

叶云,赵小娟,胡月明,等.珠三角耕地质量局部空间自相关分析[J].江苏农业科学,2019,47(6):197-203.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.044

# 珠三角耕地质量局部空间自相关分析

叶云<sup>1,2,3</sup>,赵小娟<sup>1,2,3</sup>,胡月明<sup>1,2,3</sup>,袁兰<sup>1,2,3</sup>,薛月菊<sup>2,3,4</sup>

(1. 华南农业大学资源环境学院,广东广州 510642; 2. 广东省土地信息工程技术研究中心,广东广州 510642;  
3. 广东省土地利用与整治重点实验室,广东广州 510642; 4. 华南农业大学电子工程学院,广东广州 510642)

**摘要:**目前关于耕地质量空间格局方面的研究相对较少,以农业、农村经济发展最快以及经济发达的华南丘陵平原区珠三角为研究区域,在对珠三角耕地质量进行科学评价的基础上,分析其镇级耕地质量空间分布特征,利用局部 Moran's I 指数,探索其空间关联性。结果表明:珠三角耕地各类型质量的空间分布格局均有所差异。耕地质量存在局部空间自相关,表现为质量高和质量低的地方有较显著空间聚集性。各类型质量空间聚集类型有较大差异,大部分乡镇在空间上表现为非显著型。从空间关联格局来看,自然质量正、负相关类型均呈现零散分布;经济质量无负相关类型,HH 和 LL 型都是以组团形式出现,集中性较强;利用质量中属于正相关类型分布范围较广,负相关类型多零星分布无明显集中区域,局部空间关联格局同利用质量基本一致;生态质量与经济质量的空间布局类似。

**关键词:**中国珠三角地区;耕地质量;空间格局;局部空间自相关;Moran's I 指数;结构特征;耕地分区保护;政策建议  
**中图分类号:** F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0197-06

确保足够数量和一定质量的耕地,是保障国家粮食安全、经济发展和社会稳定的需要,也是生态环境保护的需要<sup>[1]</sup>。对耕地质量空间格局的深入分析,有助于耕地分区保护等政策或措施的制定,为实现国土资源空间优化配置提供空间依据,对其他类似地区耕地资源保护及合理利用具有重要的理论和实践意义<sup>[2]</sup>。耕地质量研究仍然是当今耕地研究的核心和重点之一,国内外学者从不同角度对耕地质量内涵<sup>[3]</sup>、评价指标体系<sup>[4-5]</sup>、评价方法<sup>[6-7]</sup>以及评价结果运用等方面展开了相关研究。但是关于耕地质量空间格局差异性特征等方面的研究却相对较少,近年来才相继有学者从不同侧重点对农用地质量的空间格局进行了相关研究<sup>[8]</sup>。任奎等学者分别对不同省份农用地质量的空间分布规律及其影响因素进行了研究<sup>[9-12]</sup>。在研究内容上,袁天凤等分析了耕地质量分布与经济空间耦合关系<sup>[13]</sup>;张贞等对重庆丘陵山区耕地自然质量向耕地经济质量转变的过程及其空间分布格局进行了分析<sup>[14]</sup>;宋戈等分析了松嫩高平原黑土区的耕地质量总体特征及空间与行政区域分布特征<sup>[15]</sup>。Kraemer 等对哈萨克斯坦地区农业用地覆盖变化及耕地扩张潜力格局进行了分析<sup>[16]</sup>。在研究方法上,学者们也采用不同的方法对耕地质量空间格局进行分析,如张超等采用空间自相关分析方法对北京市大兴区耕地自然质量的空间分布特征进行研究<sup>[17]</sup>;而赵丹等运用趋势面和相关分析相结合的方法研究了耕地质量空间分布规律及影响因素<sup>[18]</sup>;李涛等则基于农户决策行为分析耕地质量空间变异性特征规律<sup>[19]</sup>。总体来看,目前对耕地质

量空间格局进行空间自相关分析的研究还比较少。珠三角是广东经济最发达的地区,也是农业、农村经济发展最快的地区,同时作为华南典型丘陵平原区,具有很好的研究价值和代表性。因此本研究以珠三角为研究区域,在对珠三角耕地质量进行科学评价的基础上,开展其耕地质量空间格局特征及相关研究,以耕地质量的空间差异为切入点,考虑质量及空间分布影响,尤其是从空间格局分布上探讨其差异及结构特征,有助于耕地分区保护等政策或措施的制定。

## 1 研究区域概况

珠三角位于广东省的中南部,珠江下游,地处 111°59'~115°26'E,21°27'~23°56'N。行政辖域包括 9 个地级市,涉及 48 个县(区),土地面积占广东省国土面积的 23.2%。属亚热带海洋季风气候,雨热充沛,温暖湿润,年均气温为 21~23℃,多年平均降水量在 1 600~2 300 mm 之间,界内有数千条大小河道纵横交错。三角洲平原土地肥沃,土壤类型多样,可分为 5 个土类,包括水稻土、赤红壤、石灰土、紫色土、潮土等。2014 年珠三角土地总面积为 547.54 万 hm<sup>2</sup>,其中耕地面积为 61.59 万 hm<sup>2</sup>(不含可调整地类),占全省耕地总面积的 23.49%。

## 2 研究数据及方法

### 2.1 数据来源及处理

研究数据主要涉及气象、水文、土壤、地貌等自然条件统计资料。包括珠三角区域 2014 年行政区划图、交通道路,土地利用现状调查及规划资料等;珠三角及周边区域 41 个气象站点 2014 年的年日照时数、年降水量等数据,均来源于广东省气象局;土壤属性数据来源于第 2 次土壤普查资料,包括土壤志、土种志、土壤普查报告等;地质灾害易发区相关数据来源于《广东省地质灾害防治规划》(2011—2020 年)。影像数据主要是在地理空间数据云平台下载的 2014 年多幅 30 m 分

收稿日期:2017-10-17

基金项目:国家科技支撑计划子课题(编号:2015BAD06B03-3)。

作者简介:叶云(1980—),男,湖南娄底人,博士,高级工程师,研究方向为农业信息化。E-mail:inthefly@163.com。

通信作者:胡月明,博士,教授,主要从事土地资源管理与地理信息系统应用研究。E-mail:ymhu163@163.com。

分辨率 TM 遥感数据。社会经济数据来源于 2015 年《广东农村统计年鉴》、《广东统计年鉴》及 2014 年各地市统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报等,所涉及的部门包括农业、国土、水利、规划、环保、统计等部门。

对 TM 遥感影像数据的预处理主要包括辐射定标、大气校正以及影像的拼接和裁剪等。遥感数据分类参考 GB/T 21010—2007《土地利用现状分类》以及中科院土地利用覆盖分类体系,结合珠三角区域 TM 遥感影像特点和景观异质性,提取出耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地。分类结果的精度检验是从遥感图像上随机选择了 100 个样点,保证各地类都有覆盖,采用目视解译的方法结合实地调查与第 2 次土地调查成果,结果表明影像分类总体精度达到 87.3%,Kappa 系数大于 0.7,分类达到了使用要求。

表 1 珠三角耕地质量评价因子级别指标值及级别分值

类别	因素	1 级		2 级		3 级		4 级		5 级		6 级		权重
		指标值	分值(分)	指标值	分值(分)	指标值	分值(分)	指标值	分值(分)	指标值	分值(分)	指标值	分值(分)	
自然质量	土壤有机质含量(%)	≥4.0	100	[3.0,4.0)	80	[2.0,3.0)	60	[1.0,2.0)	40	[0.6,1.0)	20	<0.6	10	0.074 1
	全氮含量(%)	≥0.200	100	[0.150,0.200)	80	[0.100,0.150)	65	[0.075,0.100)	45	[0.050,0.075)	20	<0.050	10	
	速效磷含量(mg/kg)	≥40	100	[20,40)	85	[10,20)	70	[5,10)	55	[3,5)	30	<3	10	
	速效钾含量(mg/kg)	≥200	100	[150,200)	85	[100,150)	65	[50,100)	45	[30,50)	30	<30	15	
	表层土壤质地	壤土	100	沙壤土	80	黏土	60	沙土	40	砾质土	20			0.067 3
	有效土层厚度(cm)	≥120	100	[100,120)	85	[80,100)	65	[50,80)	40	[30,50)	20	<30	10	0.070 4
	pH 值	[6.0,7.9)	100	[5.5,6.0)或[7.9,8.5)	80	[5.0,5.5)或[8.5,9.0)	60	[4.5,5.0)	40	<4.5 或 ≥9.0	20			0.045 9
	年日照时数(h)	[2 164,2 506)	100	[1 912,2 164)	90	[1 759,1 912)	70	[1 598,1 759)	50	[1 359,1 598)	30			0.034 1
	年降水量(mm)	[2 292,2 686)	100	[2 038,2 292)	90	[1 839,2 038)	75	[1 660,1 839)	55	[1 415,1 660)	35			0.036 2
经济质量	单位耕地化肥投入	≥1.0	100	[0.7,1.0)	80	[0.4,0.7)	65	<0.4	40					0.049 6
	单位耕地机械投入	≥20	100	[10,20)	85	[5,10)	70	<5	45					
	单位耕地劳动力投入	≥10	100	[5,10)	80	[3,5)	60	<3	35					
	耕地产出率	≥40	100	[20,40)	80	[15,20)	60	<15	35					0.045 3
	中心城镇影响度(km)	[0,10)	100	[10,25)	85	[25,50)	60	≥50	35					0.035 7
	交通通达度(m)	[0,800)	100	[800,2 000)	85	[2 000,4 000)	70	[4 000,6 000)	50	≥6 000	30			0.036 4
	经济非农化率	≥95	100	[90,95)	90	[80,90)	70	<80	40					0.038 9
	水资源保证率	≥0.95	100	[0.80,0.95)	85	[0.65,0.80)	60	<0.65	35					0.068 2
	排水条件	体系健全	100	基本健全	80	排水一般	50	无排水	20					0.061 7
利用质量	耕地利用类型	水田	100	水浇地	80	旱地	60							0.046 1
	复种指数	≥3	100	[2,3)	85	[1,2)	65	<1	45					0.031 4
	种植结构	≥0.6	100	[0.4,0.6)	90	[0.3,0.4)	70	<0.3	50					0.030 8
	人均耕地面积	≥500	100	[300,500)	85	[100,300)	60	<100	35					0.034 5
	耕地连片度	(0.000,0.072)	100	[0.072,0.209)	80	[0.209,0.391)	60	[0.391,0.608)	40	[0.608,0.923)	20			0.041 2
生态质量	地形坡度(°)	<2	100	[2,5)	90	[5,8)	70	[8,15)	40	[15,25)	20	≥25	10	0.053 1
	地质灾害易发程度	不易发区	100	低易发区	80	中易发区	50	高易发区	20					0.051 6
	农药污染指数	<0.02	100	[0.02,0.04)	80	[0.04,0.06)	55	≥0.06	20					0.047 5

2.2.2 Moran’s I 指数 为探索自然或社会现象的空间模式或分布特征,往往采用空间自相关指数来测度自然或社会属性在空间上的关联度,关联度的大小可以表征该属性的空间模式与分布特征<sup>[25]</sup>。应用最广泛的是 Moran’s I 指数,其公式如下:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}。$$

(1)

式中: $x_i$  是变量在位置或区域  $i$  的值, $x_j$  同理; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$  是

2.2 研究方法

2.2.1 耕地质量评价体系及权重 划分珠三角耕地质量评价单元采用网格法,考虑到评价区域的因素差异及面积,以 500 m×500 m 网格作为评价单元。采用资料统计和专家咨询法,根据珠三角区域特点,从自然质量、经济质量、利用质量、生态质量等 4 个方面构建适用于该区域的评价体系,依据层次分析法结合专家经验判断指标权重,各指标量化分析参考相关文献<sup>[20-23]</sup>,具体见表 1。

质量评价采用多因素综合法,根据各参评因子的分级得分值及其权重,利用加权指数和模型计算耕地质量综合得分值。并采用[0,100]实现指标属性分值到耕地质量综合评价分值之间的转换<sup>[24]</sup>,利用 ArcGIS 栅格计算器将上述各个因素图层进行加权叠加,得出耕地单元的平均评价分值。

式中:  $E(I) = \frac{-1}{n-1}$ ;  $VAR(I) = \frac{n^2 S_1 - n S_2 + 3(S_0)^2}{(S_0)^2(n^2 - 1)} - E^2(I)$ ;

$S_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (w_{ij} + w_{ji})^2$ ;  $S_2 = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n w_{ij} + \sum_{j=1}^n w_{ji})^2$ 。  $E(I)$  和

$VAR(I)$  分别为期望值与方差。若  $Z = 0$ , 即 Moran's I 指数等于其期望值  $[E(I)]$  时, 则变量值在空间区域是相互独立的; 若  $Z > 0$ , 则变量值在空间区域是正自相关的, 且值越大其正自相关性越高; 若  $Z < 0$ , 则相反。

局部空间自相关所采用的指数为 Local Moran's  $I_i$ , 它可以用来检验局部地区是否存在变量集聚现象, 与其周边单元之间的空间差异程度及显著性。对于第  $i$  个空间单元, 其统计量的数学形式为

$$I_i = Z_i \sum_j w_{ij} Z_j; \quad (3)$$

式中:  $Z_i$  为空间单元  $i$  属性观测值的标准化值, 其具体计算公式如下:

$$Z_i = (x_i - \bar{x}) / \sqrt{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)} \quad (4)$$

**2.2.3 局部空间自相关** 空间自相关分析是研究邻近位置上某一属性在空间上的相关性<sup>[26]</sup>, 包括全局自相关和局部自相关。全局空间自相关分析仅能反映空间上的整体分布特征, 不能具体指出聚集的位置, 而局部空间关联局域指标 (local indicators of spatial association, 简称 LISA) 可以进一步度量区域  $i$  与周边地区的空间关联程度。因此, 耕地质量局部空间自相关是用于反映研究区域中, 一个局部小区域单元上的耕地质量与相邻局部小区域单元上耕地质量的相关性程度<sup>[27]</sup>, 并结合 Moran 散点图等将空间格局可视化, 研究耕地质量的空间分布规律。

Moran 散点图包括 4 个象限, 分别用 HH、LL、HL、LH 表示。4 个象限各相关联类型, 具体在本研究中所代表意义为 HH 表示某一空间单元耕地质量分值的实测值较高, 而周边空间单元也较高; LL 表示某一空间单元和周边空间单元的耕地质量分值的实测值均较低。这 2 种类型属于高-高关联与低-低关联, 反映同向影响关系。LH 表示某一空间单元自身耕地质量分值的实测值较低, 而被周边具有较高质量分值的空间单元所包围, HL 则正好相反, 这 2 种是低-高关联与高-低关联, 反映负向影响关系。

由于研究区域范围广、耕地细碎图斑较多等问题, 使得在局部空间自相关分析中会导致分析结果较难辨识<sup>[2]</sup>。因此, 本研究以研究区内各乡镇为空间单元进行局部空间自相关分析, 采用面积加权法实现以耕地单元向乡镇单元耕地质量分值的转变, 公式如下:

$$Y_n = \frac{Y_m \cdot S_m}{\sum S_m} \quad (5)$$

式中:  $Y_n$  表示第  $n$  个乡镇单元的平均耕地自然质量分值;  $Y_m$  为第  $n$  个乡镇中第  $i$  个耕地单元自然质量分值;  $S_m$  为第  $n$  个乡镇中第  $i$  个耕地单元面积。其他类型质量分值的求取也是按照相同方法处理。

### 3 结果与分析

#### 3.1 珠三角镇级耕地质量空间分布特征

参照上述方法实现耕地质量分由耕地单元向乡镇尺度的

转换。在 ArcGIS 平台中, 对于乡镇耕地质量分值参照自然断点法进行分级, 将其划分为相应等级, 并输出得到如图 1 所示的乡镇耕地自然质量分值、经济质量分值、利用质量分值、生态质量分值的分布图, 分值分为 5 级, 分值越高质量越好的为 1 级, 依次递减, 最差的为 5 级, 0 表示此区域没有耕地。

由图 1 可知, 在空间分布特征上, 镇级耕地自然质量等级的空间分布较零散, 珠三角县域中的乡镇均有不同自然质量级别的耕地分布, 整体来看, 中部珠三角平原区如广州市部分乡镇, 以及深圳市、中山市的大部分乡镇耕地自然质量较好; 镇级耕地经济质量地域差异较明显, 质量等级分布比较集中, 中部发达地区耕地经济质量相对较高, 西北部山地丘陵区经济相对落后, 其耕地经济质量等级也较低; 镇级耕地利用质量表现为珠三角区域偏东南整体水平较差, 其余地区耕地利用质量则相对较高; 镇级耕地生态质量等级分布也较集中, 生态质量较差的耕地主要集中在珠三角北部广宁县、四会市、鼎湖区的部分乡镇以及南部中山市、南沙区、新会区的部分乡镇, 生态质量较好的耕地主要集中在西南部台山市以及中部地区的部分乡镇。

#### 3.2 局部 LISA 分析及 Moran 散点图

将珠三角乡镇行政单元先进行处理, 由于城市中心部分街道、乡镇没有耕地数据, 因此采用合并的方式进行处理, 例如广州市荔湾区的花地街、石围塘街、茶滘街、多宝街、沙面街、岭南街、华林街、昌华街、彩虹街、南源街、西村街、逢源街、龙津街、金花街、站前街等, 将这些没有耕地的镇街合并成一个空间单元, 便于后续分析处理, 其他相类似区域也进行相同处理, 合并后珠三角仍有广州市越秀区、深圳市福田区和盐田区 3 个县级行政区没有耕地分布。

对以珠三角乡镇为空间单元的耕地质量进行局部空间自相关分析, 采用 Rook 关系取一阶邻接方式来构造空间邻接矩阵。在确定空间权重的基础上, 采用 GeoDa 软件进行数据处理, 得到珠三角各乡镇耕地质量指数局部空间自相关性散点图, 如图 2 所示, Moran's I 值即为反映局部空间自相关性的特征值, 均表现出正相关性, 其空间相关性呈现逐渐增加的特征, 须要注意的是, 自然质量的指数表现出较弱的空间正相关性。

#### 3.3 局部自相关结果分析

对镇级各类耕地质量分值的局部自相关性类型进行统计得到表 2, 表中各空间自相关类型统计个数是在  $P < 0.05$ , 即置信度为 95% 下的统计结果。与统计结果相对应的局部空间关联聚集图见图 3, 反映具体的空间分布情况。

由表 2 与图 3-a 可知, 在 95% 的置信度下, 珠三角大部分乡镇耕地自然质量在空间上表现为非显著型。针对以乡镇为研究单元的耕地自然质量局部空间自相关类型结果而言, 属正相关类型的 HH 型与 LL 型各有 51、67 个乡镇, 分别占珠三角乡镇总数的 10.58%、13.90%, 总计占乡镇总数的 24.48%; 而属负相关类型的 HL 型与 LH 型的乡镇分别有 7、12 个, 合计占乡镇总数的 3.94%; 非显著型乡镇有 345 个, 占乡镇总数的 71.58%。相较而言, 正相关类型乡镇个数相对于负相关类型占多数, 正、负相关类型对比来看, 正相关类型处于优势主导地位。从空间分布格局来看, 正、负相关类型均呈现零散分布, 其中 HH 型主要分布珠三角中部如白云区、荔湾

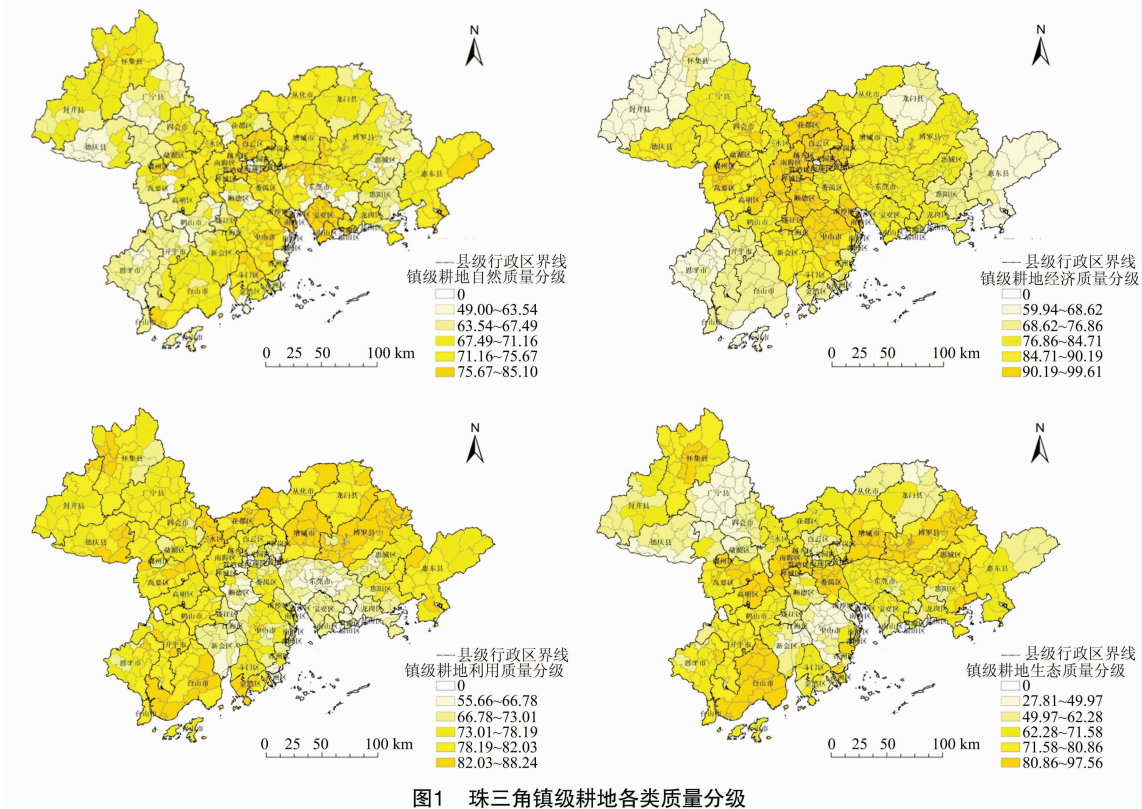


图1 珠三角镇级耕地各类质量分级

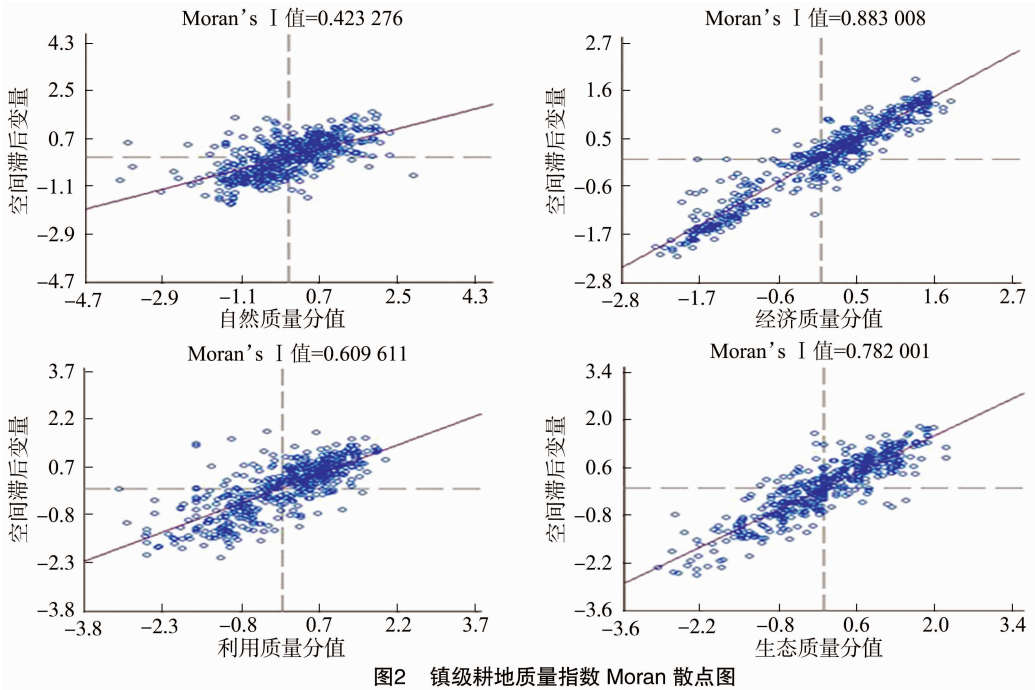


图2 镇级耕地质量指数 Moran 散点图

区的大部分区域,三水区中南部,番禺区北部以及南沙区北部、中山市中部部分乡镇,斗门区与新会区相邻区域乡镇,宝安区大部分区域等。从实际分布来看,这些地区地处珠三角平原地带,地势平坦,珠江、西江、北江、东江等河流贯穿而过,有良好的灌溉排水条件,土质较好、土壤肥沃,耕作自然条件优越;LL 型则主要分布于在广宁县、德庆县的大部分区域,高明区西部,鹤山市、恩平市北部,顺德区中部,东莞市东南部以

及惠城区和惠阳区的部分区域,与此相对应的区域也多数处于半山丘陵地带,地势较高,排灌条件较差,自然适宜性不高。HL 型和 LH 型多呈现零星分布,其中 HL 型散布于广宁县东南部乡镇,东莞市西南部,博罗县的北部和南部以及惠城区的部分乡镇;LH 型主要分布于花都区东部,高要区北部,博罗县西部,广州市中心城区,深圳市南部以及中山市中部靠北的区域。

由表 2 与图 3-b 可知,从耕地经济质量局部空间自相关分析的结果来看,属于正相关类型的 HH 型和 LL 型各有 121、107 个乡镇,分别占珠三角乡镇总数的 25.10%、22.20%,合计占 47.30%,负相关类型 HL 型和 LH 型均有 0 个乡镇;其余则为非显著型,共有 254 个乡镇,占珠三角乡镇总数的 52.70%。再从空间格局来分析,HH 型和 LL 型都是以组团的形式出现,集中性较强,其中 HH 型主要集中在珠三角的中部区域,广州-佛山-中山一线,包括广州市北部大部分区域和南部的南沙区,佛山市的南海、顺德区域,西部的端州区、鼎湖区、高要区的部分乡镇,蓬江区、江海区的北部,以及中山市的大部分地区。因为这一带区域内经济发展水平相对较高,交通道路四通八达使得产品相互流通,便于耕地经济效益的提升,耕地产出率也相应较高,靠近城市中心因此辐射带动作用也强;LL 型也是以组团的形式分布在珠三角区域的四周,主要包括珠三角西北部的怀集县、封开县和广宁县的西部乡镇,珠三角西南部的恩平市和开平市、台山市的大部分乡镇,珠三角东北部的从化市、龙门县,东部的惠东县和惠城区部分区域。LL 型的组团区域多属于丘陵山地,灌排条件较差,经济发展水平相对落后,交通通达度相对较低,城市中心辐射带动作用也较弱。

根据表 2 与图 3-c 可知,以乡镇为研究单元的利用质量局部空间自相关结果中,属正相关类型的 HH 型和 LL 型分别有 86、79 个乡镇,合计占珠三角乡镇总数的 34.23%,属于负相关类型的 HL 型和 LH 型分别有 5、9 个乡镇,两者仅占乡镇总数的 2.91%,其余非显著型乡镇占乡镇总数的 62.86%。对比正、负相关类型来看,正相关类型处于绝对优势地位。就其空间格局而言,正相关类型分布范围较广,负相关类型多零星分布,无明显集中区域,各类型空间分布格局同耕地利用质量局部空间关联格局基本一致。正相关类型中 HH 型分布于怀集县东部、南部部分乡镇,广宁县、德庆县交界处区域,珠三角东北部从化市、龙门县、增城市、博罗县的部分乡镇,以及珠三角西南部台山市、开平市、鹤山市一带。这些区域耕地利用条件较好,耕地连片性及人均耕地面积都相对较高,且多分布在住宅周边,便于农民耕种;LL 型主要分布在东莞市,深圳市部分区域,海珠区、番禺区的小范围乡镇,顺德区大部分区域,

南部的新会区、江海区相接区域,以及中山市、香洲区中部地区。这些区域耕地利用条件相对较差,可利用面积较少,且耕地较破碎,不利于大范围机械化操作与耕作管理。负相关类型中 HL 型仅离散分布于天河区、斗门区和中山市的几个乡镇;LH 型则零星分布在鼎湖区西北角,端州区南部,博罗县的几个乡镇,以及惠城区、惠东县部分区域,均无明显的集中特征。

根据表 2 与图 3-d 可知,以乡镇为研究单元的生态质量局部空间自相关结果中,属正相关类型的 HH 型和 LL 型分别有 106、83 个乡镇,合计占珠三角乡镇总数的 39.21%,属于负相关类型的只有 LH 型,仅有 3 个乡镇,占乡镇总数的 0.62%,其余的非显著型乡镇占乡镇总数的 60.17%。对比正、负相关类型来看,正相关类型处于绝对主导地位。从空间格局来看,与经济质量的空间布局类似,HH 型和 LL 型也都是以组团的形式分片区集中分布。其中 HH 型主要分为 4 个片区,包括怀集县北部,高要-高明-禅城-番禺一带,台山市、开平市大部分区域以及增城-博罗-惠城片区。LL 型集中分在广宁-四会-德庆-高要-鼎湖片区、蓬江-江海-新会-中山-南沙片区,以及龙门县部分区域。负相关类型 LH 型主要零散分布在博罗县和惠城区的几个乡镇。总体而言,基于耕地生态质量的局部空间自相关分析所得到的空间关联聚集图也与珠三角实际耕地生态质量情况相符合。

由表 2 与图 3-e 可知,以乡镇为研究单元的综合质量局部空间自相关结果中,属正相关类型的 HH 型和 LL 型分别有 113、78 个乡镇,合计占珠三角乡镇总数的 39.63%,属于负相关类型的也是只有 LH 型,仅有 3 个乡镇,占乡镇总数的 0.62%,其余的非显著型乡镇占乡镇总数的 59.75%。从正、负相关类型来看,正相关类型也是处于绝对主导地位。整体来看,综合质量的空间集聚分布与经济质量相似,以组团的形式分布并且整体格局也有部分区域一致。HH 型主要集中在高要-禅城-南海-花都-从化-白云-番禺-萝岗-增城-博罗一带;LL 型主要以组团的形式分片分布,包括封开-德庆-广宁片区,恩平-台山片区,以及龙门县、惠东县部分区域;LH 型零星分布在鼎湖区、博罗县的几个乡镇。空间关联聚集图也与珠三角实际耕地综合质量情况相符。

表 2 局部空间自相关类型与乡镇数量统计

类型	自然质量局 部空间自相关		经济质量局部 空间自相关		利用质量局部 空间自相关		生态质量局部 空间自相关		综合质量局部 空间自相关	
	乡镇数量(个)	比例(%)	乡镇数量(个)	比例(%)	乡镇数量(个)	比例(%)	乡镇数量(个)	比例(%)	乡镇数量(个)	比例(%)
HH 型	51	10.58	121	25.10	86	17.84	106	21.99	113	23.44
HL 型	7	1.45	0	0.00	5	1.04	0	0.00	0	0.00
LH 型	12	2.49	0	0.00	9	1.87	3	0.62	3	0.62
LL 型	67	13.90	107	22.20	79	16.39	83	17.22	78	16.18
非显著型	345	71.58	254	52.70	303	62.86	290	60.17	288	59.75
总计	482	100.00	482	100.00	482	100.00	482	100.00	482	100.00

4 结论与讨论

珠三角耕地各类型质量的空间分布格局均有所差异。自然质量等级分布主要集中在 2 级和 3 级,耕地自然质量呈中等偏上水平,自然质量高等级的耕地主要分布于珠三角中部、东部和南部的平原地区,而自然质量低等级耕地主要分布于

北部和西部的丘陵地区;经济质量等级属较高水平,耕地经济质量等级高的耕地基本集中在中部地区,低等级地多位于珠三角的外围区域,与珠三角在此区域的经济的发展程度想吻合;耕地利用等级呈现较高水平,利用质量等级高的耕地在整个区域分布较为广泛,散布在整个区域,利用质量等级低的耕地多位于珠三角的南部地区;耕地生态质量等级呈现中等偏上水



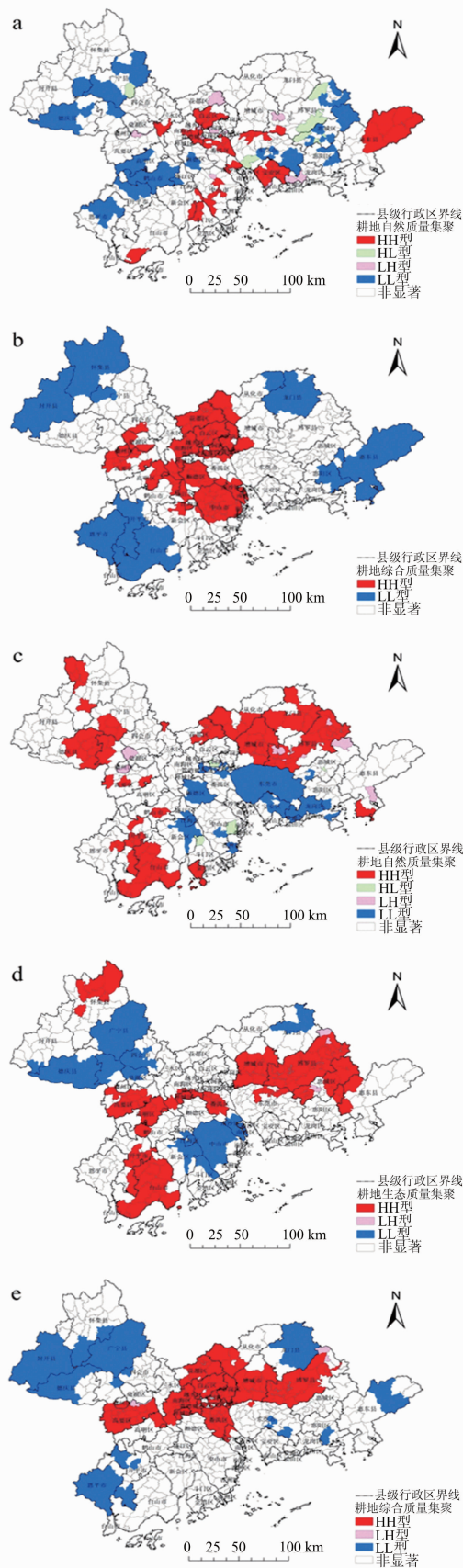


图3 镇级耕地质量局部空间关联聚集图

南部的部分区域,生态质量等级低的耕地多集中于珠三角北部山地丘陵区。

珠三角耕地质量局部均存在空间自相关,表现为耕地质量高的地方和耕地质量低的地方有较显著的空间聚集性。而各类型质量空间聚集类型有较大差异,大部分乡镇在空间上表现为非显著型。自然质量中属于正相关类型的乡镇占乡镇总数的 24.48%,从空间分布格局来看,正、负相关类型均呈现零散分布;经济质量无负相关类型,HH 型和 LL 型都是以组团的形式出现,集中性较强;利用质量中属于正相关类型的乡镇占乡镇总数的 34.23%,正相关类型分布范围较广,负相关类型多零星分布,无明显集中区域,各类型空间分布格局同耕地利用质量局部空间关联格局基本一致;生态质量属正相关类型的乡镇占乡镇总数的 39.21%,与经济质量的空间布局类似,HH 型和 LL 型也都是以组团的形式分片区集中分布。

就目前来看,空间自相关研究已应用于许多领域,但运用其在耕地中的研究还较少,而分析耕地质量在空间上的自相关性及其结构性特征的研究文献更为少见,空间自相关在耕地质量空间格局分析中的应用还较少,本研究也只是简单地运用自相关法对耕地质量的空间关联性特征进行分析,下一步可进行深入研究,依据珠三角耕地不同类型质量空间关联格局特征进行分区分类保护,以制定不同措施确保耕地受到保护。

#### 参考文献:

- [1] 吴次芳,徐保根. 土地生态学[M]. 北京:中国大地出版社,2003.
- [2] 熊昌盛,韦仕川,栾乔林,等. 基于 Moran's I 分析方法的耕地质量空间差异研究——以广东省广宁县为例[J]. 资源科学,2014,36(10):2066-2074.
- [3] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. 土壤学报,2012,49(6):1210-1217.
- [4] 袁秀杰,赵庚星,朱雪欣. 平原和丘陵区耕地地力评价及其指标体系衔接研究[J]. 农业工程学报,2008,24(7):65-71.
- [5] Morari F, Lugato E, Giardini L. Olsen Phosphorus, exchangeable cations and salinity in two long-term experiments of north-eastern Italy and assessment of soil quality evolution[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2008,124(1/2):85-96.
- [6] Mastro R E, Chhonkar P K, Singh D, et al. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India[J]. Environmental Monitoring and Assessment,2008,136(1/2/3):419-435.
- [7] 鄢瑞卿,关 侠,鄢旭久,等. 基于自组织神经网络的耕地自然质量评价方法及其应用[J]. 农业工程学报,2014,30(23):298-305.
- [8] 张桂花,于 婧,罗清泉,等. 武汉市远城区耕地质量空间格局分析[J]. 农业与技术,2014(2):221-224.
- [9] 任 奎,周生路,张红富,等. 江苏农用地资源质量空间格局及影响机制研究[J]. 农业工程学报,2008,24(4):127-134,封3.
- [10] 张红富,周生路,吴绍华,等. 江苏省农用地质量空间格局及其影响因素分析[J]. 资源科学,2008,30(2):221-227.
- [11] 贾树海,邱志伟,潘锦华. 辽宁省农用地质量空间分布格局及影响因素研究[J]. 生态环境学报,2010,19(5):1143-1150.
- [12] 张晓燕,张 利,陈 影,等. 河北省农用地质量空间格局的计量地理分析[J]. 水土保持研究,2010,17(1):101-106.

张桀滢,李江风,谭 旭,等. 基于 ArcScene 的丘陵地区土地整治三维可视化方法[J]. 江苏农业科学,2019,47(6):203-207.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.06.045

# 基于 ArcScene 的丘陵地区土地整治三维可视化方法

张桀滢<sup>1</sup>, 李江风<sup>1</sup>, 谭 旭<sup>2</sup>, 陈万旭<sup>1</sup>, 郑 亮<sup>1</sup>

[1. 中国地质大学(武汉)公共管理学院,湖北武汉 430074; 2. 国家测绘地理信息局第三地理信息制图院,四川成都 610000]

**摘要:**随着经济社会的发展和耕地保护压力的增大,土地整治作为提高耕地数量和质量的有效措施,将处于越来越重要的地位。因此,有效提高土地整治规划设计质量,也变得尤为重要。运用三维建模技术,研究在地理信息系统(geographic information system, GIS)平台上构建土地整治三维场景的技术方法,在总结现有研究成果的基础上,针对低山丘陵地区的土地整治项目,提出了 1 套土地整治项目三维场景的构建方案;并且以湖北省黄冈市红安县高桥镇土地整治项目为例,建立土地整治三维场景,实现了土地整治三维可视化。研究结果表明,该方案可以有效生成土地整治三维场景,地形地物匹配情况较好,三维可视化效果好;最后,对基础数据获取、三维建模等方面的技术进行讨论,提出了未来对该领域研究的展望。

**关键词:** ArcScene; 地理信息系统; 土地整治; 规划设计; 三维建模; 三维可视化

**中图分类号:** F301.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)06-0203-05

土地资源是国家经济社会发展的物质基础。当前,我国城市化进程加快,对土地的需求越来越大,同时,保护耕地的压力也与日俱增。土地整治是对田、水、路、林、村的综合整治<sup>[1]</sup>,它作为提高耕地数量和质量的有效措施,将处于越来越重要的地位。因此,提高土地整治规划设计的可行性和合理性,具有重要的现实意义。当前的土地整治规划设计大多

是基于二维计算机辅助设计(computer aided design, CAD)平台进行的,具有很多局限性。实现土地整治规划设计成果的三维可视化可以更直观地展现规划设计场景,辅助技术人员进行规划设计,并且有利于公众参与,以增强规划设计的科学性和合理性。

目前,国内已经有众多学者对基于地理信息系统(geographic information system, GIS)的三维可视化技术作了很多探索,并尝试性地用于土地整治规划设计。对基于 GIS 的三维可视化最早的探索是在三维数字城市领域,一些学者利用 3Ds Max<sup>[2-4]</sup>、Sketch Up<sup>[5-7]</sup>或 Multigen Creator<sup>[2,8]</sup>等手工建模软件构建三维模型,并在 ArcGIS<sup>[2,3,5-7]</sup>、Skyline<sup>[4,9]</sup>等三维平台上生成三维场景,以建立三维数字城市景观。还有学者将参数化建模(parametric modeling)方法用于三维数字城市,用专业知识和规则来确定几何参数和约束,通过简单地改

收稿日期:2017-11-29

基金项目:湖北省国土整治局技术研究项目(编号:EZC-2014-ZX0568)。

作者简介:张桀滢(1993—),男,湖北老河口人,博士研究生,主要从事土地利用规划研究。E-mail: zjh93@foxmail.com。

通信作者:李江风,博士,教授,博士生导师,主要从事土地利用规划、国土资源调查评价及地质公园规划研究。E-mail: jfli0524@163.com。

[13]袁天凤,邱道持. 重庆市耕地质量分布与经济发展的耦合[J]. 经济地理,2008,28(3):133-146.

[14]张 贞,魏朝富,尚 慧. 丘陵山区耕地质量的空间格局分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(8):901-907.

[15]宋 戈,李 丹,梁海鸥,等. 松嫩高平原黑土区耕地质量特征及其空间分异——以黑龙江省巴彦县为例[J]. 经济地理,2012,32(7):129-134.

[16]Kraemer R, Prishchepov A V, Mueller D A, et al. Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan[J]. Environmental Research Letters,2015,10(5):054012.

[17]张 超,张海锋,杨建宇,等. 耕地自然质量空间分布及其影响因素分析——以北京市大兴区为例[J]. 测绘学报,2015,44(增刊1):75-81.

[18]赵 丹,赵华甫,饶 杰,等. 基于趋势面的耕地质量空间分异特征及影响因素[J]. 水土保持研究,2015,22(6):219-223.

[19]李 涛,孔祥斌,梁 颖,等. 基于农户决策行为的耕地质量评价理论与方法构建[J]. 中国农业大学学报,2010,15(3):101-107.

[20]熊昌盛,谭 荣,岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J]. 农业工程学报,2015,31(22):276-284.

[21]奉 婷,张凤荣,李 灿,等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. 农业工程学报,2014,30(1):200-210.

[22]路 婕,李 玲,吴克宁,等. 基于农用地分等和土壤环境质量评价的耕地综合质量评价[J]. 农业工程学报,2011,27(2):323-329.

[23]陈 朝,吕昌河. 基于综合指数的湖北省耕地质量变化分析[J]. 自然资源学报,2010,25(12):2018-2029.

[24]赵小娟,叶 云,周晋皓,等. 珠三角丘陵区耕地质量综合评价及指标权重敏感性分析[J]. 农业工程学报,2017,33(8):226-235.

[25]王 磊,李 涛,曹小曙. 基于 ESDA-GIS 的广东省城乡统筹发展空间分异[J]. 经济地理,2012,32(9):44-50.

[26]王 永,沈 毅. 空间自相关方法及其主要应用现状[J]. 中国卫生统计,2008,25(4):443-445.

[27]谢花林,李秀彬,张燕婷,等. 基于 ESDA 的京津冀地区草地变化空间分异[J]. 自然资源学报,2012,27(7):1224-1232.