + 温带典型草原 ³⁾	2 736	71	1.52	4.31	0.026		
	温带落叶灌丛与矮林 ⁴⁾	5 552	148	1.50	8.95	0.027		
	温带草甸草原 ⁵⁾	39 504	186	1.48	20.99	0.005	0.006	1.606
	温带典型草原 ⁶⁾	72 240	186	1.47	30.80	0.003		
	温带荒漠草原 ⁷⁾	22 688	47	1.39	9.11	0.002		
	草甸 + 草本沼泽 ⁸⁾	10 032	197	1.51	12.70	0.020		
	水体 ⁹⁾	752	28	1.37	1.60	0.037		
8 km × 8 km	温带落叶阔叶林 ¹⁾	6 928	27	1.38	5.06	0.004		
	温带山地落叶小叶林 ²⁾	6 832	40	1.34	6.46	0.006		
	单季作物 + 温带典型草原 ³⁾	2 720	28	1.37	3.91	0.010		
	温带落叶灌丛与矮林 ⁴⁾	5 568	76	1.35	10.06	0.014		
	温带草甸草原 ⁵⁾	38 544	90	1.40	21.49	0.002	0.003	1.588
	温带典型草原 ⁶⁾	74 128	76	1.32	30.60	0.001		
	温带荒漠草原 ⁷⁾	22 432	19	1.26	8.82	0.001		
	草甸 + 草本沼泽 ⁸⁾	9 216	83	1.41	11.92	0.009		
	水体 ⁹⁾	464	14	1.21	1.68	0.030		

1) ~ 9): 同图 2 See Fig. 2

有以下特点:(1)比较每种类型的破碎度,在 3 种分辨率影像上显示出相同的排序,温带落叶灌丛与矮林最大,温带荒漠草原最小,并表现出整体上由东到西减少的趋势;随着影像分辨率的不断降低,土地覆盖类型的斑块数不断减少,影像整体的破碎度也在减少,但两种尺度转换过程中其变化程度差别很大。(2)景观格局的多样性指数的计算结果呈下降趋势,表明了随着影像分辨率的不断降低,土地覆盖类型信息的损失过程。(3)经计算每一类的优势度,在 3 种影像上几种类型排序保持一致,除水体最小外,温带典型草原最大,单季作物 + 温带典型草原混合类型最小;(4)随着空间分辨率的变小,各覆盖类型的分维数表现出最大差异,表征着空间分辨率的变化对斑块复杂程度的影响最大。(5)此外,1 km、8 km 分类影像相比,除水体外,统计面积差异最大的类型为草甸 + 草本沼泽,变异系数为 18.3%,但几种覆

盖类型在区域内的空间结构及其比例在 3 个分辨率的影像上基本保持一致;而分维数差异最大的为温带荒漠草原,变异系数为 28.4%。

5 结论与讨论

1) 经过对 1 km × 1 km、4 km × 4 km、8 km × 8 km 3 种空间分辨率遥感影像采用统一的数据处理方法进行预处理后,分析其光谱信息和 *NDVI* 季相变化信息,采用非监督分类的方法将其均分为 9 种土地覆盖类型,分别为:温带落叶阔叶林、温带山地落叶小叶林、单季作物 + 温带典型草原、温带落叶灌丛与矮林、温带草甸草原、温带典型草原、温带荒漠草原、草甸 + 草本沼泽和水体。

2) 3 种空间分辨率的遥感影像所反映的区域土地覆盖的宏观空间格局是一致的,但类型的边界、每一类型斑块的形状和数量均产生较大的差异;随着

影像分辨率的不断降低,土地覆盖类型的斑块数不断减少,影像整体的破碎度也在减少,但两种尺度转换过程中其变化程度差别很大。

3) 利用 4 种衡量景观空间格局的指标来比较多分辨率遥感影像记录的区域地表景观的差异,分别为分维数、破碎度、多样性、优势度。计算结果显示这 4 种指标准确地表示出了在 3 种空间分辨率遥感影像上所记录的同一区域景观格局的差异,随着空间分辨率的降低,所反映的景观的分维数、破碎度、多样性和优势度均发生较大的变化。其中,各覆盖类型的分维数表现出最大差异,表征着空间分辨率的变化对斑块复杂程度的影响最大。

4) 比较研究几种空间分辨率遥感数据所反映的土地覆盖类型和景观格局的差异,为进一步在不同尺度上研究景观变化过程奠定了基础。

5) 根据研究的范围和时空尺度的差异,需要采用多平台、多空间分辨率(如 IKONOS、TM、MODIS、NOAA/AVHRR)的遥感数据,这些数据各有适宜的时空研究尺度,探讨它们所表征的土地覆盖特征的差异和在尺度转换模型中的作用对全球变化研究是非常有益的。同时,在如 NECT 样带等区域尺度的研究中,确定研究土地覆盖空间格局的适宜的数据空间分辨率是非常重要的。一般来说,在这个区域尺度上进行资源调查,采用几十米至 100 m 的空间分辨率较为合适(陈述彭等,1990),进行土地覆盖空间格局研究,这个分辨率当然也是合适的。但存在的问题是,需要处理的遥感数据量大、资金昂贵。因此,在较大区域的土地覆盖格局研究中,目前采用得较多的仍是 NOAA/AVHRR 数据。近年,美国发射升空的 EOS-AM-1 卫星上搭载的中分辨率成像光谱仪(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: MODIS)传感器所获得的数据,具有 250 m、500 m、1 000 m 3 种较高空间分辨率以及 36 个分布在 0.4 ~ 14 μm 的光谱波段,并为全球免费接受,已成为全球土地覆盖研究中的最新数据源(Muchoney *et al.*, 2000)。这些技术上的进步必然带来区域乃至全球尺度土地覆盖空间格局研究精度的进一步提高。总的来说,事实上空间分辨率的选择主要应根据所研究的目标和内容而定。

6) 未来的研究将主要集中于解释、预测在不同尺度上对土地覆盖变化过程理解的差异,在此基础上为不同尺度的模拟生态过程的模型提供参数,为进行多尺度对地观测和地表环境变化的模拟以及尺度转换研究奠定基础。

参 考 文 献

- Benson, B. J. & M. D. MacKenzie. 1995. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. *Landscape Ecology*, **10**: 113 ~ 120.
- Bian, L. & R. Butler. 1999. Comparing effects of aggregation methods on statistical and spatial properties of simulated spatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **65**: 73 ~ 84.
- Brent, N. H. 1986. Characteristics of maximum-value composite image from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, **7**: 1714 ~ 1734.
- Chen, L. D. (陈利顶) & B. J. Fu (傅伯杰). 1996. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **16**: 337 ~ 344. (in Chinese with English abstract)
- Chen, S. P. (陈述彭) & Y. S. Zhao (赵英时). 1990. Geoscience analysis of remote sensing. Beijing: Mapping Press. (in Chinese)
- Editing Committee for Vegetation Atlas of China in the Chinese Academy of Sciences (中国科学院中国植被图集编辑委员会). 2001. 1:1 million vegetation atlas of China. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Ehrlich, D., J. E. Estes & A. Singh. 1994. Application of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, **15**: 145 ~ 161.
- Fu, B. J. (傅伯杰). 1995. Analysis on spatial pattern of landscape in loess region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **15**: 113 ~ 120. (in Chinese with English abstract)
- Koch, G. W., R. J. Scholes, W. L. Steffen, P. M. Vitousek & B. H. Walker. 1996. IGBP report 36: IGBP Terrestrial Transect-Science Plan. Stockholm, Sweden: Gothenburg Press.
- Li, X. B. (李晓兵) & P. J. Shi (史培军). 1999. Research on regulation of NDVI change of Chinese primary vegetation types based on NOAA/AVHRR data. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **10**: 314 ~ 324. (in Chinese with English abstract)
- Liu, M. L. (刘明亮), X. M. Tang (唐先明), J. Y. Liu (刘纪远) & D. F. Zhuang (庄大方). 2001. Study of spatial scale effect based on 1 km grid. *Journal of Remote Sensing* (遥感学报), **5**: 183 ~ 189. (in Chinese with English abstract)
- Loveland, T. R., B. C. Reed, J. F. Brown, D. O. Ohlen, Z. L. Zhu, L. M. Yang & J. W. Merchant. 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, **21**: 1303 ~ 1330.
- Marceau, D. J. 1999. The scale issue in the social and natural sciences. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **25**: 347 ~ 356.
- Marceau, D. J. & G. L. Hay. 1999. Remote sensing contributions to the scale issue. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **25**: 356 ~ 364.
- Moody, A. & C. E. Woodcock. 1995. The influence of scale and the spatial characteristics of landscapes on land cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecology*, **10**: 363 ~ 379.
- Muchoney, D., J. Borak & H. Chi. 2000. Application of the MODIS global supervised classification model to vegetation and land cover mapping of central America. *International Journal of Remote Sensing*, **21**: 1115 ~ 1138.

- O'Neill, R. V., J. R. Krummel, R. H. Gardner, G. Sugihara, B. Jackson, D. L. DeAngelis, B. T. Milne, M. G. Turner, B. Zygmunt, R. Christensen & S. W. Dale. 1988. Indices of landscape pattern. *Landscape Ecology*, **1**: 153 ~ 162.
- Pan, Y. Z., X. B. Li, P. Gong, C. Y. He, P. J. Shi & R. L. Pu. 2003. An integrative classification of vegetation in China based on NOAA/AVHRR and vegetation-climate indices of the Holdridge life zone. *International Journal of Remote Sensing*, **24**: 1009 ~ 1027.
- Peter, M. A. & P. J. Curran. 1997. Choosing an appropriate spatial resolution for remote sensing investigations. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **63**: 1345 ~ 1351.
- Running, S. W., D. P. Baldocchi, D. P. Turner, S. T. Gower, P. S. Bakwin & K. A. Hibbard. 1999. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sensing of Environment*, **70**: 108 ~ 127.
- Shi, P. J. (史培军), J. Chen (陈晋) & Y. Z. Pan (潘耀忠). 2000. Land use change mechanism in Shenzhen city. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), **55**: 151 ~ 160. (in Chinese with English abstract)
- Townshend, J. R. G. 1994. Global data sets for land applications from the Advance Very High Resolution Radiometer: an introduction. *International Journal of Remote Sensing*, **15**: 3319 ~ 3332.
- Woodcock, C. E. & A. H. Strahler. 1987. The factor of scale in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, **21**: 311 ~ 321.
- Xiao, D. N. (肖笃宁), Y. Zhao (赵羿), Z. W. Sun (孙中伟) & G. S. Sun (孙国枢). 1990. Study on the variation of landscape pattern in the west suburbs of Shenyang city. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **1**: 75 ~ 84. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, X. S. (张新时), G. S. Zhou (周广胜), Q. Gao (高琼), D. A. Yang (杨莫安), J. Ni (倪键), Q. Wang (王权) & H. P. Tang (唐海萍). 1997. Northeast China Transect (NECT) for global change studies. *Earth Science Frontiers* (地学前缘), **4**: 145 ~ 151. (in Chinese with English abstract)

责任编委: 周广胜 责任编辑: 张丽赫