

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.02.015

# 基于耕地质量评价与空间集聚特征的基本农田划定研究

董光龙<sup>1</sup> 赵轩<sup>1</sup> 刘金花<sup>1</sup> 郑新奇<sup>2</sup>

(1. 山东建筑大学管理工程学院, 济南 250101; 2. 中国地质大学(北京)信息工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 综合考虑耕地的自然质量、耕作条件、形态、空间分布等,以济南市为研究区,从自然禀赋、区位条件和稳定性3个方面选取11个指标,构建耕地质量综合评价指标体系,在耕地质量综合评价的基础上,采用局部空间自相关法定量刻画耕地质量的空间集聚格局特征,采用矩阵组合法进一步将耕地质量等级和空间集聚格局类型两两组合,综合确定基本农田划定类型。研究表明,济南市耕地区位条件较好,且区域差异最小,耕地稳定性和自然禀赋相对较差。济南市耕地质量以高和较高为主,二者分别占济南市耕地总面积的35.12%和22.67%,主要分布在济南市北部商河、济阳和章丘北部。耕地质量低等级的耕地面积最少,为475.98 km<sup>2</sup>,所占比例为11.98%,主要分布在历城和长清。济南市耕地划分为优先划入型、适宜划入型和整治调控型3种类型。济阳、商河、章丘北部和平阴东南部的耕地质量高、集聚特征显著,应作为优先划入型,该类型耕地最多,面积为2121.23 km<sup>2</sup>,占济南市耕地总面积的53.38%;适宜划入型耕地质量也较高,并且多分布在优先划入型周边,对优先划入型耕地具有保护和缓冲作用,应与优先划入型耕地一起作为基本农田,以提高优质基本农田的集聚程度;整治调控型耕地面积为988.98 km<sup>2</sup>,占济南市耕地总面积的24.89%,主要分布在中心城区和南部山区,该类型耕地质量低、集聚程度不高,开发利用时应注意生态环境保护,必要时可通过土地整治提高质量和集聚程度。

**关键词:** 耕地质量评价; 空间自相关; 空间集聚; 矩阵组合法; 基本农田; 济南市

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2020)02-0133-10

OSID:



## Prime Cropland Assignment Based on Cultivated Land Quality Evaluation and Spatial Cluster Pattern

DONG Guanglong<sup>1</sup> ZHAO Xuan<sup>1</sup> LIU Jinhua<sup>1</sup> ZHENG Xinqi<sup>2</sup>

(1. School of Management Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China

2. School of Information Engineering, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** Prime cropland construction is helpful for the protection of cultivated land and national food security. Most previous studies were focused on the natural quality of cultivated land, while the locational condition, stability and spatial agglomeration pattern was far from totally understood which reduced the rationality and resulted in frequently adjustment of prime cropland, and also could restrict the development space of urban and rural. A comprehensive evaluation indicator system of cultivated land was constructed by selecting 11 indicators from the aspects of natural condition, locational condition and stability. Based on the evaluation of cultivated land, the local indicators of spatial autocorrelation method was applied to identify the spatial agglomeration pattern of cultivated land quality. Furthermore, the matrix grouping method was applied to classify the type of prime cropland. The score of location condition of cultivated land was higher than that of natural condition and stability. The high quality and relative high quality were the dominant type in Ji'nan, which occupied 35.12% and 22.67% respectively and mainly distributed in the north of Ji'nan, such as Shanghe, Jiyang and Zhangqiu. The area of the low-quality cultivated land was only 475.98 km<sup>2</sup>, accounting for 11.98% and mainly located in Licheng and Changqing. Consequently, the cultivated land in Ji'nan was classified into three types, which was priority type, suitable type and reserve type. The cultivated land distributed in Jiyang, Shanghe, north of

收稿日期: 2019-10-24 修回日期: 2019-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801173)和山东建筑大学博士基金项目(XNBS1803)

作者简介: 董光龙(1988—),男,讲师,博士,主要从事城乡发展与土地利用转型研究,E-mail: dongguanglong18@sdjzu.edu.cn

通信作者: 郑新奇(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事地理信息科学与技术、土地评价与规划研究,E-mail: zxqs@126.com

Zhangqiu, southeast of Pingyin had high quality and significant cluster pattern which were classified into priority type. The cultivated land area of priority type was 2 121.23 km<sup>2</sup>, accounting for 53.38% of the total cultivated land area of Ji'nan. The quality of suitable type was also high, and most were distributed around the priority type. Besides, the suitable type had a role of protection and buffering for the priority type. Thus, it should be classified into prime cropland together with the priority type in order to improve the concentration of high-quality prime cropland. The area of the reserve type was the least as 988.98 km<sup>2</sup>. It was mainly distributed in downtown and the southern mountains. The quality and concentration were relative lower. The development and utilization of reserve type should pay attention to the protection of the ecological environment.

**Key words:** quality evaluation of cultivated land; spatial autocorrelation; spatial cluster; matrix grouping method; prime cropland; Ji'nan City

## 0 引言

耕地保护对于国家粮食安全和社会稳定至关重要。中国作为一个人口大国,人均耕地远低于世界人均标准。随着社会经济发展和人民生活水平的提高,人们对农产品的需求日益增加<sup>[1-2]</sup>。因此,耕地保护对我国具有极其重要的意义。基本农田的划定对耕地保护和城乡可持续发展均具有重要意义,并得到了我国相关部门的高度重视。

相关学者对基本农田的划定进行了大量研究,从最初的单纯依据耕地质量进行划定,发展到耕地质量与立地条件、空间分布形态等多因素综合评价来划定基本农田,研究内容逐渐丰富,研究方法逐渐多元化<sup>[3-5]</sup>。耕地质量受自然条件、工程技术和经济社会发展等多种因素的影响,并且随着时间的推移其内涵逐渐发展演变,具有不同的质量观<sup>[6]</sup>。针对不同的研究目的,如农业生产能力、耕地潜力、土地适宜性、土壤及环境质量、可持续利用、分等定级等,耕地质量评价的侧重点和方法也有所不同<sup>[7]</sup>。在基本农田划定中,耕地质量评价大多针对耕地的自然质量属性,一般参考农用地分等定级的评价体系<sup>[8-11]</sup>。除了耕地的自然质量之外,耕地生态质量和生态安全格局也是基本农田划定的重要标准<sup>[12-13]</sup>。近年来,随着高标准基本农田和永久基本农田等概念、目标和要求的提出,基本农田划定时所考虑的因素也与时俱进。钱凤魁等<sup>[14]</sup>从耕地立地条件的角度探讨了基本农田的划定,杨建宇等<sup>[15]</sup>则重点考察了耕地的集中连片度,赵素霞等<sup>[4]</sup>则对高标准基本农田划定中耕地稳定性进行了综合评价。此外,耕地的空间分布格局在基本农田划定中也越来越受到重视<sup>[16-18]</sup>。

从基本农田划定方法来看,多因素综合评价、多因素综合评价和逐级修正相结合<sup>[19-20]</sup>、最小费用距离模型<sup>[21]</sup>、LESA体系<sup>[8]</sup>、TOPSIS算法<sup>[17]</sup>、K均值空间聚类法<sup>[18,22]</sup>、四象限法<sup>[23]</sup>、局部空间自相

关<sup>[16-17,24]</sup>等方法逐步应用到基本农田划定中,基本农田划定方法日益丰富,趋向于多元化,为基本农田的科学合理划定提供了重要保障。

以上研究为本文提供了重要参考和借鉴。然而,在综合考虑耕地自然禀赋、区位条件和稳定性等因素进行耕地质量评价的基础上,如何有机结合耕地质量和空间集聚格局划定基本农田尚需进一步探讨。鉴于此,本文以济南市为例,综合考虑耕地的自然质量、耕作条件、形态、空间分布、地质灾害发生率等因素,从自然禀赋、区位条件和稳定性等方面构建耕地质量综合评价指标体系,在耕地质量综合评价的基础上,采用局部自相关方法定量刻画耕地质量空间集聚格局特征,采用矩阵组合法进一步将耕地质量等级和空间集聚格局类型两两组合,综合确定基本农田划定类型,以期对相关研究和实践提供参考。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

济南市位于北纬 36°40',东经 117°00',南依泰山,北跨黄河,地处鲁中南低山丘陵与鲁西北冲积平原的交接带上,地势南高北低(图1)。属于暖温带半湿润季风型气候。泉城济南,泉群众多、水量丰沛,被称为天然岩溶泉水博物馆。2017年济南市辖8个市辖区、2个县,全市总人口643.62万人,常住人口城镇化率达70.53%,地区生产总值7201.96亿元,人均地区生产总值98967元。

全市土地总面积7998.41 km<sup>2</sup>,土地利用率为88.36%。在已利用土地中,农业用地5386.72 km<sup>2</sup>,占土地总面积67.35%;建设用地1681.03 km<sup>2</sup>,占土地总面积的21.02%;其他未利用土地930.66 km<sup>2</sup>,占土地总面积的11.63%。受地形、经济发展水平等因素的影响,济南市耕地资源空间分布不均(图2)。济南市耕地总面积为3973.91 km<sup>2</sup>,济南市北部平原地区的章丘、商河和济阳耕地数量最多,面积分别为877.16、799.65、747.45 km<sup>2</sup>,三者

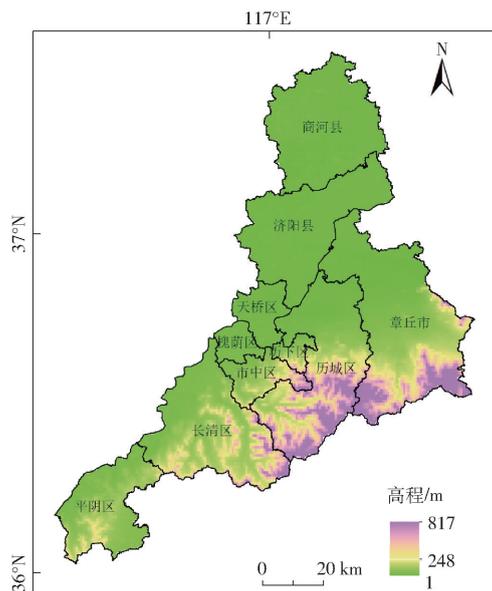


图 1 研究区位置和范围

Fig. 1 Scope and location of study area

共占济南市耕地总面积的 61%, 由于地处平原, 这些县域内不仅耕地数量多而且占县域总面积的比例高, 均在 50% 以上; 南部的长清、历城和平阴县域内山地丘陵较多, 受地形因素的影响, 耕地数量也相对较少, 面积介于 391.76 ~ 553.44 km<sup>2</sup>, 三者共占济南市耕地总面积的 33.65%; 中部天桥、市中、槐荫和历下为济南市中心城区, 城镇化水平较高, 耕地面积最少, 除天桥区外, 其他区县耕地面积均小于 100 km<sup>2</sup>, 占济南市耕地总面积的比例均在 2% 以下。

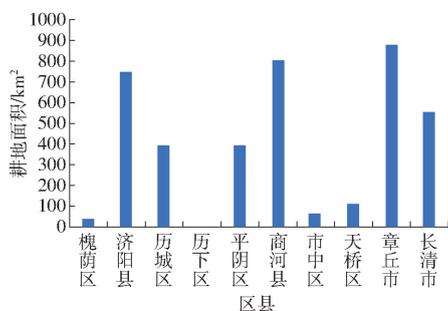


图 2 济南市各区县耕地面积

Fig. 2 Area of cultivated land in each county of Ji'nan City

## 1.2 数据来源与预处理

本文用到的数据主要包括农用地分等定级数据库、土地利用现状数据和 DEM。其中, 农用地分等定级数据库用于提取各评价指标数据, 土地利用现状数据用于提取耕地、农村居民点、农村道路、耕地利用类型等用地类型数据。以上数据均由济南市国土资源局提供。DEM 数据下载自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>), 主要用于提取耕地坡度。

数据预处理主要是指统一数据格式和坐标, 数据格式统一使用 ArcGIS 格式数据, 坐标统一采用 1980 西安平面坐标系。

## 2 研究方法

济南作为国家历史文化名城, 土地利用率高, 人均耕地少, 耕地后备资源不足, 人地矛盾日益突出, 新时期还肩负着国家新型城镇化综合试点地区、国家新旧动能转换先行区建设等责任。保护耕地, 尤其是高标准基本农田的保护和建设, 面临着更加复杂的形式和严峻的挑战。因此, 本研究尝试探索济南市基本农田划定, 主要实施过程如下: ①从土地利用现状数据库中提取耕地图层。②采用多因素综合评价法, 通过耕地质量综合评价划分济南市耕地质量等级。③采用空间局部自相关模型, 定量刻画济南市耕地质量的空间集聚特征。④基于上述分析, 综合考虑耕地质量和空间集聚特征, 结合济南市实际, 采用矩阵组合法划定基本农田类型。

### 2.1 耕地质量评价方法

#### 2.1.1 评价单元

评价单元是耕地质量评价中的基本单元, 划分评价单元的目的在于反映耕地质量的空间差异。同一评价单元内耕地质量应相对均一, 即具有相似的土壤条件、理化性质、立地条件等; 不同单元之间应反映耕地质量的空间异质性。耕地质量评价单元划分常用的方法包括栅格法、图斑法、叠置法、地块法与动态栅格法等<sup>[13]</sup>。考虑到数据资料的完整性以及技术处理难度, 本研究采用济南市农用地分等定级中的耕地图斑作为评价单元。

#### 2.1.2 评价指标体系构建

以往相关研究多从耕地质量和立地条件等方面评判耕地质量和基本农田划定适宜性, 鲜有考虑耕地的稳定性, 而耕地的稳定性将影响基本农田的权威性和城乡建设用地发展空间。因此, 本研究分别从自然禀赋、区位条件及耕地稳定性 3 个方面选取 11 个指标, 建立耕地综合质量评价指标体系(表 1)。

耕地自然禀赋包括有机质含量、灌溉保证率、排水条件、坡度等。有机质含量越大土壤肥力越高; 较好的灌溉保证率和排水条件是农作物高产的重要保障; 用坡度表征耕地的缓陡程度, 坡度过大会给耕作带来不利, 同时加大了水土流失的风险。

耕地区位条件主要包括耕地到农村居民点、农村道路和主干道的距离。耕地到农村居民点的距离反映了农户耕作的距离, 距离越大, 成本越高; 耕地到农村道路的距离反映了耕作的便利程度, 距离越小越便利; 耕地到主干道的距离反映了村庄整体的区位条件, 距离越近, 区位条件越好。

耕地稳定性主要用田块规整度、连片度、与相邻地块适宜性、地质灾害发生率等来表征。田块越规

表1 耕地质量综合评价指标体系

Tab.1 Comprehensive evaluation system of cultivated land quality

准则层(权重)	指标层	分级标准					权重
自然禀赋(0.40)	有机质含量/(g·kg <sup>-1</sup> )	≥18	15~18	12~15	10~12	6~10	0.26
	灌溉保证率	充分满足	基本满足	一般满足		无灌溉条件	0.27
	排水条件	健全	基本健全	一般		无	0.24
	坡度/(°)	<2	2~5	5~8	8~15	>15	0.23
区位条件(0.35)	距主要道路距离/m	<908	908~2128	2128~3639	3539~5455	>5455	0.20
	距农村居民点距离/m	<500	500~1000	1000~1500	>1500		0.45
	距农村道路距离/m	<500	500~1000	1000~1500	>1500		0.35
耕地稳定性(0.25)	田块规整度	>0.93	0.84~0.93	0.73~0.84	0.59~0.73	<0.59	0.20
	连片度	>3.33	0.10~3.33	0.03~0.10	<0.03		0.30
	与相邻土地适宜性	>0.89	0.71~0.89	0.53~0.71	0.27~0.53	<0.27	0.30
	地质灾害发生率	不易发区	低易发区	中易发区			0.20
得分		100	80	60	40	20	

整,连片性越大,越利于使用大型机械进行机械化生产,不仅减轻了农民负担,而且提高了生产效率;根据地理学第一定律,当某一地块周边均为高质量耕地时,该地块耕地质量可能也较高,而且当耕地周边也为耕地时,一般而言其稳定性较高,而当耕地周边为非耕地时,其稳定性相对较差,存在用途转换的可能性,尤其是与建设用地相邻时,耕地被建设用地占用的风险较高;地质灾害的发生会显著破坏地表耕作层,不仅会对农业生产造成很大影响,而且会威胁人的生命财产安全。

### 2.1.3 评价指标权重确定

自然禀赋指标权重主要参考农用地分等定级成果,其余指标则在参考相关研究的基础上,采用专家打分法确定权重。

### 2.1.4 评价指标量化与赋值

#### (1) 自然禀赋

有机质含量、灌溉保证率、排水条件、坡度等指标均以农用地质量分等数据库标准为依据,结合农用地分等定级规程进行分等赋分。

#### (2) 区位条件

基于从济南市土地利用现状图中提取的农村居民点、主干道、农村道路等图层,采用 ArcGIS 中的 Near 功能测算耕地农村居民点、主干道和农村道路的距离。参照《农用地定级规程》赋值方法,对于耕地与农村居民点距离等点状指标,采用指数衰减法赋值,即

$$F_i = M^{1-r} \quad (1)$$

其中  $r = d_i/d$  (2)

$$d = \sqrt{s/(n\pi)} \quad (3)$$

式中  $F_i$ ——第  $i$  个耕地地块(评价单元)作用分值  
 $M$ ——规模指数,取 100  
 $r$ ——相对距离

$d_i$ ——第  $i$  个耕地地块到目标地物(如本研究中农村居民点、主干道、农村道路等)的实际距离

$d$ ——目标地物影响半径

$s$ ——济南市面积  $n$ ——目标地物数量

耕地距主干道距离、距农村道路距离等线状指标,通过直线衰减法赋值,即

$$F_i = M(1-r) \quad (4)$$

其中  $d = s/(2L)$  (5)

式中  $L$ ——道路长度

#### (3) 耕地稳定性

耕地连片性:耕地连片性是指一定质量或等级范围内地块的相连程度,两地块空间距离越小,其连片性越高,当两地块的距离小于一定的阈值时即可认为是连片的。采用 ArcGIS 中的缓冲区分析功能,设置缓冲区半径为 10 m,将缓冲区相接或相叠的地块视为一个整体。然后,采用极差法测算每个地块的连片性指数

$$F_i = 100(A_i - A_{\min})/(A_{\max} - A_{\min}) \quad (6)$$

式中  $A_i$ ——第  $i$  个地块的面积

$A_{\min}$ ——该区域连片耕地面积最小值

$A_{\max}$ ——该区域连片耕地面积最大值

田块规整度可用景观生态学中的分维数来表征,其取值范围为 1.0~2.0,1.0 表示最简单的正方形,2.0 则表示该地块形状最为复杂,计算式为

$$E_i = \frac{4\sqrt{A}}{P} \quad (7)$$

式中  $E_i$ ——第  $i$  个耕地地块的田块规整度

$P$ ——地块周长

$A$ ——地块面积

与相邻土地适宜性:采用相邻耕地的公共边长  $Y$  与地块周长  $P$  的比值作为量化的标准,公共边长

越大,适宜性分值越高,计算式为

$$T = Y/P \tag{8}$$

式中  $T$ ——地块适宜性指数

$Y$ ——与相邻耕地的公共边长

最后,对上述指标计算量化后,采用自然断点法将指标值划分为5级,以[0,100]为值域进行标准化赋值,具体赋值标准如表1所示。

### 2.1.5 综合评价模型

采用多因素综合评价法对耕地质量进行综合评价,综合得分越高,耕地质量越好。评价模型为

$$V_i = \sum_{j=1}^k W_j v_{ij} \tag{9}$$

式中  $V_i$ ——第  $i$  个评价单元耕地质量综合得分

$W_j$ ——第  $j$  个评价指标权重

$v_{ij}$ ——第  $i$  个评价单元第  $j$  个指标得分

$k$ ——评价指标数量

### 2.2 耕地质量空间集聚格局分析方法

在耕地质量评价的基础上,采用空间自相关分析的方法划定基本农田。空间自相关分析是一种空间统计方法,主要包括全局空间自相关和局部空间自相关。采用局部空间自相关方法,探讨耕地质量在空间上的局部集聚程度,其计算公式为

$$I_i = \frac{m(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^m w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_{j=1}^m (x_j - \bar{x})^2} \tag{10}$$

式中  $I_i$ ——局部 Moran's  $I$  指数

$m$ ——研究对象数量

$x_i$ ——观测值  $\bar{x}$ —— $x_i$  的均值

$w_{ij}$ ——空间权重

采用 Geoda 软件进行局部空间自相关分析,根据空间自相关程度和显著性将数据结果划分为高高、高低、低高、低低以及非显著型5种类型。其中,高高表示高值与高值集聚,高低表示高值周边为低值集聚,低高表示低值周边为高值集聚,低低表示低值与低值集聚;非显著型是指数据的空间集聚性不明显。

### 2.3 基本农田划定方法

在耕地质量综合评价和耕地质量空间集聚特征分析的基础上,采用矩阵组合法将耕地质量等级和空间集聚类型进行两两组合,依据组合类型确定济南市耕地入选基本农田的类型(表2)。参考相关研究,结合济南市实际情况,将质量较高等级以上且空间集聚类型为高高和高低的耕地以及质量高等级但

表2 基本农田划定组合矩阵

Tab.2 Composite matrix of prime cropland

耕地质量等级	高高	高低	低高	低低	非显著
高	优先划入型	优先划入型			优先划入型
较高	优先划入型	优先划入型			适宜划入型
一般	适宜划入型	适宜划入型	适宜划入型	适宜划入型	适宜划入型
较低			适宜划入型	整治调控型	整治调控型
低			整治调控型	整治调控型	整治调控型

不具有显著集聚特征的耕地作为优先划入型;将耕地质量一般和较低等级且空间集聚显著的耕地以及空间质量较高和一般但空间不显著的耕地作为适宜划入型;整治调控型包括质量较低等级但不具有空间集聚特征的耕地以及质量低等级的耕地。

## 3 耕地质量综合评价结果

### 3.1 单因子评价结果

相对而言,济南市耕地区位条件较好,并且区域差异最小,但有个别耕地的区位条件得分为异常值且小于最小值,表明这小部分耕地区位条件较差,距农村居民点、农村道路和主要道路的距离显著大于其他耕地;耕地稳定性和自然禀赋相对较差,并且区域差异相对较大,耕地稳定性得分略高于自然禀赋且区域差异略小(图3)。济南市北部属于黄淮海平原的一部分,而南部则属于泰山山脉,受地形因素的

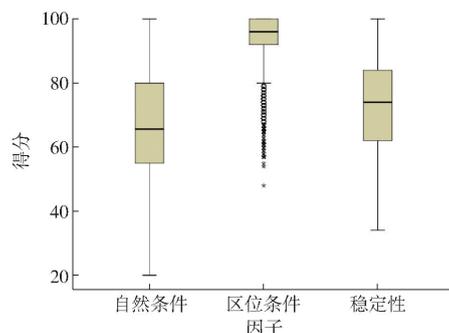


图3 单因子得分比较

Fig.3 Compare of score of indicators

影响,耕地自然禀赋由北向南逐渐变差,差异较大。耕地稳定性受地形的影响也较大,南部山区地形复杂,耕地稳定性相对较差,中部为中心城区,耕地稳定性受建设用地扩张的影响,北部多为平原,耕地稳定性相对较好。

### 3.1.1 自然禀赋

济南市耕地自然禀赋一般,空间分布差异明显,北部优于南部,这主要是受地形等因素的影响(图4)。自然禀赋得分在76.41以上的耕地最多,面积为1269.37 km<sup>2</sup>,占全市耕地总面积的比例为31.94%,主要集中分布在北部的商河和济阳以及东部的章丘北部平原地区,在平阴的东南部也有一定量集中分布,这些区域地势平坦,土壤有机质含量高、排水设施健全,灌溉满足率高;得分在66.41~76.40之间的耕地所占比例为22.96%,主要分布在商河、济阳、章丘、长清和平阴等地区;得分在56.21~66.40之间的耕地在章丘、长清和历城分布较为集中;得分在56.21以下的耕地主要分布在历城、平阴、长清等南部山区和槐荫、市中等中心城区,这些地区的耕地多分布在山地丘陵之间,尤其是南部山区地形起伏较大,土壤贫瘠,排水设施一般或没有,灌溉难以保证,导致耕地自然禀赋较差。

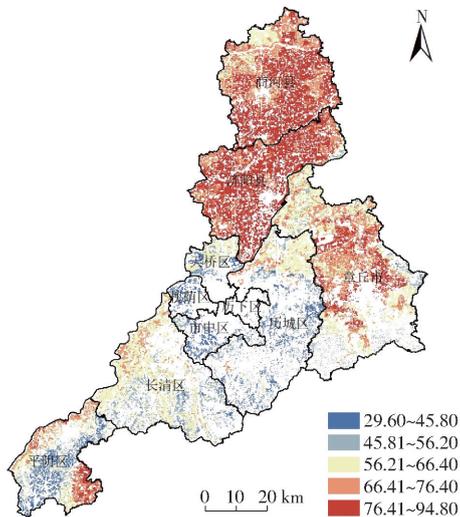


图4 自然禀赋得分空间分布

Fig.4 Spatial distribution of score of natural condition

从各区县差异来看,北部的济阳和商河耕地自然禀赋最好,自然禀赋得分大于66.41的耕地面积占县域耕地总面积的比例分别为97.03%和91.29%;章丘耕地资源禀赋也相对较好,自然禀赋得分大于66.41的耕地所占比例为55.76%;历下、槐荫、市中等中心城区以及历城、平阴、长清等南部山区耕地自然禀赋相对较差,自然禀赋得分小于56.21的耕地面积占县域耕地总面积的比例分别为99.60%、97.88%、95.64%、57.60%、44.48%、35.76%。

### 3.1.2 区位条件

济南市耕地区位条件整体较好,区位条件得分在69~100之间,区域差异不大(图5)。这主要得益于济南市交通较为发达,并且新农村建设、美丽乡村

建设等政策以及村村通等工程的实施,进一步提高了农村地区的交通便利程度。此外,村内乡村道路、田间小路等基础设施的修建和维护效果也较好,保障了耕作的便利程度。区位条件得分大于96的耕地最多,面积达2901.82 km<sup>2</sup>,占济南市耕地总面积的比例达73.02%,显著大于其他等级耕地,在各区县均有分布,尽管由于行政区划面积和耕地总量的不同使得各区县区位条件得分大于96的耕地在数量上存在较大差异,但各区县区位条件得分大于96的耕地占县域耕地面积的比例均较高,介于55%~89.75%。区位条件得分在84.01~93.00之间的耕地面积次之,为941.14 km<sup>2</sup>,所占比例为23.68%,在商河、章丘、长清和济阳数量较多且比例较高,面积分别为256.63、247.21、158.64、143.08 km<sup>2</sup>,比例分别为32.09%、28.18%、28.66%、19.14%。区位条件得分在93.01~96.00以及84以下的耕地数量很少,占济南市耕地总面积的比例分别为0.05%、3.25%。

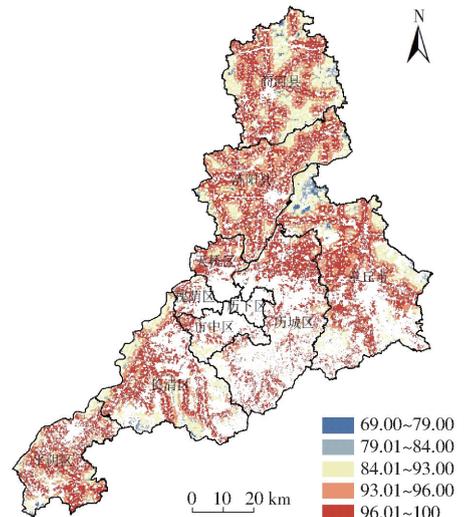


图5 区位条件得分空间分布

Fig.5 Spatial distribution of score of locational condition

### 3.1.3 稳定性

济南市耕地稳定性相对较好,耕地稳定性以高(82.01~96.00)和较高(72.01~82.00)为主,二者共占耕地总面积的65%,主要分布在济阳、商河、章丘、长清、平阴;耕地稳定性一般(64.01~72.00)的耕地面积为557.92 km<sup>2</sup>,所占比例为14.04%,除历下区耕地稳定性一般耕地面积占县域耕地总面积的比例较低(4.39%)之外,其他区县差别不大,介于9.44%~20.98%;耕地稳定性较低(52.01~64.00)和低(34.00~52.00)的耕地面积分别为660.43、172.61 km<sup>2</sup>,所占比例分别为16.62%和4.34%,长清、历城和章丘南部地区耕地稳定性较低及以下耕地面积相对较多(图6),这些区域一方面由于近年

来城镇化的快速发展,导致城镇建设用地扩张占用部分耕地,另一方面这些地区属于南部山区,地形较为复杂,在以上两方面的综合影响下耕地稳定性相对较差。

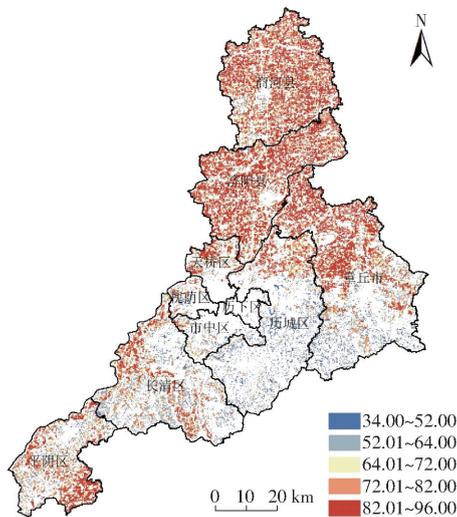


图6 稳定性得分空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of score of stability

### 3.2 综合评价结果

济南市耕地质量综合评价得分介于 52.79 ~ 93.68,根据自然断点法将其划分为高、较高、一般、较低、低5个等级(图7)。济南市耕地质量以高和较高为主,二者占济南市耕地总面积的比例分别为 35.12% 和 22.67%,主要分布在济南市北部商河、济阳和章丘北部,这3个地区高等级和较高等级耕地面积占全市高等级和较高等级耕地总面积的 84.66%,这些地区的耕地数量多、质量高,而且集中连片,应优先划入永久基本农田。

耕地质量一般等级的耕地面积为 673.79 km<sup>2</sup>,所占比例为 16.96%,在长清、章丘分布较多,面积

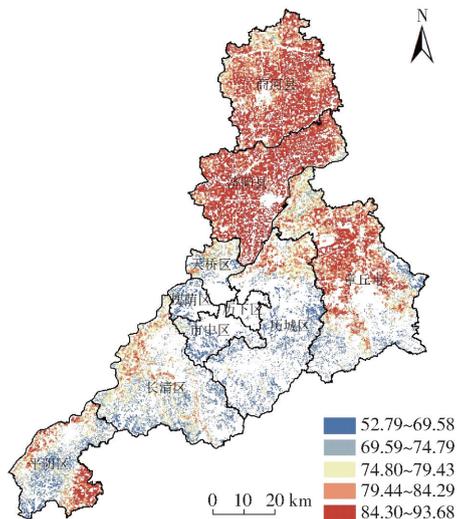


图7 济南市耕地综合得分空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of score of comprehensive score of cultivated land

分别为 181.07、186.62 km<sup>2</sup>,这些地区多为平原与山地丘陵的过渡地带,如沿黄河冲积平原、山前平原或山间谷地等,虽然自然禀赋、区位条件和稳定性等方面或某一方面存在一定的不足,但仍适宜作为基本农田。

耕地质量较低等级的面积为 527.50 km<sup>2</sup>,所占比例为 13.27%,主要分布在济南市西部和南部地区,长清数量最多,为 183.65 km<sup>2</sup>,章丘、平阴次之,历城也相对较多,这些耕地多位于南部山区中的丘陵地区,自然禀赋、区位条件和稳定性较差。

耕地质量低等级耕地面积最少,为 475.98 km<sup>2</sup>,所占比例为 11.98%,主要分布在历城和长清,章丘和平阴次之,这些耕地质量差。

## 4 基本农田划定

### 4.1 耕地质量空间集聚格局特征分析

济南市耕地质量呈明显的空间集聚特征,局部空间自相关分析结果表明,3 432.00 km<sup>2</sup>的耕地质量存在显著的空间自相关性,占耕地总面积 86.36%。根据聚类特征划分为高高、高低、低高和低低4种类型,并以高高和低低2种类型为主(图8,表3)。

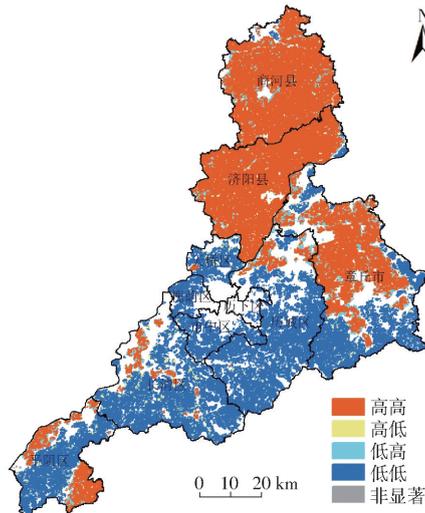


图8 耕地质量空间集聚类型

Fig. 8 Spatial cluster pattern of cultivated land quality

表3 耕地质量空间集聚类型及面积

Tab. 3 Spatial cluster type of cultivated land quality

耕地质量级别	km <sup>2</sup>				
	高高	高低	低高	低低	非显著
高	1 380.00	0.97			14.83
较高	688.59	36.84			175.42
一般	70.91	34.88	98.25	197.60	272.16
较低			14.49	437.26	75.75
低			1.04	471.18	3.76
合计	2 139.50	72.69	113.78	1 106.04	541.92

高高聚类类型耕地总面积为 2 139.50 km<sup>2</sup>,占

显著性耕地总面积的 62.34%，以质量高和较高的耕地为主，还有零星质量一般的耕地，主要分布在济阳、商河、章丘中北部和长清东南部。低低聚类类型耕地总面积为 1 106.04 km<sup>2</sup>，占显著性耕地总面积的 32.23%，以质量低和较低的耕地为主，还有部分质量一般的耕地，主要集中分布在南部山区和中心城区。低高聚类类型的耕地数量较少，面积为 113.78 km<sup>2</sup>，在商河和章丘分布相对较多；高低聚类类型的耕地数量较少，面积仅为 72.69 km<sup>2</sup>，分布较为零散。

#### 4.2 基于矩阵组合法的基本农田划定

综合考虑耕地质量等级及耕地质量空间集聚类型，采用矩阵组合法划定济南市基本农田，最终将济南市耕地划分为优先划入型、适宜划入型和整治调控型 3 种类型(表 2,图 9)。

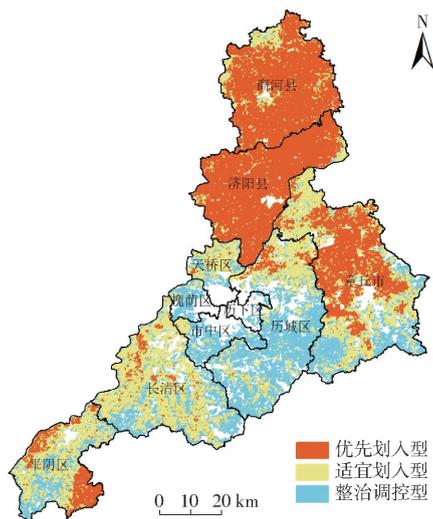


图 9 不同类型基本农田划定类型分布

Fig.9 Spatial distribution of different types of prime cropland

将质量较高等级以上且空间集聚类型为高高和高低的耕地以及质量高等级但不具有显著集聚特征的耕地作为优先划入型，该类型耕地最多，总面积为 2 121.23 km<sup>2</sup>，占耕地总面积 53.38%，主要分布在济阳、商河、章丘北部和平阴东南部，该类型的耕地多位于平原地区，地势平坦，土壤肥沃，理化性质好，且集中连片程度高，农业基础设施完善，耕作便利，是基本农田建设的理想区域。

将耕地质量一般的耕地、耕地质量较高但空间集聚特征不显著以及耕地质量较低但空间集聚类型为低高的耕地作为适宜划入型，总面积为 863.69 km<sup>2</sup>，占耕地总面积 21.73%，在章丘北部、历城北部、长清、平阴相对较多，空间分布上与优先划入型耕地相邻，该类型的耕地质量也较高，但低于优先划入型，考虑到该类型耕地质量较高且多分布在优先划入型耕地周围的特性，应将其与周边优先划入型耕地一起划

入基本农田，进一步提高优质基本农田的集中连片程度和空间集聚规模。

整治调控型包括质量较低等级且空间集聚类型为低低或不具有空间集聚特征的耕地以及质量低等级的耕地，总面积为 988.98 km<sup>2</sup>，占耕地总面积的 24.89%，主要分布在中心城区和南部山区，尤其是历城区、市中区、章丘市南部等地区分布较多，该类型耕地较为破碎、集聚程度不高，立地条件和稳定性差，自然质量低，一般情况下不适宜作为基本农田，尤其是山区的这部分耕地开发利用时需特别注意生态环境的保护，但在需要时，可通过土地整治，提高集中连片度、加强基础设施建设、改善土壤理化性质等途径，提高耕地质量和空间集聚程度以作为基本农田。

## 5 结论

(1)从自然禀赋、区位条件、稳定性 3 个方面选取 11 个指标对济南市耕地质量进行了综合评价，在此基础上，采用局部空间自相关法定量刻画了济南市耕地质量的空间集聚格局特征，并进一步综合考虑耕地质量和空间集聚格局特征，采用矩阵组合法将济南市耕地划分为优先划入型、适宜划入型和整治调控型 3 种类型。

(2)相对而言，济南市耕地区位条件较好，且区域差异最小，耕地稳定性和自然禀赋相对较差。济南市耕地质量以高和较高为主，二者分别占济南市耕地总面积的 35.12% 和 22.67%，主要分布在济南市北部商河、济阳和章丘北部；耕地质量一般等级的耕地面积为 673.79 km<sup>2</sup>，所占比例为 16.96%，在长清、章丘分布较多；耕地质量较低等级的面积为 527.50 km<sup>2</sup>，所占比例为 13.27%，主要分布在济南市西部和南部地区；耕地质量低等级的耕地面积最少，为 475.98 km<sup>2</sup>，所占比例为 11.98%，主要分布在历城和长清。

(3)优先划入型是济南市耕地的主要类型，总面积为 2 121.23 km<sup>2</sup>，占济南市耕地总面积的 53.38%，主要分布在济阳、商河、章丘北部和平阴东南部，该类型耕地质量高、空间集聚特征显著；适宜划入型耕地质量也较高，并且多分布在优先划入型周边，对优先划入型耕地具有保护和缓冲作用，应与优先划入型耕地一起作为基本农田，以提高优质基本农田的集聚程度；整治调控型耕地面积为 988.98 km<sup>2</sup>，占济南市耕地总面积 24.89%，主要分布在中心城区和南部山区，该类型耕地质量低、集聚程度不高，开发利用时应注意生态环境保护，必要时可通过土地整治提高质量和集聚程度。

## 参 考 文 献

- [1] BAI Xuemei, SHI Peijun, LIU Yansui. Realizing China's urban dream[J]. *Nature*, 2014, 509(7499): 158-160.
- [2] SONG Wei, PIJANOWSKI B C, TAYYEBI A. Urban expansion and its consumption of high-quality farmland in Beijing, China[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 54: 60-70.
- [3] 钱凤魁, 张靖野, 王秋兵, 等. 基于聚类图谱的基本农田领域文献分析及进展[J]. *中国土地科学*, 2017, 31(4): 80-87.  
QIAN Fengkui, ZHANG Jingye, WANG Qiubing, et al. Literature review on the research progress of basic farmland field based on the cluster map[J]. *China Land Sciences*, 2017, 31(4): 80-87. (in Chinese)
- [4] 赵素霞, 牛海鹏, 张合兵, 等. 高标准农田建设中耕地空间稳定性评价研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2018, 49(7): 119-126.  
ZHAO Suxia, NIU Haipeng, ZHANG Hebing, et al. Space stability evaluation during well-facilitated farmland consolidation[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(7): 119-126. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20180715&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180715&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.07.015. (in Chinese)
- [5] 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)
- [6] 杜国明, 刘彦随, 于凤荣, 等. 耕地质量观的演变与再认识[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(14): 243-249.  
DU Guoming, LIU Yansui, YU Fengrong, et al. Evolution of concepts of cultivated land quality and recognition[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(14): 243-249. (in Chinese)
- [7] 付国珍, 摆万奇. 耕地质量评价研究进展及发展趋势[J]. *资源科学*, 2015, 37(2): 226-236.  
FU Guozhen, BAI Wanqi. Advances and prospects of evaluating cultivated land quality[J]. *Resources Science*, 2015, 37(2): 226-236. (in Chinese)
- [8] 边振兴, 杨子娇, 钱凤魁, 等. 基于 LESA 体系的高标准基本农田建设时序研究[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(3): 436-446.  
BIAN Zhenxing, YANG Zijiao, QIAN Fengkui, et al. Study on time sequence of high-standard prime farmland based on LESA[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 436-446. (in Chinese)
- [9] 李发志, 孙华, 江廷美, 等. 高标准基本农田建设区域时序划分[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(22): 251-258.  
LI Fazhi, SUN Hua, JIANG Tingmei, et al. Time sequence division of high-standard prime farmland construction area[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(22): 251-258. (in Chinese)
- [10] 张英, 潘瑜春, 曾志炫, 等. 基于农用地分等定级的耕地入选基本农田评价比较分析[J]. *中国土地科学*, 2012, 26(3): 29-33, 97.  
ZHANG Ying, PAN Yuchun, ZENG Zhixuan, et al. Comparative assessment on primary farmland zoning based on the farmland gradation programme[J]. *China Land Sciences*, 2012, 26(3): 29-33, 97. (in Chinese)
- [11] 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(2): 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(2): 251-255. (in Chinese)
- [12] 任艳敏, 唐秀美, 刘玉, 等. 考虑耕地生态质量的基本农田划定方法[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(24): 298-307.  
REN Yanmin, TANG Xiumei, LIU Yu, et al. Demarcating method of prime farmland considering ecological quality of cultivated land[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(24): 298-307. (in Chinese)
- [13] 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, 293.  
FENG Ting, ZHANG Fengrong, LI Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(1): 200-210, 293. (in Chinese)
- [14] 钱凤魁, 张琳琳, 贾璐, 等. 基本农田划定中的耕地立地条件评价研究[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(3): 447-456.  
QIAN Fengkui, ZHANG Linlin, JIA Lu, et al. Site condition assessment during prime farmland demarcating[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 447-456. (in Chinese)
- [15] 杨建宇, 赵龙, 徐凡, 等. 基于耕地连片度的高标准基本农田建设划区[J/OL]. *农业机械学报*, 2017, 48(4): 142-148.  
YANG Jianyu, ZHAO Long, XU Fan, et al. Zoning of high standard prime farmland construction based on arable lands connectivity[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(4): 142-148. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20170418&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170418&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.04.018. (in Chinese)
- [16] 姜广辉, 张瑞娟, 张翠玉, 等. 基于空间集聚格局和边界修正的基本农田保护区划定方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 222-229.  
JIANG Guanghui, ZHANG Ruijuan, ZHANG Cuilin, et al. Approach of land use zone for capital farmland protection based on spatial agglomeration pattern and boundaries modification[J]. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(23): 222-229. (in Chinese)
- [17] 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/OL]. *农业机械学报*, 2018, 49(4): 172-180.  
YANG Jianyu, ZHANG Xin, XU Fan, et al. Designation method of permanent basic farmland based on TOPSIS and local spatial autocorrelation[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(4): 172-180.

- [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20180420&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180420&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.020. (in Chinese)
- [18] 聂艳,吴学敏,何颖,等. 基于产能核算和空间聚类的县级基本农田划定研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(6): 809-815.  
NIE Yan, WU Xuemin, HE Ying, et al. Demarcation method of prime farmland and based on productivity and spatial clustering[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(6): 809-815. (in Chinese)
- [19] 王新盼,姜广辉,张瑞娟,等. 高标准基本农田建设区域划定方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 241-250.  
WANG Xinpan, JIANG Guanghui, ZHANG Ruijuan, et al. Zoning approach of suitable areas for high quality capital farmland construction[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(10): 241-250. (in Chinese)
- [20] 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.  
CAO Liping, LUO Zhijun, RAN Fengwei, et al. Distribution of prime farmland based on cultivated land quality and spatial agglomeration pattern at county scale[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(4): 349-355, 364. (in Chinese)
- [21] 杨绪红,金晓斌,郭贝贝,等. 基于最小费用距离模型的高标准基本农田建设区划定方法[J]. 南京大学学报(自然科学), 2014, 50(2): 202-210.  
YANG Xuhong, JIN Xiaobin, GUO Beibei, et al. Zoning method of high standard primary farmland based on the least-cost distance model[J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2014, 50(2): 202-210. (in Chinese)
- [22] 周明,王占岐. 基于耕地质量和空间聚类的县域基本农田划定——以湖北省团风县为例[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 316-321.  
ZHOU Ming, WANG Zhanqi. Spatial distribution of primary farmland based on cultivated land quality and spatial clustering at county scale—a case of Tuanfeng County, Hubei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(5): 316-321. (in Chinese)
- [23] 唐秀美,潘瑜春,刘玉,等. 基于四象限法的县域高标准基本农田建设布局与模式[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 238-246, 293.  
TANG Xiumei, PAN Yuchun, LIU Yu, et al. Layout and mode partition of high-standard basic farmland construction at county level based on four-quadrant method[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(13): 238-246, 293. (in Chinese)
- [24] 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)
- [25] 张林波,虞慧怡,李岱青,等. 生态产品内涵与其价值实现途径[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 173-183.  
ZHANG Linbo, YU Huiyi, LI Daiqing, et al. Connotation and value implementation mechanism of ecological products[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(6): 173-183. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20190619&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190619&journal_id=jcsam). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.06.019. (in Chinese)

(上接第 122 页)

- [16] 王金峰,鞠金艳,尹大庆. 尿素颗粒弹性模量的测试与分析[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(33): 11626-11628.  
WANG Jinfeng, JU Jinyan, YIN Daqing. Test and analysis of elastic modulus of urea particle[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2014, 42(33): 11626-11628. (in Chinese)
- [17] WANG Jinfeng, ZOU Detang, WANG Jinwu, et al. Testing and analysis of the shear modulus of urea granules[J]. Computer and Computing Technologies in Agriculture, 2013, 7(1): 137-144.
- [18] 赵永志,江茂强,徐平,等. 颗粒堆内微观力学结构的离散元模拟研究[J]. 物理学报, 2009, 58(3): 1819-1825.  
ZHAO Yongzhi, JIANG Maoqiang, XU Ping, et al. Discrete element simulation of the microscopic mechanical structure in sandpile[J]. Acta Physica Sinica, 2009, 58(3): 1819-1825. (in Chinese)
- [19] 贾富国,韩燕龙,刘扬,等. 稻谷颗粒物料堆积角模拟预测方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 254-260.  
JIA Fuguo, HAN Yanlong, LIU Yang, et al. Simulation prediction method of repose angle for rice particle materials[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(11): 254-260. (in Chinese)
- [20] 韩燕龙,贾富国,唐玉荣,等. 颗粒滚动摩擦系数对堆积特性的影响[J]. 物理学报, 2014, 63(17): 174501-174507.  
HAN Yanlong, JIA Fuguo, TANG Yurong, et al. Influence of granular coefficient of rolling friction on accumulation characteristics[J]. Acta Physica Sinica, 2014, 63(17): 174501-174507. (in Chinese)
- [21] 刘凡一,张舰,李博,等. 基于堆积试验的小麦离散元参数分析及标定[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 247-253.  
LIU Fanyi, ZHANG Jian, LI Bo, et al. Calibration of parameters of wheat required in discrete element method simulation based on repose angle of particle heap[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(12): 247-253. (in Chinese)