

福建省耕地多尺度空间分布特征分析

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, 福州大学空间信息工程研究中心, 福州 350002)

摘要: 区域土地利用格局分析应优先考虑影响因子识别及其尺度效应研究。该文分别通过整体与分区研究, 采用统计方法与 GIS 技术, 从自然环境、社会经济以及基础设施条件各方面选取 25 个候选影响因子, 开展福建省耕地多尺度空间分布特征研究。采用的基本研究单元为 1 km×1 km, 在此基础上生成 2 km×2 km, 3 km×3 km~10 km×10 km 共 10 个空间尺度序列数据图层。不同空间尺度上分别构建福建省 6 个农业综合分区耕地空间分布模型, 探讨了福建省耕地空间分布影响因子的尺度规模效应。研究表明模型不仅会随着研究尺度发生变化, 在不同的农业综合分区内也有较大的差异。分区研究比整体研究的模型解释能力要高, 模型的解释能力总体上随研究尺度的增大而升高。除坡度因子外, 其他影响因子本身及其影响系数在不同的农业综合分区间发生变化, 但总体规律是福建省耕地受坡度、海拔高程等不易随时间改变的自然条件的严格制约, 并且这种制约作用随尺度增大呈逐渐增强趋势。

关键字: 耕地, 尺度效应, 影响因子, 农业综合分区, 福建省

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-11-0063-06

邱炳文. 福建省耕地多尺度空间分布特征分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 63-68.

Qiu Bingwen. Analysis of multi-scale spatial distribution characteristics of cultivated land in Fujian Province[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11): 63-68.(in Chinese with English abstract)

0 引言

土地利用在不同的规模尺度上具有不同的特征, 包括不同的影响因素、不同的演变机理与过程^[1]。某个研究尺度上的影响因子可能在其他尺度上并不发生作用, 也就是影响因子的尺度效应。有两种量化土地利用及其影响因子关系的多尺度方法, 第一种方法为多尺度统计分析方法, 将数据人为地处理为多种空间尺度, 在每种尺度水平下, 土地利用和影响因子的关系分别统计得出^[2-4]。另一种采用多层次统计分析方法^[5]。前一种方法由 Veldkamp A. 等人^[6]提出, 而 De Koning 等人^[7]在此基础上进行了一些改进, 即在不同的聚合尺度上才考虑不同的影响因子。国内外的相关研究有: Walsh S. J. 等^[8]对泰国东南地区植被指数与自然环境和社会经济因子的相关关系进行多尺度统计分析; 陈佑启和 Verburg P. H.^[3,9]采用类似 Veldkamp A^[6]等提出的方法探讨了中国土地利用的多尺度空间分布特征; 邓祥征等人^[10]探讨了 20 世纪 80 年代以来中国北方农牧交错带土地利用变化的驱动机制及其尺度效应; 邱炳文等分别探讨了福建省龙海县、罗源县土地利用空间分布影响因子的尺度规模效应^[11,12]; 吕晓芳等人^[13]以北京东北边缘温榆河沿河道两侧的生态廊道规划区研究区, 从区域尺度、土地利用类型尺度及斑块尺度, 剖析土地利用变化的多尺度空间分异特征及变化

轨迹; 王天巍等人^[14]在农户、乡镇、区域 3 种不同的尺度水平上分析湖北省咸宁市咸安区土地利用变化的时空过程和驱动力因子, 并探讨 LUCC 驱动因素的空间尺度效应。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, 适合于具有明显的层次结构复杂多变的系统分析。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^[6], 因此非常有必要加强多尺度方法的区域实践研究。本文选取中国东南沿海地区的福建省作为研究区域, 采取多尺度统计分析方法, 详细地分析探讨制约研究区域内土地利用空间分布主要影响因子的尺度依赖性规律。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

福建省位于中国东南部, 东经 115°50'~120°43', 北纬 23°32'~28°19', 东西宽约 540 km, 南北长约 550 km (图 1)。福建省陆地面积 12.14 万 km², 福建地形以山地丘陵为主, 由西、中两列大山带构成福建地形的骨架。福建属亚热带湿润季风气候, 省内气候区域差异较大。基于地形地貌和主导农业生产部门结构, 可分为 6 个农业综合区: 闽西北山地丘陵盆谷粮林茶果区 (分区 I)、闽东北中低山林茶粮区 (分区 II)、闽东、闽中山地丘陵平原渔粮茶果牧区 (分区 III)、闽东南平原丘陵经作粮果茶渔牧区 (分区 IV)、闽南丘陵平原经作果粮渔牧区 (分区 V)、闽西南低山丘陵盆谷粮林烟果区 (分区 VI)。福建省主要地类为林地, 在 62% 以上, 其次为耕地和草地, 再次为建设用地、水域和未利用地。

收稿日期: 2007-08-08 修订日期: 2008-11-10

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; 2007J10016); 福建省自然科学基金项目 (D0710011); 福州大学科技发展项目 (826206)

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。福州 福州大学空间信息工程研究中心, 350002。

Email: qiubingwen@fzu.edu.cn

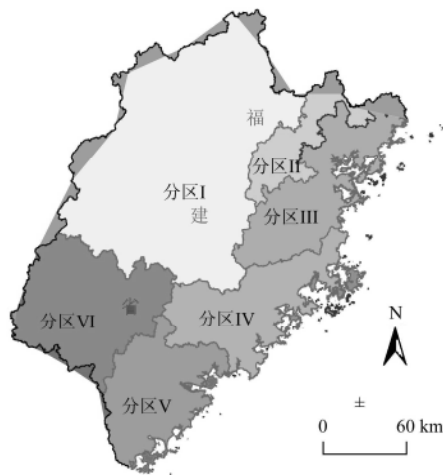


图1 福建省的6个农业综合分区
Fig.1 Six agro-zones of Fujian province

1.2 数据来源

主要的数据来源包括：(1) 中科院资源环境数据中心提供的福建省 1990 年 1:10 万土地利用遥感调查数据 (图 2); (2) 福建省 1990 年社会经济统计年鉴, 来自福建省统计局; (3) 福建省 1:25 万 DEM 数据和其他居民点、道路、河流等空间分布的基础地理数据, 来自福建省测绘局; (4) 福建省 1:25 万农业综合分区数据与福建省土壤肥力数据库, 来自福建省农业综合区划办。

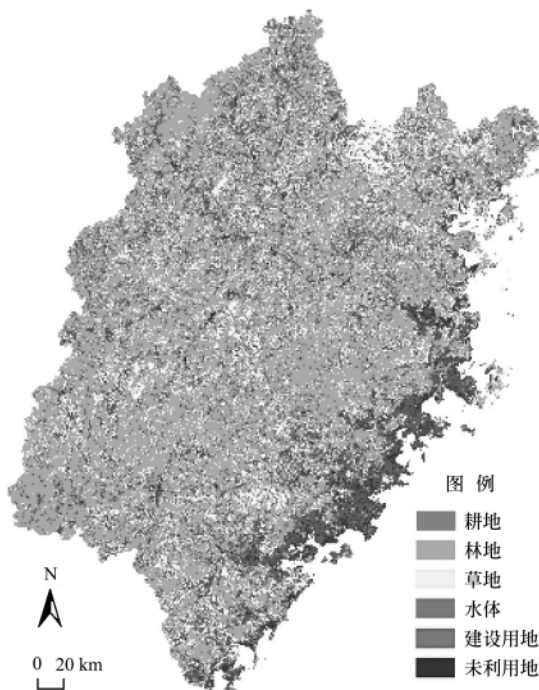


图2 1990年土地利用现状分布图
Fig.2 Land use distribution map in 1990

2 研究方法

2.1 影响因子的选取

本文中在选择影响因子时尽可能全面综合考虑各种自然环境与社会经济因子, 并且兼顾到数据的可获取性,

具体包括：(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, 包括与最近高等级公路的距离、与面状水系的距离、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, 但一般都以县域为统计单元的统计数据, 通过将土地利用数据汇总到县域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。本文所选取的福建省土地利用候选影响因子见表 1。

表1 福建省耕地分布候选影响因子

Table 1 Basic information of candidate influencing factor of cultivated land in Fujian province

指标	指标含义	单位	指标	指标含义	单位
slope1	坡度 5° 的土地所占的百分数	%	cityprox	与最近城市的距离	m
slope2	坡度 $5^\circ \sim 15^\circ$ 的土地所占的百分数	%	townprox	与最近城镇的距离	m
slope3	坡度 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的土地所占的百分数	%	coverriver	与最近面状水系的距离	m
slope4	坡度 $> 25^\circ$ 的土地所占的百分数	%	linriver	与最近线状水系的距离	m
flatarea	平地所占的百分数	%	highroad	与最近高等级公路的距离	m
north	北坡所占的百分数	%	lowroad	与最近低等级公路的距离	m
east	东坡所占的百分数	%	railroad	与最近铁路的距离。	m
south	南坡所占的百分数	%	resiprox	与最近居民点的距离。	m
west	西坡所占的百分数	%	coast	与最近海岸线的距离	m
fert1	高肥力土壤所占的百分数	%	t_pop	总人口密度	人/km ²
fert2	中等肥力土壤所占的百分数	%	i_pop	城市人口密度	人/km ²
Fert3	低等肥力土壤所占的百分数	%	a_pop	农业人口密度	人/km ²
			elevation	海拔高程	m

2.2 数据预处理

空间数据采用栅格格式, 研究区耕地与所有影响因子的栅格数据图层预处理过程与方法如下: 耕地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 1:25 万空间分布图获得。气候方面数据利用各县气候站监测数据插值得到, 土壤肥力数据原则上可通过综合土壤有机质含量、土壤有效磷含量、土壤有效钾含量、土壤质地、土层厚度、土壤 pH 值等获得, 但由于数据的可获得性原因, 本文通过综合土壤有机质含量、土壤有效磷含量、土壤有效钾含量得到, 利用 ESRI ARCGIS9.0 系列软件完成。人口方面数

据由于其原始数据为来自福建省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福建省人口统计数据进行空间化^[15,16]。

本文在选取基本研究单元时尽可能采用较高的空间分辨率，同时兼顾到计算能力的限制，最终选择福建省基本研究单元为 1 km×1 km。为了最大限度地保证信息的无损性，首先生成 100 m×100 m 耕地分布与影响因子栅格数据图层，然后通过平均值法聚合 (aggregate) 分别生成不同的农业综合分区中 1×1 (1 km×1 km) 基本研究单元以及 2×2 (2 km×2 km)，3×3 (3 km×3 km) ~ 10×10 (10 km×10 km) 聚合规模序列数据图层。

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]

$$Cover_{x,y,t,c} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Fact_{x,y,t,1} + \beta_2 \cdot Fact_{x,y,t,2} + \dots + \beta_n \cdot Fact_{x,y,t,n}$$

式中 $Cover_{x,y,t,c}$ —— t 年中栅格 x,y 中土地利用方式 c 所占的百分比； $Fact_{x,y,t,n}$ ——影响因子 n 在 t 年时栅格 x,y 中的值； β_n ——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。矫正回归系数 (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 结果与分析

研究获得福建省 1990 年 6 个农业综合分区和整体研究中耕地的线性回归模型在 1~10 (1 km×1 km ~ 10 km×10 km) 不同聚合规模上的矫正回归系数 (Adjusted r^2) 值 (见图 3)，所有的模型均达到 0.001 显著性水平。分区研究中模型的矫正回归系数值总体上随研究尺度的增大而升高，但在稍高研究尺度时发生忽高忽低的不稳定现象而整体研究中模型解释能力随尺度变化较平稳。总体而言，分区研究比整体研究的模型解释能力要高，其中分区 IV 的回归模型拟合性最好，在 54%~80% 之间；其次为分区 V、分区 VI 和分区 I，在 43%~76% 之间；再次为分区 II 和分区 III，在 28%~61% 之间；而整体研究的模型解释能力仅为 22%~44% 之间。下面分别对福建省各个分区中影响耕地空间分布的影响程度 (标准化回归系数 stb ，见表 2) 随尺度变化规律作进一步的分析。

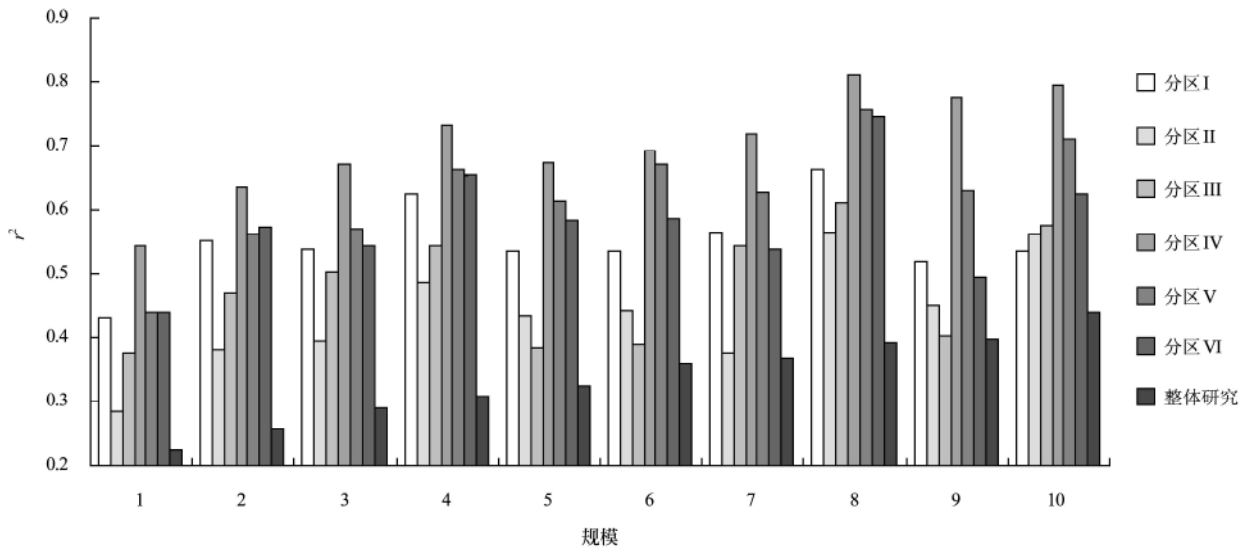


图 3 福建省 1990 年 6 个农业综合区中耕地在不同尺度上线性回归模型的矫正回归系数值
Fig.3 r^2 of multiple regression models for cultivated land of six agro-zones at ten aggregation levels of Fujian province in 1990

表 2 福建省 1990 年 6 个农业综合区中耕地在不同尺度上的线性回归模型

Table 1 Multiple regression models at ten aggregation levels for cultivated land of agro-zone I~VI in Fujian province in 1990

	分区 1		分区 2		分区 3		分区 4		分区 5		分区 6	
	参数	stb	参数	stb	参数	stb	参数	stb	参数	stb	参数	stb
1×1	slope1	0.405	slope1	0.312	slope1	0.487	slope1	0.563	slope1	0.529	slope1	0.456
	lineriver	-0.151	slope2	0.213	t_pop	-0.166	elevation	-0.193	townprox	-0.159	a_pop	0.206
	elevation	-0.136	townprox	-0.206	townprox	-0.159	townprox	-0.127	cityprox	-0.109	coast	-0.161
	a_pop	0.118	slope3	0.134	lineriver	-0.13	precip	0.107	south	-0.093	lineriver	-0.132

1×1	south	-0.104	lowroad	-0.101	elevation	-0.121	lineriver	-0.095	lineriver	-0.085	south	-0.093
	townprox	-0.09	lineriver	-0.099	slope2	0.101	railroad	-0.089	t_pop	-0.084	elevation	-0.081
	slope2	0.084	elevation	-0.097	south	-0.099	south	-0.075	lowroad	-0.073	lowroad	-0.057
2×2	slope1	0.551	slope1	0.37	slope1	0.611	slope1	0.746	slope1	0.689	slope1	0.644
	elevation	-0.149	slope2	0.242	t_pop	-0.211	precip	0.157	townprox	-0.15	coast	-0.213
	lineriver	-0.117	townprox	-0.202	townprox	-0.169	elevation	-0.135	cityprox	-0.14	a_pop	0.212
	townprox	-0.109	slope3	0.141	lineriver	-0.166	townprox	-0.123	coast	0.118	lineriver	-0.096
	south	-0.092	elevation	-0.108	railroad	0.101	railroad	-0.104	t_pop	-0.105	south	-0.074
	t_pop	-0.088	lowroad	-0.107	elevation	-0.089	lineriver	-0.088	lineriver	-0.079	slope3	0.064
	a_pop	0.086	lineriver	-0.101	slope2	0.089	slope2	0.078	south	-0.075	lowroad	-0.048
3×3	slope1	0.486	slope1	0.37	slope1	0.813	slope1	0.847	slope1	0.67	slope1	0.551
	west	0.197	slope2	0.244	t_pop	-0.212	townprox	-0.176	townprox	-0.199	a_pop	0.28
	elevation	-0.174	a_pop	0.209	townprox	-0.193	lineriver	-0.128	cityprox	-0.131	west	0.163
	townprox	-0.172	slope3	0.18	west	0.169	railroad	-0.12	west	0.121	railroad	-0.141
	lineriver	-0.131	lowroad	-0.121	railroad	0.147	slope2	0.098	lineriver	-0.118	coast	-0.113
	south	0.099	coast	-0.101	slope3	0.135	precip	0.096	t_pop	-0.1	lineriver	-0.11
	precip	0.092	townprox	-0.097	lineriver	-0.123	west	0.087	railroad	-0.081	south	0.081
4×4	slope1	0.571	railroad	-0.347	slope1	0.887	slope1	0.826	slope1	0.786	slope1	0.798
	elevation	-0.177	slope1	0.337	t_pop	-0.283	precip	0.206	cityprox	-0.167	a_pop	0.24
	precip	0.114	a_pop	0.329	railroad	0.209	lineriver	-0.159	lineriver	-0.163	railroad	-0.155
	townprox	-0.112	slope2	0.297	lineriver	-0.182	townprox	-0.136	townprox	-0.163	slope3	0.131
	a_pop	0.108	precip	0.217	townprox	-0.158	elevation	-0.126	coast	0.144	coast	-0.131
	lineriver	-0.093	lowroad	-0.119	slope3	0.153	railroad	-0.123	t_pop	-0.101	slope2	-0.075
	t_pop	-0.079	coast	-0.106	coast	0.093	slope2	0.063	fert2	0.057	lineriver	-0.07
5×5	slope1	0.398	townprox	-0.723	townprox	-1.063	townprox	-0.976	slope1	0.561	slope1	0.586
	elevation	-0.213	resiprox	0.622	resiprox	0.897	resiprox	0.756	townprox	-0.225	a_pop	0.321
	precip	0.184	a_pop	0.294	slope1	0.441	slope1	0.471	cityprox	-0.216	railroad	-0.266
	a_pop	0.166	slope2	0.279	lineriver	-0.157	lineriver	-0.252	lineriver	-0.17	south	-0.238
	townprox	-0.14	slope1	0.207	west	-0.153	railroad	-0.152	coast	0.144	west	-0.133
	south	-0.119	railroad	-0.192	railroad	0.142	elevation	-0.149	precipatio	-0.133	slope3	0.128
	lineriver	-0.11	cityprox	-0.16	highroad	-0.141	west	-0.13	south	-0.127	fert2	-0.084
6×6	slope1	0.383	slope2	0.33	townprox	-1.105	slope1	0.406	slope1	0.537	slope1	0.526
	elevation	-0.229	a_pop	0.313	resiprox	0.902	townprox	-0.238	townprox	-0.224	a_pop	0.352
	townprox	-0.214	railroad	-0.224	slope1	0.335	lineriver	-0.216	lineriver	-0.174	railroad	-0.333
	west	-0.199	slope1	0.204	west	-0.243	elevation	-0.19	cityprox	-0.155	south	-0.257
	south	-0.157	west	-0.16	lineriver	-0.169	west	-0.17	west	-0.114	west	-0.254
	lineriver	-0.133			highroad	-0.157	railroad	-0.152	south	-0.098	slope3	0.184
	precip	0.13			railroad	0.122	fert1	0.082	railroad	-0.083	lineriver	-0.122
7×7	slope1	0.445	slope2	0.341	slope1	0.758	slope1	0.839	townprox	-0.933	slope1	0.787
	elevation	-0.221	a_pop	0.293	t_pop	-0.237	precip	0.271	resiprox	0.755	a_pop	0.348
	precip	0.207	railroad	-0.269	townprox	-0.219	coast	-0.226	slope1	0.654	coast	-0.282
	townprox	-0.136	cityprox	-0.206	south	0.209	railroad	-0.226	cityprox	-0.216	slope2	-0.239
	a_pop	0.13	south	0.193	lineriver	-0.195	resiprox	-0.201	lineriver	-0.213	slope3	0.18
	south	0.116	resiprox	-0.132	highroad	-0.144	south	0.169	precipatio	-0.211	south	0.169
	lineriver	-0.095	t_pop	0.114	railroad	0.127	lineriver	-0.098	coast	0.182	lineriver	-0.123
8×8	slope1	0.572	railroad	-0.491	townprox	-1.318	slope1	0.947	slope1	0.813	slope1	1.146
	elevation	-0.202	a_pop	0.414	resiprox	1.19	lineriver	-0.311	lineriver	-0.243	coast	-0.355
	precip	0.161	precip	0.375	slope1	1.006	precip	0.241	fert2	0.179	slope3	0.311
	a_pop	0.142	slope1	0.338	slope3	0.279	elevation	-0.215	townprox	-0.127	slope2	-0.24
	townprox	-0.109	slope2	0.337	railroad	0.212	railroad	-0.154	railroad	-0.117	a_pop	0.18
	t_pop	-0.093			lineriver	-0.19	slope2	0.146	south	-0.115	t_pop	-0.122
	lineriver	-0.079			t_pop	-0.003	cityprox	0.097	fert1	0.086	townprox	-0.083
9×9	slope1	0.322	townprox	-0.501	slope1	0.763	slope1	0.716	slope1	0.519	slope1	0.479
	precip	0.272	slope2	0.292	townprox	-0.712	lineriver	-0.296	townprox	-0.307	a_pop	0.31
	elevation	-0.265	t_pop	0.22	resiprox	0.48	railroad	-0.201	cityprox	-0.236	slope2	-0.213
	townprox	-0.177			lineriver	-0.271	resiprox	-0.181	precipatio	-0.174	railroad	-0.195
	a_pop	0.162			slope3	0.236	elevation	-0.16	t_pop	-0.172	townprox	-0.185
	south	0.121			railroad	0.138	south	0.121	lowroad	-0.143	highroad	-0.172
	lineriver	-0.118			south	0.133			west	-0.129	fert1	0.111
10×10	slope1	0.378	townprox	-0.414	townprox	-1.238	slope1	0.841	slope1	0.581	a_pop	0.442
	precip	0.333	slope1	0.348	slope1	0.853	lineriver	-0.252	a_pop	0.282	railroad	-0.401
	elevation	-0.205	t_pop	0.266	lineriver	-0.331	west	0.231	fert2	0.229	slope1	0.381
	townprox	-0.202	slope3	0.195	highroad	-0.136	townprox	-0.216	cityprox	-0.211	west	0.171

	a_pop	0.193	linriver	0.183	resiprox	1.005	railroad	-0.214	townprox	-0.202	linriver	-0.149
10×10	west	0.136			railroad	0.232	lowroad	0.084	west	0.196	t_pop	0.135
	coast	-0.135			slope3	0.275			linriver	-0.141		

注：stb 为标准化回归系数。

3.1 整体研究中制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

制约耕地空间分布最重要的影响因素为坡度因子以及居民点或城镇的距离，但后两者在 4~8 km 之间的一些研究尺度上的制约作用不明显；其次为与线性河流的距离、年降水量，随研究尺度变化不大，其中年降水量的制约作用主要体现在除中等偏高以外的研究尺度上；再次为肥力水平、农业人口密度以及与铁路的距离等，其制约作用仅仅体现在中等偏高的个别研究尺度上。

3.2 分区 I 制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

虽然其制约程度随尺度变化出现一些波动，但坡度因子在所有的研究尺度上均为最重要的影响因素；其次为海拔高程，其制约程度随研究尺度增大而增强；再次为年降水量、农业人口密度、与城镇的距离、与线性河流的距离、坡向因子等，其中年降水量的制约作用在较小的尺度上很小，随研究尺度增大迅速增强，到较高的研究尺度时甚至超过海拔高程，而农业人口密度、与线性河流的距离、与城镇的距离的制约作用也随研究的增大呈一定的增强趋势。由此可见，从整体研究来看，福建省耕地主要分布在低海拔、相对平坦并且靠近河流和城镇等便于耕作的区域内。由此可见，在农业综合分区 I，耕地与低海拔、较小的坡度以及较高的年降水量和农业人口密度等密切相关。

3.3 分区 II 制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

与分区 I 类似的是，坡度因子也是重要的制约因子之一，但与分区 I 有所不同的是，在不同的研究尺度上分别有不同的主导影响因素；除坡度因子外，在较小的研究上，其他主要的影响因子为与城镇的距离、与低等级公路的距离等；在中等研究尺度上，其他主要的影响因子为农业人口密度、与铁路的距离等；在较大的研究尺度上，其他主要的影响因子仅有与城镇的距离。和农业综合分区 I 相比，农业综合分区 II 中耕地分布在具有一定坡度的区域内，这主要是由于该分区内多山的地形所造成的。

3.4 分区 III 制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

与分区 I、分区 II 类似的是，坡度因子均是重要的制约因子之一；其次为与城镇的距离、与居民点的距离以及总人口密度，前两者随研究尺度的增大而增强，而总人口密度的制约作用仅仅体现在较小和中等研究尺度上；再次为与线性河流的距离、与铁路的距离以及与高等级公路的距离等，前两者均随研究尺度的增大呈一定的增强趋势。与农业综合分区 I 和 II 所不同的是，综合分区 III 内耕地与农业人口密度有负的相关关系，其原因可能是该区域位于沿海地带，具有相对较高的城市人口密度并且农业人口多转移到渔业等附加值较高的其他产业中所致。

3.5 分区 IV 制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

与分区 I~III 类似的是，坡度因子在所有的研究尺度上均是重要的影响因素；其次为与线性河流的距离、与铁路的距离、与城镇的距离、海拔高程以及年降水量等，前两者的影响程度均随研究尺度增大呈增强的趋势，而后三者的制约作用仅仅体现在较小、中等和个别较大的研究尺度上。和农业综合分区 I~III 相比，该分区内耕地和年降水量具有较强的正相关关系，可能是福建省东南地区相对干旱的缘故。

3.6 分区 V 制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

与分区 I~IV 类似的是，坡度因子在所有的研究尺度上均是重要的影响因素；其次为与城镇的距离、与城市的距离、与线性河流的距离，均随研究尺度的增大呈一定的增强趋势；再次为与海岸线的距离、总人口密度，其中总人口密度的制约作用仅仅体现在较小和个别较大的研究尺度上，而与海岸线的距离的制约作用仅仅体现在中等研究尺度上。对比农业综合分区 I~IV 而言，农业综合分区 V 内耕地分布和与最近城市的距离这一影响因素具有较强的负相关关系，其原因可能是该区域内耕地主要种植蔬菜和水果，而蔬菜和水果对交通运输条件和消费能力的要求较高的缘故。

3.7 分区 VI 制约耕地空间分布影响因子的尺度效应分析

与分区 I~V 类似的是，坡度因子在所有的研究尺度上均是重要的影响因素；其次为农业人口密度，其制约程度随研究尺度增大呈增强趋势；再次为与最近铁路的距离、与最近海岸线的距离、与线性河流的距离、南坡所占的百分比等，其中与线性河流的距离的影响主要体现在中等和较大的研究尺度上，而与最近海岸线的距离、南坡所占的百分比的影响仅仅体现在较小和个别中等研究尺度上。该分区内耕地分布的规律与分区 II 内的情况类似。

4 结论

福建省耕地影响因子的多元回归模型均达到显著水平，并且在大多数情况下模型的解释效果相当不错。不同的农业综合分区内模型的解释能力、影响因素及其影响系数均会随研究尺度发生不同程度的变化，呈现一定的尺度依赖性特点。回归模型的解释能力总体上随研究尺度增大呈升高趋势，但在较高研究尺度时略有忽高忽低的不稳定波动现象。分区研究比整体研究的模型解释能力要高，其中分区 IV 的回归模型拟合性最好。坡度、海拔高程等地形因素是制约研究区域内耕地空间分布的关键因素，说明福建省耕地受到地形条件的严格限制。Veldkamp 等^[6]、De Koning 等^[7]人的研究也得出了类似的结论，本文的研究与前者所不同的是：（1）所采用的基本研究单元很小，并且在此基础上生成的比较大规

模多个空间尺度序列数据, 有利于全面地研究从细到粗大尺度域范围内的规律; (2) 对以行政区划为统计单元的社会经济影响因素如人口数据进行了空间化处理; (3) 开展了整体与分区的对比研究, 有利于综合分析不同的研究区划分对土地利用格局分析的影响。

[参 考 文 献]

- [1] Holling C S. Cross scale morphology, geometry and dynamics of ecosystems[J]. *Ecological Monographs*, 1992, 62(4): 447—502.
- [2] Veldkamp A, Fresco, L O. Reconstructing land use drivers and their spatial scale dependence for Costa Rica[J]. *Agricultural systems*, 1997, 55: 19—43.
- [3] Verburg P H, Chen You Qi. Multi-scale characterization of land-use patterns in China[J]. *Ecosystems*, 2000, (3): 369—385.
- [4] Kok K, Veldkamp A. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 85: 205—221.
- [5] Goldstein H. Multilevel statistical models[M]. *Kendalls Library of Statistics*, vol. 3. London: Edward Arnold, 1995.
- [6] Veldkamp A, Fresco L O. Reconstructing land use drivers and their spatial scale dependence for Costa Rica[J]. *Agricultural Systems*, 1997, 55: 19—43.
- [7] De Koning G H J, Veldkamp A., Fresco L O. Land use in Ecuador: a statistical analysis at different aggregation levels [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1998, 70: 31—47.
- [8] Walsh S J, Crawford T W, Welsh W F, et al. A multiscale analysis of LULC and NDVI variation in Nang Rong district, northeast Thailand[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 85: 47—64.
- [9] 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[J]. *地理科学*, 2000, 20(3): 197—202.
- [10] 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[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(3): 64—68.
- [11] 邱炳文. 闽东北沿海罗源县土地利用空间分布格局的多尺度分析[J]. *地理科学进展*, 2008, (1): 82—89.
- [12] 王天巍, 李朝霞, 史志华, 等. 都市圈边缘区多尺度土地利用驱动力研究[J]. *华中农业大学学报(自然科学版)*, 2008, (4): 471—477.
- [13] 吕晓芳, 王仰麟, 任 鑫, 等. 流域内城市土地利用扩张多尺度空间分异特征探析——以北京温榆河流域生态廊道规划区为例[J]. *资源科学*, 2008, (3): 392—400.
- [14] 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[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 70—78.
- [15] 王春菊, 汤小华. 基于 GIS 的人口统计数据空间化[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(4): 71—74.
- [16] David Martin. An assessment of surface and zonal models of population[J]. *International Journal of Geographic Information systems*, 1996, 10(8): 973—989.
- [17] Verburg P H, De Koning G H J, Kok K, et al. A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use[J]. *Ecological Modelling*, 1999, 116: 45—61.

Analysis of multi-scale spatial distribution characteristics of cultivated land in Fujian Province

Qiu Bingwen

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

Abstract: Impact of spatial scales on land use patterns and identification of its potential influencing factors is essential for full understanding of its complexity. The main purpose of this paper was to perform a multi-scale analysis of cultivated land pattern of Fujian province by means of statistical analysis through overall study and each agro-zone respectively. Twenty-five variables were selected as the candidate variables representing bio-geophysical, socio-economic and infrastructural conditions. The basic spatial organization in the analysis was a 1km×1km geographical grid. Through aggregations of these cells, a total of ten artificial aggregation levels were obtained. The independent models of the whole study area and each six agro-zones of cultivated land patterns were constructed at multiple scales respectively. The results showed that cultivated land models varied with aggregation level and also between agro-zones. Independent variables explained more of the variance for the explanation of cultivated land pattern at higher aggregation levels. Other variables of the cultivated land models excluding the highest ranking variable-slope, also vary between agro-zone I to VI. But the general rule is that cultivated land in all six agro-zones is strictly restricted by topographic factors which changes little along with time and their restricting effect increase with spatial scales.

Key words: cultivated land, scale effect, influencing factors, agro-zones, Fujian province