

# 基于空间自相关的耕地质量空间差异特征及耕地保护分区 ——以江西省上高县为例

张 晗<sup>1,2,3</sup>, 赵小敏<sup>1,3,4</sup>, 欧阳真程<sup>1,2</sup>, 郭 熙<sup>1,2,3</sup>, 匡丽花<sup>4</sup>, 李伟峰<sup>1,2</sup>

(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, 南昌 330045; 2. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045;

3. 江西农业大学 土地科学研究所, 南昌 330045; 4. 南京农业大学 公共管理学院, 南京 210095)

**摘 要:**为了掌握与分析耕地质量空间分布格局,切实提高耕地质量水平与加强耕地保护建设,选取耕地质量等级监测试点县上高县为研究区,运用加权平均法和空间自相关分析法,以国家级耕地质量指数为空间变量,从县级、乡镇级和村级等尺度上探讨了耕地质量的空间分异规律,最终基于耕地质量局部空间自相关分析结果提出了耕地保护分区方案。结果表明:(1) 上高县耕地质量呈现出西南低东北高的空间分布规律,耕地质量等指数 Moran's  $I$  值表现为利用等指数>自然等指数>经济等指数,三者均呈显著的空间正自相关集聚态势。(2) 随着空间尺度的不同,耕地质量指数具有不同的空间关联度,利用等指数受空间尺度影响较大,经济等指数其次,自然等指数最小。(3) 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 型耕地无明显的集中区域,多以零星状分布。(4) 综合考虑上高县耕地质量 3 个层次的空间自相关类型及顺序组合,将耕地划分为 6 个耕地保护分区,并提出了相应的保护措施。研究结果可为区域高标准基本农田建设、耕地质量监测和耕地保护与管理分区提供借鉴参考。

**关键词:**耕地质量; 空间分布; 空间自相关; 耕地保护分区; 上高县

中图分类号:F301.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)01-0304-09

## Spatial Disparity Features and Protection Zoning of Cultivated Land Quality Based on Spatial Autocorrelation

—A Case Study of Shanggao County, Jiangxi Province

ZHANG Han<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Xiaomin<sup>1,3,4</sup>, OUYANG Zhencheng<sup>1,2</sup>,  
GUO Xi<sup>1,2,3</sup>, KUANG Lihua<sup>4</sup>, LI Weifeng<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Basin Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province,  
Jiangxi Agricultural University/Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil  
Crops in China, Nanchang 330045, China; 2. College of Land Resources and Environment, Jiangxi

Agricultural University, Nanchang 330045, China; 3. Institute of Land Science, Jiangxi Agricultural University,  
Nanchang 330045, China; 4. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** To strengthen the construction of cultivated land quality and improve the new pattern of cultivated land protection, based on the weighted average method and spatial autocorrelation analysis to analyze the spatial characteristics of cultivated land quality, Shanggao County, the cultivated land quality monitoring experimental unit county, was selected as the study area. Introducing the land natural grade index, using grade index and economical grade index as the spatial variables, taking map spot of cultivated land as a unit of spatial autocorrelation analysis, we discussed and explored the differences of spatial characteristics of cultivated land quality at county, township and village scales, and put forward some kinds of protection measures based on local spatial autocorrelation. The results showed that: firstly, cultivated land quality index was low in the southwest and high in the northeast in Shanggao County; the Moran's  $I$  value of land natural grade index was

收稿日期:2017-04-09

修回日期:2017-04-26

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41361049);江西省自然科学基金资助项目(20122BAB204012);土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中科院南京土壤研究所)开放课题(0812201202)

第一作者: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

通信作者:赵小敏(1962—),男,江西上高人,教授,博导,主要从事农业遥感与信息技术、土地规划和土地资源利用等研究。E-mail: zhaoxm889@126.com

the highest, followed by the land economical grade index and land use grade index, cultivated land quality exhibited significant aggregation of global spatial distribution in Shanggao County; secondly, we found that different types of cultivated land quality indexes had different spatial correlation with a strong degree of concentration at different spatial scales; on the influence degree of spatial scales, land use grade index was stronger, land natural index came next, and land economical grade index was the weakest; thirdly, the positive spatial autocorrelation of cultivated land including the high-high type and the low-low type emerged as the shapes of cluster and had the powerful agglomeration in the form of group, while the negative spatial autocorrelation including the high-low type and low-high type was fragmentary distribution; finally, considering the spatial autocorrelation type of cultivated land quality in Shanggao County, we divided the cultivated land into six protection zones, and put forward a series of corresponding protection measures. The results of the study will provide a reference for well facilitating basic farmland construction, the regional cultivated land quality monitoring, cultivated land protection and management of partition, quality improvement and space pattern optimization.

**Keywords:** cultivated land quality; spatial distribution; spatial autocorrelation; regional protection of cultivated land; Shanggao County

耕地作为国家特殊的公共资源和土地资源中最为宝贵的自然资源,是粮食生产的根本和载体。耕地质量与国家粮食安全、生态安全和社会稳定密切相关,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,人均耕地不足、优质耕地少、耕地后备资源不断减少是我国基本的土地国情<sup>[1]</sup>,这使我国土地管理和耕地保护一直保持着较大的压力,因此,提高耕地数量和质量,加强耕地质量建设、管理和耕地保护工作尤为关键。为此,国家先后出台了《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)和《关于加强耕地保护和改进占补平衡的意见》(以下简称《意见》)等相关规程和文件,《耕地质量等级》和《意见》的发布旨在实施最严格的耕地保护制度,落实藏粮于地,藏粮于技战略,着力加强耕地数量、质量和生态“三位一体”管护制度,以期在新形势下要求进一步提高我国耕地质量管理与保护水平,使我国的耕地保护制度和占补平衡政策更加完善和成熟。

近年来,为强化我国耕地的综合生产能力,健全耕地保护制度与补偿机制,政府管理部门和学术界在耕地质量提升和保护等方面做了诸多深入的探索和研究,基于农用地分等定级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<sup>[2-5]</sup>。目前,国内外耕地质量与保护的相关研究主要围绕耕地质量的综合评价<sup>[6-7]</sup>、评价指标与监测体系的选取<sup>[8-9]</sup>、耕地质量动态变化与预警<sup>[10-11]</sup>、中低产田的质量改良<sup>[12]</sup>、耕地质量空间分布<sup>[13-14]</sup>、耕地数量质量并重管护<sup>[1]</sup>、耕地保护的经济补偿<sup>[15]</sup>等方面。研究尺度多为国家、省级宏观尺度,市级、县级等中观尺度<sup>[16]</sup>,研究方法以经典统计法、GIS分析技术、地统计学等传统方法为主<sup>[17]</sup>。总体而言,国内耕地质量监测、评价与保护

体系已初步建立且日趋完善,极大地丰富了耕地质量的内涵,为切实提升耕地质量水平和完善耕地保护体系提供了理论基础和科学支撑,但从现有的耕地质量相关研究来看,尚存以下不足:首先,当前的耕地质量研究区域主要集中在典型和热点区域如耕地变化较快区域、生态脆弱区域及生态敏感区域等,而针对南方丘陵红壤区耕地质量的自然属性、利用属性和经济属性的空间聚集特征的研究少有报道。其次,传统方法缺乏从空间关联角度定量研究耕地质量空间属性对耕地保护的影响机制。为弥补上述不足,本文以2015年为研究时点,以上高县耕地质量指数(国家自然等指数、利用等指数和经济等指数)为空间变量,运用空间自相关分析方法,从县级、乡镇级和村级等中、微观层面上定量研究上高县耕地质量的空间集聚和异质性特征,综合考虑耕地自然条件、利用情况和经济水平,将空间关联程度作为“第四维”纳入到耕地保护分区之中,提出符合研究区实际的耕地保护方案,以期为区域高标准基本农田建设、耕地质量管理、耕地保护与分区和空间优化布局提供借鉴参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

上高县位于江西省西北部,锦江(属赣江支流)中游,属宜春市,地理位置为114°28′—115°10′E,北纬28°02′—28°25′N。境内地势比较平缓,由西南向东北倾斜,地貌以山地、丘陵、平原为主,分别占全县总面积的1.76%,65.79%,32.45%。上高县属亚热带季风气候,气候湿润温暖,雨量充沛,日照充足,无霜期长,四季分明。年平均气温为17.5℃,累年平均日照时数为1709.9h,年平均降雨量1655.3mm,无霜期为

267 d。境内水系发达,锦江自西向东横贯全境,其支流呈叶脉状分布全县。上高县土壤肥沃,土壤类型多样,共分为 6 个土类,14 个亚类,40 个土属,72 个土种,适宜各种农作物的栽种,土壤主要有水稻土、红壤、草甸土、紫色土、石灰石土和山地黄壤六种类型。

2014 年全县土地总面积 134 722.70 hm<sup>2</sup>,耕地面积为 34 660.08 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的 25.73%,其中,水田面积 27 082.97 hm<sup>2</sup>,水浇地 20.24 hm<sup>2</sup>,旱地 7 556.87 hm<sup>2</sup>。上高县下辖 1 个街道办事处、9 个镇、5 个乡和 1 个林场,209 个行政村(社区及居委会)。2014 年末全县总人口 37.79 万人,农业人口 27.18 万人,农业总产值达 4.43 亿元,全年粮食总产量 34.16 万 t。上高县位于我国长江中下游江南丘陵山地农林区,是典型的农业生产大县和重要商品粮生产基地,享有“赣中粮仓”之美誉。上高县作为国土资源部耕地质量监测试点县,因此,研究该区域耕地质量的空间差异特征及耕地保护分区具有典型性和代表性。

## 1.2 数据来源

本文以国土资源部耕地质量监测试点上高县为研究对象,所采用的数据分别来源于 2014 年上高县国土局和农业局等。主要数据包括(1)自然条件资料:土壤普查、水文地质调查、植被、地形地貌、气候统计、标准耕作制度、自然灾害等。(2)基础图件与资料:土地利用总体规划资料、上高县 2011 年农用地分等更新成果、2013 年耕地质量等别更新数据、2013 年土地利用现状图、行政区划图、地形图、坡度图、土壤质地图、有效土层厚度图、灌排图、第二次土壤普查图和空间分辨率为 30 m 的 DEM 图等成果。(3)数据库成果:2013 年上高县耕地质量等别更新数据库、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。(4)社会经济与农业区划资料:上高县农业与农业经济统计、耕地生产投入与产出水平、统计年鉴、农田基本建设资料与农作物产能资料等。

# 2 研究方法

## 2.1 耕地质量指数面积加权平均法

耕地质量指数和面积属性是耕地重要的空间属性,本文采用国家级自然等指数、利用等指数别和经济等指数与行政村耕地面积进行加权平均,以研究上高县耕地自然质量、利用质量和经济质量的总体状况及空间分异规律。国家级加权等指数越高,代表耕地质量越高,反之,则越低。考虑到较大范围尺度的空间分析难以表征耕地质量的内部差异,而以耕地图斑为空间单元进行空间自相关分析会导致结果辨识性

差,故本文以行政村作为研究单元进行空间自相关分析。参照《江西省农用地分等规程》,在 ArcGIS 10.3 软件中,以 400 为间距将国家自然等指数转化为国家自然等,以 200 为间距将国家利用等指数和国家经济等指数分别转化为国家利用等和国家经济等。村级耕地质量指数采用下式计算<sup>[4]</sup>:

$$R_i = \frac{R_{ij} \times S_{ij}}{\sum S_{ij}} \quad (1)$$

式中: $R_i$ 为第  $i$  个行政村的国家级平均耕地质量指数; $R_{ij}$ 代表第  $i$  个行政村中第  $j$  块图斑的国家级耕地质量指数; $S_{ij}$ 代表第  $i$  个行政村中第  $j$  块耕地图斑的面积。

## 2.2 全局空间自相关

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,本文运用全局 Moran's  $I$  指数验证上高县和下辖各乡镇的耕地质量指数的空间依赖程度,Global Moran's  $I$  值在  $[-1, 1]$  之间, $I > 0$  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; $I = 0$  则表示没有通过局部的 Moran's  $I$  显著性检验,研究对象随机分布。一般用  $Z$  值进行显著性检验,当  $Z_{\text{score}} > 1.96$  或  $Z_{\text{score}} < -1.96$  ( $\alpha = 0.05$ ) 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<sup>[4,16]</sup>:

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

$$Z_{\text{score}} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (3)$$

式中: $n$  代表研究对象的个数; $W_{ij}$  代表空间要素  $i$  和要素  $j$  的权重; $x_i - \bar{x}$  和  $x_j - \bar{x}$  分别是第  $i, j$  个空间单元上的观测值与平均值的偏差; $Z_{\text{score}}$  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; $\text{var}(I)$  分别代表方差。

## 2.3 局部空间自相关

局部 Moran's  $I$  指数是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。本文以上高县村级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 集聚图分析上高县耕地质量集聚或离散的空间位置。耕地质量指数按 HH(高一高型)、LL(低—低型)、HL(高一低型)、LH(低—高型)、NN(非显著相关型)划分为 5 种不同类型。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,LL 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 Moran's  $I$  指数通常用 LISA(local indicators of spatial association)统计量表示,局部空间自相关计算模型如下<sup>[4,16]</sup>:

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

式中:局部空间自相关变量的含义同式(2)。

3 结果与分析

3.1 耕地质量空间分布格局

耕地的自然条件、利用水平、经济状况的优劣是衡量耕地质量高低的重要依据,在耕地质量 3 种类型中,自然质量是基础,利用质量是重要保障,而经济质量直接关联实际,耕地经济质量的优劣则反映了耕地

的自然质量和利用水平。由图 1 可知,上高县耕地国家自然等指数整体偏低,分布较为集中,呈现出东北向西南递减的规律,高值区分布在上高县的东部、北部及西南部,低值区分布在县域的西部和南部。国家利用等指数与国家经济等指数在空间分布趋于一致,整体表现出由东北向西南下降的趋势,但两者在空间格局上存在略微差异,国家经济等指数高值区除分布在县域的东北部和东部外,在西南部也有一定面积的分布。国家利用等指数低值区面积分布最少,低值区主要集中在全县中南部和西南部,国家经济等指数低值区则大面积分布在西北、东南方向,且国家经济等指数的低值区明显要多于国家自然等指数和国家利用等指数。由此可知,总体上研究区耕地的利用质量最高,自然质量其次,经济质量最低。

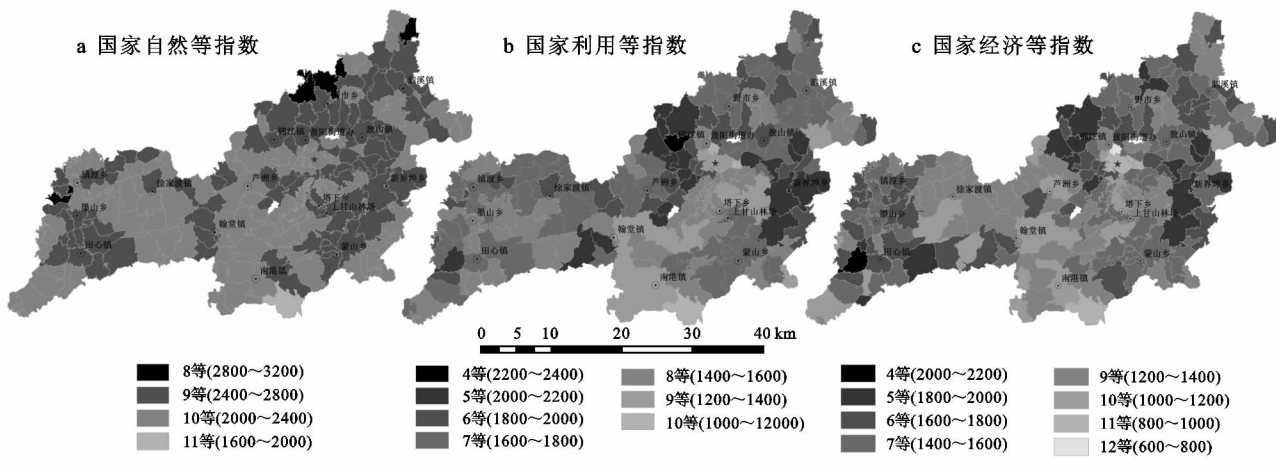


图 1 上高县各行政村耕地质量指数分布

3.2 耕地质量全局空间自相关分析

为了进一步刻画不同尺度下空间距离对研究区耕地质量全局 Moran's  $I$  指数的变化规律和空间聚类程度,以 100 m 为起点距离,步长 100 m 设置增量距离,3 000 m 为终点距离进行全局空间自相关分析,不同尺度下空间自相关结果见图 2。由图 2 可知,国家级耕地质量指数在空间上具有一定的空间自相关和空间聚集规律。国家自然等指数、利用等指数和经济等指数 Moran's  $I$  值在 100~3 000 m 时均大于 0.2,表示耕地质量空间正相关性较强,存在较显著的空间聚集。Moran's  $I$  值在 100~300 m 时呈现出先急剧增加,后缓慢减少的线性分布,当阈值距离至 300 m 时,国家级自然等指数、利用等指数和经济等指数 Moran's  $I$  值达到峰值,分别为 0.51,0.66,0.57,此时耕地质量空间正自相关性聚集特性最强;随着阈值距离继续增加到 3 000 m 时,Moran's  $I$  值开始呈下降趋势,且下降幅度有所减缓。由空间自相关统计结果可知,在阈值距离为 300 m 时,耕地质量的空间自相关性最强,且每个阈值距离计算得到相应的空间自相关显著

性统计量  $p$  均为 0( $p < 0.05$ ),表明以 300 m 为阈值距离构建空间权重和进行空间自相关分析具有较高的精确度,因此本文以固定距离 300 m 为阈值对耕地质量指数进行空间自相关分析。

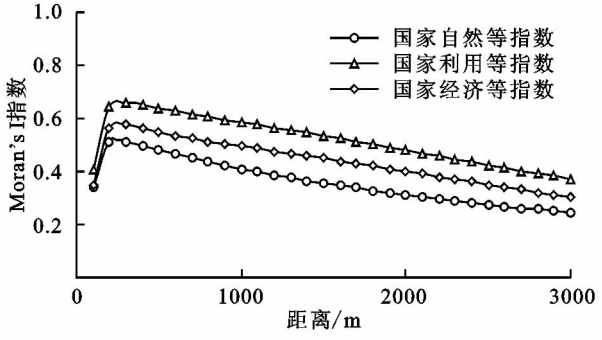


图 2 不同空间尺度下耕地质量 3 类指数空间自相关图

为了探讨耕地质量 3 类指数在县域尺度上的空间关联程度,本文以上高县耕地图斑为基本空间单元,借助 ArcGIS 10.3 和 GeoDa 软件平台计算 2015 年上高县耕地质量国家自然等指数、利用等指数和经济等指数的全局 Moran's  $I$  指数。由表 1 可知,上高县耕地质量指数均大于 0.5,且显著性检验  $p$  值均为

0,明显小于显著性水平 0.05,表明了上高县耕地质量在不同层次表现出很强的空间正自相关集聚态势。但从耕地质量等指数 3 个不同类型的 Moran's *I* 值大小来看,国家利用等指数>国家自然等指数>国家经济等指数,表明上高县耕地利用质量和所表现的空间正相关集聚特性相对较强,其空间变异性相对较弱,耕地自然质量其次,而耕地经济质量所表现出的空间正相关集聚特性相对最弱,其空间变异性相对较强。上高县耕地质量在空间上具有显著的相关性,但是也存在较大差异,耕地利用质量的空间自相关性远远大于自然质量和经济质量,耕地经济质量、自然质量和利用质量空间聚合特性且呈现出递增的态势。因此,在对上高县采取耕地保护的相关措施时,可通过推广秸秆还田、测土配方施肥、完善农田水利基础设施、提高农民人均收入、改善农业经济环境等来提升耕地的自然条件和经济效益,同时,也要通过实施土地综合整治、提升农业机械化水平和土地生产率等来维持现有耕地的利用与管理水平。

表 1 上高县耕地质量指数 Moran's *I* 值

耕地质量指数	Moran's <i>I</i>	<i>Z</i> <sub>score</sub>	<i>p</i> 值	标准化统计量 阈值( $\alpha=0.05$ )
国家自然等指数	0.5413	230.85	0	1.96
国家利用等指数	0.6312	267.40	0	1.96
国家经济等指数	0.5383	228.08	0	1.96

较小尺度的空间自相关分析能够反映研究区耕地质量的内部差异和细部特征,本文以研究区及下辖 16 个乡镇的耕地质量 3 类指数为研究单元进行 Global Moran's *I* 分析,得到了各乡镇耕地质量指数 Moran's *I* 值及空间差异情况。从表 2 和图 3 可发现以下特征:(1) 乡镇级耕地质量指数 Moran's *I* 指数的平均值与县级水平 Moran's *I* 值都存在着国家利用等指数>国家自然等指数>国家经济等指数的递减关系。(2) 在同一乡镇级水平,各乡镇耕地质量国家自然等指数、利用等指数和经济等指数的 Moran's *I* 值的内部差异及变异系数呈现出递增的态势。国家自然等指数的波动幅度最小,变异系数为 39.21%;国家利用等指数其次,变异系数为 50.44%;国家经济等指数波动幅度最小,变异系数为 52.65%。(3) 不同尺度下,乡镇级尺度与县级尺度之间 Moran's *I* 值存在一定的差距。其中,3 个乡镇的国家自然等指数值高于县级水平,仅有 2 个乡镇的国家利用等指数值高于县级水平,4 个乡镇的国家经济等指数值高于县级水平。(4) 不同的空间尺度,耕地质量指数 Moran's *I* 值具有不同的空间关联度,利用等指数受空间尺度影响较大,经济等指数其次,自然等指数最小。(5) 受到自然环境

和社会经济条件等多种因素的影响,16 个乡镇的耕地质量 3 类指数之间的 Moran's *I* 值的变化也较为复杂。其中,敖山镇等 4 个乡镇耕地质量 Moran's *I* 值与县级水平变化方向一致;锦江镇等 7 个乡镇利用等指数 Moran's *I* 值大于自然等指数,但又小于经济等指数(除翰堂镇等 5 个乡镇外)。(6) 从耕地综合指数的 Moran's *I* 值对比来看,翰堂镇、锦江镇和田心镇 3 个乡镇的综合质量较优,敖阳街道办事处综合质量相对较差。(7) 空间上,耕地质量 3 类指数 Moran's *I* 值大致呈现出“西南—东北高,西北—东南低”的空间格局,国家级自然等指数和利用等指数的高值区明显要多于经济等指数。

表 2 上高县各乡镇耕地质量指数 Moran's *I* 值

乡镇名称	国家自然 等指数	国家利用 等指数	国家经济 等指数
敖山镇	0.4387	0.4491	0.2115
翰堂镇	0.6287	0.8735	0.7759
锦江镇	0.4629	0.5864	0.7224
芦洲乡	0.3908	0.5735	0.3525
蒙山乡	0.3307	0.2034	0.2120
墨山乡	0.4737	0.3472	0.1880
南港镇	0.3265	0.2115	0.1994
泗溪镇	0.5502	0.5121	0.4854
塔下乡	0.1394	0.1205	0.4406
田心镇	0.5206	0.6286	0.6288
新界埠乡	0.4851	0.7099	0.2443
徐家渡镇	0.3393	0.2613	0.2862
野市乡	0.2451	0.4595	0.3399
镇渡乡	0.5466	0.3220	0.3486
上甘山林场	0.1902	0.3656	0.4416
敖阳街道办事处	0.1350	0.1597	0.1116
乡镇平均值	0.3877	0.4240	0.3743

3.3 耕地质量局部空间自相关分析

基于阈值距离构建空间权重矩阵,对研究区村级耕地质量指数进行局部空间自相关分析,其局部空间自相关值均大于 0,得到了耕地质量局部空间自相关类型统计结果与 LISA 集聚图,研究结果表明:在 95%的置信度水平下,县域耕地质量在空间上表现为正相关聚集特性,且上高县大部分行政村耕地质量指数表现为非显著型(表 3),耕地质量正相关 HH 型和 LL 型主要以组团形式分布在县域的南部山区及东北部平原区域,负相关 HL 型和 LH 型则多以零星状分布(图 4)。耕地质量局部空间正自相关显著程度与全局空间自相关分析结果相一致,表现为由国家利用等指数、国家自然等指数和国家经济等指数依次递减的顺序。

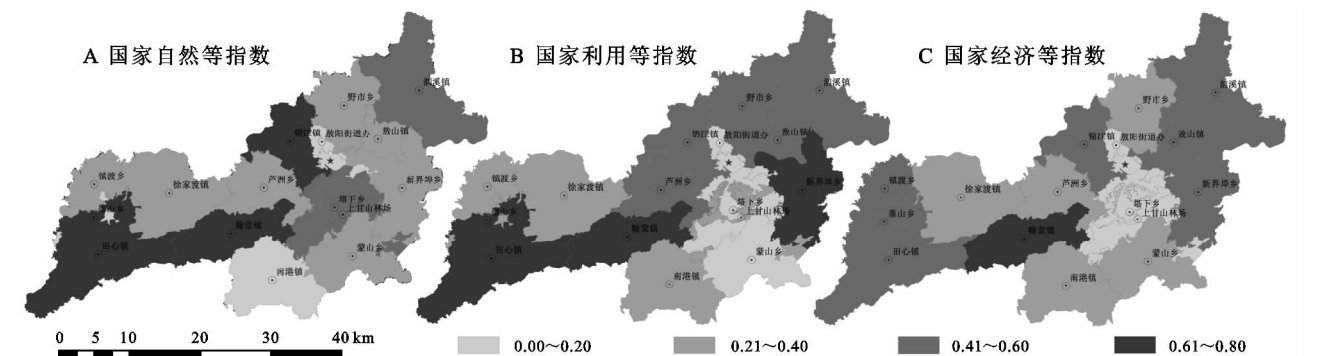


图 3 上高县各乡镇耕地质量指数全局 Moran's I 值空间分布

3.3.1 耕地自然等指数局部空间自相关 表 3 与图 4A 村级国家自然等指数 LISA 集聚图结果显示,聚合分布(正相关)HH 型和 LL 型行政村个数分别占总行政村个数的 16.27%和 8.13%;离散分布(负相关)HL 型和 LH 型行政村个数分别占总行政村个数的 1.91%和 1.44%;空间随机分布(非显著型)NN 型行政村个数占行政村总数的 72.25%,该类型行政村没有通过显著性检验,呈空间随机分布。正相关类型以“组团”形式聚集分布,聚合特性较强。其中,HH 型主要分布在田心镇中部、翰堂镇西南部、锦江镇—野市乡沿线以及敖山镇—泗溪镇沿线;LL 型主要分布在南港镇南部、蒙山乡东南部、敖阳街道办事处大部以及徐家渡镇西南部。负相关类型零星分布在上甘山林场南部及新界埠乡与敖山镇两者交界处。

结合实际情况,国家自然等指数 HH 型所在区域地处低丘平原植被区,且有锦江及支流呈叶脉状横贯,地势平坦,地形开阔,海拔位于 100 m 以下,地形坡度为 0~8°,土壤肥沃,土壤类型以水稻土为主,有机质含量高,耕层质地优良,河网稠密,排灌设施完善,离水源地近,交通便利,耕作自然条件优越。LL 型所在区域地处南部高丘山地植被区,地貌类型为溶蚀侵蚀地形,海拔 500~1 100 m,坡度 20°~40°,地形起伏大,煤矿、铁矿等矿产资源丰富,但耕层较薄,岩石露头度相对较大,土壤有机质含量较低,排灌条件较差,土壤养分贫瘠,耕地自然条件相对较劣。

3.3.2 耕地利用等指数局部空间自相关 表 3 与图 4B 村级国家利用等指数 LISA 集聚图结果显示,正相关 HH 型和 LL 型行政村个数分别占总行政村个数的 21.53%和 10.53%;负相关 HL 型和 LH 型行政村个数分别占总行政村个数的 2.87%和 4.31%;非显著 NN 型行政村个数占行政村总数的 60.77%,呈空间随机分布。正相关类型以“组团”形式聚集分布,聚合特性较强。其中,HH 型主要分布在新界埠乡、田心镇中部,“徐家渡镇、翰堂镇”组团以及芦洲乡、锦江镇、野市乡、泗溪镇一线;LL 型主要分布在

南部的南港镇、蒙山乡东南部及“上高县县城一塔下乡—上甘山林场”组团。负相关类型零星分布在镇渡乡与徐家渡镇北部、田心镇与翰堂镇以及敖山镇与野市乡接壤处。

表 3 上高县耕地质量指数局部空间自相关类型及  
各行政村分布情况统计

自相关 类型	国家自然等指数		国家利用等指数		国家经济等指数	
	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%
HH 型	34	16.27	45	21.53	32	15.31
LL 型	17	8.13	22	10.53	23	11.00
HL 型	4	1.91	6	2.87	6	2.87
LH 型	3	1.44	9	4.31	5	2.39
非显著型	151	72.25	127	60.77	143	68.42
总计	209	100.00	209	100.00	209	100.00

结合实际情况,国家利用等指数 HH 型所在区域地势平坦,自然条件优越,加之位于铁路公路附近,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,机械化程度高,便于耕作和管理,土地利用条件优越。而 LL 型所在区域地形以山地丘陵为主,山岭纵横,田丘相间,地形起伏较大,土壤养分含量低,交通不便,农田水利基础设施不完善,耕地利用条件较差;同时,县城附近耕地受人工干扰程度较高,城镇扩张和道路建设不断侵占优质耕地,导致耕地面积变小,零星分布,边界分割度高,田块规整度及聚集度低,破碎化程度高,耕地利用质量有待提升。

3.3.3 耕地经济等指数局部空间自相关 表 3 与图 4C 村级国家经济等指数 LISA 集聚图结果显示,正相关 HH 型和 LL 型行政村个数分别占总行政村个数的 15.31%和 11.00%;负相关 HL 型和 LH 型行政村个数分别占总行政村个数的 2.87%和 2.39%;非显著 NN 型行政村个数占行政村总数的 68.42%,呈空间随机分布。正相关类型以“组团”形式聚集分布,聚合特性较强。其中,HH 型主要分布在“徐家渡镇—翰堂镇”组团以及“锦江镇—野市乡—泗溪镇”;

LL 型主要分布在“翰堂镇—南港镇”组团、“南港镇—蒙山乡”组团以及“徐家渡镇—芦洲乡”组团。负相

关类型零星分布敖山镇西南部及东部,塔下乡、芦洲乡、翰堂镇田心镇等乡镇的西南部。

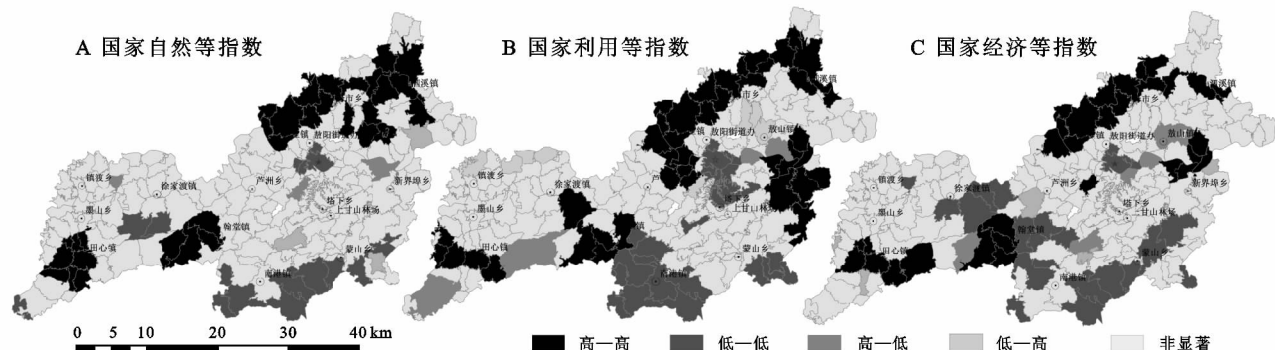


图 4 上高县耕地质量指数空间关联局部指标(LISA)集聚图

结合实际情况,国家经济等指数 HH 型所在区域地势平坦,道路网络发达,灌溉水源充足,排水通畅,人口密度较大,农户耕作距离较短,农业机械化水平高,便于耕作和管理,加之耕地自然条件和利用条件较优越,经济发展水平较好,耕地投入产出效益较高。而 LL 型所在区域地形以山地丘陵为主,地处偏远山区,山岭纵横,田丘相间,海拔高,地形起伏较大,交通不便,农田水利基础设施不完善,耕地自然条件和利用状况较差,经济发展水平相对落后,对耕地的资金投入少,不利于耕地经济效益提升。上高县县城及翰堂镇等区域,经济发展水平较高,自然和利用条件也较为优越,但由于人口稠密,城镇建设大量占用耕地,耕地的非农化现象普遍,以致于耕地种植或耕作成本大幅提高,不利于耕作经济效益的积累,从而降低了耕地的经济质量。

### 3.4 耕地保护分区方案

本文以行政村为单位,借助耕地国家自然等指数、利用等指数和经济等指数,基于区域之间的空间扩散和空间极化理论,从耕地的综合质量出发,依据局部空间自相关类型,将耕地质量指数自相关类型进行叠加分析,将局部空间自相关类型空间随机分布、高低离散分布、低高离散分布、高值聚合分布、低值聚合分布加以顺序组合,对上高县耕地进行保护分区,具体划分永久保护区域、重点提升区域、适度保护区域、非农化建设区域、土地综合整治区域、农业结构调整区域 6 个保护分区(图 5),针对不同的保护分区提出了相应的耕地管护措施及分区方案(表 4)。

(1) 永久保护区域主要分布在新界埠乡、翰堂镇西南部、田心镇中部以及芦洲乡、锦江镇、野市乡、泗溪镇一线,该区域耕地自然条件、利用水平和产出效益较优,耕地质量高值区聚集分布,是建设高标准基本农田较为理想的区域,应保护和维持现有耕地质量的高值区,继续强化耕地管护措施,强化扩散效应的

影响,禁止一切非农建设。

(2) 重点提升区域主要分布在上甘山林场、镇渡乡与徐家渡镇北部及新界埠乡与泗溪镇交界处,该区域自然条件和产出效益相对较好,但是耕地利用与管理水平有所欠缺,应重点提升本区域耕地利用质量分值较低的地块,避免低质量耕地向高质量耕地扩散,发挥周边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。此外,应避免低质耕地进行非农业建设和集中连片式开发,并尽量降低其空间极化效应对周边高质耕地的影响。

(3) 适度保护区域零星分布在田心镇西南部、新界埠乡与敖山镇交界处,该区域内耕地自然条件和利用水平相对较优,但内部均质性较差,局部区域内耕地质量高分值地块环绕着低分值地块分布,应侧重保护耕地投入产出效益的高值区,弱化周边低分值耕地对高值区的影响,并适度扩大保护范围,可适度非农业建设,但应严格控制耕地的开发强度。

(4) 土地综合整治区域零星分布在田心镇、翰堂镇与徐家渡镇及野市乡与敖山镇交界处。该区域耕地综合质量呈空间异常分布,耕地质量高值区与低值区交错分布,重点保护耕地质量的高值区,可结合耕地自然条件、利用程度或产出效益低值区进行中长期土地综合整治开发和工程技术改造,以增加有效耕地面积,提高耕地质量,缓解人地矛盾,改善农业生产条件,保证粮食安全。

(5) 非农化建设区域主要分布在南港镇大部及与翰堂镇交界处,新界埠乡与蒙山乡交界处,塔下乡、敖阳街道办一线,徐家渡镇西南及东南部。区域内耕地综合质量普遍偏低,空间低值聚集分布。可结合耕地自然条件、利用水平和投入产出效益等实际情况进行综合性改良,从综合角度积极推进各项改良手段与保护措施,因地制宜实施生态退耕,是非农建设较为理想的区域。

(6) 农业结构调整区域主要分布在泗溪镇南部,



锦江镇—野市乡一线,蒙山乡—塔下乡—上甘山林场—芦洲乡一线以及田心镇—墨山乡—镇渡乡—徐家渡镇一线。该区域内耕地质量无明显聚集性规律,呈空间随机分布,可根据上高县实际情况,结合区域传统优势产业与新兴特色产业实施综合性地调整措施,如地处海拔较高的山区、缓坡耕地以及土壤质地为砂壤、黏壤的耕地可以适当发展苧麻、柑橘等种植业,在利用条件或产出效益较差但自然条件一般的耕地,可种植油菜、花生、辣椒、紫皮大蒜、生姜及中药药材等经济作物。同时,可因地制宜进行轮耕和休耕试点,全面提高本区域的耕地综合质量。

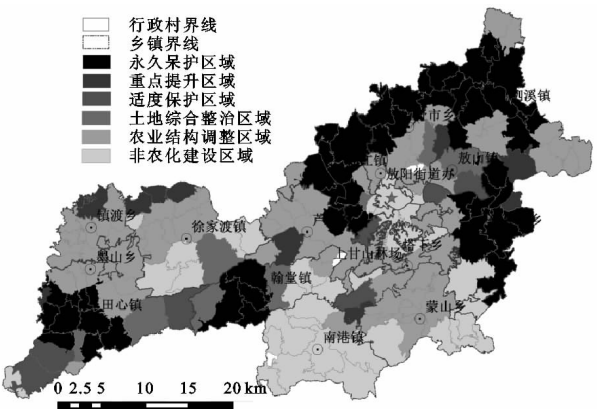


图 5 上高县耕地保护分区

表 4 基于局部空间自相关的上高县耕地保护分区

保护分区	耕地质量空间自相关类型			保护措施	典型区域
	自然质量	利用质量	经济质量		
永久保护区域	HH	HH	HH	区域内耕地质量普遍较高,高值区聚集分布,空间正相关性强烈,保护和维持现有的耕地自然条件、利用与管理水平和投入产出水平高值区,是高标准基本农田建设的理想区域,应加强耕地管护,严禁非农建设	锦江镇、新界埠乡、野市乡北部、泗溪镇北部、翰堂镇西南部及田心镇西中部
	HH	HH	NN		
	NN	HH	HH		
	HH	NN	HH		
	HH	NN	NN		
	NN	HH	NN		
重点提升区域	NN	NN	HH	区域内耕地质量内部均质性较差,局部区域内耕地质量高分值地块环绕低分值地块分布,重点提升耕地自然条件、利用水平和投入产出效益的低值区,应避免非农建设和集中连片式开发建设	镇渡乡与徐家渡镇北部、新界埠乡与泗溪镇交界处
	LH	NN	NN		
	NN	LH	NN		
适度保护区	NN	NN	LH	区域内耕地质量内部均质性较差,局部区域内耕地质量高分值地块被低分值地块包围,可适度非农业建设,但应严格控制耕地的开发强度,适度保护耕地自然条件、利用水平和投入产出效益的高值区	田心镇西南部、新界埠乡与敖山镇交界处
	NN	NN	HL		
	HL	HL	NN		
	HL	NN	NN		
	NN	HL	NN		
非农化建设区域	NN	NN	HL	区域内耕地质量普遍偏低,空间低值聚集分布。可结合耕地自然条件、利用水平和投入产出效益进行综合性改良,因地制宜实施生态退耕,是非农建设理想区域	南港镇大部及与翰堂镇交界处,新界埠乡与蒙山乡交界处,塔下乡、敖阳街道办一线,徐家渡镇西南及东南部
	LL	LL	LL		
	LL	LL	NN		
	NN	LL	LL		
	LL	NN	LL		
土地综合整治区域	NN	NN	NN	区域内耕地质量空间分布不均质,重点保护耕地质量的高值区,结合耕地自然条件、利用程度或产出效益低值区进行中长期土地综合整治开发和工程技术改造,以增加有效耕地面积,提高耕地质量,缓解人地矛盾,改善农业生产条件,保证粮食安全	翰堂镇与徐家渡镇交界处及野市乡与敖山镇交界处
	HH	LH	NN		
	HH	LH	HL		
	HH	NN	HL		
	LL	HH	NN		
	NN	HH	LL		
农业结构调整区域	NN	HL	HH	区域内耕地质量无明显聚集性规律,呈空间随机分布。适当调整、优化农业结构,挖掘原有的传统优势产业,培育和发展新兴特色产业,同时,因地制宜进行轮耕和休耕,全面提高本区域的耕地综合质量,从而实现区域投入产出最大化	泗溪镇南部及东北部,锦江镇—野市乡一线,南港镇—蒙山乡—塔下乡—新界埠乡一线,上甘山林场—芦洲乡一线以及田心镇—墨山乡—镇渡乡—徐家渡镇一线
	HH	NN	LH		
	NN	NN	NN		

注:NN 为非显著型,呈空间随机分布



## 4 结论

本文通过采用全局空间自相关和局部空间自相关相结合的方法对耕地质量进行分析,以2015年为研究时点,选取江西省上高县为研究区域,引入耕地国家自然等指数、国家利用等指数和国家经济等指数为空间变量,分别从县级、乡镇级和村级尺度等中、微层面定量探讨了耕地质量空间聚集规律与差异特征,并基于局部空间自相关结果及组合类型提出了详细的耕地保护分区方案。主要结论如下:

(1) 空间上,研究区耕地质量并非呈空间随机分布状态,在空间尺度100~3 000 m之间存在显著的空间自相关集聚特性,在阈值距离为300 m时,耕地质量的空间自相关性最强,表明以300 m为固定阈值距离构建空间权重矩阵,并进行空间自相关分析具有较高的精确度和较强的科学性。

(2) 上高县耕地质量整体水平相对较高,在空间分布上呈现出一定的聚集性规律,研究区耕地质量空间分布格局与全局空间自相关和局部自相关结果相类似。耕地质量高值区分布在县域的东部、北部及西南部,低值区分布在县域的西部和南部,耕地质量呈现出东北向西南递减的规律,且耕地的自然条件和利用水平总体上要优于经济状况。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在县域东北部及西南部的低丘平原区域,聚集特性较强;LL型多以团状聚集在墨山、蒙山山脉向东北方向延伸的山地丘陵区域;HL型和LH型面积较小,无明显的集中区域,多以零星状分布。

(3) 不同层次的耕地质量类型和不同的空间尺度,耕地质量指数具有不同的空间关联度。上高县2015年耕地经济质量、自然质量和利用质量Moran's  $I$  值均大于0.5,表现出较强的空间自相关,且空间聚合特性呈现出递增的态势,其递增趋势与乡镇级平均水平相一致。从空间尺度上看,利用等指数受空间尺度影响最大,经济等指数其次,自然等指数最小。县级尺度上空间自相关水平与乡镇级平均水平Moran's  $I$  值差值大小,存在着国家利用等指数、国家自然等指数和国家经济等指数的顺序而逐渐缩小的规律。

(4) 根据局部空间自相关结果将全县划分永久保护区域、重点提升区域、适度保护区域、非农化建设区域、土地综合整治区域、农业结构调整区域6个保护分区。根据不同空间自相关类型的特征及顺序组合,分别从耕地自然条件、利用水平和产出效益以及耕地质量的空间关联性角度,提出了符合研究区实际情况的耕地改良手段与保护措

施,为耕地统筹协调、精细化保护和差别化管理拓宽了思路,为高标准基本农田建设分区、耕地质量监测分区、耕地保护分区和空间优化布局提供借鉴参考。

### 参考文献:

- [1] 陈桂坤,张蕾娜,程锋,等.数量质量并重管理的耕地保护政策研究[J].中国土地科学,2009,23(12):39-43.
- [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] 刘需珈,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] 黄厅厅,卢德彬,杨建.基于GIS的省级耕地质量综合评价及时空演变分析:以贵州省为例[J].水土保持研究,2017,24(3):253-257.
- [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] 伍育鹏,鄧文聚,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.
- [11] 张秋霞,张合兵,刘文锴,等.新郑市耕地生态安全动态预警研究[J].水土保持研究,2017,24(1):256-264.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 陈镜宇,龚涛,陈运春,等.云南乌蒙山片区耕地自然质量等空间分布特征[J].水土保持研究,2017,24(3):214-220.
- [15] 宋成舜,匡兵,罗丽,等.耕地综合价值视角下武汉城市圈耕地保护补偿标准[J].水土保持研究,2017,24(2):330-335.
- [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] 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.