

文章编号: 1000-0585(2001)06-0752-09

土地利用空间格局的图形信息表达初步研究

刘湘南¹, 许红梅²

(1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024;

2. 北京师范大学资源科学研究所, 教育部自然灾害与环境演变开放研究实验室, 北京 100875)

摘要: 土地利用表现为在自然要素和人类活动的综合作用下的一系列异质性的图形。不同的土地利用空间格局的地学形成机制、生态功能、演化方向和对环境的影响各不相同, 其空间图形也千差万别。运用景观生态学原理、地理图形信息理论, 以位于中国北方农牧交错带的吉林省前郭县作为研究区, 在 GIS 的支持下, 归纳、抽象了各主要土地利用类型斑块形状及其描述参数, 探讨了土地利用空间格局和空间分布的表达方法 (VCM 曲线), 实现了土地利用空间格局图形的数量化描述和分析。其结果为从图形信息机理的角度研究土地利用格局的地学形成机制及生态功能、时空演化等方面奠定了基础。

关键词: 空间异质性; 土地利用格局; 图形化表达; VCM 曲线; GIS 分析

中图分类号: F301.24; P208 **文献标识码:** A

1 前 言

地理事物或空间目标的重要特征之一是在时空序列上表现为特定的图形, 不同的地理事物或同一地理事物的不同演化阶段, 其空间图形是各不相同的。地理图形包含着极其丰富的信息, 如成因机制、相互联系、生态功能、时空演化和环境效应等^[1,2]。因此, 研究地理空间图形, 建立图形描述的有效模型 (如图谱等), 挖掘图形所蕴涵的科学意义, 从图形机理的角度来探讨地理事物或空间目标的历史、现状和趋势, 是地理学特别是地理信息科学研究的重要发展方向。

土地利用变化是全球变化研究的重点内容。土地利用变化不仅表现在数量、质量方面的变化, 同时也表现为空间格局的变化, 因此, 空间格局及其变化是土地利用变化等研究的一个重要方面^[3]。目前, 对土地利用空间格局的描述主要采用景观空间结构的度量方法, 如用描述景观单元空间特征的形状指数、分维数和异质性等参数来反映不同土地利用类型斑块个体的空间特征, 用多度、频度、优势度等参数来表达斑块的空间组合, 用破碎度、连通度等参数来揭示斑块之间的空间关联^[4~10]。描述空间格局的数量化指标及模型很多, 但许多指标和方法在理论基础和实践应用上存在诸多问题, 有待进一步检验。因此, 如何构建和选择适当的模型和方法描述土地利用空间格局是土地利用变化研究的一个

收稿日期: 2001-04-16; 修订日期: 2001-10-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (49901017); 霍英东教育基金资助 (71029); 中国科学院长春净月潭遥感实验站基金资助项目

作者简介: 刘湘南 (1964 -), 男, 湖南衡阳人, 博士, 副教授。主要从事地理信息科学的教学与科研工作, 主持多项科研项目, 发表论文 30 余篇。E-mail: Liuxn@nenu.edu.cn

关键问题, 并且土地利用空间格局的数量化描述也是其地学形成机制及生态功能等方面研究的基础。本文根据景观生态学原理、地理图形信息理论, 用数学模型、特征图形来表达土地利用斑块及其空间格局, 从而把土地利用斑块及其空间分布模型化、规范化、系统化, 这对于识别不同土地利用类型斑块的图形特征及其空间格局规律, 解释每种土地利用类型的地学形成机理、演化的动力学机制及其生态功能都是非常必需和有效的。

2 研究方法

土地利用空间格局由土地利用斑块的类型、数量、形状、空间分布及空间组合所决定。在土地利用空间格局图形信息的表达与分析过程中, 一方面通过对遥感图像的处理与分析得到土地利用现状图, 并选取适当的指标和参数来定量描述土地利用斑块的基本图形特征; 另一方面基于 GIS 空间分析功能, 通过构建空间分析模型来反映不同土地利用类型的空间分布与组合。

2.1 土地利用斑块形状表述参数

斑块是土地利用空间图形的基本组成单元。一般地, 斑块边缘长度 (P) 和面积 (A) 是反映其形状基本参数^[11], 以这两个参数为基础进行运算, 可以得出斑块的形状指数 (D)、内缘比 (S)、分维数 (F) 和圆度 (C) 等参数, 不同参数具有其特定的地学意义。

斑块内缘比 (S) 是边长与面积的比值, 它反映了该斑块的边界效应, 通常情况下内缘比越大, 斑块与外界的物质与能量交换程度越高; 斑块的形状指数 (D) 是其周长与等面积的圆周长之比, 圆形斑块的形状指数为 1.0, 长条形多为 3~4, 形状指数小的斑块受外界干扰小, 更易于保持其内部资源; 斑块的分维数 (F) 是周长与面积的对数比, 其理论范围在 1.0~2.0, 1.0 代表形状最简单的正方形, 2.0 代表同等面积下边界最复杂的图形, 分维数在一定程度上反映了人类活动对斑块的影响程度, 人类活动影响程度越大, 斑块分维数越小; 圆度 (C) 是面积与周长平方的比值, 圆度值在 0~0.318 之间, 圆度值小斑块表现为狭长^[12]。这四个参数综合起来可以反映出斑块的图形特征。各参数计算方法如下^[13]:

$$\begin{aligned} F &= 2 \log (P/4) / \log (A) & S &= P/A \\ D &= P / (2 * \sqrt{A}) & C &= 4A / P^2 \end{aligned}$$

不同的土地利用类型是由面积不等、形状各异的斑块组成的, 同一土地利用类型中斑块的面积差异也很大。根据研究需要将土地利用斑块的面积分为 4 个等级: $< 0.1 \text{ km}^2$ 、 $0.1 \sim 1 \text{ km}^2$ 、 $1 \sim 10 \text{ km}^2$ 和 $> 10 \text{ km}^2$ 。各土地利用类型中斑块按面积等级的分布情况不同, 选取各等级中斑块数量最多的作为该土地利用类型的代表, 计算其图形参数, 并建立斑块面积与各种图形参数之间的关系曲线。通常不同土地利用类型的斑块, 其关系曲线变化趋势显著不同。根据各土地利用类型斑块的图形参数的差异, 可以从大量斑块中提取出代表该土地利用类型的特征斑块。

2.2 土地利用斑块空间格局描述方法: VCM 曲线

目前用于景观尺度或其它尺度上的空间分析方法存在一定不足, 主要表现为两方面, 其一, 忽视对空间结构变化的研究; 其二, 分析模型对空间尺度具有较强的依赖性, 如在景观生态学中度量斑块间空间关联程度的连通度、表示斑块分布状况的离散指标等都只适

用于特定的空间尺度,不能反映出某一景观类型斑块之间的聚散模式随距离的渐变过程,并且当改变研究的尺度或斑块的大小时,会导致空间结构的转变和空间分析结果的变化^[14]。本文利用 GIS 空间分析功能,采用适用于渐变尺度的空间结构度量方法,即 VCM (variable clumping method),用于识别土地利用斑块的空间分布规律。

VCM 方法以缓冲区分析为基础。缓冲区分析是 GIS 空间分析中最基本的方法之一,它是通过按一定的半径对指定的目标建立缓冲区来实现的(见图 1)。当对指定目标进行缓冲区分析时,如果相邻目标间的距离大于缓冲区半径的二倍时,它们之间的缓冲区是相互分离的,如果相邻目标间的距离小于缓冲区半径的二倍,它们之间的缓冲区就会叠加,如图 2 所示。在按特定半径进行缓冲区分析时,通过计算空间目标总数和出现缓冲区叠加的空间目标的数量,就可以得出空间目标的分布情况。该方法最初多用于分析城市中商场、医院等的空间分布,但存在一些缺陷,主要是只能用特定距离的缓冲区对空间目标进行分析,因而无法识别出空间目标在不同距离的分布情况。在后来的研究中不断将其改进,当缓冲区半径发生变化时,分析在不同的缓冲区半径上空间目标的缓冲区出现叠加的情况,这种方法称为 VCM^[15]。在本文中将该方法用于分析土地利用斑块之间的空间分布规律。当对某种土地利用斑块进行缓冲区分析时,斑块的缓冲区出现叠加的数量是由缓冲区半径和斑块的空间分布所决定的。随着缓冲区半径的不断变化,叠加集所包含的缓冲区发生叠加的斑块的数量也有所变化,根据这两者之间的关系可以定量地反映出斑块的空间分布格局。如果以缓冲区半径(m)作为 X 轴,以缓冲区发生叠加的斑块增加的个数(N)作为 Y 轴,就可以得到反映斑块空间分布格局的曲线,即 VCM 曲线。当土地利用斑块分布较集中时,斑块的缓冲区在其半径较小时就会出现叠加,这时曲线的峰值偏左,当斑块分布较分散时,斑块的缓冲区叠加多出现在半径较大时,通常曲线的峰值偏右,当斑块按相对固定的间距排列时,曲线在该缓冲区半径上出现峰值。

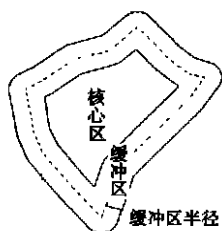


图 1 GIS 缓冲区分析示意图
(以线目标为例)

Fig. 1 GIS buffer analysis
(Buffer zone based on line)

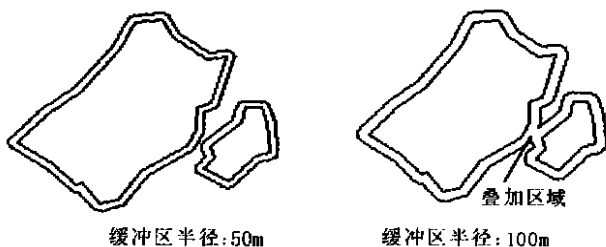


图 2 缓冲区半径变化与
叠加区域产生示意图

Fig. 2 Buffer radius change and
variable clumping method

2.3 研究区概况

吉林省前郭县地处松辽平原的东端、松嫩沙地的边缘,土地总面积 6 029.4km²,是我国环境演化的一级敏感地带。本研究中所用的数据包括前郭县 1996 年的 Landsat-TM 和相关专题图件。按照国家通用的土地利用现状分类系统,根据前郭县的情况和本研究的要求,将全县土地利用分为林地、草地、水域、居工地、耕地及其它 6 种类型。在数据处

理过程中，利用 PCI 遥感图像处理系统对 1996 年的 TM 遥感数据进行校正、增强处理，并结合相关专题图件，经过人机交互解译，得到 1 10 万土地利用现状图。

根据前郭县 1996 年土地利用图可以得到各土地利用类型的斑块数及斑块平均面积（见表 1）。从中可以看出，林地和居工地的斑块数最多，但斑块平均面积较小；耕地的斑块数较少，但斑块平均面积最大；草地、水域和其它土地利用类型的斑块平均面积居中。

表 1 各土地利用类型斑块数与斑块平均面积表

Tab. 1 The number and average area of different land-use types

	林地	草地	水域	居工地	耕地	其它
斑块数(个)	763	180	114	687	115	158
斑块平均面积(km ²)	0.663	6.014	5.199	0.465	23.844	4.979

3 结果与分析

3.1 不同土地利用类型斑块形状分析

前郭县不同土地利用类型的斑块按面积等级的分布情况如表 2 所示。其中林地、草地、居工地和其它土地利用类型的斑块在 0.1 ~ 1 km²上分布最多，水域的斑块主要集中于 1 ~ 10 km²，耕地在 0.1 ~ 1、1 ~ 10km²上分布情况相同。以林地、草地和居工地为例，分析其斑块的图形特征，各图形参数随斑块面积变化而变化的曲线如图 3、4、5。由此可见，不同斑块的图形参数曲线有明显区别。

表 2 不同面积等级各土地利用类型斑块分布表

Tab. 2 Distribution of different land-use patches on four area scales

类型 面积(km ²)	林地		草地		水域		居工地		耕地		其它	
	斑块数	百分比	斑块数	百分比	斑块数	百分比	斑块数	百分比	斑块数	百分比	斑块数	百分比
<0.1	147	19.2 %	9	5.0 %	17	14.9 %	45	6.6 %	19	16.5 %	6	0.38 %
0.1 ~ 1	537	70.4 %	89	49.4 %	24	21.1 %	600	87.3 %	40	34.8 %	73	46.2 %
1 ~ 10	61	8.0 %	65	36.2 %	69	60.5 %	41	6.0 %	40	34.8 %	61	38.6 %
>10	18	2.4 %	17	9.44 %	4	3.5 %	1	0.1 %	16	13.9 %	18	11.4 %
总计	763	100 %	180	100 %	114	100 %	687	100 %	115	100 %	158	100 %

从内缘比来看，居工地斑块的內缘比较小，且随着斑块面积的增大內缘比逐渐减小的趋势较明显，但草地斑块的內缘比较大，随面积增大而减小的趋势不明显，林地斑块的內缘比居中，随面积增大也呈明显的减小趋势。从形状指数来看，居工地斑块的形状指数随面积增加变化不大，基本在 1.1 ~ 1.5 范围内波动，林地斑块的形状指数随面积增大呈增加趋势，草地的变化趋势不很明显。从分维数来看，林地和草地斑块的分维数随面积增大呈增加趋势，且草地的分维数总体上略大于林地，居工地斑块的分维数变化不大。从圆度来看，林地、草地斑块的圆度随面积的增加都有减小的趋势，居工地斑块的圆度随面积增加变化不大。

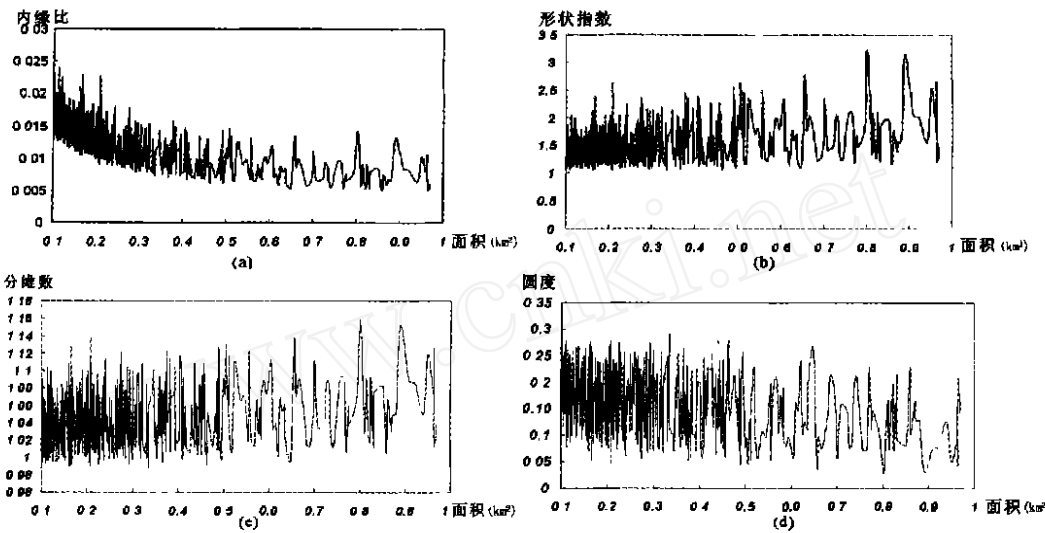


图 3 林地斑块面积与各图形参数关系曲线 (a) 内缘比 (b) 形状指数 (c) 分维数 (d) 圆度
Fig. 3 Relationship between forest patch area and graphic index
(a) interior rate (b) form index (c) fractal dimension (d) circularity

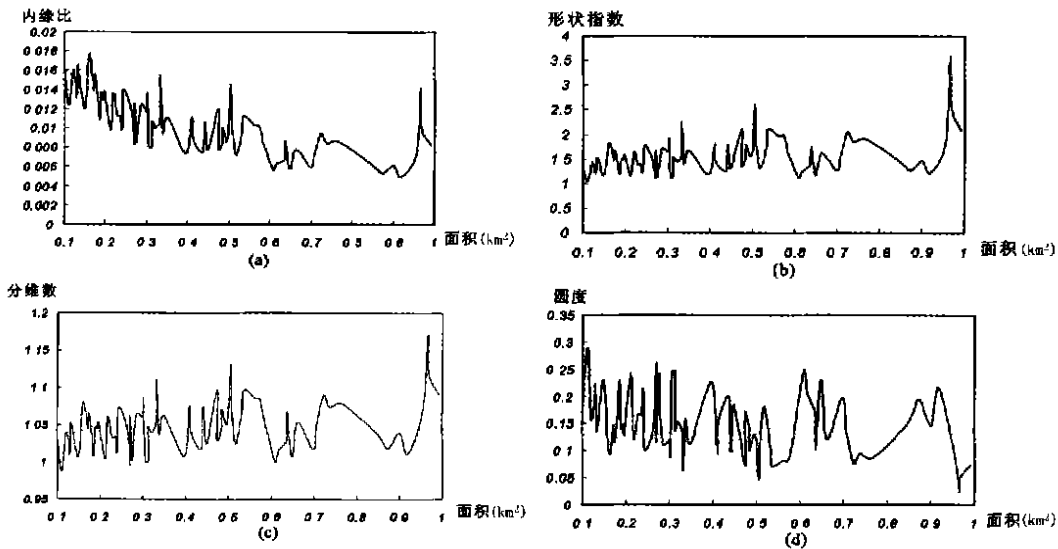


图 4 草地斑块面积与各图形参数关系曲线 (a) 内缘比 (b) 形状指数 (c) 分维数 (d) 圆度
Fig. 4 Relationship between grassland patch area and graphic index
(a) interior rate (b) form index (c) fractal dimension (d) circularity

3. 2 不同土地利用类型斑块特征图形

由于不同土地利用类型形成的地学机制各异, 因而其斑块的形状也有所不同, 并且同一土地利用类型的斑块, 在不同的面积等级上形状差异也较大。根据统计分析方法提取的各土地利用类型的特征斑块形状如图 6 所示。

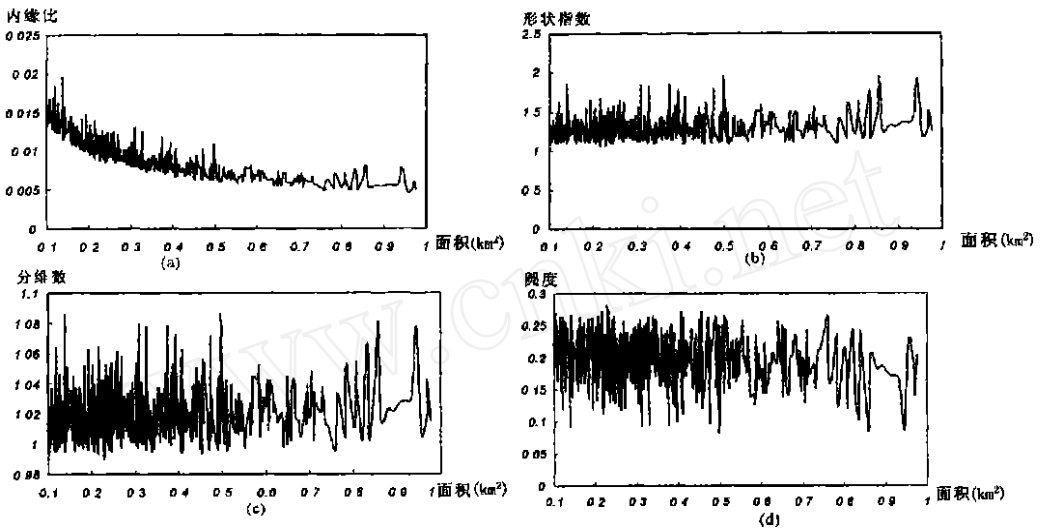


图 5 居工地斑块面积与各图形参数关系曲线 (a) 内缘比 (b) 形状指数 (c) 分维数 (d) 圆度
Fig. 5 Relationship between resident patch area and graphic index
(a) interior rate (b) form index (c) fractal dimension (d) circularity

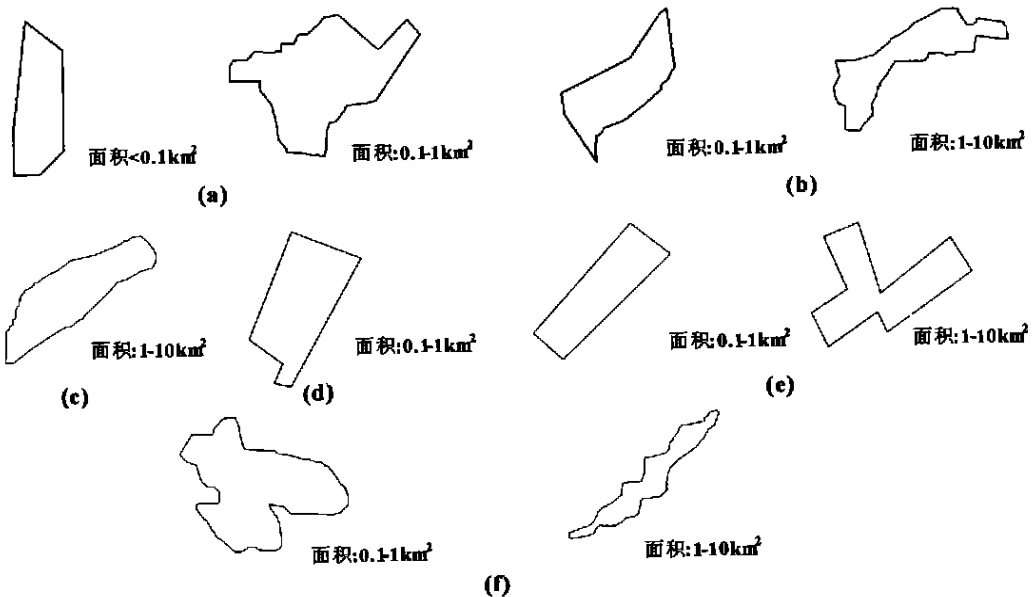


图 6 各土地利用类型特征斑块 (a) 林地 (b) 草地 (c) 水域 (d) 居工地 (e) 耕地 (f) 其它
Fig. 6 Typical patch of different land-use types
(a) forest (b) grassland (c) water (d) resident (e) farmland (f) others

通过对各土地利用类型特征斑块的分析，可以发现林地斑块在面积 $< 0.1 \text{ km}^2$ 时多表现为较规则的近矩形，而当面积在 $0.1 \sim 1 \text{ km}^2$ 时，形状趋于复杂。草地斑块在 $0.1 \sim 10 \text{ km}^2$ 之间都呈长条形，只是当面积增大时，边缘更为曲折。水域斑块多为近椭圆形，这与研究区

内水域大都位于呈条带状分布的新月形沙垄间的事实是相适应的。居工地斑块的形状为较简单的多边形，耕地在 $0.1 \sim 1\text{km}^2$ 为矩形，在 $1 \sim 10\text{km}^2$ 多表现为由多个矩形组成的矩形树。此外，居工地和耕地的斑块通常有直角出现，这是人为活动作用的最显著标志。其它土地利用类型的斑块多为不规则图形，边缘较为曲折。这些特征斑块的典型形状与图形参数的计算结果是相吻合的。

3.3 不同土地利用类型斑块空间分布规律分析

本研究中，确定缓冲区半径从 0m 开始，以 30m 的步长递增（与 TM 影像的空间分辨率相一致），最大缓冲区半径为 1 800m。如前所述，VCM 曲线能有效地反映土地利用类型斑块的空间分布规律。从图 7（a）林地的 VCM 曲线可以看出，在缓冲区半径（横坐标） $>1\,000\text{m}$ 后，缓冲区发生叠加的斑块数目较多，表明林地斑块在空间的分布比较分散，斑块间距离多大于 $2\,000\text{m}$ ，在 $600 \sim 800\text{m}$ 这一缓冲区半径范围内，缓冲区发生叠加的斑块数目（纵坐标）也较多，说明有部分林地斑块按这个规律分布。从图 7（b）可以看出草地的 VCM 曲线的峰值出现在 $300 \sim 500\text{m}$ 之间，缓冲区半径 $>800\text{m}$ 后，缓冲区发

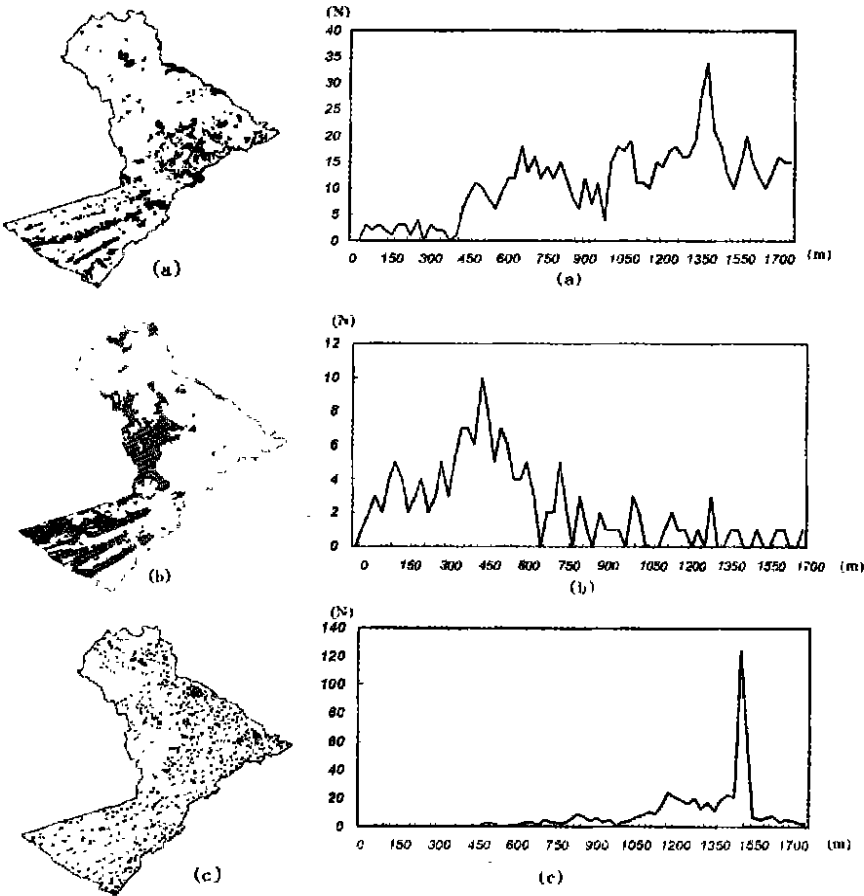


图 7 不同土地利用类型斑块空间分布及 VCM 曲线 (a) 林地 (b) 草地 (c) 居工地

Fig. 7 Distribution of different land-use patches and VCM curve
(a) forest (b) grassland (c) resident

生叠加的斑块增加的较少, 这说明草地斑块的空间分布较为集中, 斑块的间距多小于 1 000m。图 7 (c) 居工地的 VCM 曲线只在 1 500m 处有一个较明显的峰值, 表明居工地斑块在空间上按 3 000m 的间距比较规则地排列。

4 结论与讨论

土地利用空间格局由土地利用斑块的数目、形状及空间组合等决定。本文以吉林省郭县为研究区, 初步探讨了土地利用空间格局的图形信息表达方法, 得到了以下结论:

(1) 依据斑块的周长和面积这两个基本参数, 计算了斑块的内缘比、形状指数、分维数和圆度, 并以此作为斑块的图形特征参数, 分析了林地、草地和居工地这三种土地利用类型中面积在 $0.1 \sim 1\text{km}^2$ 的斑块的图形参数与面积之间的关系, 以及不同土地利用类型斑块的相同图形参数的差异。结果表明, 不同土地利用类型斑块各图形参数之间差异明显, 并且随面积变化趋势也各不相同。

(2) 提取了各种土地利用类型的特征斑块, 其中居工地和耕地因主要受人为活动影响, 斑块较规则, 多为近矩形或矩形树; 林地的斑块形状在面积小时也较规则, 面积增大后变得复杂; 草地多为长条形, 水域为近椭圆形, 其它土地利用类型的斑块为不规则图形。

(3) 为了探讨各土地利用类型斑块的空间分布规律, 本文运用 GIS 的空间分析功能, 根据缓冲区半径和缓冲区发生叠加的斑块数目变化之间的 VCM 曲线, 分析了林地、草地和居工地的斑块在空间上的排列规律。结果表明, 林地斑块在空间上的分布较分散, 草地分布相对比较集中, 居工地斑块分布较均匀。

参考文献:

- [1] 陈述鹏, 岳天祥. 地学信息图谱研究及应用[J]. 地理研究, 2000, 19(4): 337 ~ 343.
- [2] Forman R T T. Land mosaics[M]. New York: Cambridge University, 1995.
- [3] 张惠远, 赵昕奕. 喀斯特山区土地利用变化的人类驱动机制研究[J]. 地理研究, 1999, 18(2): 136 ~ 142.
- [4] Weinstoerffer J, Girardin P. Assessment of the contribution of land use pattern and intensity to landscape quality: use of a landscape indicator[J]. Ecological Modelling, 2000, 130: 95 ~ 109.
- [5] 张惠远. 土地资源利用的景观生态优化方法[J]. 地学前缘, 2000, 7(suppl): 112 ~ 120.
- [6] 刘继生, 陈彦光. 城镇体系空间结构的分形维数及其测算方法[J]. 地理研究, 1999, 18(2): 171 ~ 178.
- [7] 陈立顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 46 ~ 51.
- [8] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation[J]. Landscape Ecology, 2000, 15(2): 115 ~ 130.
- [9] Sung Q C, Chen Y C, Chao P C. Spatial variation of fractal parameters and its geological implications[J]. Terrestrial Atmospheric and Oceanic Science, 1998, 9(4): 655 ~ 672.
- [10] 张青年. 基于空间结构分析的地图概括研究[J]. 地理研究, 2001, 20(5): 629 ~ 635.
- [11] Geoghegan J, Wainger L A, Bockstael N E. Spatial landscape indices in a hedonic framework: an ecological economics analysis using GIS[J]. Ecology economic, 1997, 23(3): 251 ~ 264.
- [12] 肖笃宁. 景观空间结构的指标体系和研究方法. 景观生态学: 理论、方法与实践[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [13] Forman R T T, Godron M. Landscape Ecology [M]. New York: John Wiley, 1986.
- [14] Foster D R, Fluet M, Boose E R. Human or natural disturbance: Landscape-scale dynamics of the tropical forests of Puerto Rico[J]. Ecology Apply, 1999, 9(2): 555 ~ 572.
- [15] Nakagoshi N, Nehira K, Someya T, Tanaka M, Kamada M, Takahashi F. Memoirs of the faculty of integrated arts and sciences[M]. Hiroshima University, Set. IV, 1991.

Graphic representation of spatial pattern of land use

LIU Xiang-nan¹, XU Hong-mei²

(1. School of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China; 2. Institute of Resource Science of Beijing Normal University and The Open Research Lab. of Environmental Change and Natural Disasters of the State Education Commission, Beijing 100875, China)

Abstract: Heterogeneity in land use is shaped as a result of complex interactions between climate, terrain, soil, water availability, and various human activities. Different land use spatial patterns have different geographic causative mechanisms, and the ecological functions and their spatial graphics also vary. The key problem of this study is the quantitative representation of different land use patches, and description of actual patches with graphics. In this article, landscape ecology and geographical graphic information theory are used to discuss this problem by taking Qianguo county of Jilin province in Northeast China as a case. Based on studies of numerous land use patches, we discuss the quantitative description and graphic presentation method of patch shapes of various principal land use types, obtain characteristic graphics of different land use types and law of spatial distribution. The results indicate that the interior rate of residential patch is the lowest, which decreases with the increase of patch area at the scale of 0.1 km^2 , while grassland is the highest which increases with the increase of area. The form index of residential patch and grassland changes slightly with patch area, and forest increases with patch area. The fractal dimension of grassland is high and increases with the patch area, while residential patch changes a little. The circularity of residential patch remains unchanged with the patch area changes. The patch shape of forest is mostly similar to rectangle as the patch area is less than 0.1 km^2 . The grassland patches shape as rectangle with curvatures at the edges. The patch shape of water area is similar to ellipse. The shapes of residential patch and farmland are simple, and farmland presents as echelon composed by several rectangles when the area is larger than 1 km^2 . These two land-use types are reflected intensively by human activities and the patch shapes often have right angles. The other patch shapes are irregular graphics with curvatures at the edges. The result of VCM analysis shows patches of forest are scatteredly distributed with patch distance mostly exceeding 2000 m. The patch distance of grassland is small, mostly less than 1000 m as patches are mostly distributed in concentration. Almost all residential patches are distributed regularly with patch intervals of 3000 m. This study provides basis for further analysis of the geographic causative mechanism and ecological function of different land use spatial patterns.

Key words: heterogeneity; land use pattern; graphic representation; VCM curve; GIS analysis