基于空间自相关的耕地质量空间分布特征研究——以江西省南昌县为例

张晗[1,2,3]，赵小敏[1,3,4,*]，匡丽花[4]，郭熙[1,2,3]，李伟峰[1,2]，

欧阳真程[1,2]，黄聪[1,2]，汪晓燕[1,2]，叶英聪[1,21]

1.江西农业大学 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室/南方粮油作物协同创新中心,江西 南昌 330045

2.江西农业大学 国土资源与环境学院,江西 南昌 330045；3.江西农业大学 土地科学研究所,江西 南昌 330045

4.南京农业大学 公共管理学院,江苏 南京 210095

摘要:为了掌握与分析耕地质量空间分布特征,加强耕地质量建设,完善耕地保护新格局,基于加权平均法、集中度指数、分形维数和空间自相关分析法,以耕地质量等别监测试点县——南昌县为研究区,引入国家自然等指数、利用等指数和经济等指数为空间变量,以耕地图斑为空间单元进行空间自相关分析,从县级和乡镇级尺度上探讨耕地质量的空间差异特征。结果表明,南昌县耕地质量呈现出西南高东北低的空间分布规律,耕地质量等指数 Moran‘s I 值表现为自然等指数>经济等指数>利用等指数。不同空间尺度下,耕地质量指数具有不同的空间关联度,自然等指数受空间尺度的影响最大,经济等指数其次,利用等指数最小。正相关 HH 型和 LL 型耕地以组团形式聚集分布,负相关 HL 型和 LH 型耕地则多以零星状分布。综合考虑南昌县耕地质量空间自相关类型,将耕地划分为常规监测区、综合监测区和重点监测区 3 个监测分区。研究结果可为区域耕地质量监测、主导限制型谱序、耕地保护与管理分区和空间优化布局等提供借鉴参考。

关键词: 耕地质量； 空间分布； 空间自相关； 监测分区； 南昌县

中图分类号:F301.21 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-1524(2017)08-1365-10 doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2017.08.19

耕地是土地资源中不可或缺的自然资源和最宝贵的生产资料，是粮食生产的载体。耕地质量与国家农业生产安全、农产品质量安全和生态文明建设密切相关，是重要的生产、生活、生态空间，也是促进社会经济可持续发展的核心保障与物质基础。当前，我国耕地质量总体上呈现下降趋势，中低产田的耕地面积占耕地总面积的 2/3 以上，且大部分耕地存在限制性因素[1]。为

[1] *通信作者,赵小敏,E-mail: zhaoxm889@126.com

作者简介:张晗(1992—),男,江西永丰人,硕士研究生,主要从事土地遥感与信息、土地利用规划和耕地质量监测等研究。E-mail: zhanghan0307@163.com

收稿日期: 2017-02-27

基金资助: 国家自然科学基金项目(41361049)；江西省自然科学基金项目(20122BAB204012)

提高耕地质量，加强耕地质量建设、管理和保护工作，“ 十三五” 规划提出了“ 藏粮于地，藏粮于技” 战略，要像保护大熊猫一样保护耕地，着力加强全国耕地数量、质量和生态“ 三位一体” 管护制度，农业部也相继出台了《农用地质量分等规程》(GB /T 28407— 2012)、《耕地质量等级》(GB /T 33469— 2016)等相关规程。

近年来，为加快推进耕地质量提升与保护，健全耕地补偿保护机制，国内外学者在耕地质量和等别提升等方面做了诸多探索和研究，基于农用地分等成果的耕地质量监测与保护分区成为当前研究的热点之一[2, 3, 4, 5]。目前，国内外耕地质量的相关研究主要集中在耕地质量的综合评价[6, 7]、评价指标的选取[8]、监测体系的建立[9]、监测样点的布设[10]、耕地质量动态变化与预警[11]、中低产田的质量改良[12, 13]及耕地质量的空间分布格局[14, 15]等方面，研究尺度多为国家、省级宏观尺度，或市级、县级、流域等中观尺度[16, 17]，研究方法以经典统计分析法、GIS 空间分析技术、地统计学和综合统计法等为主[18]。总体而言，国内耕地质量监测与评价研究体系已初步建立且日趋完善，研究成果极大地丰富了耕地质量的内涵，为耕地质量的空间优化布局提供了理论基础和科学依据。一般地，较大尺度的空间分析容易掩盖耕地质量的空间格局演变规律，而当前耕地质量空间分布的研究尺度多以宏观和中观为主，未能全面地从微观尺度，如乡镇级、村级单元考虑研究区耕地质量自然属性、利用属性和社会经济属性的空间异质性。耕地质量常受到地形地貌、气候、耕作制度等自然条件和耕地利用方式、投入管理水平、经济发展水平等社会经济条件的影响，而传统的研究方法鲜从空间关联角度定量地研究耕地质量的空间格局与变化特征。基于此，选取江西省南昌县为研究区，以 2015 年为研究时点，以耕地质量指数(国家自然等指数、利用等指数和经济等指数)为空间变量，运用加权平均法、集中度指数、分形维数和空间自相关等多维研究方法，从县级和乡镇级中、微观层面上定量研究南昌县耕地质量的空间集聚和差异性特征，以期为江西省乃至全国的耕地质量监测、耕地保护与管理分区、耕地质量提升和空间优化布局等提供借鉴参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南昌县坐落于江西省中部偏北，赣江、抚河下游，鄱阳湖之滨，28° 16’~28° 58’N、115° 49’~116° 19’E 之间，属于鄱阳湖平原地区。全县地势南高北低，呈缓慢倾斜状，东北为湖滨平原，中部为平原和带状、垄岗状局部低丘，西南部为低、残丘和近河的冲积平原，全境平均海拔高度 25 m。南昌县位于亚热带湿润气候带，年均气温 17.8 ℃，年均降水量 1 662.5 mm，年均日照时数 1 603.4 h，年均霜期 89 d。境内水系发达，赣江、抚河、清丰山河穿过境内，平均入境径流量约 870 亿 m3。南昌县土壤肥沃，有 8 个土类 13 个亚类 33 个土属 72 个土种，水稻土是当地主要的农业土壤，红壤为域内典型的地带性土壤。

南昌县辖区面积 181 070.10 hm2，2015 年耕地面积 87 050.62 hm2，其中水田 80 972.52 hm2，水浇地 3 724.77 hm2，旱地 2 353.33 hm2。南昌县下辖 11 个镇、7 个乡，拥有 2 个农垦场和 1 个国家级开发区(小蓝经济开发区)，264 个村委会和 71 个居委会及社区。南昌县位于我国长江中游平原农业水产区，是典型的农业生产大县和我国中部地区的粮食主产区，素有“ 鱼米之乡” 和“ 江南粮仓” 之美誉。南昌县作为国土资源部耕地质量监测试点县，研究该区域耕地质量的空间分布具有典型性和代表性。

1.2 数据来源与处理

本研究所采用的数据来源于 2014 年南昌县国土局和农业局等。研究区所用数据包括:(1)自然条件资料，包括土壤普查、水文地质调查数据，植被，地形地貌，农田水利设施建设情况，气候统计，标准耕作制度，自然灾害与灾情分析等； (2)社会经济资料，包括南昌县农业统计、农业经济统计、耕地生产投入与管理水平、南昌县统计年鉴等； (3)基础图件资料，包括 2013 年土地利用变更数据(图)、土地利用总体规划图、第二次土壤普查图、行政区划图、地形地貌图、土壤质地图、有效土层厚度图、灌排图和空间分辨率为 30 m 的 DEM 图等； (4)数据库资料，包括 2013 年南昌县耕地质量等别更新数据，第二次土地资源调查成果，土地利用现状数据库，农用地分等数据库和耕地地力评价数据库等。

本文基础数据预处理和监测方法主要参照《耕地质量等级》和《农用地质量分等规程》里提供的方法及思路，对基础数据进行分类整理，计算研究区耕地图斑的国家自然质量等指数、利用等指数和经济等指数，并基于 ArcGIS 10.3 平台，采用 Identity analysis 对耕地图斑、县级分等单元和行政界线等基础矢量数据进行叠加分析，构建南昌县耕地质量监测指标体系，最终形成江西省南昌县 2015 年耕地质量监测数据库。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地质量等别面积加权平均法

耕地面积和等别属性是耕地的重要属性，耕地质量等别面积加权平均法可以分析研究区耕地质量总体平均水平及空间分异规律。本文采用国家级自然等别、利用等别和经济等别与图斑面积进行加权平均，以研究南昌县耕地自然质量、利用质量和经济质量总体状况。加权国家等别越低，代表耕地质量越高，反之，则越低。加权国家等别计算公式如下:

$$E = \frac{\sum_{i=imin}^{imax} (i \times F_i)}{S} 。 \qquad (1)$$

式(1)中:E 为研究区耕地质量国家等别平均值； i 为国家等别； imax 为国家等别最大值； imin 为国家等别最小值； Fi 为第 i 等耕地面积； S 为研究区耕地总面积。

1.3.2 耕地集中度指数

耕地集中度指数(G)是耕地在空间地域上集中程度的测度指标，数值越接近 100，表明耕地在空间地域上分布越集中于某一或几个区域，反之，则越分散。耕地集中指数计算模型如下:

$$G = 100 \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i/T)^2} 。 \qquad (2)$$

式(2)中:G 为耕地集中度指数； xi 为研究区第 i 个乡镇的耕地分布面积； T 为研究区耕地总面积； n 为研究区乡镇个数。

1.3.3 分形维数

分形维数(fractal dimension)表征了各个组成部分的形态以某种方式与整体的自相似性和标度不变性。耕地斑块受到自然环境与空间异质性的影响，在空间上以景观的形式镶嵌分布，是一种典型的自然几何体。因此，常借用景观生态学的斑块分形维数来描述田块的规整程度，其理论范围在[1.0，2.0]之间，分形维数越高，耕地斑块越复杂、越破碎，越不利于机械化； 分形维数越小，耕地斑块越规整，越有利开展规模化生产和土地综合整治。耕地分形维数模型如下:

$$FD = \frac{2\ln(P/4)}{\ln A}。 \quad (3)$$

式(3)中:FD 为田块规整度； P 为地块周长； A 为地块面积。

1.3.4 空间自相关

空间权重是进行空间自相关分析的前提和基础。空间位置的相邻关系可分为邻接关系、距离关系和最近 K 点关系 3 类。通过对研究区域耕地图斑的空间邻接性进行统计分析，发现以耕地图斑为空间单元的空间分布较为均质，且绝大多数有相邻的耕地图斑，符合 K 点关系。经过多次试算和对照分析，当研究区域内各空间单元都拥有 3 个相同的相邻个数(K=3)时，可降低耕地质量的空间内部差异，空间自相关模型拟合效果最优。

Moran‘s I 指数是空间自相关指标集聚程度的基本测度，在耕地质量空间集聚特征研究方面，Moran‘s I 统计量一般可分为全局空间自相关(global Moran’ s I)和局部空间自相关(local Moran‘s I)。

Global Moran’ s I 指数可以全面测度区域空间要素属性值聚合或离散的程度。基于 ArcGIS 10.3 和 GeoDa 软件平台，运用全局 Moran‘s I 指数验证南昌县和下辖各乡镇的耕地质量指数的空间依赖程度。全局 Moran‘s I 指数取值范围为[-1, 1]，I> 0 表示空间正相关，研究对象趋于空间聚合特征； I< 0 表示空间负相关，研究对象趋于空间离散特征； I=0 表示研究对象随机分布。一般用 Z 值进行显著性检验，当 Zscore> 2.58 或 Zscore< -2.58(α =0.01)时，表明耕地质量在空间上存在显著的空间自相关性。全局空间自相关模型如下:

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i}^{n} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j\neq i}^{n} w_{ij}(x_i - \bar{x})^2}; \quad (4)$$

$$Z_{score} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{VAR(I)}}。 \quad (5)$$

式(4)、(5)中:n 代表研究对象的个数； wij 代表空间要素 i 和要素 j 的权重； (xi- $\bar{x}$)和(xj- $\bar{x}$)分别是第 i、j 个空间单元上的观测值与平均值的偏差； Zscore 代表标准化统计量的阈值； E(I)为观测变量自相关性的期望； VAR(I)代表方差。

局部 Moran‘s I 指数用于对整个区域耕地分布的空间自相关程度进行描述，能以图形的形式直观地展现研究区耕地质量的空间集聚状况。以南昌县耕地图斑为空间单元，从县级和乡镇级尺度上对耕地质量指数进行局部空间自相关分析，采用耕地质量指数 LISA 集聚图分析南昌县耕地质量集聚或离散的空间位置。耕地质量指数按 HH(高-高型)、LL(低-低型)、HL (高-低型)、LH(低-高型)、NN(非显著相关型)划分为 5 种类型，其中，HH 型和 LL 型为正相关类型，表示耕地质量空间聚合程度较高，LH 型和 HL 型为负相关类型，表示耕地质量空间结构呈离散特性，NN 为非显著相关型，表示耕地质量无明显的集合或离散特性。局部空间自相关计算模型如下:

$$I = \frac{\sum_{j=1, j\neq i}^{n} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}。 \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 耕地质量空间分布特征

耕地质量等别反映土壤本身的生产潜力水平，与土壤理化性质、农田基本建设条件、光温(气候)生产潜力、耕地投入管理水平等自然和社会经济条件密切相关。采用等别面积加权平均法得到南昌县的国家平均自然等、平均利用等和平均经济等分布(表 1)。2015 年南昌县耕地国家自然等别在 8~12 等之间，平均为 9.08 等，高于 9.08 等的面积合计占 83.80%； 国家利用等在 3~12 等之间，平均为 6.07 等，高于 6.07 等的面积合计占 92.51%； 国家经济等在 3~13 等之间，平均为 5.06 等，高于 5.06 等的面积合计占 39.44%。整体来看，南昌县耕地自然质量和利用质量较好，经济质量相对较低。

表 1　南昌县耕地质量等别面积分布

等 别 类型	各等别的分布面积 Distribution area for each grade										
Grade types	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NG	—	—	—	—	—	10263.99	62684.39	12270.46	254.5	1577.27	—
UG	1267.63	25841.36	51397.28	2019.8	38.36	510.78	2072.22	1722.14	1911.41	269.64	—
EG	702.74	10800.3	22825.57	29058.77	11214.21	5959.24	805.49	2583.58	1815.36	1187.27	98.09

NG，国家自然等别； UG，国家利用等别； EG，国家经济等别。下同。

无论是耕地自然质量、利用质量还是经济质量，南昌县 2015 年大部分区域都高于国家平均水平，耕地质量整体较优，但受到地形、耕地利用方式和社会经济水平等的影响，南昌县耕地质量分布存在着较大的差异。南昌县地处平原地区，地势平坦，自然条件优越，县域内大部分地区自然质量都较高，在空间分布上整体呈现由西南向东北递减的趋势(图 1)； 利用质量较高的区域主要分布在县域的西南部、中南部和东部地区，这 3 个区域耕地生产与投入、农田基础设施状况以及田间管理技术等方面的社会利用条件较好，耕作半径较短，且北部田块较为规整，利于机械化耕作，整体上东北部利用水平略高于南部； 经济质量与自然质量、利用质量空间分布特征大体一致，经济水平较高的区域主要集中在西南部、中南部和西北部，这 3 个区域社会经济水平相对较高，耕地产出与经济效益较大。

从耕地面积分布来看，南昌县耕地主要集中在北部的南新乡、蒋巷镇和塘南镇，东部的泾口乡和幽兰镇，西南部的向塘镇、广福镇等。经测算，以乡镇为空间单元统计的南昌县域耕地集中度指数为 20.31。如图 2 所示，以行政村为单元的南昌县耕地集

中度指数呈现出“ 南北高、中部低” 的特征，其中以蒋巷镇的耕地集中度指数最高，其次为塘南镇、泾口乡、向塘镇等，莲塘镇最低，一半以上的乡镇耕地集中度指数高于南昌县耕地集中度指数，高值区集中在西南部、中部和东北部地区，表明南昌县各乡镇耕地分布整体上较为集聚，但也存在较大的空间差异。

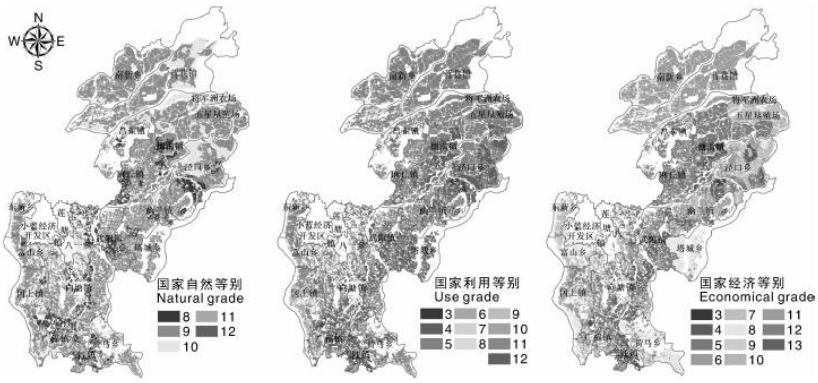

图 1 南昌县耕地质量等别分布图

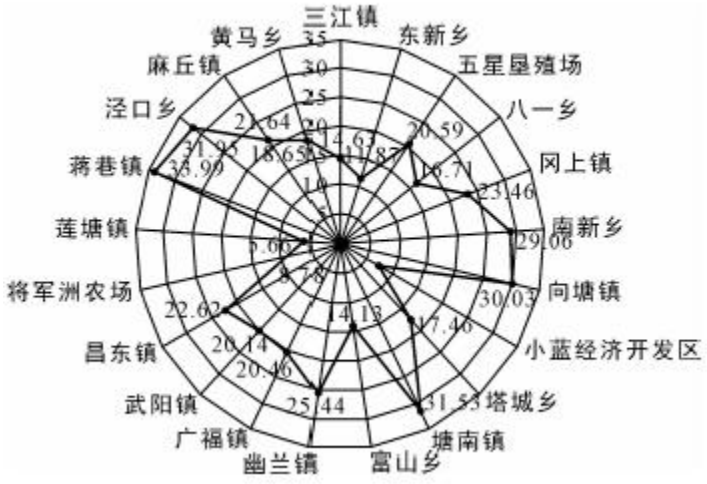

图 2 南昌县各乡镇耕地集中度指数雷达图

2.2 耕地质量空间自相关分析

2.2.1 全局空间自相关分析

从表 2 可知，在县域尺度下，耕地质量的自然等指数、利用等指数和经济等指数的全局 Moran‘s I 值均> 0.2，Zscore 值均> 2.58，通过 α =0.01 水平下的显著性检验。从耕地质量等指数全局 Moran‘s I 值来看，耕地的国家自然等指数> 国家经济等指数> 国家利用等指数，表明南昌县耕地自然质量所表现出的空间正相关集聚特性相对最强，其空间变异性相对最弱，而利用质量所表现出的空间正相关集聚特性相对最弱。

表 2　南昌县耕地质量全局

耕地质量指数 Land quality index	Moran‘s　I	Zscore
NG	0.42	40.35
UG	0.21	26.38
EG	0.28	18.19

为了更直观地反映乡镇级与县级水平的耕地质量指数全局 Moran‘s I 值变化特征，以 21 个乡镇耕地图斑为空间单元，计算各乡镇的全局 Moran‘s I 值(表 3、图 3)。可以看出，乡镇级耕地国家自然等指数、经济等指数和利用等指数全局 Moran‘s I 值的平均值低于县级水平的全局 Moran‘s I 值； 但乡镇级水平下，耕地质量 3 类指数的全局 Moran‘s I 值在内部层面之间相差较大。对比县级和乡镇级尺度耕地质量 3 类指数的全局 Moran‘s I 值，两者在数值上存在较大差距:国家自然等指数的全局 Moran‘s I 值受空间尺度的影响最大，县级与乡镇级水平全局 Moran‘s I 值变幅达到 0.1，国家经济等指数其次，达 0.09，国家利用等指数受影响最小，变幅仅 0.06。21 个乡镇中:自然等指数全局 Moran‘s I 值最高的为广福镇，达 0.77，最低的为将军洲农场，仅 0.11； 利用等指数全局 Moran‘s I 值最高的为三江镇，达 0.35，最低的为东新乡、向塘镇、蒋巷镇和麻丘镇，仅 0.10； 经济等指数全局 Moran‘s I 值最高的为泾口乡，达 0.38，最低的为蒋巷镇和麻丘镇，仅 0.10。在空间分布上，耕地质量 3 类指数全局 Moran‘s I 值大致呈现出西南高东北低的空间格局，国家自然等指数全局 Moran‘s I 值的高值区明显要多于利用等和经济等指数。

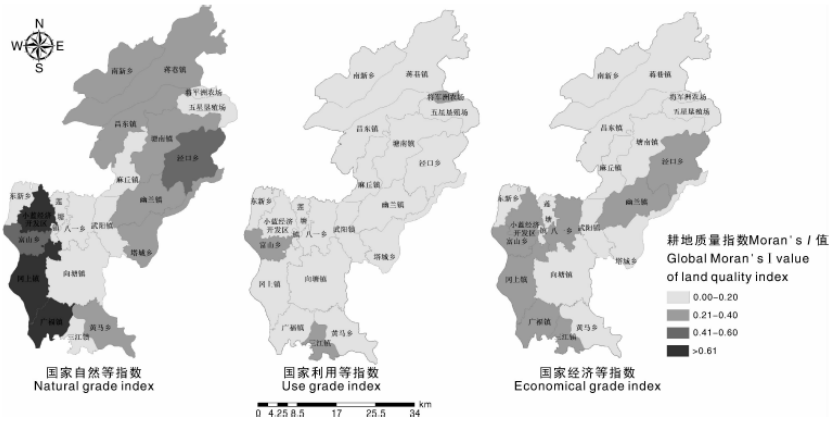

图 3 南昌县各乡镇耕地质量指数全局 Moran‘s　I 值空间分布

2015 年南昌县耕地斑块分形维数平均值为 1.063 2(表 3)，其中，田块规整度高于全县平均水平(即分形维数< 1.063 2)的有 12 个乡镇，低于全县水平的有 9 个，各乡镇耕地分形维数均在 1.0~1.1 之间，说明南昌县耕地要素处于稳定状态，田块规整度较高，形状趋于正方形。从地理分布上来看，南昌县耕地的田块规整度整体呈现出由东北向西南递减的趋势，最小值出现在五星垦殖场，分形维数为 1.048 1，最大值分布在武阳镇，分形维数为 1.083 7。

表 3　南昌县各乡镇耕地质量指数全局

乡镇 Township	分形维数 Fractal dimension	耕地质量全局 Moran‘s I 指数 Global Moran‘s I value of land quality index		
		NG	UG	EG
三江镇 Sanjiang	1.0679	0.57	0.35	0.34
东新乡 Dongxin	1.0591	0.13	0.1	0.18
八一乡 Bayi	1.0626	0.2	0.13	0.22
冈上镇 Gangshang	1.0653	0.65	0.17	0.23
南新乡 Nanxin	1.0589	0.25	0.12	0.13
向塘镇 Xiangtang	1.0668	0.34	0.1	0.11
塔城乡 Tacheng	1.0747	0.14	0.13	0.13
塘南镇 Tangnan	1.0579	0.31	0.15	0.2
富山乡 Fushan	1.059	0.47	0.23	0.3
幽兰镇 Youlan	1.0804	0.27	0.16	0.3
广福镇 Guangfu	1.0595	0.77	0.16	0.23
武阳镇 Wuyang	1.0837	0.18	0.13	0.13
昌东镇 Changdong	1.0653	0.29	0.13	0.13
莲塘镇 Liantang	1.054	0.17	0.14	0.12
蒋巷镇 Jiangxiang	1.0561	0.22	0.1	0.1
泾口乡 Jingkou	1.0616	0.43	0.13	0.38
麻丘镇 Maqiu	1.0699	0.15	0.1	0.1
黄马乡 Huangma	1.0679	0.34	0.11	0.15

五星垦殖场 Wuxing	1.0481	0.12	0.18	0.11
小蓝经济开发区	1.0579	0.66	0.15	0.25
Xiaolan development zone				
将军洲农场 Jiangjunzhou	1.0514	0.11	0.21	0.16

2.2.2 耕地质量局部空间自相关分析

局部空间自相关可以借助 LISA 集聚图直观地反映出南昌县耕地质量集聚或离散的空间位置。以南昌县各乡镇耕地质量指数为空间单元进行局部空间自相关分析，在 99%的置信度水平下，统计各乡镇的 LISA 集聚或离散类型，结果显示，南昌县大部分地区耕地质量 3 类指数在空间分布上均表现为非显著型。

国家自然等指数 HH 型以组团状形式聚集在中部抚河平原以及西南部的赣抚总干冲积平原区域(图 4)，主要包括三江镇大部，广福镇、八一乡北部，向塘镇、冈上镇、武阳镇、麻丘镇南部，塘南镇中部等，这些地区地处赣江和抚河的冲积平原，地势平坦，土壤肥沃，排灌设施完善，离水源地近，交通便利，耕作自然条件优越，自然质量相对较高；LL 型以团状形式聚集在将军洲农场大部，蒋巷镇、泾口乡东北部，八一乡与向塘镇接壤处以及黄马乡西南部，这些区域自然条件较差，地势低洼不平，洼地、岗地、低丘、平原等交错分布，土层较薄，岩石露头度相对较大，土壤质地以砂质土为主，蓄水力弱，养分含量少，保肥力较差，排灌条件较差，耕地自然质量相对较低。HL 型和 LH 型零星分布在南新乡、昌东镇、麻丘镇、塔城乡等乡镇。

国家利用等指数 HH 型以团状形式聚集在三江镇大部、广福镇东部、塘南镇南部、泾口乡西南部及武阳镇与塔城乡接壤处(图 4)，通过与交通、水系及农村居民点等叠加分析可知，这些区域耕地位于抚河支流或赣江支流两侧的冲积平原处，土壤肥沃，灌溉水源充足，排水通畅，交通便利，农村居民点分布密度较大，农户耕作距离较短，便于耕作和管理，土地利用条件优越；LL 型零星分布在南新乡、武阳镇、塔城乡、黄马乡及八一乡与向塘镇交界处； HL 型和 LH 型零星分布在黄马乡、塔城乡、南新乡以及冈上镇、八一乡与向塘镇三者交界处。

国家经济等指数在空间分布上相对集中且大致与国家利用等指数分布吻合(图 4)。HH 型主要分布于向塘镇东部-武阳镇组团、麻丘镇-塘南镇组团、三江镇-广福镇组团等区域，这些区域大部分位于赣江或抚河冲积平原地区，地势平坦，耕地自然质量和利用水平较高，经济发展条件较优，耕地投入产出效益较好。HL 型和 LH 型分布与国家利用等指数较为一致。LL 型以组团状聚集分布在黄马乡、冈上镇、广福镇、富山乡和塔城乡等乡镇，这些区域的耕地位于赣江和清丰山河两侧及抚河支流交汇处的冲积平原，耕地坡度较大，耕地自然质量和利用水平一般，经济发展水平与交通条件相对较差，农村居民点分布较密集，建设用地占用耕地和耕地非农化现象较普遍，不利于耕作经济效益的积累，导致国家经济等指数相对较低。

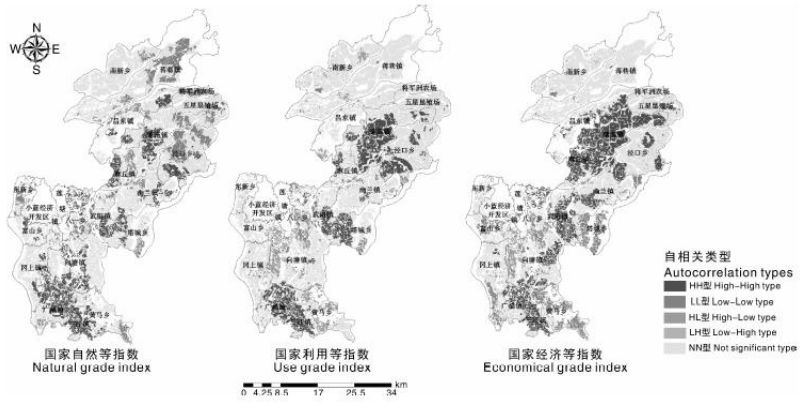

图 4 南昌县耕地质量指数空间关联局部指标(LISA)集聚图

2.2.3 基于局部空间自相关的耕地质量监测分区

综合考虑耕地自然质量、利用水平和产出效益等方面的限制，根据南昌县耕地资源的本底分布情况，将耕地中的 NN 型和 HH 型耕地划分为常规监测区，主要分布在黄马乡西南部，广福镇、向塘镇、武阳镇大部，八一乡北部，冈上镇东部，幽兰镇与塘南镇南部，泾口乡东部与南部等地区； 将耕地中的 LL 型耕地划分为综合监测区，主要分布在黄马乡西南部、广福镇南部、富山乡与向塘镇东部、泾口乡北部、塘南镇、蒋巷镇南新乡、五星垦殖场大部等地区； 将耕地中的 HL 型和 LH 型耕地划分为重点监测区，零星分布在黄马乡、广福镇、冈上镇、泾口乡、麻丘镇、塘南镇及蒋巷镇等区域。

在常规监测区内，优质耕地高度集聚或制约因素离散特征不明显，耕地质量较为均匀，应维持现有的耕地质量水平，积极推行秸秆还田、增施有机肥、少耕免耕、粮豆轮作等措施，禁止非农建设和非法占用耕地，继续加强耕地保护。综合监测区内因为自然、利用和经济条件总体较差，是进行非农化建设较为理想的区域，若作农田利用，应综合采用各种改良手段，因地制宜实行免耕少耕、深松浅翻、深施肥料和粮豆轮作套作等耕地保护和改良措施，整体实施综合性的土地整治措施和耕地质量监测。在重点监测区内，高质量耕地易被低质量耕地同化，应强化高质量耕地的保护与提升，用地和养地相结合，提升土壤养分，改善耕层条件，改良农业耕作环境，如实施秸秆还田，推广测土配方施肥，完善农田水利基础设施，合理调整农业种植结构等，重点改良质量较低的耕地，避免低质量耕地向高质量耕地扩散，发挥高质量耕地的辐射扩散效应，以期实现向 HH 型的转变，稳定提升耕地综合质量。

3 结论与讨论

本研究以 2015 年南昌县耕地质量监测数据库为基础，以县级和乡镇级耕地图斑为空间单元，运用加权平均法、集中度指数、分形维数和空间自相关等多维研究方法对耕地质量进行空间分析，从中、微观层面对耕地质量自然等指数、经济等指数和利用等指数进行全局和局部空间自相关分析，主要结论如下。

(1)2015 年南昌县耕地质量 3 类指数的 Moran‘s I 值表现为国家自然等指数> 国家经济等指数> 国家利用等指数，且均大于 0.2，说明南昌县耕地质量在空间上呈正相关聚集的态势。在空间上，高质量区域集中在县域的西南部、中部和北部近赣江和抚河平原地区，在县域西南部，耕地自然质量、利用质量和经济质量均达到了较高水平。

(2)随着空间尺度变化，耕地质量指数具有不同的空间关联度。在同一尺度，从耕地质量等指数全局 Moran‘s I 值的大小来看，耕地的国家自然等指数> 国家经济等指数> 国家利用等指数。空间尺度越大，耕地质量指数越聚集，空间尺度越小，耕

地质量的空间自相关特性也随之降低。通过对县级和乡镇级尺度耕地质量 3 类指数的全局 Moran‘s I 值分析，两者在数值上存在较大差距，国家自然等指数的全局 Moran‘s I 值受空间尺度的影响最大，县级与乡镇级水平全局 Moran‘s I 值变幅达到 0.1，国家经济等指数其次，达 0.09，国家利用等指数受影响最小，变幅仅 0.06。总体来看，县级耕地质量整体空间自相关水平都要高于乡镇级平均水平，从乡镇层面看，大部分乡镇的全局 Moran‘s I 值低于县级整体水平和乡镇级平均水平。

(3)局部空间自相关分析结果表明，耕地质量 HH 型以组团形式聚集分布，LL 型多以条带状聚集分布，而 HL 型和 LH 型则以零星状分散在县域各个乡镇。综合考虑南昌县耕地的自然质量、利用水平和经济效益，参照耕地质量 3 类指数中的局部空间自相关类型，将耕地质量划分为常规监测区、综合监测区和重点监测区。

本研究基于空间自相关分析划分的耕地质量监测分区与县域耕地质量空间分布格局、主导限制型因素、耕地质量渐变类型区较为吻合，说明基于耕地质量指数的局部空间自相关类型可作为耕地质量监测类型区、耕地利用与保护分区划分的依据，在现实操作中是切实可行的，为耕地质量主导限制型谱序、监测分区、耕地利用与保护分区以及空间优化布局提供了新的方法，为耕地质量差异化、精细化监测提供了新思路。

耕地质量的变化是一个长期和动态变化的渐变过程，而本研究的监测时段相对较短，较短时间内耕地质量空间变化研究的准确度仍有待进一步探索，这也是当前耕地质量监测的难点之一。随着气候变化、生产水平和技术改进，原有的农用地指定作物的分等参数体系(光温生产潜力、产量比系数、土地利用系数和土地经济系数等)也发生了变化，国家自然等指数、利用等指数和经济等指数须相应调整，而在实际监测中仍沿用上一轮农用地分等的监测体系，影响了耕地质量评价结果的合理性。另外，目前的耕地质量监测评价指标未考虑重金属、微量元素和土壤污染对耕地质量空间变化的影响，这也是接下来需要进一步探讨的内容。

参考文献：

[1] 陈印军，肖碧林，方琳娜，等. 中国耕地质量状况分析[J]. 中国农业科学，2011，44(17)：3557-3564.

[2] 徐明岗，卢昌艾，张文菊，等. 我国耕地质量状况与提升对策[J]. 中国农业资源与区划，2016，37(7)：8-14.

[3] 刘霈珈，吴克宁，赵华甫. 基于农用地分等与土地质量地球化学评估的耕地质量监测类型研究[J]. 资源科学，2015，37(1)：37-44.

[4] 韦仕川，熊昌盛，栾乔林，等. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J]. 农业工程学报，2014，30(18)：249-256.

[5] 陈诚，林晨. 苏南地区耕地质量评价与分区保护研究[J]. 长江流域资源与环境，2016，25(12)：1860-1869.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 张凤荣，安萍莉，王军艳，等. 耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法[J]. 资源科学，2002，24(2)：71-75.

[9] 马建辉，吴克宁，赵华甫，等. 基于农用地分等的耕地质量动态监测体系研究[J]. 中国农业资源与区划，2013，

34(5): 133-139.

[10]祝锦霞, 徐保根, 章琳云. 基于半方差函数与等别的耕地质量监测样点优化布设方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 254-261.

[11]伍育鹏, 郧文聚, 李武艳. 用标准样地进行耕地质量动态监测与预警探讨[J]. 中国土地科学, 2006, 20(4): 40-45.

[12]杨劲松, 余世鹏, 刘广明, 等. 黄淮海平原高水肥改良中低产田耕地质量动态评估[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3): 232-238.

[13]赵小敏, 艾亮辉, 郭熙. 基于 GIS 的江西省中低产田等级评价和改造研究[J]. 江西农业大学学报(自然科学版), 2003, 25(4): 519-522.

[14]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.

[15]陈宁丽, 张红方, 张合兵, 等. 基于熵权 TOPSIS 法的耕地生态质量空间分布格局及主控因子分析——以河南省新郑市为例[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(8): 1444-1450.

[16]李武艳, 朱从谋, 王华, 等. 浙江省耕地质量多尺度空间自相关分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 239-245.

[17]施冰臣, 文杰, 李建华, 等. 云南省澜沧江流域耕地自然质量等空间分布特征研究[J]. 西南农业学报, 2015, 28(2): 696-699.

[18]郭晓飞, 李建华, 李成学, 等. 基于多尺度的祥云县县域耕地自然质量空间分布特征分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2016, 31(5): 923-929.