

闽东北沿海罗源县土地利用空间分布格局的多尺度分析

邱炳文

(福州大学空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室,福州大学福建省空间信息工程研究中心,福州 350002)

摘 要 在不同的空间尺度上,制约土地利用空间分布的影响因子及其影响程度并不相同,因此区域空间分布格局分析应优先考虑制约空间分布的影响因子识别及其影响程度的尺度依赖性的研究。本文以闽东沿海的罗源县为研究区域,采样统计方法与 GIS 技术,选取 20 个候选影响因子,研究了该县主要土地利用空间分布格局的影响因子及其空间尺度相关性。研究表明模型的解释能力、影响因子及其影响系数均会随研究尺度发生不同程度的变化,回归模型的解释能力以及主要影响因子的制约程度总体上均随研究尺度增大呈增强趋势。除受坡度、海拔高程等地形条件的严格制约外,罗源县主要地类均在一定程度上受到人口因素以及若干可达性因素的影响。

关 键 词 土地利用;多尺度分析;空间分布格局;空间化;福建省罗源县

土地利用在不同的规模尺度上具有不同的影响因素、演变机理与过程^[1],因此开展区域空间分布格局分析时应优先考虑制约空间分布的影响因子识别及其影响程度的尺度依赖性。有两种量化土地利用空间分布制约因素尺度依赖性的研究方法,其中一种方法为多尺度统计分析方法,分别计算在不同的空间尺度上土地利用空间分布和影响因素的关系,该方法由 Veldkamp A. 等人^[2]提出,而 De Koning 等人^[3]在此基础上做了一些改进,此后在国内外相关研究中得到很好的应用^[4-9]。另一种方法为多层次统计分析方法(multilevel modeling),是一种可以集成不同空间尺度与管理层次以及它们之间的相互作用的统计模型^[10],适合于具有明显的层次结构复杂多变的系统分析^[11]。它创建于 20 世纪 80 年代,由于其本身的层次结构特点首先被应用到社会科学领域,近年来在土地利用变化科学研究中也有一些应用^[12,13]。众多的研究结果均表明区域土地利用空间分布具有明显的多尺度特性,而目前的研究由于受到观测范围与分辨率的限制通常只能提供多尺度土地利用系统的部分信息^[2],因此非常有必要加强多尺度方法的区域实践研究^[14]。本文选取位

于闽东北沿海地区的罗源县作为研究区域,采取多尺度统计分析方法,开展研究区域内主要土地利用空间分布格局的影响因子及其空间尺度相关性分析研究。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

罗源县位于福建省东北沿海,北纬 26°23'~26°39',东经 119°07'~119°54',陆地面积 1081.2km²。辖 6 镇、5 乡。罗源县属中亚热带海洋性季风气候,多年平均气温 19°,降雨量 1650mm。2000 年人口 25.28 万。罗源县主要的地类为林地,其次为园地、水田、未利用地和水体,比重在 10%~20%之间,再次为农村居民点、旱地、工矿用地、城镇用地,而交通用地、草地所占比重极小(见图 1)。

1.2 数据来源

主要的数据来源包括:(1)罗源县 2000 年 1:1 万土地利用详查数据;(2)罗源县 2000 年社会经济统计年鉴;(3)罗源县 1:5 万 DEM 数据。

收稿日期:2007-05;修订日期:2008-01。

基金项目:国际科技合作项目(2007DFA21600);福建省科技计划重点项目(2006Y0019;2007I0016;2005I011);福建省自然科学基金项目(D0710011)。

作者简介:邱炳文(1973-),女,湖南浏阳人,助理研究员,博士。现从事 GIS 应用研究。Email: qubingwen@fzu.edu.cn

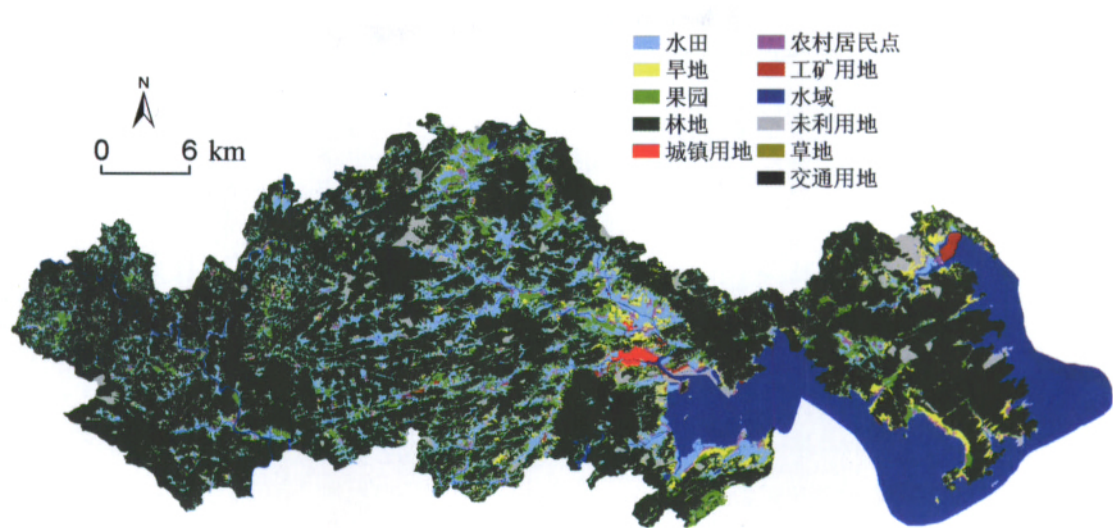


图 1 罗源县 2000 年土地利用现状图
Fig.1 Land use distribution map of Luoyuan County in 2000

2 研究方法

2.1 土地利用类型的划分

罗源县的土地利用详查数据采用国家公布的《全国土地利用分类系统（试行）》，为了分析的需要，本研究将原有的土地利用类型归并为 11 种不同的一级土地利用类型，分别为水田、旱地、园地、林地、草地、城镇用地、农村居民点、工矿用地、交通用地、水体、未利用地（见表 2），由于草地、交通用地所占面积极少，本文侧重研究除此之外的其它 9 种地类。

2.2 影响因子的选取与数据预处理

土地利用是社会经济与自然环境交互作用的结果，本研究中选择影响因子的依据是在尽可能综合考虑各种自然环境与社会经济因子的基础上，必须兼顾到数据的可获取性以及满足定量化、空间化

的需求，具体包括以下几个方面：（1）地形因子，包括海拔高程、坡度、坡向等变量；（2）水资源因子，包括离水源的距离；（3）可达性方面因子，包括与最近公路的距离、与最近农村道路的距离、与最近铁路的距离、与最近居民点或中心城镇的距离等；（4）社会经济因子。社会经济方面的变量非常多，但一般都以县为统计单元的统计数据，本研究通过将土地利用数据汇总到乡镇单元与社会经济统计数据进行分析发现人口因素与土地利用空间分布密切相关，因此主要选择人口因素作为社会经济方面的影响因子。为了保证聚合过程中信息的无损性，尽可能用其值在栅格单元中的百分比表示。本文所选取的罗源县土地利用候选影响因子见表 1。

为了分析与处理的方便，在本文中空间数据采用栅格格式，因此首先必须生成土地利用以及相应的研究区域内所有影响因子的栅格数据图层，并在此基础上形成基于基本研究单元的序列规模数据

表 1 研究区土地利用分类体系
Tab.1 Land use classification system of study area

一级地类	二级地类	一级地类	二级地类
水田	灌溉水田，雨养田，水浇地	农村居民点	农村居民点
旱地	旱地，菜地	工矿用地	独立工矿用地，盐田，特殊用地
园地	果园，桑园，茶园，橡胶园，其它园林	交通用地	铁路，公路，农村道路，民用机场，港口码头
林地	有林地，灌木林，疏林地，未成林造林地，迹地，苗圃	水体	河流，湖泊，水库，坑塘，苇地，浅海滩涂，沟渠，水工建筑物
草地	天然草地，改良草地，人工草地	未利用地	荒草地，盐碱地，沼泽地，沙地，裸土地，裸岩，石砾地，田坎，其它
城镇用地	城市，建制镇		

表 2 罗源县土地利用候选影响因子
Tab.2 Candidate land use driving factors in Luoyuan County

指标	指标含义	单位	指标	指标含义	单位
slope1	<5°的土壤所占的百分数		coreprox	距城市的距离	m
slope2	5°~15°的土壤所占的百分数		riverprox	距内河航道的距离	m
slope3	15°~25°的土壤所占的百分数		coveriver	距面状水系的距离	m
slope4	>25°的土壤所占的百分数		linriver	距线状水系的距离	m
north	北坡所占的百分数		highroad	距高等级公路的距离	m
east	东坡所占的百分数		ruralroad	距农村道路的距离	m
south	南坡所占的百分数		resiprox	距城乡居民点的距离	m
west	西坡所占的百分数		elevation	海拔高程	m
coast	距海岸线的距离	m	t_pop	总人口密度	人/km ²
townprox	距小城镇的距离	m	a_pop	农业人口密度	人/km ²

图层。在本文中,土地利用类型数据用它在该栅格中所占的百分比表示,而不是传统方法中用在该栅格中占主导地位的土地利用类型来表示,其优点在于它可以很好地保持数据的一致性。影响因子由于涉及各方面的因素,数据来源与格式均不相同,其处理方式也有差别。其中地形方面影响因子数据都从 DEM 获取,可达性方面的因子如与最近居民点的距离等,通过 ESRI ARCGIS 系列软件结合其 1:1 万空间分布图获得。人口方面数据由于其原始数据为来自罗源县统计年鉴以乡镇为统计单元的统计值,必须进行人口统计数据的空间化处理,其处理方法比较复杂,本文选择海拔高度、与海岸线的距离、河网密度、土地利用和道路网密度作为人口分布的影响因子,以居民点作为人口分布的重要指示因子,应用多源数据融合技术对罗源县人口统计数据进行了空间化^[15,16]。

在考虑到计算能力的限制的基础上,尽可能比较高的研究尺度,最终选择罗源县基本研究单元为 100m×100m,研究区域内总共有 133738 个基本研究单元。同时为了最大限度地保证信息的无损性,在影响因子的数据预处理中,首先生成 10m×10m 土地利用与影响因子栅格数据图层,然后在此基础上,通过平均值法聚合 (aggregate) 分别生成 1×1 (100m×100m) 基本研究单元以及 2×2 (200m×200m), 3×3 (300m×300m)~20×20 (2000m×2000m) 聚合规模 (空间尺度) 序列数据图层。

2.3 多元统计分析方法

采用逐步回归分析确定对土地利用空间分布贡献比较显著的自然与社会经济影响因子 (采用 0.05 的显著性水平作为选择标准), 用这些与土地利用空间分布关系密切的影响因子建立土地利用空间分布多元回归线性回归模型,如下式所示^[17]。

$$\text{Cover}_{x,y,t,c} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \text{Fact}_{x,y,t,1} + \alpha_2 \cdot \text{Fact}_{x,y,t,2} + \dots + \alpha_n \cdot \text{Fact}_{x,y,t,n}$$

其中 $\text{Cover}_{x,y,t,c}$ 为 t 年中栅格 x,y 中土地利用方式 c 所占的百分比, $\text{Fact}_{x,y,t,n}$ 为影响因子 n 在 t 年时栅格 x,y 中的值, α_n 为影响因子 n 的标准回归系数。

考虑到回归模型的简便性,只选取在逐步回归分析中贡献最大的前 7 个影响因子,因为增加更多的影响因子后模型的解释能力变化不大。修正的回归系数 (Adjusted r^2) 表示回归方程中自变量对因变量 (土地利用类型) 的解释水平,标准化回归系数 (standardized betas, 简称 stb) 可以用来衡量在该回归方程中各因变量的相对重要性大小。在不同研究尺度水平上重复进行土地利用与影响因子的逐步回归分析得到多尺度分析结果。

3 结果分析

图 2 分别显示了罗源县 2000 年 9 种主要地类的线性回归模型在 1~20 (100m×100m~2000m×2000m) 不同聚合规模上的修正回归系数 (Adjusted R^2) 值,所有的模型均达到 0.001 显著性水平。模型的修正回归系数值总体上随研究尺度的增大而升高,但在较高研究尺度时发生忽高忽低的不稳定现

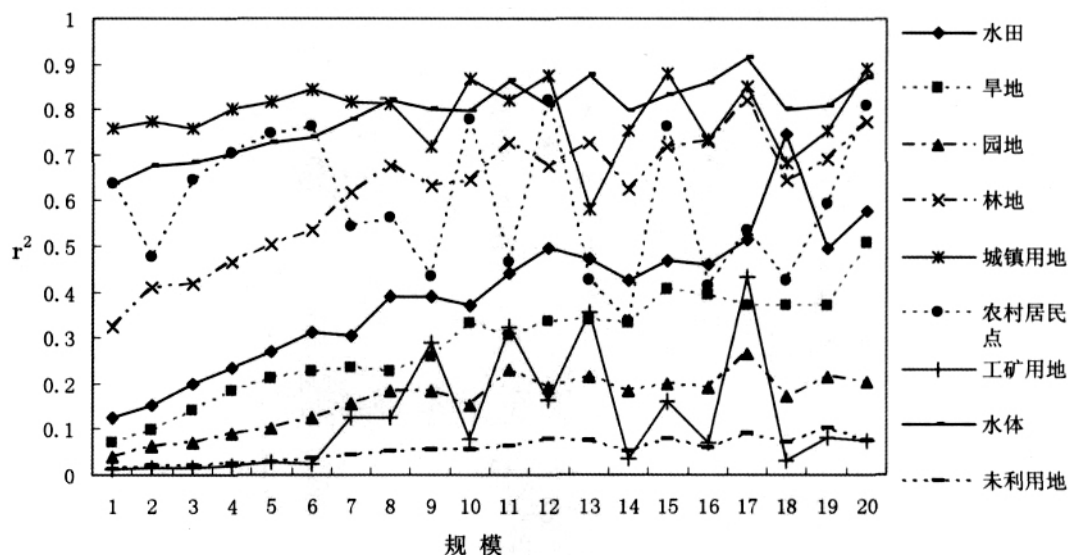


图2 罗源县2000年9种主要地类在不同尺度上线性回归模型的修正回归系数值

Fig.2 r^2 of multiple regression models for 9 land use types at 20 aggregation levels of Luoyuan city in 2000

象,其中农村居民点和工矿用地随尺度变化非常大。总体而言,城镇用地、水体的回归模型拟和性较好,在60~90%之间,其次为林地、农村居民点,在30~85%之间,再次为水田、旱地、园地、工矿用地等,在1~75%之间,未利用地的回归模型解释能力最低,均不足11%。鉴于篇幅,下面着重对制约罗源县2000年水田、旱地、园地和林地空间分布影响因子的影响程度随尺度变化规律作进一步的分析。

3.1 水田空间分布格局的多尺度分析

从影响罗源县2000年水田空间分布主要影响因子的贡献程度(标准回归系数)随尺度变化规律图(见图3)可以看出:(1)与海岸线的距离、坡度因子、农业人口密度、与城市的距离是制约水田分布的重要因素,这些因子的影响程度均随研究尺度增大呈增强的趋势,其中与海岸线的距离的影响程度随尺度变化比较大;(2)其次为高程、与居民点的距离,其影响程度随研究尺度的增大有一定的增强趋势;(3)再次为坡向因子,其影响仅仅体现在某些研究尺度上。

罗源县水田空间分布明显受到自然条件与社会经济因子的双重制约,它主要分布在邻近城市和居民点并且远离海岸线的海拔较低的平坦区域内。与龙海市水田分布特点相比,其共同点是对坡度因素的高度依赖以及水源条件极为有限的制约作用,其原因一方面是整个研究区域内相对充足的水源

条件,另一方面平坦区域内水资源必然充沛。所不同的是,罗源县水田与距海岸线的距离密切相关,究其原因可能是罗源县地势自西向东高低起伏,沿海区域较为干旱多为旱地分布,而龙海市地处九龙江溺谷地带,地势南北较高,中间低缓,沿海区域不易形成干旱^[18]。

3.2 旱地空间分布格局的多尺度分析

从影响罗源县旱地空间分布主要影响因子的贡献程度随尺度变化规律图(见图3)可以看出:(1)农业人口密度、与海岸线的距离几乎在所有研究尺度上均为制约旱地空间分布的重要因素,并且其制约程度随尺度增大呈增强趋势;(2)其次为与居民点的距离、与城市的距离、海拔高程、与农村道路的距离,其中与农村道路的距离的影响程度几乎不随研究尺度发生变化,而其它影响因子均随研究尺度增大呈增强趋势,因此在较大的研究尺度时逐渐被别的因子所取代;(3)再次为坡度因子,但其影响程度仅仅体现在较小的研究尺度上。

与水田类似的是,罗源县旱地空间分布受到地形条件和人口因素的双重制约,它主要分布在农业人口密度相对较高、远离城市但邻近居民点、海岸线和农村道路并且海拔高程较低的区域内。对比水田而言,旱地对自然条件的要求相对偏低。

3.3 园地空间分布格局的多尺度分析

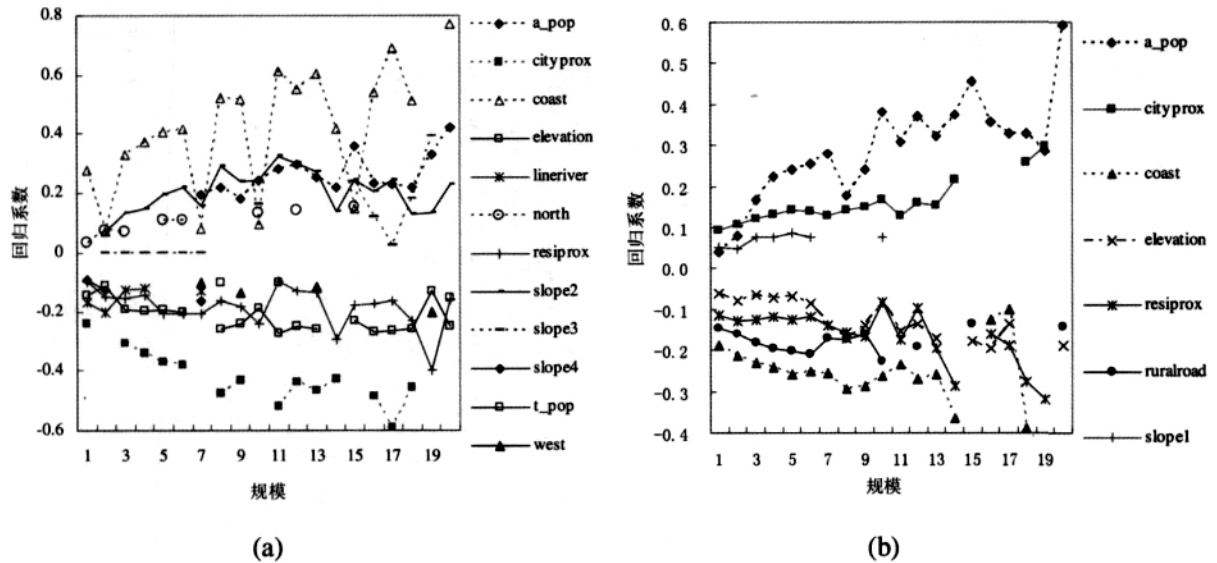


图 3 2000 年影响罗源县水田(a)和旱地(b)空间分布主要影响因子在不同聚合规模上的标准回归系数

Fig.3 Standard beta of primary driving forces of paddy field (left), dry land(right) at 20 aggregation levels of Luoyuan city in 2000

从影响罗源县园地空间分布主要影响因子的贡献程度随尺度变化规律图 (见图 3)可以看出:(1) 坡度因子为制约园地分布的最重要因素,并且其影响程度随尺度增大呈增强的趋势;(2) 其次为与农村道路的距离、与面状水体的距离、与海岸线距离以及农业人口密度等,其影响程度随尺度增大呈增强的趋势;(3) 再次为与居民点的距离、与城市的距离以及坡向因子等,仅仅体现在某些研究尺度上。

园地一般会选择坡度为 5° ~ 15° 的低海拔丘陵地带,在这种地形条件下水源条件往往是限制耕作

的瓶颈,因此罗源县园地对水源、地形等自然条件要求比较高。选择距离农村道路与居民点较近源于对管理成本的考虑,同时园地要求离城市和城镇较近是由于城市消费水平比较高、运输方便等缘故。罗源县园地空间分布的这些特征与龙海市的情况非常一致^[18]。

3.4 林地空间分布格局的多尺度分析

从影响罗源县林地空间分布主要影响因子的贡献程度随尺度变化规律图 (见图 4)可以看出:(1)

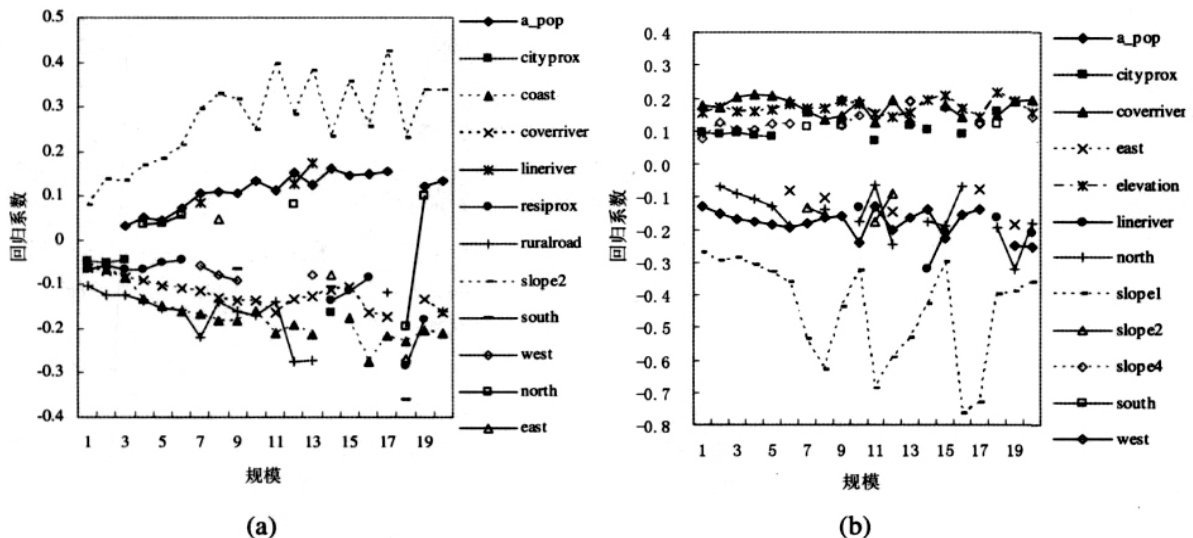


图 4 2000 年影响罗源县园地(a)和林地(b)空间分布主要影响因子在不同聚合规模上的标准回归系数

Fig.4 Standard beta of primary driving forces of orchard land (a) and woodland (b) at 20 aggregation levels of Luoyuan city in 2000

坡度因子为制约林地分布的最重要因素,并且其影响程度随尺度增大呈增强的趋势;②其次为农业人口密度、与面状水体的距离、海拔高程、北坡所占的比例等,其影响程度随尺度增大呈增强的趋势;③与城市的距离以及除北坡以外的其它坡向因子的制约作用仅仅体现在某些研究尺度上,并且其影响程度随研究程度的变化没有普遍的规律性。

罗源县林地多分布在距水源比较远、坡度比较陡(15°以上)并且海拔较高的区域内,即林地多分布在自然环境特别是地形条件比较差而不太适合种植农作物(耕地)的区域内。罗源县林地空间分布的特征与龙海市的情况非常一致^[18]。

罗源县其他主要地类也表现出类似的特点,即影响罗源县9种主要地类分布的影响因子均表现出一定的尺度依赖性,但总体规律是坡度因子几乎是确定所有地类分布的重要因素,回归模型的标准回归系数随聚合规模(空间尺度)的上升总体上呈增大趋势。

4 结论

本文通过构建罗源县主要地类空间分布格局的多尺度分析模型,分析探讨了制约水田、旱地、园地与林地等主要地类空间分布影响因子的尺度效应。研究表明模型的解释能力、影响因子变量及其影响系数均会随研究尺度发生不同程度的变化,回归模型的解释能力总体上随研究尺度增大呈增强趋势,这与Veldkamp等^[2]、De Koning等^[3]人的研究结果相一致。所不同的是,本文的研究同时表明农用地变化影响因子的制约作用也随研究尺度增大呈增强趋势,而Veldkamp和De Koning等人^[2,3]的研究由于所采用的尺度规模序列比较小因而并未得出驱动力因子随尺度变化的一般规律。

研究表明,罗源县水田、旱地、园地、林地空间分布均受到地形条件、人口因素以及若干可达性的多重制约,其中水田和旱地主要分布在农业人口密度相对较高、远离城市但邻近居民点、海岸线和农村道路并且海拔高程较低的区域内。园地一般会选临近水源并且坡度在5°~15°之间的低海拔丘陵地带,林地多分布在距水源比较远、人口密度较低、坡度比较陡(15°以上)并且海拔较高的区域内。

参考文献

- [1] Holling C S. Cross scale morphology, geometry and dynamics of ecosystems. *Ecological Monographs*, 1992, 62 (4): 447~502.
- [2] Veldkamp A and Fresco, L O. Reconstructing land use drivers and their spatial scale dependence for Costa Rica. *Agricultural systems*, 1997, 55:19~43.
- [3] De Koning GHJ, Veldkamp A, Fresco1 LO. Land use in Ecuador: a statistical analysis at different aggregation levels. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1998, 70: 231~47.
- [4] Verburg P H, Chen, Y Q. 2000. Multi-scale characterization of land-use patterns in China. *Ecosystems* 3, 369~385.
- [5] Kok K, Veldkamp A. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001,85:205~221.
- [6] Walsh SJ, Crawford TW, Welsh W. F. Crews-Meyer K. A. A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong district, northeast Thailand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 85: 47~64.
- [7] 陈佑启, Verburg P H. 中国土地利用/土地覆盖的多尺度空间分布特征分析. *地理科学* 2000 20(3) 197~202.
- [8] 邓祥征, 战金艳. 中国北方农牧交错带土地利用变化驱动力的尺度效应分析. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(3) 64~68.
- [9] Tobias P C T, Klemens E, Volkmar W and Jens D. Scaling properties of multivariate landscape structure. *Ecological Indicators*, 2005, 5(4): 295~304.
- [10] Goldstein, H, 1995. Multilevel statistical models. *Kendalls Library of Statistics*, Vol. 3. London: Edward Arnold.
- [11] Overmars K P, Verburg P H. Multilevel modelling of land use from field to village level in the Philippines. *Agricultural Systems*, 2006,(2-3):435~456.
- [12] Polsky C, Easterling W. 2001. Adaptation to climate variability and change in the US Great Plains: A multi-scale analysis of Ricardian climate sensitivities. *Ag Ecosys Environ* 85:133~44.
- [13] Pan W, Bilborrow R. The use of a multilevel statistical model to analyze factors influencing land use: a study of the Ecuadorian Amazon. *Global Planetary Change*, 2005, 47:232~52.
- [14] 赵文武,傅伯杰,吕一河,陈利顶. 多尺度土地利用与土壤侵蚀. *地理科学进展*, 2006,25(1):24~33.
- [15] 王春菊, 汤小华. 基于GIS的人口统计数据空间化. *地理与地理信息科学* 2004 20 (4) :71~74.
- [16] David M. An assessment of surface and zonal models of

- population. *International Journal of Geographic Information systems*, 1996, 10(8): 973~989.
- [17] Verburg PH, De Koning GHJ, Kok K, Veldkamp A, Bouma J. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use. *Ecological Modelling*, 1999, 116: 45~61.
- [18] 邱炳文. 福建省龙海市土地利用空间分布影响因子的尺度效应分析, *自然资源学报* 2007,22(1):70~78.

Multi- scale Spatial Characterization of Land- use Patterns of Luoyuan County in Northeast Fujian Province

QIU Bingwen

(Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, Spatial Information Research Center of Fujian Province, Fuzhou University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

Abstract: Land use patterns are governed by a broad variety of potential driving forces and constraints which act over a large range of scales. It has been recognized that the types and effects of land use drivers may vary with spatial scale, and multi- scale investigation of land use patterns is essential for full understanding of its complexity. The main purpose of this paper was to perform a multi- scale analysis of land use patterns of Luoyuan County in Fujian province by means of statistical analysis on the basis of bio- geophysical, socio- economic and infrastructural conditions. 20 variables were selected as the candidate land use drivers and 9 main land use types were considered. Land use data was derived from the 1:1 0000 survey map, terrain data from the 1:50000 DEM, and accessibility data, i.e. distance to the nearest rural road, from 1:10000 distribution map of rural road, river, residential area, and etc. But socio- economic data such as population census data was collected on the basis of administration areas. As a result, the spatial distribution of population data on cells was conducted based on the analysis of the relationship between population density and its influencing factors. The basic spatial organization in the analysis was a 100×100 meter geographical grid. Through aggregations of these cells, a total of 20 artificial aggregation levels were obtained. 9 independent main land use types, namely paddy land, dry land, garden plot, woodland, town land, agricultural residential area, industry land, water body and unused land, were constructed at multiple scales respectively.

The results showed that: (1) Land use models varied with aggregation level indicating spatial scale effects. Independent variables explained more of the variance for the explanation of land use type at higher aggregation levels. Relationships obtained at a certain scale of analysis may not be directly applied at other scales. The variables included in the models and their relative importance also varied between land use types. (2) The distribution of paddy land was mainly restricted by slope, distance to the nearest rural road or city, aspect, agricultural population density, whose in-

fluence increases with scale, elevation and distance to nearest cover river, whose influence occur only in medium or small aggregation levels. For garden plot, the elevation and the distance to nearest coast or fresh water sea- route are the highest ranking variables and their contributions increase with aggregation levels. The slope and the distance to nearest town or line- river or city are the second ranking variables. For woodland, the slope and the distance to city or town are the most leading variables at almost all aggregation levels. Important variable also includes elevation at lower aggregation levels. Variables of distance to nearest highroad or low road or residential contribute to the models to a certain extent and their contributions increase with aggregation levels. Industry land is mainly related with distance to nearest fresh water sea- route, total population density, distance to nearest coast or road, slope and distance to nearest city, whose influences all increase with aggregation levels. Most land use types in Luoyuan County were restricted by topographic factors while topography changes little along with time. It is argued that these types of analyses can support the quantitative multi- scale understanding of land use, needed for the spatially explicit land use change models.

Key words: land use; scale effect; driving force; spatialization; Luoyuan County