

网格环境下县域基本农田建设空间布局方法研究

张超 张海锋 杨建宇 姚晓闯 赵龙 朱德海
(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 以江西省吉安县为研究区,以新一轮农用地分等成果为数据基础,在网格环境下,选取耕地面积比、破碎度系数、分维数和集中连片系数对耕地空间布局进行综合评价,并采用局部空间自相关方法,以耕地利用等指数为空间变量,分析了耕地质量的空间分布,最后采用空间叠加组合方法,规划了基本农田建设空间布局。研究中,吉安县被划分为2 062个1 km×1 km的网格评价单元;从高到低,耕地空间布局划分为1级、2级和3级;局部空间自相关类型划分为HH、LL、HL和LH等4种类型。研究结果显示,吉安县基本农田空间布局划分为优先划入型、集中整治型和后备开发型的耕地面积占比分别为36.26%、22.70%和41.04%,在空间分布上,优先划入型主要分布于研究区中部的湴田、梅塘、登龙和官田等乡镇,以及研究区东部的部分区域;集中整治型主要分布于研究区北部的万福镇、桐坪镇以及南部的部分区域;后备开发型主要分布于研究区西南部 and 北部。通过耦合耕地空间布局和耕地利用质量空间聚集,满足了基本农田建设“集中连片、质量好”的要求,为基本农田建设合理空间布局提供科学、可行的依据。

关键词: 基本农田建设; 空间布局; 局部空间自相关; 网格; 吉安县

中图分类号: F301.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)11-0245-07

Spatial Layout of Basic Farmland Construction at County Scale in Grid Environment

Zhang Chao Zhang Haifeng Yang Jianyu Yao Xiaochuang Zhao Long Zhu Dehai
(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Reasonable partition of basic farmland construction is of great significance to arable land protection and food security. Based on farmland classification data and taking Ji'an county of Jiangxi province as the study area, this study selected arable land area ratio, fragmentation index, fractal dimension index and integrate index of connectivity for comprehensive evaluation of arable land spatial layout. Then, with the method of local Moran's I spatial autocorrelation, the spatial structural characteristics and agglomerate regulation of arable land quality were explored by taking the arable land use quality index as the spatial variable. Finally, by spatial superposition combination, the spatial layout planning of basic farmland construction was given. The results showed that the arable land of the study area was divided into 2 062 units which were arable land with 1 km×1 km grid. The arable land spatial layout was classified into three grades: first grade, second grade and third grade. The local spatial autocorrelation was divided into 4 types, including HH, LL, HL and LH. The basic farmland spatial layout was divided into priority delimited type, centralized regulation type and reserved development type, whose arable land ratio were 36.26%, 22.70% and 41.04%, respectively. The priority delimited type distributed in the central, including Litian, Meitang, Denglong, Guantian towns and eastern part of the study area. The centralized regulation type mainly distributed in northern study area, including

Wanfu, Tongping towns and parts of southern study area. The reserved development type distributed in northern Ji'an county and eastern Ji'an county. With considering of arable land spatial layout and spatial agglomerate regulation of arable land quality, this study can provide reference for layout planning of the basic farmland construction.

Key words: basic farmland construction; spatial layout; local spatial autocorrelation; grid; Ji'an county

引言

耕地是人类赖以生存与发展的重要资源与物质基础,是粮食综合生产能力的最基本要素之一,是实现国家粮食安全的基础和保证^[1]。国土资源部第二次土地大调查结果显示,我国耕地面积逐年减少、等级不高、分布细碎、耕地后备资源不足的基本国情没有改变,因此构建数量质量并重管理的保护体系尤为重要^[2]。基本农田是耕地中的精华部分,一直以来受到政府和社会的高度重视。但实践中,地方政府和耕地管理部门为了满足上级下达的基本农田数量要求,在对基本农田进行空间规划与布局时,出现主观性大、重数量轻质量,将一些破碎、质量差的耕地划为基本农田等现象。

基本农田是指通过土地整治形成的集中连片、高产稳产并与现代农业生产和经营方式相适应的农田^[3]。目前对耕地空间布局的相关研究集中在对基本农田的评价与划定等方面,程峰等通过构建耕地入选基本农田的综合评价指标体系,采用理想点逼近法^[4]、LESA 方法^[5]、多因素综合评价法^[6-12]和主成分分析法^[7]对耕地质量进行了综合评价,进而划分基本农田;孔祥斌等采用农用地分等中的利用等别,对基本农田保护区进行了划定^[11]。以上研究一般基于农用地分等成果,或通过建立基本农田的评价指标体系,赋予权重,进而综合评价并对结果进行划分。这些研究方法为基本农田划定与建设提供了依据,但忽视了耕地质量的空间分布特征。而耕地作为地理实体,受自然条件及人类活动的影响,致使其耕地质量属性表现出一定的空间分布规律^[13-14]。近年来有学者在基本农田建设布局规划中采用了空间聚类和空间自相关等方法^[15-16],越来越重视耕地质量的空间属性,但这些研究一般以行政区为空间单元,难以进行层次化管理,不利于信息检索与更新。因此如何科学、高效规划基本农田建设空间布局是急待解决的问题。

网格是指对地理空间的规则划分,具有打破行政单元约束、易于空间定位、提高信息检索与更新效率、应用便利及高效等特点^[17-18]。本文以江西省吉安县为例,在农用地分等成果的基础上,通过划分与处理网格数据,综合评价耕地图斑的面积、空间形

态、集中连片性等空间布局特征,结合耕地质量利用等的局部空间自相关特征,对耕地质量的空间分布进行综合评价,进而划分基本农田建设空间布局。

1 研究区概况

以江西省吉安县为研究区。吉安县位于江西省中部,吉泰盆地中心、赣江流域中游。地处东经 114°25'~115°10',北纬 26°41'~27°38',受暖湿气流的交替影响,属亚热带季风湿润气候,四季分明。吉安县地势由四周向中部倾斜,东南、西南和北面多为山地、丘陵,中部为河流聚汇处,地势较低平,海拔高度多在 56~60 m,形成土壤肥沃的河谷平原。全县土地总面积为 211 098.50 hm²,其中耕地面积 53 208.61 hm²,占土地总面积的 25.21%。吉安县水田面积占耕地总面积的 86.77%,优质耕地所占比重较大。

数据来源于 2010 年吉安县耕地质量监测数据库和吉安县 1:1 万行政区划图,数据均为 shp 格式,包括县级分等单元和行政区数据。对以上数据资料进行严格的检查,剔除异常值,确保数据的可靠性。

2 研究方法

首先采用规则网格对研究区进行划分。建立耕地空间布局的指标体系,并赋予权重,计算网格空间布局综合得分;采用局部空间自相关方法,分析耕地质量利用等的空间分布,并与耕地空间布局进行叠加对比分析,根据空间组合类型划分基本农田建设空间布局,具体技术路线如图 1 所示。

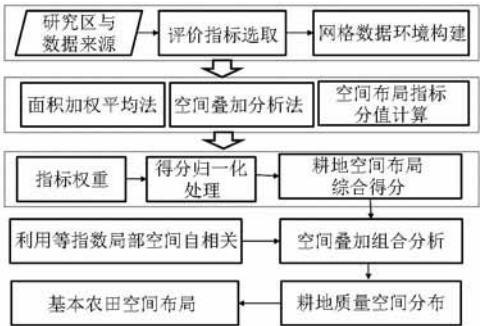


图 1 技术路线

Fig. 1 Flow chart of technique

2.1 耕地空间布局指标分值计算及权重

选取 4 个与耕地空间布局相关性较大的评价指

标,分别是耕地面积比、破碎度系数、分维数和集中连片系数。采用专家打分法确定各指标因子的权重,具体见表 1。

表 1 耕地空间布局指标体系

Tab.1 Index system of arable land spatial layout

评价指标	权重	指标趋向
耕地面积比	0.25	正
破碎度系数	0.15	负
分维数	0.25	负
集中连片系数	0.35	正

耕地面积比计算式为

$$P_s = \frac{A_i}{S}$$
 (1)

破碎度系数计算式为

$$P_t = \frac{N_i}{A_i}$$
 (2)

分维数 FDI 计算式为

$$V_{FDI} = \frac{2\ln(L_i/4)}{\ln A_i}$$
 (3)

集中连片系数计算式为

$$V_{IICi} = \frac{\sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{a_l a_k}{1 + n_{lk}}}{S^2}$$
 (4)

式中 P_s ——耕地面积比
 A_i ——第 i 个网格中的耕地总面积
 S ——每个网格单元的面积
 P_t ——破碎度系数
 N_i ——第 i 个网格单元中耕地图斑总个数
 V_{FDI} ——分维数
 L_i ——第 i 个网格单元中耕地田块边界周长总和
 V_{IICi} ——集中连片系数
 n ——第 i 个网格单元内的耕地田块总个数
 $a_l、a_k$ ——第 l 和第 k 个耕地田块的面积
 n_{lk} ——田块 l 与田块 k 之间的连接数

式(1)~(4)中,耕地面积比 P_s 越大,说明网格内耕地数量越多;破碎度系数 P_t 越大,说明耕地越破碎;分维数 V_{FDI} 描述耕地田块形状复杂程度, V_{FDI} 越大,说明形状越复杂, V_{FDI} 越小,说明越有规律、几何形状越趋于简单;集中连片系数 V_{IICi} 越大,说明耕地连片性越好, V_{IICi} 越小,说明耕地田块之间越分散。

2.2 空间数据网格化

空间布局指标分值的计算和利用等指数的局部空间自相关分析均基于网格单元,因此首先将空间数据网格化。将耕地质量数据合理地划分到网格

中,计算得分并赋值,具体步骤见图 2。首先根据研究区 S1 大小和位置划分出 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的规则网格 G1,使 G1 覆盖整个研究区;然后用 S1 裁剪 G1 得到网格 G2;将 G2 与县级分等单元数据 L1 空间叠加,取几何并集,得到分割后的耕地图斑 L2;通过编程读取 L2 和 G2,按照面积加权平均法计算平均利用等指数,根据 L2 和 G2 对应的网格编号,将分值赋给 G2,根据耕地空间布局指标的计算公式(1)~(4)计算相应的分值,并按照面积加权平均法将分值赋给 G2;最后删除 G2 中不存在耕地图斑的网格单元,得到网格 G3。

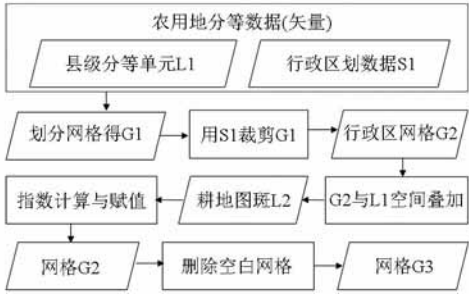


图 2 数据网格化处理步骤
Fig.2 Grid processing steps

2.3 利用等指数局部空间自相关

在农用地分等中,利用等指数是指按照标准耕作制度,在一定的自然条件和平均土地利用条件下,按照一定步骤进行的农用地质量综合评定^[19],利用等指数经过划分后可得到耕地利用等别。利用等指数能够客观反映光温气候、土壤等耕地的自然本底条件,并能体现耕地利用水平。

空间自相关同时根据要素空间位置和要素属性值来度量空间分布。表示空间自相关的指标和方法中,最常用的是 Moran's I 统计量^[20-23]。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), Local Moran's I 用来度量空间单元与其周边单元之间的空间差异程度及其显著性^[24-25]。采用 Local Moran's I 分析耕地利用等指数局部空间自相关,公式为

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (X_j - \bar{X})$$
 (5)

式中 I_i ——Local Moran's I 指数
 $X_i、X_j$ ——第 i 和第 j 个耕地质量利用等指数
 W_{ij} —— i 和 j 之间的空间权重
 S_i^2 ——利用等指数方差

I_i 取值范围为 $-1 \sim 1$,其值越大,则空间结构性越显著, $I_i > 0$ 表示变量在空间上呈现正相关,存在空间聚集; $I_i < 0$ 表示变量在空间上呈现负相关,存

在空间孤立; $I_i = 0$ 表示变量不存在空间自相关性。利用 Local Moran's I 指数,将耕地利用质量空间分布划分为 4 种类型:HH 型、LL 型、HL 型和 LH 型。HH 型和 LL 型为正相关类型,分别表示高等地聚集和低等地聚集;HL 和 LH 型为负相关类型,分别表示高等地被低等地包围和低等地被高等地包围。

2.4 耕地质量综合评价与基本农田建设空间布局

采用综合指数法计算耕地空间布局综合得分,并利用最大相似性原理,采用自然间断法将得分划分为 3 个等级,1 级耕地为空间布局最好,3 级为最差。最后将等级赋给 2.2 节中构建的网格 G3,综合指数计算公式为

$$Q_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} f_{ij} \tag{6}$$

式中 Q_i ——第 i 个网格单元的耕地质量综合得分
 w_{ij} ——第 i 个网格单元第 j 个耕地空间布局指标权重值
 f_{ij} ——第 i 个评价单元第 j 个指标的得分
 m ——指标个数

采用网格 G3 进行局部空间自相关分析,得到耕地利用质量的空间分布图 G4。将 G3 与 G4 进行空间叠加组合,将基本农田建设空间布局划分为优先划入型、集中整治型和后备开发型 3 类,组合模式如表 2 所示。

表 2 基本农田建设空间布局组合模式

Tab.2 Combination mode of basic farmland construction

自相关类型	耕地空间布局等级		
	1 级	2 级	3 级
HH	优先划入型	优先划入型	后备开发型
LL	集中整治型	后备开发型	后备开发型
HL	集中整治型	集中整治型	后备开发型
LH	优先划入型	集中整治型	后备开发型

3 结果与分析

3.1 网格划分与耕地空间布局指标分值计算

通过对耕地质量数据网格化处理,吉安县共划分出 2 350 个网格单元,其中有 2 062 个包含耕地,如图 3 所示。通过网格剖分,耕地图斑被分割成 64 821 个,平均每个网格有 31.43 个耕地图斑,即研究区平均每平方千米内有 31.43 个耕地田块,每个网格中耕地面积平均为 25.8 hm²,占网格单元面积的 25.8%。在空间分布上,耕地主要分布于北部与东部,这些区域地形起伏小,耕地聚集程度高;研究区西南部耕地较少,这些区域多为山地丘陵,海拔高,地形起伏大,耕地破碎且多呈条状分布。

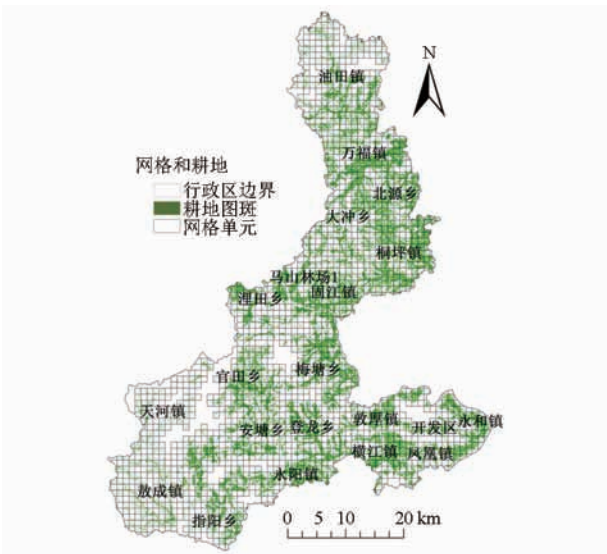


图 3 吉安县耕地网格化结果

Fig.3 Grid division of arable land in Ji'an county

3.2 耕地空间布局等级划分

采用综合指数法计算耕地面积比、破碎度系数、分维数和集中连片系数 4 个空间布局指标,并采用自然间断分级法,将其划分成 3 个等级,结果见表 3 和图 4。1 级网格单元最少,为 278 个,仅占网格单元总数的 13.50%,但耕地面积较大,为 18 233.10 hm²,占耕地总面积的 34.27%,每个网格中耕地面积占网格单元面积的 65.59%,耕地面积占土地面积一半以上;2 级网格单元共 606 个,占网格单元总个数的 29.47%,耕地面积最大,占耕地总面积的 40.04%。在空间上,2 级和 1 级多分布于研究区中部和东部,这些地区耕地集中连片、耕地面积大、交通便利,适合集中规划与整治。3 级网格单元最多,占网格单元总个数的 57.04%,但耕地面积仅有 11 671.65 hm²,占耕地总面积的比例为 25.69%,平均每个网格中耕地面积为 11.61 hm²,多分布于研究区西南部 and 北部,这些地区耕地连片性较差,耕地面积小,耕地空间形态复杂,因此综合得分较低。

表 3 耕地空间布局综合得分及等级划分

Tab.3 Composite score and division of arable land spatial layout

等级	综合分值	网格单元		耕地	
		个数	比例/%	面积/hm ²	比例/%
1 级	[0.465,0.735)	278	13.50	18 233.10	34.27
2 级	[0.329,0.465)	606	29.47	21 303.89	40.04
3 级	[0.139,0.329)	1 178	57.04	13 671.65	25.69
总计		2 062	100	53 208.64	100

注:耕地比例等于耕地面积与耕地总面积之比乘以 100%。

3.3 局部空间自相关结果与分析

结合表 4 与图 5,从利用等指数局部空间自相关分析的结果来看,正相关类型中的 HH 型共有网

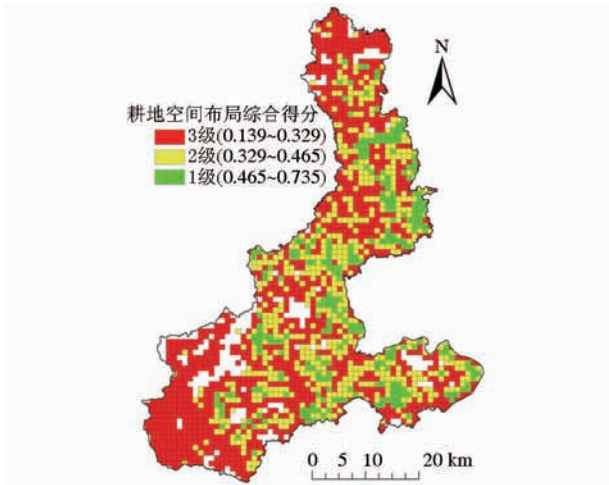


图 4 吉安县耕地空间布局等级

Fig. 4 Grade of arable land spatial layout in Ji'an county

格单元 1 038 个,占网格单元总个数的 50.34%,耕地面积 25 425.15 hm²,在 4 种自相关类型中耕地面积最大,占总面积的 47.78%。空间上,HH 型空间聚集性显著,主要分布在研究区中部,包括梅塘乡、湴田乡、登龙乡,以及研究区西南部的熬成镇北部和东部乡镇的大部分区域,这些区域耕地自然条件优越,耕作便利,耕地质量利用等高等地聚集分布。正相关类型中的 LL 型共有网格单元 783 个,占网格单元总个数的 37.97%,耕地面积 21 255.29 hm²,LL 型在空间分布上聚集性也比较显著,分布在桐坪镇、油田镇、万福镇和安塘乡等,该类型耕地质量较低;负相关类型(HL 型和 LH 型)共有网格单元 241 个,合计占比 11.69%,耕地面积共计 6 528.2 hm²,占总面积的 12.26%,该类型耕地面积较小,在空间上多依附于正相关类型,零星分布,无明显聚集性特征,在研究区大部分区域均有分布。

表 4 吉安县耕地质量局部空间自相关类型统计表
Tab. 4 Types of local spatial autocorrelation of arable land quality in Ji'an county

自相关 类型	网格单元		耕地	
	个数	比例/%	面积/hm ²	比例/%
HH	1 038	50.34	25 425.15	47.78
LL	783	37.97	21 255.29	39.95
LH	35	1.70	640.73	1.20
HL	206	9.99	5 887.47	11.06
总计	2 062	100	53 208.64	100

注: $p < 0.05$ 。

3.4 耕地综合质量与基本农田建设空间布局

将耕地空间布局等级图与耕地利用质量局部空间关联聚集图进行空间叠加组合,得到优先划入型、集中整治型和后备开发型 3 类基本农田建设空间布局。表 5 为耕地空间布局等级与局部空间自相关结果的叠加组合统计结果,图6为基本农田建设空间

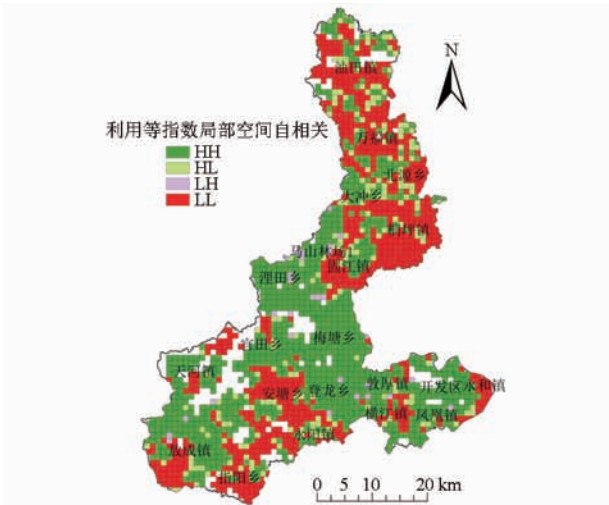


图 5 吉安县耕地利用质量局部空间关联聚集图

Fig. 5 Local spatial agglomeration of arable land use quality in Ji'an county

表 5 吉安县基本农田组合类型统计结果
Tab. 5 Results of basic farmland combination types in Ji'an county

基本农田	叠加组合		网格		耕地	
	耕地空间 布局等级	自相关 类型	个数	比例/ %	面积/ hm ²	比例/ %
优先划入型	1 级	HH	133	6.45	8 511.97	16.00
	1 级	LH	3	0.15	181.87	0.34
	2 级	HH	322	15.62	10 598.90	19.92
	总计		458	22.22	19 292.74	36.26
集中整治型	1 级	LL	107	5.19	7 166.85	13.47
	1 级	HL	35	1.70	2 288.43	4.30
	2 级	HL	65	3.15	2 304.45	4.33
	2 级	LH	10	0.48	318.06	0.60
总计		217	10.52	12 077.79	22.70	
后备开发型	2 级	LL	210	10.18	8 061.06	15.15
	3 级	HH	595	28.86	6 314.29	11.87
	3 级	LL	455	22.07	6 027.38	11.33
	3 级	HL	109	5.29	1 294.59	2.43
	3 级	LH	18	0.87	140.79	0.26
	总计		1 387	67.27	21 838.11	41.04
总计			2 062	100	53 208.64	100

布局图。

优先划入型共有网格单元 458 个,占网格单元总数的 22.22%,耕地面积共计 19 292.74 hm²,占耕地总面积的 36.26%。该类型耕地面积比例较大,且空间上聚集性显著,主要集中分布于研究区中部的湴田、梅塘、登龙和官田等乡镇,以及研究区东部的部分区域。这些区域为河流聚汇处,土壤肥沃,地势较低平,交通便利,并且距离市区较近,经济条件优越,是基本农田建设的理想区域。具体地,共有 3 种组合类型划定为优先划入型基本农田,其中(1 级,HH)和(2 级,HH)组合类型共有网格单元

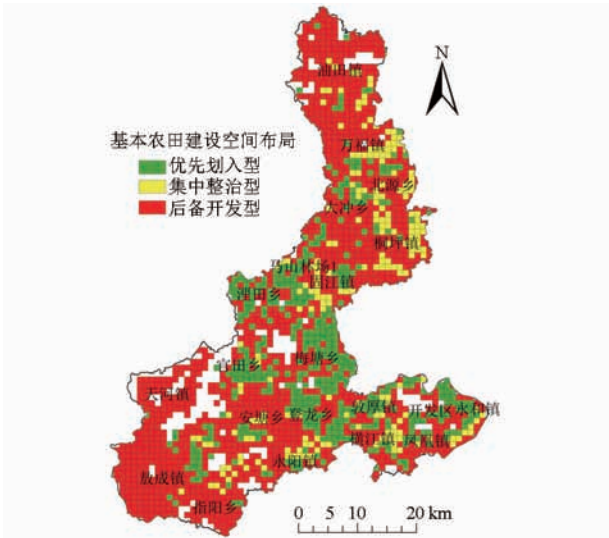


图 6 吉安县基本农田建设空间布局

Fig. 6 Spatial layout of basic farmland construction in Ji'an county

455 个,面积为 19 110. 87 hm²,该组合耕地空间布局等级高,耕地规整、连片性好,利于大规模机械化作业和集中管理,且耕地质量利用等高等地聚集分布,耕地产能高,土地整治难度小,因此应优先划入基本农田建设区,严格禁止非农建设;(1 级, LH)组合类型共有网格单元 3 个,耕地面积 181. 87 hm²,该组合类型利用质量空间自相关为 LH 型,区域内低等地被高等地包围,受同化作用的影响,低等地容易转化为高等地从而成为 HH 型,且耕地空间布局为 1 级,耕地规整、连片性好,因此将其划入为优先划入型。

集中整治型共有网格单元 217 个,占网格总数的 10. 52%,耕地面积共计 12 077. 79 hm²,占耕地总面积的 22. 70%。在 3 种基本农田建设空间布局中,集中整治型耕地面积最小,空间聚集性不显著,主要分布于研究区北部的万福镇、桐坪镇以及南部的部分区域。该区域的耕地面积较大,且集中连片,具有一定的整治潜力。具体地,(1 级, LL)组合类型虽然耕地空间布局等级较高,但耕地利用质量为低等地聚集分布,不能满足“集中连片、质量高”的基本要求,将其划入集中整治型,在土地整治的过程中,应重点改善耕地自然条件,提高耕地利用等别;(1 级, HL)和(2 级, HL)组合类型中耕地利用质量局部空间自相关类型为 HL 型,区域内高等地被低等地包围,容易转化为 LL 型,因此将其划入重点整

治型,应采取高等地隔离措施,避免低等地的同化作用,积极保护高等地;(2 级, LH)组合类型则由于耕地空间布局和耕地利用质量均处于中等,将其划入重点整治型,可通过“小块并大块”等整治措施,提高耕地连片性和规整性,并同时改善耕地质量。

后备开发型共有网格单元 1 387 个,占网格总数的 67. 27%,耕地面积共计 21 838. 11 hm²,占耕地总面积的 41. 04%。该类型耕地面积最大,主要分布于研究区西南部和北部,这些区域多为山地丘陵,耕地破碎,集中连片性差,且耕地质量较差。该区域土地整治投入大,不适宜大规模集中开发,可作为耕地后备资源开发整治。短期内可通过发展特色农业,以农户为主,种植经济作物,提高农民经济收入,并注重生态保护,兼顾耕地的生产和生态功能。

4 结 论

本文以农用地质量分等更新数据为基础,在网格环境下,通过建立耕地空间布局指标体系,划分了耕地空间布局等级,并采用局部空间自相关方法,分析了耕地质量利用等在空间上的分布规律,最后将耕地空间布局与自相关类型空间叠加组合分析,划分了基本农田建设空间布局。具体如下:

(1)选取耕地面积比、破碎度系数、分维数和集中连片系数,综合评价了吉安县耕地空间布局,按综合得分从高到低划分为 1 级、2 级和 3 级。1 级和 2 级耕地多分布于研究区的中部和东部,3 级多分布于研究区的西南部和北部。

(2)吉安县耕地利用等指数局部空间自相关划分为 HH、LL、HL 和 LH 4 种类型,HH 高质量耕地面积最大,占耕地总面积的 47. 78%,空间聚集性明显,主要分布于研究区中部,LL 型低等地主要分布于桐坪镇、油田镇、万福镇和安塘乡等,HL 和 LH 型耕地面积合计占 11. 06%,零星分布。

(3)将吉安县基本农田建设空间布局划分为优先划入型、重点整治型和后备开发型,网格单元数目分别为 458、217、1 387,耕地面积分别占 36. 26%、22. 70% 和 41. 04%。通过耦合耕地空间布局和耕地质量利用等空间聚集,充分满足了基本农田建设“集中连片、质量好”的要求,为基本农田建设空间布局提供了科学、可行的依据。

参 考 文 献

1 张红富,周生路,吴绍华,等.省域尺度耕地产能空间分异规律及其影响因子[J].农业工程学报,2010,26(8):308-314.
ZHANG Hongfu, ZHOU Shengl, WU Shaohua, et al. Provincial scale spatial variation of cultivated land production capacity and its impact factors[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(8): 308-314. (in Chinese)

2 陈彦清. 网格环境下基于多尺度指标体系的耕地质量评价方法研究[D]. 北京:中国农业大学,2015.
CHEN Yanqing. Cultivated land quality evaluation method based on multi-scale indicators' system in grid environment [D].

- Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- 3 TD/T 1033—2012 高标准基本农田建设标准[S]. 2012.
- 4 程锋, 石英, 朱德举. 耕地入选基本农田决策模型研究[J]. 地理与地理信息科学, 2003, 19(3): 50–53.
- 5 钱凤魁, 王秋兵. 基于农用地分等和 LESA 方法的基本农田划定[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 251–255.
QIAN Fengkui, WANG Qiubing. Planning method of the prime farmland based on farmland classification and LESA method[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(3): 251–255. (in Chinese)
- 6 宇向东, 郝晋珉, 鲍文东. 基于耕地分等的基本农田空间配置的方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 1): 185–189.
YU Xiangdong, HAO Jinmin, BAO Wendong. Methods of spatial allocation of basic farmland based on classification of arable land [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(Sup. 1): 185–189. (in Chinese)
- 7 李赓, 吴次芳, 曹顺爱. 划定基本农田指标体系的研究[J]. 农机化研究, 2006, 15(8): 46–48.
- 8 薛剑, 韩娟, 张凤荣, 等. 高标准基本农田建设评价模型的构建及建设时序的确定[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 193–203.
XUE Jian, HAN Juan, ZHANG Fengrong, et al. Development of evaluation model and determination of its construction sequence for well-facilitated capital farmland[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 193–203. (in Chinese)
- 9 金志丰. 基于 GIS 空间分析的基本农田配置研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 134–164.
JIN Zhifeng. Analysis of spatial allocation of basic farmland based on GIS[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(5): 134–164. (in Chinese)
- 10 吴飞, 濮励杰, 许艳, 等. 耕地入选基本农田评价与决策[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 270–277.
WU Fei, PU Lijie, XU Yan, et al. Evaluation and decision-making for selecting cultivated land into prime farmland[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 270–277. (in Chinese)
- 11 孔祥斌, 靳京, 刘怡, 等. 基于农用地利用等别的基本农田保护区划定[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 46–51.
KONG Xiangbin, JIN Jing, LIU Yi, et al. Planning method of the prime farmland protection zone based on farmland utilization grade[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 46–51. (in Chinese)
- 12 段刚. 基于农用地定级的基本农田保护空间规划方法研究[D]. 西安: 长安大学, 2009.
DUAN Gang. Study on the method of basic farmland protection spatial planning in basis of agricultural land classification[D]. Xi'an: Chang'an University, 2009. (in Chinese)
- 13 孔祥斌, 张青璞. 中国西部区耕地等别空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 1–7.
KONG Xiangbin, ZHANG Qingpu. Spatial distribution characteristics of arable land grade in Western China[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(22): 1–7. (in Chinese)
- 14 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.
- 15 杨永侠, 施彦如, 孙婷, 等. 基于空间聚类的西藏耕地后备资源开发组合模型研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(4): 1–14.
YANG Yongxia, SHI Yanru, SUN Ting, et al. Study on the model of exploitation combination of reserved cultivated land resources based on spatial clustering in the Tibet[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery 2016, 47(4): 1–14. (in Chinese)
- 16 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.
XIONG Changsheng, TAN Rong, YUE Wenzhe. Zoning of high standard farmland construction based on local indicators of spatial association[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22): 276–284. (in Chinese)
- 17 李德仁, 滨洪超, 邵振峰. 国土资源网格化管理与服务系统的设计与实现[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(1): 1–6.
LI Deren, BIN Hongchao, SHAO Zhenfeng. Design and implementation of land and resources grid management and service system[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(1): 1–6. (in Chinese)
- 18 陈述彭, 陈星. 地球信息科学的理解与实践[J]. 地球信息科学, 2004, 6(1): 4–10.
CHEN Shupeng, CHEN Xing. The cognition and practice of geo-information science[J]. Geo-information Science, 2004, 6(1): 4–10. (in Chinese)
- 19 GB/T 28407—2012 农用地质量分等规程[S]. 2012.
- 20 张朝生, 陶澍, 袁贵平, 等. 天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J]. 土壤学报, 1995, 32(1): 50–57.
ZHANG Chaosheng, TAO Shu, YUAN Guiping, et al. Spatial autocorrelation analysis of trace element contents of soil in Tianjin Plain Area [J]. Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(1): 50–57. (in Chinese)
- 21 CLIFF A D, ORD K. Spatial autocorrelation: a review of existing and new measures with applications[J]. Economic Geography, 1970, 46: 269–292.
- 22 陈彦光. 基于 Moran 统计量的空间自相关理论发展和方法改进[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1449–1463.
CHEN Yanguang. Reconstructing the mathematical process of spatial autocorrelation based on Moran's statistics[J]. Geographical Research, 2009, 28(6): 1449–1463. (in Chinese)
- 23 葛莹, 姚士谋, 蒲英霞, 等. 运用空间自相关分析集聚经济类型的地理格局[J]. 人文地理, 2005(3): 21–25.
GE Ying, YAO Shimou, PU Yingxia, et al. Application of spatial autocorrelation for the spatial patterns of urbanization and localization economy[J]. Human Geography, 2005(3): 21–25. (in Chinese)
- 24 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.
WEI Shichuan, XIONG Changsheng, LUAN Qiaolin, et al. Protection zoning of arable land quality index based on local spatial autocorrelation[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(18): 249–256. (in Chinese)
- 25 熊昌盛, 韦仕川, 栾乔林, 等. 基于 Morans'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.
XIONG Chengsheng, WEI Shichuan, LUAN Qiaolin, et al. Spatial pattern disparity and arable land quality based on Moran's I analysis[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2066–2074. (in Chinese)