

## 基于“三生”空间协调与综合质量评价下的永久基本农田布局优化

张丽丽, 周丙娟\* (江西农业大学国土资源与环境学院/江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 江西南昌 330045)

**摘要** [目的]探究基于“三生”空间协调与综合质量评价下的永久基本农田布局优化思路及建议。[方法]基于GIS平台,以吉安县作为研究区,构建综合质量评价体系,借助熵值法计算各指标权重,得到耕地综合质量得分,进一步叠加上轮永久基本农田划定成果,基于生态安全、城市建设发展的约束条件下,对初步划定结果进行优化,得到最终布局优化结果。[结果]基于耕地综合质量评价结果,按照耕地质量综合评价得分,得到适宜划入永久基本农田的一般耕地面积为44 560.89 hm<sup>2</sup>,考虑原有划定的永久基本农田,坚持生态优先原则,协调城市发展,分为保留、调入、调出3种情况,得到最终永久基本农田优化面积为43 097.52 hm<sup>2</sup>。[结论]研究结果遵循了永久基本农田划定优质、聚集和稳定的思路,以及数量不减、质量不降、布局稳定的布局优化要求,可为吉安县永久基本农田布局优化以及高标准农田建设提供一定的参考。

**关键词** 永久基本农田布局优化;生态优先;城市发展;空间协调

中图分类号 F323.21 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)02-0079-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.02.020



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Layout Optimization of Permanent Basic Farmland Based on the Spatial Coordination and Comprehensive Quality Evaluation of Urban, Agriculture, Ecology

ZHANG Li-li, ZHOU Bing-juan (School of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Agricultural Resources and Ecology in Poyang Lake Basin of Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi 330045)

**Abstract** [Objective] To explore the idea and suggestion of optimizing the layout of permanent basic farmland based on the spatial coordination and comprehensive quality evaluation of urban, agriculture, ecology. [Method] Based on GIS platform, Ji'an County was taken as the research area, a comprehensive quality evaluation system was constructed, and the weights of each index were calculated by entropy method to obtain the scores of cultivated land comprehensive quality. The results of the upper round permanent basic farmland demarcation were further superimposed. Under the constraints of ecological security and urban construction and development, the preliminary demarcation results were optimized and the final layout optimization results were obtained. [Result] Based on the results of comprehensive quality evaluation of cultivated land, according to the comprehensive evaluation score of cultivated land quality, the general cultivated land area suitable for permanent basic farmland was obtained as 44 560.89 hm<sup>2</sup>. Considering the original demarcated permanent basic farmland, adhering to the principle of ecological priority and coordinating urban development, it can be divided into three situations: reservation, transfer in and transfer out, the optimal final area of permanent basic farmland was obtained as 43 097.52 hm<sup>2</sup>. [Conclusion] The research results follow the idea of high quality, aggregation and stability of permanent basic farmland demarcation, and the layout optimization requirements of constant quantity, constant quality and stable layout, which can provide certain reference for the layout optimization of permanent basic farmland and the construction of high standard farmland in Ji'an County.

**Key words** Optimization of permanent basic farmland layout; Ecological priority; Urban development; Spatial coordination

自1994年起至今,随着相关政策的出台,永久基本农田的内涵不断地延伸拓展。2020年起实施的新《土地管理法》中基本农田改称为永久基本农田,这是对基本农田实施永久性保护理念的显化。永久基本农田内涵可以理解为集中、连片、稳定、高质量、生产能力最好的优质耕地<sup>[1]</sup>。按照自然资源部以及农业农村部相关文件部署要求,需进一步加强耕地“三位一体”保护,并构建永久基本农田特殊保护新格局,全面核实划定成果,清理划定不实问题,划定永久基本农田并实行特殊保护是耕地保护工作的重中之重。特别是在国土空间规划背景下,永久基本农田布局优化尤为重要。

目前,国内学者对永久基本农田相关研究主要涉及永久基本农田划定<sup>[2]</sup>、高标准基本农田建设<sup>[3]</sup>、永久基本农田布局优化<sup>[4]</sup>、储备区划定<sup>[5]</sup>等方面,从耕地质量、区位条件、空间利用形态、景观形态指数等方面构建耕地综合质量评价指标<sup>[6-8]</sup>,选取熵值法<sup>[9]</sup>、LESA<sup>[10-11]</sup>、空间自相关<sup>[12]</sup>、四象限法<sup>[13]</sup>、层次分析法<sup>[14]</sup>、TOPSIS模型<sup>[2]</sup>等方法确定指标权重,研究空间尺度多为县域以及城市周边。大多数学者的研究

都集中在如何划定永久基本农田上,构建的耕地质量评价指标体系中鲜有耕地稳定性指标,探讨生态约束以及城市发展限制下的已有划定永久基本农田的布局优化研究也不多。该研究以吉安县为研究区域,探究基于“三生”(生产、生态、生活)空间协调与综合质量评价下永久基本农田空间优化调整思路和建议,拟为后期吉安县永久基本农田科学划定提供实践依据。

#### 1 研究区概况与数据处理

**1.1 研究区概况** 吉安县位于江西省中部,地理坐标处东经114°24'52"~115°03'23"、北纬26°49'21"~27°37'54",北端、西部和西南侧隆起,中部地区平坦,地势由边缘山地向中、东部地势低洼处倾斜,形成朝北东侧开口的一个山间盆地,位于吉泰盆地中心。吉安县境内小河流众多,小水系遍布各乡镇,降雨量充沛,河系发达,过境水量充足。受寒暖气流的交替影响,属亚热带季风湿润气候,四季分明,无霜期长,气候条件以及区位条件适宜进行农业生产。农林用地占比较大,体现典型的南方丘陵地貌土地利用特征,是全国粮食生产先进县。据第三次全国国土调查(以下简称“三调”)数据统计显示,县域土地总面积为2 122.36 km<sup>2</sup>,其中耕地面积为46 729.47 hm<sup>2</sup>,约占土地总面积的20.02%。耕地从结构上分

**作者简介** 张丽丽(1998—),女,江西吉安人,在读研究生,研究方向:土地经济学。\*通信作者,副教授,硕士,从事土地经济方面研究。

**收稿日期** 2022-02-22

为水田与旱地,不含水浇地。

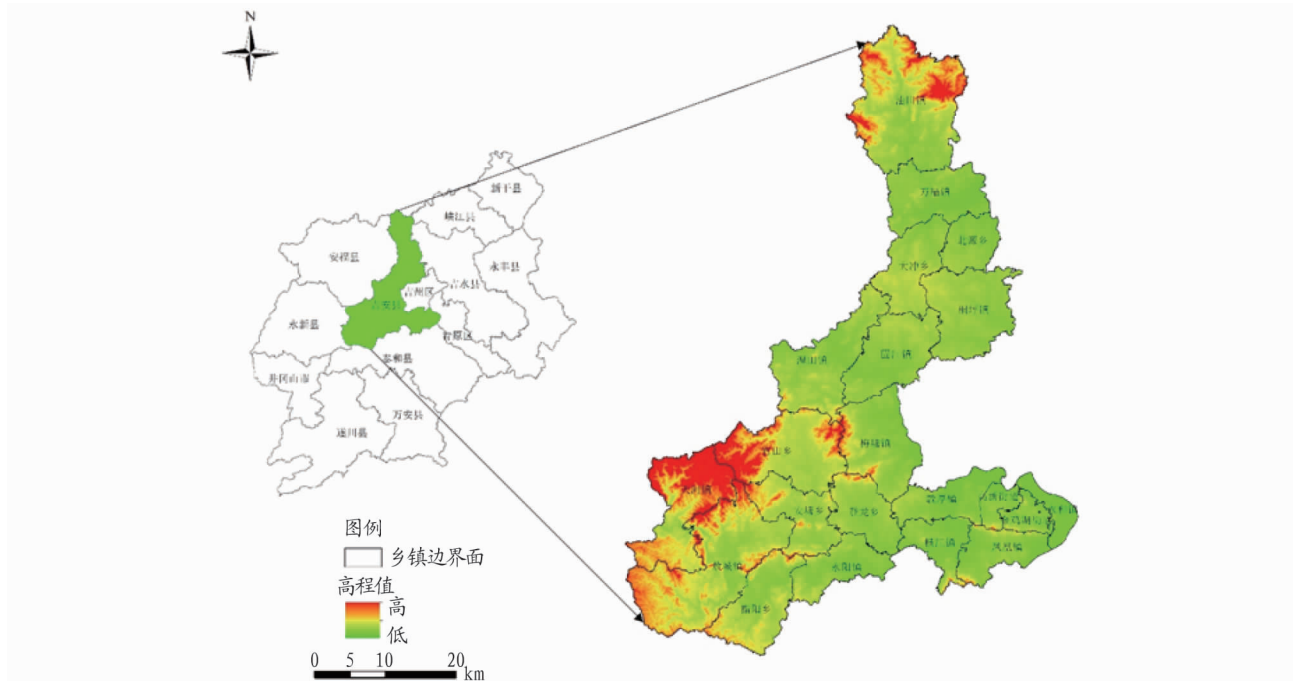


图1 吉安县区位图

Fig.1 Location of Ji'an County

**1.2 数据来源及预处理** 研究数据主要来源于吉安县自然资源局提供的“三调”数据、2017年永久基本农田数据库、交通路网数据、2018年耕地质量等级数据、遥感影像、生态红线范围、国土空间规划划定的城市开发边界线以及安排的项目选址矢量数据。通过 Arc GIS 10.2 空间分析平台,将研究数据统一为高斯-克吕格投影、2000 坐标系,以“三调”耕地图斑为评价单元,提取土壤有机质含量、有效土层厚度、土壤酸碱度、表层土壤质地、剖面结构、排水条件、灌溉保证率等属性值,确定该研究基础数据。

## 2 研究方法

**2.1 评价指标体系构建** 永久基本农田的划定最主要是考

虑耕地的综合质量情况。之前学者们的耕地综合质量评价指标体系构建主要从自然条件、环境条件、生态条件、基础设施条件以及区位条件等几个方面考虑。该研究综合考虑当前学者使用的耕地质量评价指标和自然资源部有关要求,结合现有吉安县基础数据资料的可获取性,遵循客观性原则、综合性原则、针对性原则、可持续性原则和可操作性原则,并参考《农用地分等》、《江西省耕地质量监测成果技术报告》、《吉安县耕地质量等级更新技术报告》,选取地类现状条件、土壤条件、区位条件和灌排条件 4 个要素层,其下 13 个二级评价因子,建立吉安县永久基本农田划定的评价因子体系表(表 1)。

表 1 耕地综合质量评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of cultivated land comprehensive quality

| 决策目标<br>Decision-making<br>objectives                                 | 要素层<br>Element<br>layer | 目标层<br>Target<br>layer | 处理方法<br>Processing<br>method | 选取依据<br>Selection<br>basis | 指标属性<br>Indicator<br>attributes |
|---|-------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 耕地综合质量评价<br>Evaluation of cultivated<br>land comprehensive<br>quality | 地类现状条件                  | 坡度                     | 图斑属性提取                       | 田块平整度                      | -                               |
|   |                         | 三调属性                   | 图斑属性提取                       | 稳定性                        | +                               |
|   |                         | 现状地类                   | 图斑属性提取                       | 种植属性                       | +                               |
|   |                         | 图斑规整度                  | 景观指数 FRAC                    | 可耕作潜力                      | -                               |
|   | 土壤条件                    | 有效土层厚度                 | —                            | 土壤的障碍层次                    | +                               |
|   |                         | 土壤质地                   | —                            | 土壤物理适宜性                    | +                               |
|   |                         | 剖面构型                   | —                            | 蓄水保肥能力                     | +                               |
|   |                         | 土壤有机质含量                | —                            | 土壤肥力                       | +                               |
|   |                         | 土壤 pH                  | —                            | 土壤酸碱反应                     | 适宜性                             |
|   | 灌排条件                    | 排水条件                   | —                            | 排涝条件                       | +                               |
|   |                         | 灌溉保证率                  | —                            | 抗旱能力                       | +                               |
|   | 区位条件                    | 耕地距离农村道路距离             | 多环缓冲区分析                      | 耕作便捷性                      | -                               |
|   |                         | 耕地距离农村居民点距离            | 近邻分析                         | 管理便捷度                      | -                               |

地类现状条件是影响耕地质量的基础因素,其在一定程度上限制了区域耕地的利用方向与程度,主要包括坡度、现状地类、“三调”属性、图斑规整度 4 个指标。坡度高低直接影响土地生产力状况,坡度会影响光照条件和土壤的排水性能,坡度越大对农业生产限制越大;根据“三调”图斑细化属性,耕地被分为稳定耕地和不稳定耕地,耕地稳定性主要影响耕地的利用方式,该研究将不稳定耕地定义为 25° 以上坡耕地、河道耕地、湖区耕地、林区耕地、牧区耕地、沙漠化耕地、石漠化耕地、盐碱耕地以及城镇村属性代码为 20X 的耕地。现状地类代表耕地类型会影响种植方式及种植结构,研究区属于秦岭—淮河以南,耕地类型以水田为主,适合种植水稻等水生作物,因此在该研究中水田所赋分值较早地高。以上指标均可从“三调”属性库中提取。图斑规整度反映耕地形状是否规则,田块越规整,越能保证田间的各项机械作业,有利于提高机械作业效率,提高生产力。斑块规整度借鉴景观生态学中的分维数 FRAC 表示。分维数计算所得值越小表征形状越规则,反之则田块形状越复杂。

$$FRAC = 2\ln(p/4)/\ln a$$

式中,FRAC 为斑块规整度, $p$  为地块周长, $a$  为地块面积<sup>[15]</sup>。

土壤条件是耕地综合质量评价中最重要的一个组成部分,包括有效土层厚度、土壤质地、剖面构型、土壤有机质含量和土壤 pH 5 个典型指标。有效土层厚度为耕作层、底土层与心土层厚度之和,是农作物的生长条件;剖面构型主要反映土壤发生层的排列状况,影响土壤的保水、保肥能力,土壤质地中壤土最适宜种植,砂砾土最不宜耕种;土壤有机质含量是表征土壤养分的重要指标,有机质含量越高,土壤越肥沃,耕地适宜性越高;土壤 pH 在一定范围内最适宜农作物生长,其值过高或过低都不利于农业生产,超出适宜区间作物生长受阻甚至停滞。以上 5 个指标可从耕地质量分等数据库中直接提取。

灌排条件指排水条件以及灌溉保证率,灌溉保证率影响土壤的水分条件,决定作物类型,其值越大,越能满足农作物生长条件;排水条件由当地地形、排水体系共同决定,排水条件等级越高,耕地适宜性等级也越高。以上 2 个指标可从耕地质量分等数据库中直接提取。

区位条件是耕地资源空间分布是否合理的重要因素,选

取距农村道路距离和距居民点距离 2 个指标因子。距农村道路距离体现当地耕地种植的交通便捷度,通达度越高,人地交流越密切。距离农村道路距离越远,耕地适宜性越低;该指标可通过多环缓冲区进行分析提取。距居民区距离越近,耕地的种植与利用也越便利,受到人为因素的改造越强,更便于农户对耕地的管理,耕地空间区位也越优异。农村道路主要根据“三调”数据的提取并结合遥感影像补充完善,该指标可通过邻近分析提取。

**2.2 数据标准化及权重确定** 主观赋权法例如层次分析法、特尔斐法对各个指标权重的设置上存在一定的主观性,目前大部分学者都是采用熵权法赋权和计算,以减少人为主观因素干扰。为尽量减少和避免权重确定过程中的主观因素及某些客观局限原因带来误差,该研究选用熵值法。

计算各指标权重的具体步骤如下:

第一步,根据构建的指标体系,形成 13 项评价指标数据矩阵  $X = \{x_{ij}\} a \times b$  (其中  $0 \leq i \leq a$ ,  $0 \leq j \leq b$ ),  $x_{ij}$  为第  $i$  个图斑第  $j$  个指标的指标值。

第二步,对单位不一的初始指标数据进行标准化处理。指标分为正向指标与负向指标,两种不同类型的指标无量纲化计算公式有差异:对于正向指标  $x'_{ij} = (x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ ,对于负向指标,  $x'_{ij} = (x_{\max} - x_{ij}) / (x_{\max} - x_{\min})$ 。

第三步,计算第  $j$  项指标下第  $i$  个图斑指标值的比重

$$(P_{ij}): P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^a x'_{ij}}$$

第四步,计算第  $j$  项指标的熵值 ( $E_j$ ):  $E_j = -k \sum_{i=1}^a P_{ij} \ln P_{ij}$ ,其中,式中  $k$  与样本数  $a$  有关,一般令  $k = 1/\ln a$ 。

第五步,计算评价指标  $j$  的差异性系数 ( $C_j$ ):  $C_j = 1 - E_j$ 。

第六步,计算评价第  $j$  项指标的权重 ( $W_j$ ):  $W_j = C_j / \sum_{j=1}^b C_j$ 。

**2.3 指标赋值** 因所选取的指标性质不同,指标显化方式表现出定性和定量 2 种,无法直接无量纲化统一,需要根据《农用地质量分等规程》内容,对所选取的指标进行分等赋值处理,根据指标情况分为 I、II、III、IV、V 共 5 级,按照 0~100 的分级标准分别赋值 100、80、60、40、20,进而实现耕地属性到具体分值之间的转换,赋值后的指标分值越高,表征适宜性越好。

表 2 评价指标分级及赋分情况

Table 2 Evaluation index grading and scoring

| 等级<br>Grade | 指标/分值<br>Indicator/<br>score | 坡度<br>Slope<br>° | 三调属性<br>Attributes of the<br>third national<br>land survey | 现状地类<br>Status quo<br>ground class | 田块规整度<br>Field<br>regularity | 有效土<br>层厚度<br>Effective<br>soil layer<br>thickness//cm | 土壤质地<br>Soil<br>texture | 剖面构型<br>Profile<br>pattern |
|-------------|------------------------------|------------------|--|------------------------------------|------------------------------|--|-------------------------|----------------------------|
| I           | 100                          | ≤2°              | 稳定   | 水田                                 | ≤1.00                        | ≥80  | 壤土                      | 通体壤                        |
| II          | 80                           | 2°~<6°           | 不稳定  | 旱地                                 | 1.00~<1.30                   | 60~<80 cm  | 黏土                      | 通体黏                        |
| III         | 60                           | 6°~<15°          | —  | —                                  | 1.30~<1.60                   | 40~<60 cm  | 砂土                      | 砂/黏/黏                      |
| IV          | 40                           | 15°~<25°         | —  | —                                  | 1.60~<1.90                   | 20~<40 cm  | 砾质土                     | —                          |
| V           | 20                           | >25°             | —  | —                                  | ≥1.90                        | <20 cm   | —                       | —                          |
| 权重 Weight   |                              | 0.0102           | 0.0028   | 0.0949                             | 0.0012                       | 0.2649   | 0.0531                  | 0.0695                     |

接下表

续表 2

| 等级<br>Grade | 指标/分值<br>Indicator/<br>score | 土壤有机质含量<br>Soil organic<br>matter content<br>g/kg | 土壤 pH<br>Soil pH<br>value | 排水条件<br>Drainage<br>condition | 灌溉保证率<br>Probability<br>of irrigation | 距农用道路距离<br>Distance from<br>agricultural<br>roads//m | 距居民点距离<br>Distance from<br>settlement//m |
|-------------|------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| I           | 100                          | >45   | 6.0~<7.9                  | 排水体系健全                        | 充分满足                                  | ≤300   | ≤500                                     |
| II          | 80                           | 30~<45  | 5.5~<6.0, 7.9~<8.5        | 排水体系基本健全                      | 基本满足                                  | 300~<600   | 500~<1 000                               |
| III         | 60                           | 15~<30  | 5.0~<5.5, 8.5~<9.0        | 排水体系一般                        | 一般满足                                  | 600~<900   | 1 000~<1 500                             |
| IV          | 40                           | ≤15   | 4.5~<5.0                  | 无排水体系                         | 无灌溉条件                                 | 900~1 200  | 1 500~2 000                              |
| V           | 20                           | —   | <4.5, ≥9.0                | —                             | —                                     | >1 200   | >2 000                                   |
| 权重 Weight   |                              | 0.234 4   | 0.058                     | 0.085 5                       | 0.123 7                               | 0.000 8  | 0.001                                    |

**2.4 指标分值计算** 该研究采用加权指数和法作为耕地综合质量评价模型,计算研究区内每一块耕地图斑的综合评价得分( $QU_i$ ): $QU_i = \sum_{j=1}^b W_j x_{ij}'$ 。

式中, $QU_i$ 表示耕地图斑的综合质量评价得分, $W_j$ 表示各个指标的权重, $x_{ij}'$ 表示各评价指标的标准值, $i$ 表示第*i*个图斑。

**2.5 布局优化** 布局优化采用叠加整合分析法,主要在适宜性评价的基础上,再考虑生态冲突,协调城市需求,综合确定适合划入和需要调出永久基本农田的地块,最后确定优化结果。叠加整合分析法是一种基本的土地评价方法<sup>[4]</sup>,是通过运用GIS空间分析工具,有效叠加“三生”空间和耕地综合质量评价结果图,按照“优先生态,稳定生产,统筹生活”原则,筛选和确定调入、调出永久基本农田图斑,形成永久基本农田布局优化结果。

### 3 结果与分析

**3.1 耕地质量综合评价结果** 根据加权指数综合法,得到耕地图斑的综合质量得分,在GIS中通过自然断点法,得到指标分级标准。测算出耕地质量综合分值在[47.26, 89.75],分值极差大,并且在空间上呈现了比较明显的地域分异。按照综合得分情况将适宜度划分为高度适宜、中度适宜、一般适宜、低度适宜和不适宜划入永久基本农田5个等级。高度适宜、中度适宜、一般适宜以及低度适宜的耕地面积共有44 560.89 hm<sup>2</sup>,占吉安县耕地总量的95.36%,表明吉安县耕地的综合质量适宜性总体上较高。

高度适宜的耕地综合质量得分分值在[70.73, 89.75),面积共6 465.94 hm<sup>2</sup>,占全域耕地总面积的13.84%,主要分布于吉安县中部的梅塘镇、大冲乡、湮田镇。高度适宜区域内的耕地资源,其自然地理条件优异,地势较为平缓,坡度小,适宜耕作;距离沟渠河流较近,其中水利设施较为丰富,可以保证农作物种植所必须的水源条件,排水条件也较好,有利于农作物的种植与生长;区域土壤质量整体较高,土体构成良好,土壤质地均为壤土,最适宜农作物种植,土壤有机质含量高,土壤肥沃程度好。在空间尺度上,区域内的耕地资源与主要居民点之间的距离及与农村道路之间的距离近,极大地便利人们的耕作,路网密布,交通通达度高,方便农作物及相关物品的运输。

中度适宜的耕地综合质量得分在[63.79, 70.73)内,面积共8 413.93 hm<sup>2</sup>,占全域耕地总面积的18.01%,主要分布在吉安县北部地区的湮田镇、登龙乡和梅塘镇。中度适宜的耕地

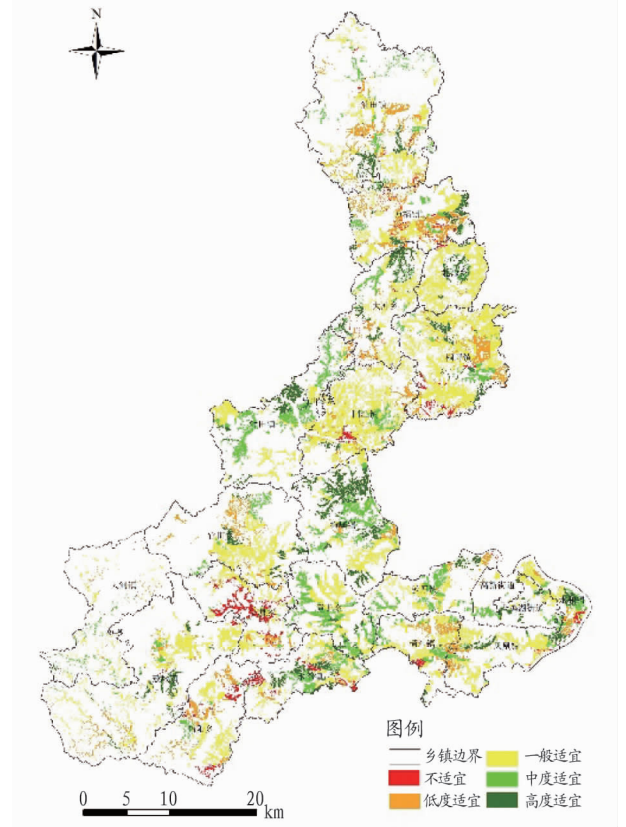


图2 耕地适宜性程度

Fig.2 Suitability degree of cultivated land

资源所处地区地势相对平缓,坡度较高度适宜区要高,但仍适宜农作物的种植;灌溉保证率与排水条件也相对良好,可以满足农作物种植需求;在空间区位方面,与主要道路和农用道路的距离较近,交通便利;土壤质地壤土、黏土均有,比较符合农业种植条件,土壤的酸碱度适中,土壤条件较为适宜;大部分耕地的有效土层厚度较小,因此处于该区域耕地资源的空间适宜性程度较永久基本农田内的耕地等级更低。

一般适宜的耕地共21 739.74 hm<sup>2</sup>,占全域耕地总面积的46.52%。一般适宜区自然条件较为适中,坡度相对较小,灌溉排条件较中度适宜区耕地差,不能保证充分满足作物生长需求;土壤酸碱度并不充分适宜农作物生长,土壤有机质含量较低,有效土层厚度较薄,土壤较为贫瘠,不能为耕作提供良好的营养条件,利用仅合理。

低度适宜的耕地共7 941.28 hm<sup>2</sup>,占全域耕地总面积的16.99%,主要分布在吉安县北部的万福镇、油田镇以及桐坪



镇。低度适宜区有效土层厚度、灌排条件、土壤酸碱度适宜度偏低,此类耕地需完善灌排设施条件,进一步提高适宜性。

不适宜的耕地资源面积较小,共 2 168.58 hm<sup>2</sup>,占全域耕地总面积的 4.64%,主要分布在安塘乡、永阳镇和指阳乡。主要限制因子为坡度、土壤质量、灌排条件。不适宜区所处地形较为复杂,坡度相对其他区域较高。水利设施不够完善,基本灌溉条件不能得到有效保证,导致该区域大部分耕地的空间适宜性程度偏低。

**3.2 基于空间协调与耕地综合质量的布局优化** 该研究将高度适宜、中度适宜、一般适宜、低度适宜的耕地作为永久基

本农田初步补划潜力,根据“优质、集中、连片、稳定”原则,初步筛选适宜划入永久基本农田的耕地,综合考虑生态安全约束性条件以及协调城市建设发展,并参考现有划定的永久基本农田,将耕地分为调出、调入、保留 3 类,最后得到永久基本农田优化后的结果。得到应调出面积为 5 503.43 hm<sup>2</sup>,保留面积为 36 077.41 hm<sup>2</sup>,补划潜力为 7 020.07 hm<sup>2</sup>,最终得到优化布局后的面积为 43 097.48 hm<sup>2</sup>,比上轮划定的永久基本农田数量超出 1 516.64 hm<sup>2</sup>,个别乡镇由于耕地的适宜程度不高,导致调出面积占比较高。整体基本满足质量不降、数量不减、布局稳定的布局优化要求。

表 3 各乡镇适宜等级面积统计

Table 3 Statistics of suitable grade area of each township

| 乡镇名称<br>Township   | 不适宜<br>Unsuitable   |       | 低度适宜 Low<br>degree suitability |       | 一般适宜<br>Generally suitable |       | 中度适宜<br>Moderately appropriate |       | 高度适宜<br>Highly suitable |       | 总计<br>Total<br>hm <sup>2</sup> |
|--|---------------------|-------|--------------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------------------------|-------|--------------------------------|
|  | 面积//hm <sup>2</sup> | 占比//% | 面积//hm <sup>2</sup>            | 占比//% | 面积//hm <sup>2</sup>        | 占比//% | 面积//hm <sup>2</sup>            | 占比//% | 面积//hm <sup>2</sup>     | 占比//% |                                |
| 井冈山经济技术开发区<br>Jinggangshan Economic and<br>Technological Development<br>Zone | 0.22                | 0.01  | 21.06                          | 0.27  | 313.21                     | 1.44  | 253.88                         | 3.02  | 120.99                  | 1.87  | 709.36                         |
| 安塘乡 Antang Village   | 685.45              | 31.61 | 293.00                         | 3.69  | 677.59                     | 3.12  | 99.28                          | 1.18  | 1.91                    | 0.03  | 1 757.23                       |
| 敖城镇 Aocheng Town   | 52.35               | 2.42  | 474.24                         | 5.97  | 1 411.36                   | 6.49  | 154.96                         | 1.84  | 426.19                  | 6.59  | 2 519.10                       |
| 北源乡 Beiyuan Village  | 27.33               | 1.26  | 52.30                          | 0.66  | 1 548.83                   | 7.13  | 73.46                          | 0.87  | 271.11                  | 4.19  | 1 973.03                       |
| 大冲乡 Dachong Village  | 47.48               | 2.19  | 309.46                         | 3.90  | 884.04                     | 4.07  | 286.23                         | 3.40  | 589.38                  | 9.12  | 2 116.59                       |
| 登龙乡 Denglong Village   | 0.00                | 0.00  | 0.75                           | 0.01  | 985.51                     | 4.53  | 1 113.88                       | 13.24 | 168.64                  | 2.61  | 2 268.78                       |
| 敦厚镇 Dunhou Town  | 9.34                | 0.43  | 176.81                         | 2.23  | 574.08                     | 2.64  | 662.14                         | 7.87  | 144.37                  | 2.23  | 1 566.74                       |
| 凤凰镇 Fenghuang Town   | 20.42               | 0.94  | 295.93                         | 3.73  | 1 032.92                   | 4.75  | 171.15                         | 2.03  | 193.19                  | 2.99  | 1 713.61                       |
| 固江镇 Gujiang Town   | 124.01              | 5.72  | 427.35                         | 5.38  | 2 720.17                   | 12.51 | 340.04                         | 4.04  | 99.83                   | 1.55  | 3 711.40                       |
| 官田乡 Guantian Village   | 1.35                | 0.06  | 610.88                         | 7.69  | 1 380.97                   | 6.35  | 287.35                         | 3.42  | 324.63                  | 5.02  | 2 605.18                       |
| 横江镇 Hengjiang Town   | 78.02               | 3.60  | 498.82                         | 6.28  | 839.72                     | 3.86  | 328.24                         | 3.90  | 42.12                   | 0.65  | 1 786.92                       |
| 湴田镇 Litian Town  | 10.43               | 0.48  | 55.31                          | 0.70  | 960.88                     | 4.42  | 1 321.08                       | 15.70 | 594.41                  | 9.19  | 2 942.11                       |
| 梅塘镇 Meitang Town   | 0.00                | 0.00  | 163.25                         | 2.05  | 933.11                     | 4.29  | 995.41                         | 11.83 | 1 489.70                | 23.04 | 3 581.47                       |
| 天河镇 Tianhe Town  | 3.28                | 0.15  | 75.70                          | 0.95  | 241.03                     | 1.11  | 206.09                         | 2.45  | 42.27                   | 0.66  | 568.37                         |
| 桐坪镇 Tongping Town  | 212.47              | 9.80  | 917.01                         | 11.55 | 3 317.89                   | 15.26 | 356.56                         | 4.24  | 359.32                  | 5.56  | 5 163.25                       |
| 万福镇 Wanfu Town   | 184.65              | 8.52  | 1 370.64                       | 17.26 | 886.02                     | 4.08  | 298.46                         | 3.55  | 460.63                  | 7.12  | 3 200.40                       |
| 永和镇 Yonghe Town  | 85.74               | 3.95  | 194.16                         | 2.44  | 372.53                     | 1.71  | 240.43                         | 2.86  | 228.26                  | 3.53  | 1 121.12                       |
| 永阳镇 Yongyang Town  | 266.54              | 12.29 | 204.86                         | 2.58  | 704.72                     | 3.24  | 566.00                         | 6.73  | 506.33                  | 7.83  | 2 248.45                       |
| 油田镇 Youtian Town   | 77.48               | 3.57  | 1 249.53                       | 15.73 | 1 156.71                   | 5.32  | 539.60                         | 6.41  | 396.58                  | 6.13  | 3 419.90                       |
| 指阳乡 Zhiyang Village  | 282.02              | 13.00 | 550.22                         | 6.93  | 785.75                     | 3.62  | 119.69                         | 1.42  | 6.08                    | 0.09  | 1 743.76                       |
| 马山林场 Mashan forest farm  | 0.00                | 0.00  | 0.00                           | 0.00  | 12.70                      | 0.06  | 0.00                           | 0.00  | 0.00                    | 0.00  | 12.70                          |
| 总计 Total   | 2 168.58            | 100   | 7 941.28                       | 100   | 21 739.74                  | 100   | 8 413.93                       | 100   | 6 465.94                | 100   | 46 729.47                      |

表 4 各乡镇永久基本农田优化布局调整数量结构变化

Table 4 The adjustment of permanent basic farmland optimized layout of each township

单位:hm<sup>2</sup>

| 乡镇名称<br>Township   | 调出<br>Transfer out | 调入<br>Transfer in | 保留<br>Reservation | 优化后永久<br>基本农田数量<br>Quantity of permanent<br>basic farmland after<br>optimization | 上轮划定永久基本<br>农田数量<br>Quantity of permanent<br>basic farmland<br>determined by last round | 变化量<br>Variation |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|--|---|------------------|
| 井冈山经济技术开发区<br>Jinggangshan Economic and<br>Technological<br>Development Zone | 20.59              | 120.25            | 193.07            | 313.32   | 213.66  | 99.66            |
| 安塘乡 Antang Village   | 744.88             | 170.03            | 899.10            | 1 069.13   | 1 643.98  | -574.85          |
| 敖城镇 Aocheng Town   | 294.54             | 458.75            | 1 999.44          | 2 458.19   | 2 293.98  | 164.21           |
| 北源乡 Beiyuan Village  | 228.14             | 303.24            | 1 634.47          | 1 937.71   | 1 862.61  | 75.10            |
| 大冲乡 Dachong Village  | 205.75             | 324.52            | 1 741.39          | 2 065.91   | 1 947.14  | 118.77           |
| 登龙乡 Denglong Village   | 152.31             | 289.20            | 1 976.90          | 2 266.10   | 2 129.21  | 136.89           |
| 敦厚镇 Dunhou Town  | 168.53             | 343.34            | 789.75            | 1 133.09   | 958.28  | 174.81           |

接下表

续表 4

| 乡镇名称<br>Township        | 调出<br>Transfer out | 调入<br>Transfer in | 保留<br>Reservation | 优化后永久基本农田数量<br>Quantity of permanent basic farmland after optimization | 上轮划定永久基本农田数量<br>Quantity of permanent basic farmland detremined by last round | 变化量<br>Variation |
|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--|---|------------------|
| 凤凰镇 Fenghuang Town      | 96.05              | 310.26            | 996.31            | 1 306.57   | 1 092.36  | 214.21           |
| 固江镇 Gujiang Town        | 375.49             | 700.93            | 2 868.40          | 3 569.33   | 3 243.89  | 325.44           |
| 官田乡 Guantian Village    | 182.05             | 341.01            | 2 242.76          | 2 583.77   | 2 424.81  | 158.96           |
| 横江镇 Hengjiang Town      | 200.99             | 236.38            | 1 452.78          | 1 689.16   | 1 653.77  | 35.39            |
| 湮田镇 Litian Town         | 292.64             | 462.30            | 2 458.72          | 2 921.02   | 2 751.36  | 169.66           |
| 梅塘镇 Meitang Town        | 197.31             | 341.94            | 3 225.18          | 3 567.12   | 3 422.49  | 144.63           |
| 天河镇 Tianhe Town         | 82.21              | 232.09            | 322.90            | 554.99   | 405.11  | 149.88           |
| 桐坪镇 Tongping Town       | 468.85             | 718.53            | 4 182.21          | 4 900.74   | 4 651.06  | 249.68           |
| 万福镇 Wanfu Town          | 394.10             | 379.58            | 2 606.36          | 2 985.94   | 3 000.46  | -14.52           |
| 永和镇 Yonghe Town         | 165.33             | 155.42            | 867.19            | 1 022.61   | 1 032.52  | -9.91            |
| 永阳镇 Yongyang Town       | 419.32             | 443.47            | 1 501.74          | 1 945.21   | 1 921.06  | 24.15            |
| 油田镇 Youtian Town        | 355.60             | 504.29            | 2 832.96          | 3 337.25   | 3 188.56  | 148.69           |
| 指阳乡 Zhiyang Village     | 458.51             | 175.84            | 1 281.78          | 1 457.62   | 1 740.29  | -282.67          |
| 马山林场 Mashan forest farm | 0.24               | 8.70              | 4.00              | 12.70  | 4.24  | 8.46             |
| 总计 Total                | 5 503.43           | 7 020.07          | 36 077.41         | 43 097.48  | 41 580.84   | 1 516.64         |

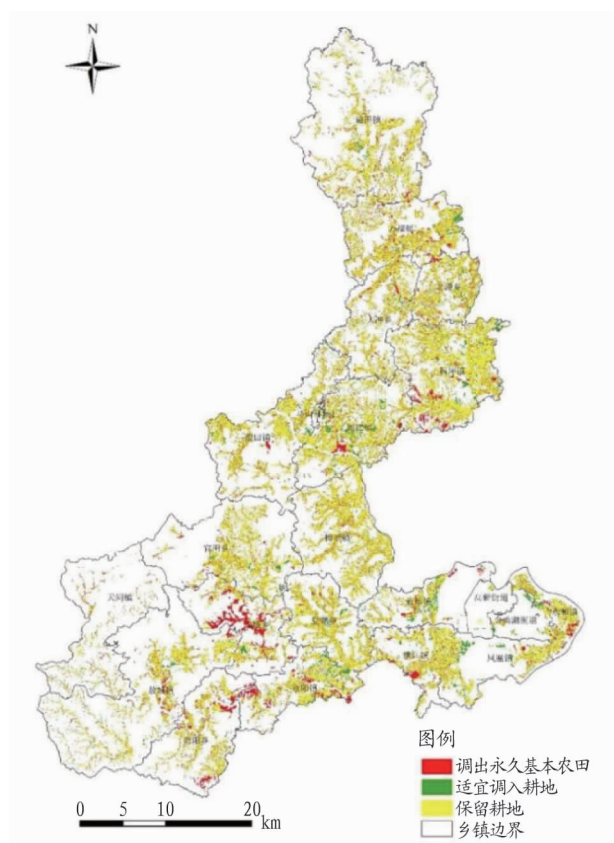


图 3 永久基本农田优化图

Fig.3 Optimization of permanent basic farmland

## 4 结论与讨论

**4.1 结论** 笔者将耕地综合质量、“三生”空间协调与永久基本农田布局优化相结合,探究永久基本农田布局优化的方法及思路,主要结论如下:

(1)采用 GIS 技术手段,以吉安县现有耕地资源为评价对象,选取地类现状条件、土壤条件、区位条件和灌排条件 4 个层面共 13 个指标作为耕地综合质量评价指标体系,应用熵权法得出权重值,通过加权求和得到吉安县耕地空间适宜性综合评价结果,发现吉安县耕地综合质量评分平均较高,

但空间分布差异较大,吉安县中部以及偏北部地区质量较优,交通便捷,灌排设施较为完善,而靠近南部地区如安塘乡,土壤条件较差,基础设施条件并不完善。

(2)在耕地综合质量评价分值的基础上,将高度适宜、中度适宜、一般适宜、低度适宜的耕地作为初步补划潜力,结合原有永久基本农田划定结果,考虑生态约束性条件,协调城市发展需要,将不适宜耕地,与生态红线、自然保护地相冲突耕地以及与城市开发边界相重叠地块调出,将三线以外的适宜耕地作为调入地块,最终得到优化结果,优化后的永久基本农田较上轮划定成果数量增加,布局更稳定,保障了耕地质量,整体达到布局优化要求。

(3)基于空间协调的布局优化方法,科学合理地调整了永久基本农田布局,以生态优先,保障了城市建设发展。运用 GIS 空间分析,将永久基本农田布局优化具体落到图斑,避免优化过程中的主观性,将永久基本农田保护落到实处。

**4.2 讨论** 该研究在构建耕地综合质量评价指标体系时,从自然条件、质量条件等选取指标,构建综合质量评价体系,将耕地分为 5 个适宜等级。以耕地质量综合评价结果为基础,运用 GIS 空间分析法将“三生”空间与综合质量评价结果两者有效整合,综合考虑生态、城市发展等因素,因地制宜补充并完善区域永久基本农田布局优化方法。今后在耕地综合质量评价时还应考虑耕地质量的空间自相关性,从微观尺度观察耕地综合质量的空间差异特征,建立并不断完善耕地质量评价指标体系。研究永久基本农田调入调出时,还应综合考虑当前重点项目选址或者在建未建成的工程等限制性因素,完善永久基本农田调整的相关要求,协调多方规划,避免造成冲突,增强国土空间规划弹性,加强对永久基本农田实行特殊保护。

## 参考文献

- [1] 钱凤魁,王卫雯,张清野,等.近 30 a 基本农田领域研究态势的可视化分析[J].自然资源学报,2017,32(12):2160-2170.
- [2] 杨建宇,张欣,徐凡,等.基于 TOPSIS 和局部空间自相关的永久基本农田划定方法[J].农业机械学报,2018,49(4):172-180.

### 3 结论

(1) 不同乡镇土壤中重金属元素含量相差较大,且同一乡镇的不同采样点同样存在差异,表明重金属在土壤中的富集程度不仅与地层背景有关,也受人为活动的影响。

(2) 3 种污染指数评价结果一致,4 个乡镇均表现出不同程度的 Cd 污染,其中以庙子乡最为严重,大竹镇次之。庙子乡和大竹镇还表现出一定程度的 As 污染,这对农作物的重金属安全造成威胁。

(3) 庙子乡玉米、马铃薯、四季豆、茶叶、花生中 As、Cd、Pb 等有害重金属含量均未超标,可以安全使用。

(4) 庙子乡四季豆中 Pb 的污染危害最为严重,而长期大量食用该地区谷物类作物,身体可能会受到 Cd 的危害。

(5) 分别从地层、成土母岩、土壤酸碱度这 3 个方面对土壤中 Cd 含量进行相关性分析,结果发现,研究区内出露地层越老的乡镇其表层土壤 Cd 含量越高,成土母岩是表层土壤 Cd 的天然污染源,土壤 pH 越低土壤中 Cd 含量越高。土壤中 Cd 的形态特征影响作物中 Cd 的富集效率。

### 参考文献

[1] 张丽萍,朱钟麟,邓良基.四川省坡耕地资源及其治理对策[J].水土保持通报,2004,24(3):47-49.  
 [2] 何愿,张成江,徐争启,等.万源市土壤质量初步评价[J].安徽农学通报,2008,14(11):51-54.  
 [3] 刘小明.四川省万源市富硒茶园区土壤与茶叶中硒的分布和生物可利用性及其影响因素研究[D].成都:成都理工大学,2013.  
 [4] 李瑞平,郝英华,李光德,等.泰安市农田土壤重金属污染特征及来源解析[J].农业环境科学学报,2011,30(10):2012-2017.

[5] 刘世梁,傅伯杰,刘国华,等.我国土壤质量及其评价研究的进展[J].土壤通报,2006,37(1):137-143.  
 [6] 施泽明,倪师军,张成江,等.成都市城市土壤中重金属的现状评价[J].成都理工大学学报(自然科学版),2005,32(4):391-395.  
 [7] 蒋实,徐争启,张成江.四川省万源市土壤 pH 值测定及土壤酸碱度分析[J].安徽农业科学,2009,37(25):12105-12108.  
 [8] RAPANT S, KORDIK J. An environmental risk assessment map of the Slovak Republic: Application of data from geochemical atlases[J]. Environmental geology, 2003, 44(4): 400-407.  
 [9] 孙崇玉.吉林省典型黑土区农田土壤重金属环境风险研究[D].哈尔滨:中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所),2013.  
 [10] NABULO G, BLACK C R, CRAIGON J, et al. Does consumption of leafy vegetables grown in peri-urban agriculture pose a risk to human health? [J]. Environmental pollution, 2012, 162: 389-398.  
 [11] SASTRE J, HERNÁNDEZ E, RODRÍGUEZ R, et al. Use of sorption and extraction tests to predict the dynamics of the interaction of trace elements in agricultural soils contaminated by a mine tailing accident [J]. Science of the total environment, 2004, 329(1/2/3): 261-281.  
 [12] IMPELLITTERI C A, SAXE J K, COCHRAN M, et al. Predicting the bio-availability of copper and zinc in soils: Modeling the partitioning of potentially bioavailable copper and zinc from solid to soil solution [J]. Environmental toxicology and chemistry, 2003, 22(6): 1380-1386.  
 [13] 钟晓兰,周生路,李江涛,等.长江三角洲地区土壤重金属生物有效性的研究:以江苏昆山市为例[J].土壤学报,2008,45(2):240-248.  
 [14] 严明书,张茂忠,陈琦伟,等.重庆市国土资源 1:5 万生态 geo 化学调查:渝北实验区调查报告[R].重庆:重庆市地勘局川东南地质大队,2012:137-151.  
 [15] 李其林.重庆市土壤—作物系统重金属特征研究[D].重庆:西南大学,2008.  
 [16] 庞文品,秦樊鑫,吕亚超,等.贵州兴仁煤矿区农田土壤重金属化学形态及风险评估[J].应用生态学报,2016,27(5):1468-1478.  
 [17] 严明书,李武斌,杨乐超,等.重庆渝北地区土壤重金属形态特征及其有效性评价[J].环境科学研究,2014,27(1):64-70.  
 [18] 石建凡.四川万源典型农业区土壤元素地球化学特征及质量评价[D].成都:成都理工大学,2016.

(上接第 78 页)

[20] 邸亚男,朱丽英,沈婕,等.四种有机溶剂对斑马鱼眼睛发育的影响[J].中国比较医学杂志,2020,30(5):75-80.  
 [21] 黄毅,唐云明.金属离子·有机溶剂对黄鳍碱性磷酸酶的影响[J].安徽农业科学,2008,36(20):8513-8515.  
 [22] QIAN H F, PAN X J, SHI S T, et al. Effect of nonylphenol on response of physiology and photosynthesis-related gene transcription of *Chlorella vulgaris* [J]. Environmental monitoring and assessment, 2011, 182: 61-69.  
 [23] 张容芳,唐东山,刘飞.藻类抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应[J].环境科学与管理,2011,36(12):21-25.  
 [24] CALABRESE E J, BALDWIN L A. Applications of hormesis in toxicology, risk assessment and chemotherapeutics [J]. Trends in pharmacological sciences, 2002, 23(7): 331-337.  
 [25] 魏静,林莉,潘雄,等.不同环境胁迫因子对藻类分子生物学特性的影响研究进展[J].长江科学院院报,2020,37(4):14-24.  
 [26] BAJJI M, KINET J M, LUTTS S. The use of the electrolyte leakage method

for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat [J]. Plant growth regulation, 2002, 36(1): 61-70.  
 [27] LANG F, BUSCH G L, RITTER M, et al. Functional significance of cell volume regulatory mechanisms [J]. Physiological reviews, 1998, 78(1): 247-306.  
 [28] FRANCIS-LANG H, ZANNINI M, DE FELICE M, et al. Multiple mechanisms of interference between transformation and differentiation in thyroid cells [J]. Molecular & cellular biology, 1992, 12(12): 5793-5800.  
 [29] 张磊,段舜山,孙凯峰,等.有机磷农药草甘膦异丙胺盐对球形棕囊藻的刺激效应[J].生态学报,2010,19(1):51-56.  
 [30] 唐学玺,李永祺.对硫磷对三角褐指藻核酸和蛋白质合成动态的影响[J].生态学报,2000,20(4):598-600.  
 [31] 张葛脐,张敦宇,石硕,等.球等鞭藻对氟苯尼考胁迫的响应研究[J].水生生物学报,2020,44(6):1278-1286.  
 [32] 张哲,王江涛,谭丽菊.草甘膦对旋链角毛藻和盐生杜氏藻的毒性兴奋效应[J].生态毒理学报,2010,5(5):685-691.

(上接第 84 页)

[3] 汤峰,徐磊,张蓬涛,等.县域高标准基本农田建设适宜性评价与优先区划定[J].农业工程学报,2019,35(21):242-251.  
 [4] 刘需加,吴克宁,赵华甫,等.基于耕地综合质量的基本农田布局优化:以河南省温县为例[J].中国土地科学,2015,29(2):54-59.  
 [5] 刘婧,汤峰,张贵军,等.基于 TOPSIS 和矩阵组合的县域永久基本农田储备区划定时序研究[J].中国生态农业学报,2021,29(7):1224-1235.  
 [6] 曹丽萍,罗志军,冉凤维,等.基于耕地质量和空间集聚格局的县域基本农田划定[J].水土保持研究,2018,25(4):349-355,364.  
 [7] 钟珊,赵小敏,郭熙,等.基于耕地综合质量的贵溪市基本农田布局优化调整[J].浙江农业科学,2016,57(11):1806-1810.  
 [8] 罗志军,赵越,赵杰,等.基于景观格局与空间自相关的永久基本农田划定研究[J].农业机械学报,2018,49(10):195-204.  
 [9] 罗倩,张威,邵景安,等.武陵山区县域尺度永久基本农田划定优化[J].

中国农业资源与区划,2021,42(7):48-57.  
 [10] 边振兴,刘琳琳,王秋兵,等.基于 LESA 的城市边缘区永久基本农田划定研究[J].资源科学,2015,37(11):2172-2178.  
 [11] 杜越天,王心一.城市周边永久基本农田划定次序研究:以潜江市为例[J].安徽农业科学,2021,49(10):181-185.  
 [12] 熊昌盛,谭策,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.  
 [13] 李龙,吴大放,刘艳艳.基于四象限法的城市周边永久基本农田划定研究:基于自然质量和建设稳定性[J].中国农业资源与区划,2020,41(5):87-97.  
 [14] 任艳敏,孙九林,刘玉,等.县域永久基本农田划定方法研究[J].农业机械学报,2017,48(4):135-141.  
 [15] 朱美青,黄宏胜,史文娇,等.基于多规合一的基本农田划定研究:以江西省余江县为例[J].自然资源学报,2016,31(12):2111-2121.