

尺度分析对景观格局指标的影响*

布仁仓^{1,2,*} 李秀珍¹ 胡远满¹ 常禹¹ 贺红士¹

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

【摘要】 采用优势规则和随机规则为基础的两种尺度分析方法,对分类的 TM 数据进行了尺度变换分析。结果表明,随着尺度(粒度)增加,优势规则处理法使景观中优势类型的面积增加,非优势类型的面积减少。随机规则处理法使各景观类型的面积基本上保持不变。随尺度变大,整个景观和多数类型的最大斑块面积指标增加;最小斑块面积等于尺度大小的平方;平均斑块面积都增加;斑块数迅速减少。在优势规则系列中,多样性指标减小,而在随机规则处理中,基本没有变化。聚集度随尺度的增大而减小,但测量尺度固定的情况下,随图分辨率的提高而增大。随尺度的增加,Moran's I 指标减小,景观类型在空间上趋于随机分布。但是测量尺度固定的情况下,随图分辨率的提高而增大,景观类型在空间上趋于聚集分布。

关键词 尺度 聚集度 优势规则 随机规则

文章编号 1001 - 9332(2003)12 - 2181 - 06 **中图分类号** Q149 **文献标识码** A

Scaling effects on landscape pattern indices. BU Rencang^{1,2}, LI Xiuzhen¹, HU Yuanman¹, CHANG Yu¹, Hong S. He¹ (¹ Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; ² Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(12): 2181 ~ 2186.

The methods of spatial data aggregation based on majority and random rules were used in this study to reveal the scaling effects on landscape pattern in a classified TM imagery with 8 land cover types. For the majority rule-based aggregations, the proportion of most common cover types increased slowly, while that of less common cover types decreased rapidly with increasing grain. For random rule-based aggregation, each cover remained its original area on the aggregated maps. The largest patch size of shrub decreased, and those of the others increased in the majority rule-based aggregations with increasing scales. For random rule, the largest patch size of water (smallest cover type) decreased, but that of the others increased. The smallest patch size of each cover type was equal to the square of grain sizes. The average patch size of each cover type increased with increasing scales. However, the average patch size of dominant cover types increased rapidly in majority rule-based aggregations, while that of less common cover types increased rapidly in random rule-based aggregation. The patch count of each cover types decreased substantially with increasing grain. Random rule-based aggregation made landscape more fragmented and remained more patches. The diversity decreased in majority rule-based aggregation, and maintained its original value in random rule-based aggregation with increasing scales. Aggregation indices decreased with increasing map and measurement resolution, and the landscape became more aggregated in majority rule-based aggregation. However, under fixed measurement resolution (e. g., 30 m), aggregation indices increased and cover types were more clustered with increasing resolution. Moran's I decreased rapidly with increasing measurement and map resolution, and each cover type tended to be arranged randomly and independently in space. However, under fixed measurement resolution (e. g., 30 m), Moran's I increased and cover types were more clustered on aggregated maps than on original map with increasing map resolution.

Key words Spatial scale, Aggregation, Majority rule, Random rule.

1 引言

当今生态学研究的对象(如全球变暖和景观动态分析等)都需要从陆地或全球角度,在不同空间尺度上分析或考虑问题。如果把小尺度上观测到的数据转换到大尺度上,由于数据量和运算时间等限制,需要合适的尺度分析方法。因此,尺度分析方法的研究势在必行。

空间尺度包括范围和粒度^[14,15],范围指整个研究区的大小,是空间尺度的上限,而粒度指最小空间

分辨率,是空间尺度的下限。尺度研究通常在范围固定的基础上评价分辨率变化对景观的影响。分辨率有两种,图分辨率和测量尺度^[9]。图分辨率指图上的最小的空间分辨率,测量尺度是指数据采集过程所用的分辨率。以往的研究中,测量分辨率和图分辨率往往相等,忽略了不相等的情况^[1,2,7,9,11~16]。

* 中国科学院引进国外杰出人才项目和中国科学院知识创新工程资助项目(SCXZY0102、SCXZD0101和KZCX2-SW-320-3)。

* * 通讯联系人。

2003 - 03 - 03 收稿,2003 - 05 - 08 接受。

尺度分析中一般用优势规则为基础 (Majority rule-based) 和随机规则为基础 (Random rule-based) 的方法^[9,16]。在优势规则处理中,从输入的网格 (Cells) 中选取网格数量最多的类型作为输出网格的类型,如果存在两个或多个优势类型,随机选取其中之一作为输出网格的类型。在随机规则中,从输入网格中随机选择一个网格,其类型作为输出网格的类型。景观指标在某种意义上可以量化景观格局^[11],因此用来比较和评价上述方法的尺度效应。

2 研究地区和研究方法

2.1 研究地区概况

研究区位于辽宁省西部朝阳市北部,以及内蒙古赤峰市南缘,总面积为 $1.37 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。地理位置为 $119^\circ 21' 29'' \sim 120^\circ 47' 30'' \text{ E}$, $41^\circ 08' 56'' \sim 42^\circ 11' 04'' \text{ N}$ 。对本地区的陆地资源卫星 (TM) 影像数据进行分类,获得景观类型图,共有 8 个类型。此图的分辨率为 30 m (空间尺度),由 3 970 行 3 850 列构成的。耕地以旱地为主,占景观的 30.81%。灌丛由荆条 (*Vitex negundo*)、酸枣 (*Zizyphus jujube*)、多花胡枝子 (*Lespedeza floribunda*)、花木蓝 (*Indigofera kirilowii*) 和虎榛子 (*Ostryopsis davidiana*) 等为建群种的灌丛组成^[4],覆盖景观的 28.04%。草地的主要建群种有长芒草 (*Stipa bungeana*)、羊草 (*Leymus chinensis*)、大针茅 (*Stipa grandis*) 等^[4],占整个景观的 18.77%。针叶林主要成分是油松 (*Pinus tabulaeformis*),主要分布在丘陵的阴坡或高山的山脊和较陡峭的阳坡,占景观的 6.27%。阔叶林主要建群种有蒙古栎 (*Quercus mongolica*)、辽东栎 (*Quercus liaotungensis*)、山杨 (*Populus davidiana*)、小叶杨 (*Populus simonii*) 和刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)^[4],覆盖整个景观的 6.35%。居民点零星分布在整个景观中,占整个景观的 4.93%。裸地占整个景观的 4.76%,水体占 0.07%,包括一些水库和较大的河流。从植被和地理环境条件来看,本地区应属于农牧交错带。

2.2 研究方法

研究中采用了优势规则为基础的和随机规则为基础的尺度分析方法。在优势规则中 (简称 RuleM),从输入网格中选取网格数量最多的类型作为输出网格的类型,如果存在两个或多个优势类型,随机选其中之一作为输出网格的类型。比如以原分辨率为 30 m 的底图形成尺度为 180 m 的新图时,从图的右上角开始选取 6×6 的小块 (包含 36 个网格),计算出小块内各类型的网格数 (类型 A 占 20 个, B 占 10 个, C 占 6 个),则类型 A 成为输出网格的类型。输出网格的大小等于尺度的平方,即 $180 \text{ m} \times 180 \text{ m}$,而且只有一个输出网格。在随机规则中 (简称 RuleR),从输入网格随机选择一个类型作为输出网格的类型。以 180 m 的输出尺度为例,从图的右上角开始选取 6×6 的小块 (包含 36 个网格),从 36 个网格中随机选取一个网格 (如选中了 2 行的 4 号网格,其类型是 C),C 成为输出网格的类型。

本项研究的分析尺度,从原来的 30 m 增加到 990 m。为了避免网格分割带来的复杂性,尺度的相互间隔设为 30 m,产生了不同尺度上的景观类型图。本文选用最大斑块、最小斑块、平均斑块面积、斑块数和多样性、聚集度^[8]等景观指数,对不同尺度处理后的景观类型图进行了格局分析。

Moran 系数 (简称 Moran's D) 能表明景观的空间分布类型和景观类型之间的空间相关关系^[3,5,6,10],计算公式为:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_j (x_j - \bar{x})^2}$$

式中, N 指景观类型图的网格总数; i, j 指任何相邻的两个网格, x_i 指网格 i 的值, x_j 指网格 j 的值; \bar{x} 指所有网格的平均值。 W_{ij} 是网格 i 和网格 j 的空间相似程度,如果 i 和 j 直接相邻,则 $W_{ij} = 1$; 反之, $W_{ij} = 0$ 。 S_0 指相邻网格的总数。此指数的取值范围为 -1 到 1。如果 $I > 0$,表明景观类型在空间上聚集分布,类型之间在空间上相互关联;如果 $I = 0$,景观类型在空间上随机分布,类型之间不存在任何关联。如果 $I < 0$,景观类型在空间上均匀分布,类型之间的关系更密切。

3 结果与讨论

3.1 景观类型的面积百分比

在 RuleM 中,当尺度为 30 ~ 120 m 之间时,所有景观类型的面积没有明显变化 (图 1),但从 150 m 开始具有明显变化。当尺度增加到 990 m 时,耕地面积增加了 7.44%,灌木林面积增加了 1.93%,草地面积仅增加了 0.10%。剩余类型的面积均减少,其

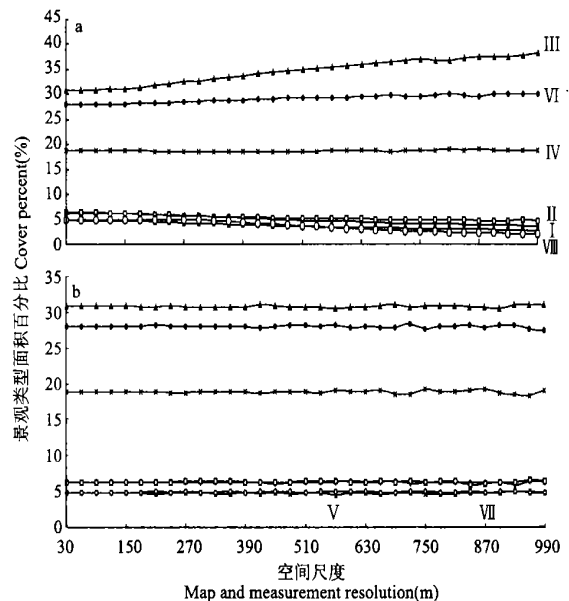


图 1 景观类型的面积变化率与空间尺度的关系
Fig. 1 Percent of cover types on different scales.

· 针叶林 Coniferous forest; · 阔叶林 Broadleaf forest; · 耕地 Cultivated land; · 草地 Grassland; · 沙地 Sand land; · 灌木林 Shrub; · 水体 Water; · 居民点 Residential. a: RuleM, b: RuleR. 下同 The same below.

中居民点、裸地、阔叶林和针叶林的面积分别减少了 3.00、2.08、1.78 和 2.06%。面积最小的水体面积减少了 0.04%。在 RuleR 中,各景观类型基本保持了原面积(图 1)。在分析的最后尺度上,耕地、草地、针叶林、阔叶林、沙地和水体的面积分别减少了 0.19、0.24、0.09、0.08、0.05 和 0.02%。灌木林和居民点的面积分别增加了 0.53% 和 0.14%。

从景观类型的百分比上可见,在 RuleM 中,优势景观类型(占据面积大)面积增加,非优势景观类型面积减少。当尺度足够大时,非优势类型可能从景观中完全消失。但这条规律并非一成不变,如草地面积基本上没变化,在 RuleM 中景观类型的空间分布决定着其面积变化。在 RuleR 中,所有景观类型都基本上保持了原有面积,但是尺度足够大时(如 20 km),非优势类型很可能从景观中消失。从景观类型的百分比看,随机规则为基础的处理方法比较好,基本上保持了景观类型的面积。

3.2 景观类型的最大斑块

在 RuleM 中,随着尺度的增加,灌木林的最大斑块从 41 438.88 hm² 缩小到 8 624.88 hm²(图 2),其余类型的最大斑块面积都增加。针叶林的最大斑块面积增加程度最大,最后从 1 096.74 hm² 增加到 142 604.54 hm²。在 RuleR 中,水体的最大斑块面积从 253.08 hm² 缩小到 196.02 hm²。水体的面积最小,在随机采样中被遗漏而导致相邻网格的数量减少,从而引起以上结果。其余类型的最大斑块都增加。

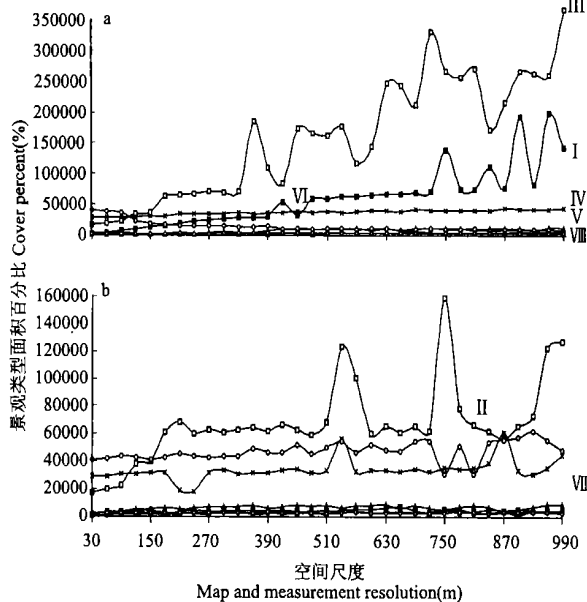


图 2 最大斑块面积与空间尺度的关系
Fig. 2 Largest patch size of cover types on different scales.

大尺度上最大斑块面积的增加表明了景观在小尺度上的聚集程度,即在小尺度上大斑块周围有同类小斑块,在尺度变换中这些小斑块合并到大斑块中,因而扩展了大斑块的面积。如果大斑块周围没有同类小斑块或同类斑块之间的距离较大,最大斑块无法扩展,反而失去边缘上的网格,其面积减少。对景观来讲,最大斑块面积的变化还受处理方法的制约,例如灌木林的最大斑块面积,在 RuleM 中减少,而在 RuleR 中增加。

3.3 景观类型的最小斑块

两种处理方法中,所有类型的最小斑块面积相同,等于空间尺度的平方,即一个网格大小。因此景观中的最小斑块面积随尺度增加而增大。从最小斑块的面积可知,随空间尺度增加,构成景观的斑块面积都在增加,景观趋向于团聚分布。

3.4 平均斑块面积

在 RuleM 中,优势景观的平均斑块面积快速增加,而非优势类型的缓慢增加(图 3)。在 RuleR 中,所有类型的平均斑块面积都增加,但优势类型的增加较快。在 RuleM 中平均斑块面积的增加较 RuleR 处理的大。平均斑块面积的增加,进一步说明了景观中的小斑块不断地消失,融入到其背景类型中或合并成大斑块。RuleM 比 RuleR 使景观更加团聚分布。

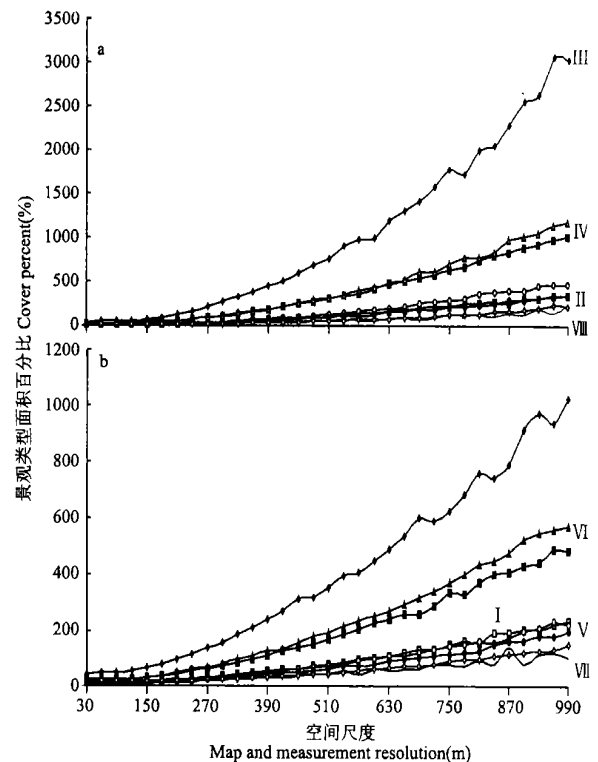


图 3 平均斑块面积与空间尺度的关系
Fig. 3 Average patch size of cover types on different scales.

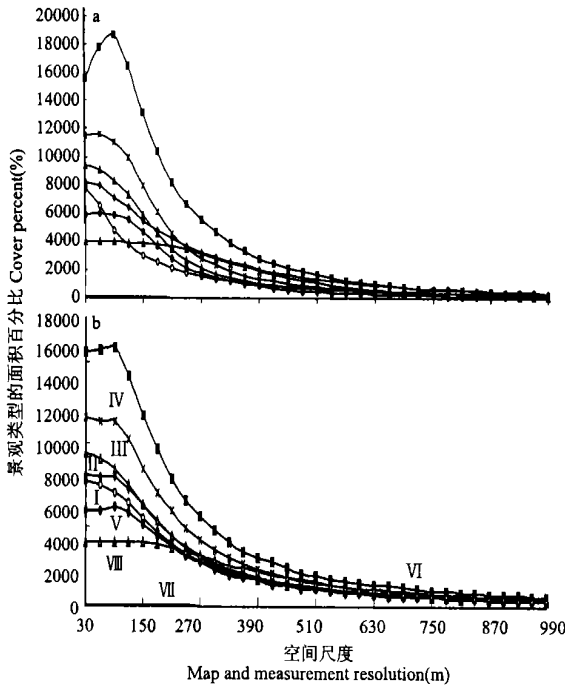


图4 斑块数与空间尺度的关系
Fig. 4 Patch counts of cover types on different scales.

3.5 斑块数

随尺度增加,景观中的斑块数大幅度减少.在 RuleM 中,整个景观的斑块数从 62 332 个减少到 1 502 个(图 4).灌木林的斑块数变化比较特殊,当尺度从 30 m 增加到 90 m 时,从 15 602 个增加到 18 704 个,之后开始减少.灌木林斑块数的变化充分说明了其最大斑块面积的减少,是因为处理过程中它过多地被其他类型分割,形成了新的小斑块.在 RuleR 中,起初所有类型的斑块数多有所增加,之后逐渐减少,最后整个景观的斑块数减少到 5 448 个.

随空间尺度增加,尺度的过滤作用使小斑块消失或合并,景观中的斑块数减少,景观的平均斑块面积增加,在空间上更加团聚.随机规则使景观破碎化较为严重,景观中形成了由单个网格组成的小斑块增多.

3.6 多样性(Shannon-Weiner diversity)

从信息论的角度看,多样性能表明空间信息的丢失程度,其值取决于景观类型的百分比和类型数. RuleM 中,多样性从 1.68 降到 1.482(表 1).在 RuleR 中,多样性基本保持了 1.68,其变化幅度仅为 0.01.多样性的减少表明了优势类型的面积增加,非优势类型的减少.景观类型数没有变化的情况下,多样性综合地说明了类型面积变化.随尺度增加,多样性的减少说明了优势类型的优势度更加突出,而非

优势类型更趋于消失.因此,如果尺度变换中力求维持多样性信息不变,应该选用 RuleR.

表 1 多样性与空间尺度的关系

Table 1 Diversity indices on different scales

尺度 Scale (m)	RuleM	RuleR	尺度 Scale (m)	RuleM	RuleR
30	1.68	1.68	540	1.57	1.68
60	1.68	1.68	570	1.57	1.68
90	1.68	1.68	600	1.56	1.68
120	1.68	1.68	630	1.55	1.68
150	1.67	1.68	660	1.54	1.68
180	1.67	1.68	690	1.54	1.68
210	1.66	1.68	720	1.53	1.68
240	1.65	1.68	750	1.53	1.68
270	1.64	1.68	780	1.53	1.68
300	1.64	1.68	810	1.51	1.68
330	1.63	1.68	840	1.51	1.68
360	1.62	1.68	870	1.51	1.68
390	1.61	1.68	900	1.50	1.69
420	1.61	1.68	930	1.50	1.68
450	1.60	1.68	960	1.49	1.69
480	1.59	1.68	990	1.48	1.68
510	1.58	1.68			

表 2 聚集度与图分辨率和测量尺度的关系

Table 2 Aggregation index with increasing map resolution and fixed measurement resolution

图分辨率 Map resolution (m)	测量尺度与图分辨率相等 Under measurement resolution = map resolution		测量尺度固定不变(30 m) Under fixed measurement resolution (30 m)	
	RuleM	RuleR	RuleM	RuleR
30	0.90	0.90	0.90	0.90
60	0.80	0.79	0.90	0.89
90	0.73	0.68	0.91	0.89
120	0.67	0.61	0.92	0.90
150	0.64	0.54	0.93	0.91
180	0.61	0.50	0.94	0.92
210	0.60	0.46	0.94	0.92
240	0.60	0.42	0.95	0.93
270	0.59	0.40	0.96	0.93
300	0.58	0.37	0.96	0.94
330	0.59	0.35	0.96	0.94
360	0.58	0.34	0.97	0.95
390	0.58	0.32	0.97	0.95
420	0.58	0.31	0.97	0.95
450	0.58	0.30	0.97	0.95
480	0.58	0.28	0.97	0.96
510	0.58	0.28	0.98	0.96
540	0.58	0.27	0.98	0.96
570	0.58	0.26	0.98	0.96
600	0.58	0.25	0.98	0.96
630	0.58	0.25	0.98	0.96
660	0.58	0.24	0.98	0.97
690	0.58	0.23	0.98	0.97
720	0.59	0.23	0.98	0.97
750	0.59	0.23	0.98	0.97
780	0.58	0.22	0.98	0.97
810	0.58	0.22	0.99	0.97
840	0.58	0.22	0.99	0.97
870	0.58	0.21	0.99	0.97
900	0.58	0.21	0.99	0.97
930	0.58	0.21	0.99	0.98
960	0.58	0.20	0.99	0.98
990	0.58	0.20	0.99	0.98

3.7 聚集度(Aggregation index)

随着图分辨率和测量尺度的增加,聚集度指标值减少,在 RuleM 中从 0.90 减少到 0.58(表 2),在 RuleR 中减少到了 0.20. 这是因为该指标表达的是图中同类型网格单元的相对聚集或分散情况,尺度增大,总网格数目减少,同类网格相对聚集程度减小.在 RuleR 中景观类型比较分散分布,在 RuleM 中景观类型较聚集分布.

在测量尺度固定的情况下(30 m),随着图分辨率的增加,聚集度增加(表 2).在 RuleM 中从 0.90 增加到 0.99,在 RuleR 中增加到了 0.98.当测量尺度固定时,随图分辨率的增加,景观类型在空间上呈聚集分布,而且聚集程度大于起初状态.

3.8 Moran's I 系数

正的空间自相关表明景观类型在空间上聚集分布,负的空间自相关表明景观类型在景观中呈分散分布.随着图分辨率和测量尺度的增加,在 RuleM 中, Moran's I 与图分辨率呈现出负相关关系,从

表 3 Moran's I 与图分辨率和测量尺度的关系

Table 3 Moran's I with increasing map resolution and fixed measurement resolution

图分辨率 Map resolution (m)	测量尺度与图分辨率相等 Under measurement resolution = map resolution		测量尺度固定不变(30 m) Under fixed measurement resolution (30 m)	
	RuleM	RuleR	RuleM	RuleR
30	0.86	0.86	0.86	0.86
60	0.72	0.72	0.86	0.86
90	0.61	0.60	0.87	0.87
120	0.53	0.51	0.88	0.88
150	0.47	0.44	0.90	0.89
180	0.43	0.38	0.91	0.90
210	0.40	0.34	0.92	0.91
240	0.38	0.30	0.92	0.91
270	0.37	0.28	0.93	0.92
300	0.35	0.26	0.94	0.93
330	0.34	0.24	0.94	0.93
360	0.33	0.22	0.95	0.94
390	0.33	0.21	0.95	0.94
420	0.33	0.19	0.95	0.94
450	0.32	0.18	0.96	0.95
480	0.32	0.17	0.96	0.95
510	0.32	0.17	0.96	0.95
540	0.32	0.16	0.96	0.95
570	0.32	0.15	0.96	0.96
600	0.32	0.15	0.97	0.96
630	0.32	0.14	0.97	0.96
660	0.32	0.14	0.97	0.96
690	0.33	0.13	0.97	0.96
720	0.33	0.12	0.97	0.96
750	0.33	0.13	0.97	0.97
780	0.32	0.13	0.97	0.97
810	0.32	0.12	0.98	0.97
840	0.33	0.12	0.98	0.97
870	0.32	0.11	0.98	0.97
900	0.32	0.11	0.98	0.97
930	0.32	0.10	0.98	0.97
960	0.32	0.10	0.98	0.97
990	0.32	0.10	0.98	0.98

0.86减少到 0.32(表 3),在 RuleR 中,减少到 0.10.以上分析说明,随着尺度增大,景观类型从聚集分布逐渐转向随机分布.这在随机规则为基础的分析中更为明显.

但是测量尺度固定为 30 m 的情况下,随着图分辨率的增加, Moran's I 增加.在 RuleM 和 RuleR 中都从 0.86 增加到 0.98(表 3),景观类型在空间上呈现出更强的聚集分布.

聚集度和 Moran's I 的结果充分说明了它们对网格数量的依赖性.如果图分辨率和测量尺度都增加,景观中网格数减少,它们都减少;但当测量尺度固定而图分辨率增加时,景观中的网格数增加,它们都增加.不同的尺度类型得出相反的结果,因此应对尺度进行分类,同时说明那一种尺度下得出的结论.

4 结 论

4.1 在 RuleM 中,优势景观类型面积增加,非优势景观类型面积减少,甚至从景观中完全消失.在 RuleR 中,所有景观类型保持了原有的面积,但是尺度足够大时,非优势类型可能从景观中完全消失.

4.2 小尺度上聚集在大斑块周围的小斑块,在大尺度上合并到大斑块中,因而增加最大斑块的面积.如果大斑块周围没有小斑块或斑块之间的距离较大,可能导致最大斑块面积的减少.所有景观类型的最小斑块的面积相同,等于空间尺度的平方,景观中的最小斑块面积随尺度增加而增加.平均斑块面积增加,斑块数减少.尺度的过滤作用使小斑块不断地消失,融入到其背景类型中或合并成大斑块.

4.3 随尺度增加,在 RuleM 中多样性减小,而在 RuleR 中基本上没有变化.多样性的减小表明景观中优势类型的优势度更加明显,而非优势类型在景观中地位进一步下降.

4.4 随着测量尺度增加,聚集度减小.但固定的测量尺度(30 m)下,随图分辨率的增加,聚集度增加,景观类型呈现聚集分布.固定图分辨率的情况下,测量尺度决定聚集度的变化.

4.5 在尺度分析中, Moran's I 系数和测量尺度呈负相关关系,即景观类型从聚集分布逐渐趋向于随机分布.但是固定测量尺度的情况下,它们成正相关,景观类型在空间更加聚集.聚集度和 Moran's I 对网格数量非常敏感.如果图分辨率和测量尺度都增加,景观中网格数减少,它们都减少,但是固定的测量尺度和增加的图分辨率的情况下,景观中的网格数增加,它们都增加.

4.6 应根据研究目的,采用合适的处理方法.如果关注景观类型的面积,选取随机规则为基础的处理方法.如果关注景观类型的空间分布情况,应选取优势规则为基础的处理方法.

参考文献

- 1 Benson BJ, MacKenzie MD. 1995. Effects of sensor spatial resolution on landscape structure parameters. *Landscape Ecol*, **10**:113 ~ 120
- 2 Bu R-C (布仁仓), Wang X-L (王宪礼), Xiao D-N (肖笃宁). 1999. Scale analysis case study on Yellow river delta landscape. In: Xiao D-N (肖笃宁) ed. *Evolution of Landscape Ecology Study*. Changsha: Hunan Science and Technology Press. 127 ~ 135 (in Chinese)
- 3 Chou Y. 1991. Map resolution and spatial autocorrelation. *Geogr Anal*, **23**(3):229 ~ 246
- 4 Dong H-D (董厚德). 1987. *The Vegetation Regionalization of Liaoning*. Shenyang: Liaoning University Press. (in Chinese)
- 5 Gilbert B, Lowell K. 1997. Forest attributes and spatial autocorrelation and interpolation: Effects of alternative sampling schemata in the boreal forest. *Landscape Urban Plan*, **37**:235 ~ 244
- 6 Goodchild M. 1986. Spatial autocorrelation concepts and techniques in modern geography (CATMOG), No. 47. London: Institute of British Geographers. 56
- 7 He F, Legendre P, Bellehumeur C, et al. 1994. Diversity pattern and spatial scale: A study of a tropical rain forest of Malaysia. *Environ Ecol Statistics*, **1**:265 ~ 286
- 8 He HS, DeZonia B, Mladenoff DJ, et al. 2000. An aggregation index to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecol*, **15**:591 ~ 601
- 9 He HS, Stephen JV, Mladenoff DJ, et al. 2002. Effects of spatial aggregation approaches on classified landsat TM satellite imagery. *Intern J Geogr Inform Sci*, **16**(1):93 ~ 109
- 10 Kutsch WJ, Steinborn W, Herbst M, et al. 2001. Environmental indication: A field test of an ecosystem approach to quantify biological self-organization. *Ecosystems*, **4**:49 ~ 66
- 11 Mladenoff DJ, Niemi G, White MA, et al. 1997. Effects of changing landscape pattern and U. S. G. S. land cover data variability on ecoregion discrimination across a forest-agriculture gradient. *Landscape Ecol*, **12**:379 ~ 396
- 12 Moody A, Woodcock CE. 1995. The influence of scale and the spatial characteristics of landscape on land-cover mapping using remote sensing. *Landscape Ecol*, **6**:363 ~ 379
- 13 O'Neill RV, Hunsaker CT, Timmins SP, et al. 1996. Scale problems in reporting landscape pattern at the regional scale. *Landscape Ecol*, **11**(3):169 ~ 180
- 14 Turner MG, Dale VH, Gardner RH, et al. 1989. Predicting across scales: Theory development and testing. *Landscape Ecol*, **3**(3/4):245 ~ 252
- 15 Turner MG, O'Neill RV, Gardner RH, et al. 1989. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape Ecol*, **3**:153 ~ 162
- 16 Wickham JD, Ritters KH. 1995. Sensitivity of landscape metrics to pixel size. *Intern J Remote Sensing*, **16**:3585 ~ 3594

作者简介 布仁仓,男,1970年生,助理研究员,在职博士生,主要研究景观格局指标及景观模型,发表论文15篇. E-mail: BuRC@iae.ac.cn
