

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.014

基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定

杨建宇^{1,2} 杜贞容^{1,2} 杜振博¹ 黄婧瑶¹ 赵 龙¹ 朱德海^{1,2}

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035)

摘要: 高标准农田建设是优化农田空间布局,改善耕地基础设施,提高耕地质量和综合生产能力的重要举措。而科学合理地划定建设区域是高标准农田建设的重要环节。以河南省焦作市为例,构建了耕地综合质量评价体系,并通过层次分析法对各个评价指标赋权。再结合理想点逼近法和局部空间自相关分析对高标准农田建设分区及时序提出了方案。研究表明:焦作市耕地整体质量较好,且在空间分布上体现出了较强的正相关性;利用局部空间自相关分析可将耕地分为4个高标准农田建设区域。

关键词: 耕地质量; 高标准农田; 理想点逼近法; 局部空间自相关

中图分类号: F301.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)06-0109-07

Well-facilitied Capital Farmland Assignment Based on Land Quality Evaluation and LISA

YANG Jianyu^{1,2} DU Zhenrong^{1,2} DU Zhenbo¹ HUANG Jingyao¹ ZHAO Long¹ ZHU Dehai^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Well-facilitied capital farmland construction is an important measure to optimize the farmland spatial layout and improve the farmland infrastructure, and it also plays an important role in guaranteeing national food safety and modern agriculture development. Moreover, it could help to increase the cultivated land quality and productive capacity. Scientific and reasonable zoning of the construction area is an essential step of the construction itself. Therefore, taking Jiaozuo City, Henan Province as an example, the comprehensive quality evaluation system of cultivated land was built, and then the weight of each evaluation index was calculated by means of analytic hierarchy process (AHP). Then through coupling with technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) and local indicators of spatial association (LISA), some suggestions for construction of well-facilitied capital farmland zoning and timing sequence were put forward. The result showed that the overall quality of cultivated land in Jiaozuo City was good and it showed a strong positive correlation in spatial distribution. The area of cultivated land belonging to positive correlation reached 61.665% of the total cultivated land area. Besides, cultivated land quality attributes and spatial attributes were uniform. Using local indicators of spatial association, cultivated land can be divided into four well-facilitied capital farmland construction areas. According to the characteristics of different spatial autocorrelation types, the corresponding remedial measures and construction timing were put forward. With comprehensive consideration of the cultivated land in all kinds of properties, the research can provide basis for construction of well-facilitied capital farmland planning.

Key words: farmland quality; well-facilitied capital farmland; TOPSIS; LISA

引言

中国是一个人多地少、人均耕地占有量低的国家,而随着工业化、城市化的快速推进,我国耕地将

承载越来越大的压力。因此,如何进行耕地保护,保证中国经济和社会的可持续性发展一直是政府十分重视的问题。为确保耕地数量及质量,2011年颁布的《中华人民共和国第十二个国民经济和社会发展

收稿日期: 2016-11-04 修回日期: 2017-01-09
基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201511010-06)
作者简介: 杨建宇(1974—),男,教授,博士生导师,主要从事3S技术及其土地应用研究,E-mail: yejyyang@cau.edu.cn

五年规划纲要》明确提出要大规模建设旱涝保收高标准农田,其中定义的高标准农田是指一定时期内,通过农村土地整治形成的集中连片、设施配套、高产稳产、生态良好、抗灾能力强、与现代农业生产和经营方式相适应的基本农田^[1]。因此高标准农田建设,对提高耕地综合生产能力、发展现代农业、保障粮食安全具有重要意义,是中国耕地保护、保障粮食安全的重点。

目前国内学者对高标准农田划定方法的研究主要是从耕地自然条件、立地条件、经济效益等方面入手,确定耕地质量综合评价指标^[2-4],利用熵权法^[5-6]或层次分析法^[7-9]等进行赋权从而获得耕地质量综合评价体系,采取综合评分的方法对耕地进行分值从高到低的排列从而确定高标准农田的建设范围和时序。另一方面,从耕地的空间分布以及建设时序考虑出发,部分学者在综合评价耕地质量的基础上,提出了利用理想点逼近法^[10-11]、四象限法^[12-13]等方法实现最优地块的筛选以及建设分区和时序的合理安排。但上述研究中在确定评价体系时没有考虑到高标准农田定义中对耕地高产稳产的要求,且对耕地空间分布模式考虑不足。

为弥补上述研究的不足,本文以河南省焦作市为例,在对耕地进行综合质量评价时引入综合土地利用系数这一指标以反映耕地潜在产量水平,并利用层次分析法对各指标权重赋权。在此基础上利用理想点逼近法和局部空间自相关分析实现耕地质量、规模和空间分布的耦合,以期为高标准农田的划定提供参考。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区概况

焦作市地处河南省西北部,北依太行与山西省搭界,南临黄河与郑州、洛阳相望,东与新乡接壤,西与济源毗邻;位于 35° 10′ ~ 35° 21′ N、113° 4′ ~ 113° 26′ E,市域东西长约 102.05 km,南北宽约 75.43 km,面积 4 001 km²。根据焦作市土地利用总体规划(2006—2020 年),耕地面积为 195 339 hm²,约占全市土地总面积的 48.82%,其中旱地为 14 322.02 hm²,水浇地为 177 961.92 hm²,水田为 3 055.01 hm²。焦作市虽然耕地面积较大,但人均耕地仅为 0.05 hm²,低于河南省人均耕地水平,是典型的人多地少区域。另外,由于地理条件的限制和社会经济的发展,焦作市耕地总面积逐年减少,不能满足农业发展的需要,成为重要的社会问题。因此,对于焦作市这样地貌比较复杂的区域,不应采用全国一刀切的标准,应根据该市实际情况划定高标准

农田区域。

1.2 数据来源及处理

研究基础数据包括:①2010 年焦作市耕地分等定级成果数据,主要获取自然等指数、综合土地利用系数以及耕地数量和分布情况。②焦作市 2015 年统计年鉴及相关农业统计资料,提取涉及的社会、经济等统计数据。③焦作市土地利用现状和线状地物图,主要用来计算耕地图斑与城镇建设用地、农村居民区和主干道的距离。

对收集的基础数据进行以下预处理:检查数据来源,与相关部门核实数据可靠性,确保计量单位统一、规范,进行资料梳理;所有图件资料通过数据格式转换,地图投影及坐标校正,统一为 ArcGIS 格式,坐标系采用 1980 西安平面坐标系和 1985 国家高程基准,图件数据涵盖整个研究区域。分析软件选用 ArcGIS 10.2 以及 GeoDa 1.6.7。

2 研究方法

2.1 耕地综合质量评价

2.1.1 评价单元与指标体系

高标准农田建设的对象包括原有基本农田和新划定的基本农田^[1],为充分考虑两种类型,结合实际情况,以焦作市 2013 年耕地分等定级数据库中的耕地图斑作为评价基本单元,最终确定 45 909 个评价单元。

为客观科学反映耕地的实际质量水平,根据高标准农田的定义并参考《河南省农用地分等成果完善技术报告》中所确立的耕地质量评价指标体系,同时考虑到评价指标的可操作性和可推广性,从土壤理化性质、立地条件及基础设施、高产稳产、耕作便捷度和发展稳定性等方面反映耕地综合质量水平^[14-15](表 1)。由于耕地自然等指数可以综合准确地反映土壤有机质含量、有效土层厚度和表层土壤质地等理化性质,以及面坡度、岩石露头度以及灌溉保证率等耕作条件和基础设施条件,综合土地利用系数可以反映耕地的潜在产量水平,所以选取耕地自然等指数和综合土地利用系数作为评价指标以保证被划入高标准农田的耕地的自然质量及高产稳产。综合土地利用系数计算公式为

$$K_{ij} = \frac{Y_{ij}}{Y_{j,\max}} \tag{1}$$

式中 Y_{ij} ——各行政村(样点)的标准粮实际产量
 $Y_{j,\max}$ ——指标区内最大标准粮产量

耕作便捷度主要通过耕地与主干道以及农村居民点的距离来反映其差异性^[16-17];对于发展稳定性,主要考虑到耕地与城镇建设用地的距离,距离越小稳定性越差^[18]。由于数据缺失,暂无法全方位考

考虑生态状况、耕地抗灾能力等指标。

表 1 焦作市耕地综合评价体系

Tab.1 Evaluation system of farmland’s comprehensive quality in Jiaozuo City

目标层	准则层	指标层
耕地综合质量	土壤理化性质/立地条件/基础设施	耕地自然等指数
	潜在产量水平	综合土地利用系数
	耕作便捷度	与主干道距离
		与农村居民点距离
	发展稳定性	与城镇建设用地距离

表 2 耕地综合评价指标权重

Tab.2 Weight for evaluation system indexes of farmland’s comprehensive quality

目标层	准则层	权重	指标层	相对准则层权重	相对目标层权重
耕地综合质量	土壤理化性质/立地条件/基础设施	0.455	耕地自然等指数	1	0.455
	潜在产量水平	0.263	综合土地利用系数	1	0.263
	耕作便捷度	0.141	与主干道距离	0.614	0.087
			与农村居民点距离	0.386	0.054
	发展稳定性	0.141	与城镇建设用地距离	1	0.141

致性检验,得到的权重可直接用于耕地综合质量评价。

2.2 理想点逼近法

本文采用理想点逼近法进行评价,通过检测评价对象与最优解、最劣解的距离来进行排序,若评价对象最靠近最优解同时又最远离最劣解,则为最好,否则为最差^[20]。

设评价指标 n 个,被评价的耕地单元 m 个, r_{ij} 表示第 j 个指标下第 i 个图斑的指标值, $r_{ij, \min}$ 表示最小指标值, $r_{ij, \max}$ 表示最大指标值。则具体计算步骤如下:

归一化处理

$$A_{ij} = \pm \frac{r_{ij} - r_{ij, \min}}{r_{ij, \max} - r_{ij, \min}} \tag{2}$$

计算各耕地图斑与最优方案及最劣方案的距离

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n \theta_j (A_{ij} - A_i^+)^2} \tag{3}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n \theta_j (A_{ij} - A_i^-)^2} \tag{4}$$

式中 θ_j ——各指标相对目标层的权重

A_i^+ ——最优方案 A_i^- ——最劣方案

A_{ij} ——各评价单元指标值 r_{ij} 的归一化值

计算各耕地图斑与最优方案的接近程度

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \tag{5}$$

式中 $0 \leq c_i \leq 1$, c_i 越接近 1, 表示该图斑与最优方案越接近, 即 c_i 较大的耕地图斑质量较优。

2.3 局部空间自相关分析

2.3.1 确定空间权重

空间权重是进行空间自相关分析的前提和基

2.1.2 层次分析法确定指标权重

层次分析法 (Analytic hierarchy process, AHP) 是一种系统分析法, 它为分析由相互关联、相互制约的众多因素构成的复杂系统问题提供了简便而实用的决策方法^[19]。本文首先通过建立准则层比较矩阵, 确定准则层相对目标层的权重, 然后建立指标层比较矩阵, 确定指标层相对准则层的权重, 最后确定指标层相对目标层的权重。

根据以上步骤, 确定的县域高标准农田建设评价指标体系及权重见表 2, 各比较矩阵均通过了一

础。目前确定空间权重矩阵的方法主要有基于邻接关系和基于距离关系 2 种。出于对局部空间自相关系数稳定性以及数据误差的考虑, 通过对比不同确定空间权重矩阵方法所获得的全局 Moran’s I 指数的直方图和信度间隔, 得到 $k=9$ 时的 K 最近点权重 (K -nearest) 方法获得的直方图比较集中, 且信度间隔变异较小, 受空间属性值的影响也较小^[21], 因此本文利用 K -nearest 方法确定空间权重。

2.3.2 局部空间自相关

任何事物之间存在相关性是绝对的, 相近事物的相关性要高于相远事物, 而空间自相关分析是探索地理实体之间相关性 (空间自相关) 的重要工具和手段。耕地作为地理实体, 其在空间上也必然存在一定的分布规律, 从探索耕地质量空间分布特征的角度出发, 揭示耕地质量或数量在空间上的聚集性或离散型特征, 能有效地契合基本农田建设中更注重集中连片性开发与建设的要旨。

本文采用局部空间自相关指数来表征耕地质量空间分布上的关联特性, 其表达式为

$$I_\alpha = Z_\alpha \sum_{\beta=1}^B W_{\alpha\beta} Z_\alpha \tag{6}$$

其中 $Z_\alpha = (X_\alpha - \bar{X}) / \sqrt{\frac{1}{A} \sum_{\alpha=1}^A (X_\alpha - \bar{X})^2}$ \tag{7}

式中 I_α ——局部空间自相关指数

Z_α ——空间单元 α 属性观测值的标准化值

X_α ——某一变量在空间单位 α 上的实测值

$\bar{X}$ ——变量的均值

A ——变量观测值的总个数

$W_{\alpha\beta}$ ——空间单位 α 与 β 之间的空间权重
 B ——与空间单位 α 相邻接的空间单元总个数

结合局部空间自相关指数与 Moran 散点图,将空间格局可视化^[22]。Moran 散点图分为 4 个象限,分别代表 4 种不同的关联类型,其中第 1、3 象限为正相关类型,分别用 HH 与 LL 表达,第 2、4 象限为负相关类型,分别用 HL 与 LH 表达。

3 结果与分析

3.1 理想点逼近法计算结果与分析

图 1 为利用层次分析法确定评价指标权重后再利用理想点逼近法获得的耕地综合质量空间分布图。从空间分布来看,全市耕地连片性较好,仅在北部地区出现了耕地图斑较为破碎的现象,这与该地区的地形地貌关系密切。质量较优的耕地分布较为集中,多在东南部的武陟县,东部的修武县,南部的温县,以及沁阳市和博爱县的东南部。总体而言,市域中部、东部及南部是农业发展相对集中区域,地势较为平坦,耕作基础设施条件较好,临近沁河,灌溉条件优越;同时,东部地区行政村辖区较小,村庄与耕地分布相对集中,农户耕作距离较短,更有利于耕作便利程度的提高;另外,该地区交通发达,社会经济条件较好。北部是丘陵地区,区域内耕地多来源于对坡地和林地的开垦,耕作自然状况相对较差,土地利用类型以旱地为主;同时,该区域行政村辖区较大,村庄与耕地分布相对零散,加之受地形地貌影响,农户耕作距离较远,虽然交通也比较便利,但其距离城镇发达地区较近,发展稳定性较差。

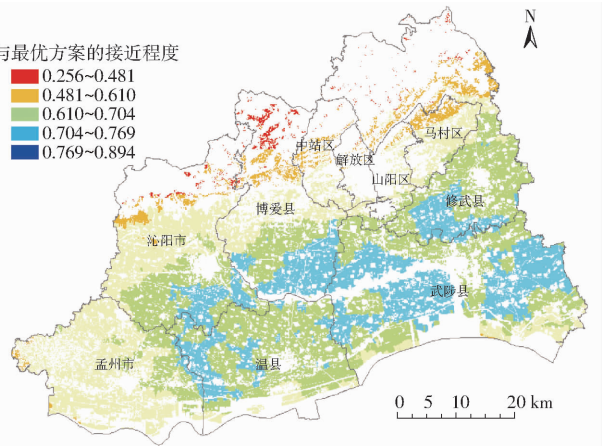


图 1 基于层次分析法的理想点逼近法所得的耕地综合质量空间分布

Fig.1 Spatial distribution of comprehensive land quality by TOPSIS based on AHP

3.2 局部空间自相关结果与分析

全市局部空间自相关指数为 0.979 8,该市耕地

质量在空间分布上表现出较强的正相关性。属于正相关类型 HH 与 LL 的面积分别为 93 246.41 hm²与 27 211.67 hm²,累计占耕地总面积的 61.665%;还有 4.02 hm²和 59.71 hm²分别属于负相关类型中的 LH 和 HL 型,两者累计占 0.034%;另有 74 817.14 hm²耕地没有显著自相关特征,占耕地总面积的 38.301%。因此正相关类型占主导地位(表 3)。

表 3 焦作市耕地局部空间自相关类型

Tab.3 Types of local spatial autocorrelation in Jiaozuo City

类型	耕地	
	面积/hm ²	百分比/%
HH 型	93 246.41	47.735
LL 型	27 211.67	13.930
LH 型	4.02	0.003
HL 型	59.71	0.031
无显著特征型	74 817.14	38.301
总计	195 338.95	100

从空间分布上来看,HH 型耕地大多分布在焦作市的中部、东部和南部,与高分值耕地空间分布格局基本一致。HH 型区域内耕地质量普遍较高,局部区域之间空间正相关性强烈,整体空间连通性较好,覆盖范围较广;LL 型耕地多处在焦作市的西部和北部,在其他各县也都有零散的分布。LL 型区域内耕地质量普遍较低,空间覆盖范围相对来说不如 HH 型集中;LH 型及 HL 型耕地分布比较零散,其中 HL 型在全市零星分布,一般与 HH 型和 HL 型相邻,而 LH 型大多分布在 HH 型周围,与其有着较好的空间连片性(图 2)。

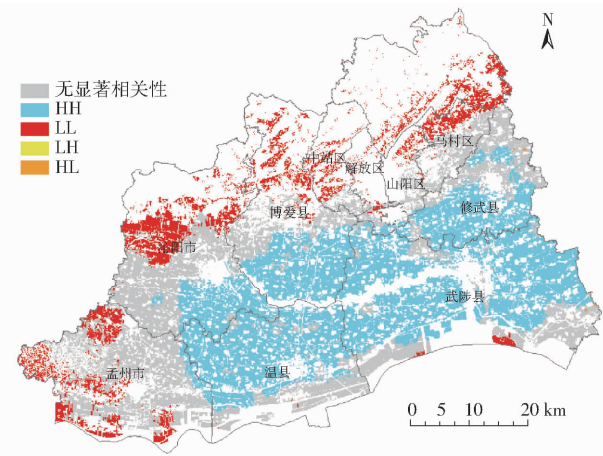


图 2 焦作市耕地质量空间关联聚集图

Fig.2 Spatial correlation of cultivated land quality in Jiaozuo City

将局部空间自相关类型划分结果同耕地质量综合评价分级结果进行叠加对比,得到表 4。从数量上反映,有 47 251.49 hm²的 1 级耕地与耕地质量局

部空间自相关 HH 型保持了空间一致性,占到全县 1 级耕地总面积的 99.72%,仅 0.28% 的一级耕地落入无显著特征型;市域范围内,分别有 45 994.92、59.71 hm² 的 2 级耕地与 HH、HL 型保持了较好的一致性,两者分别占到全县 2 级耕地总面积的 55.36%、0.07%,另有 44.57% 的 2 级耕地落入无显著特征型区域;市域内无 3、4、5 级耕地落入 HH 和

HL 型,其中 3 级耕地有 29.67%、70.32% 分别落入 LL 型、无显著特征型区域,面积分别为 15 888.70、37 659.34 hm²,有极少数落入 LH 型,为 4.02 hm²;4 级耕地主要落入了 LL 型,面积为 9 339.76 hm²,占到了全市 4 级耕地面积的 99.99%,另有极少部分落入无显著特征型区域;5 级耕地与 4 级类似,全部落入 LL 型,面积为 1 983.20 hm²(表 4)。

表 4 焦作市耕地质量级别与自相关类型对比

Tab. 4 Comparison of classification of farmland quality and LISA types in Jiaozuo City											
耕地 级别	HH 型		HL 型		LH 型		LL 型		无显著特征型		耕地面积/ hm ²
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	
1	47 251.49	99.72	0	0	0	0	0	0	130.54	0.28	47 382.03
2	45 994.92	55.36	59.71	0.07	0	0	0	0	37 027.26	44.57	83 081.89
3	0	0	0	0	4.02	0.003	15 888.70	29.67	37 659.34	70.32	53 552.06
4	0	0	0	0	0	0	9 339.76	99.99	0.000 9	0.01	9 339.76
5	0	0	0	0	0	0	1 983.20	100	0	0	1 983.20
总计	93 246.41	47.74	59.71	0.03	4.02	0.003	27 211.66	13.93	74 817.14	38.30	195 338.95

总体而言,绝大部分优质耕地与 HH 型保持了较好的空间一致性,而大部分劣质耕地则落入 LL 型区域;耕地质量的局部空间自相关结果与耕地质量评价结果基本一致。同时,由于局部空间自相关考虑了耕地质量在空间上的分布特征或聚集性规律,耕地质量属性与空间属性保持了较好的统一,可为高标准农田建设分区提供数据基础和空间依据。

3.3 高标准农田建设区域划定

根据局部空间自相关分析的结果,将焦作市耕地分为优先划定区、适宜调入区、后备调控区和缩减退出区(图 3)。各建设分区耕地面积与整治时序见表 5。

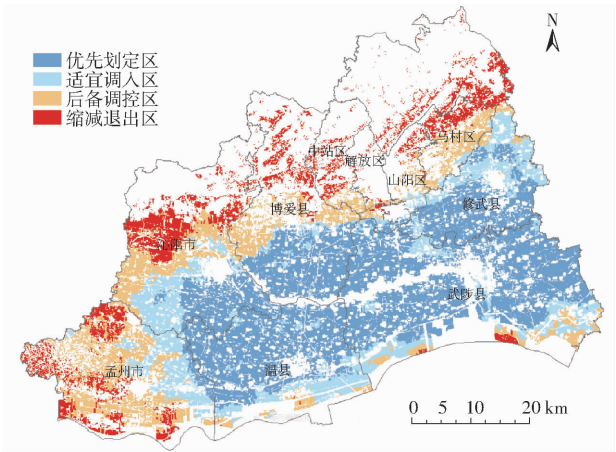


图 3 焦作市高标准农田建设分区图

Fig. 3 Zoning map of well-facilitated capital farmland in Jiaozuo City

3.3.1 优先划定区

优先划定区耕地综合质量得分在 0.70~0.90 之间,局部空间自相关类型为 HH 型。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、东部和南部。该区域耕地规整、连片性好,利于大规模机械化作业和集中管理,基础设施完善,多位于农业和经济发达的区域,区位条件好,且耕地自然质量等级较高,呈现聚集分布,耕地产能高,土地整治难度小。另外,这些区域为河流聚汇处,土壤肥沃,地势较低平,交通便利,是高标准农田建设的理想区域。因此应优先划入高标准农田建设区域,严格禁止非农建设,在最短的时间内建设成高标准农田,保障粮食安全。

3.3.2 适宜调入区

适宜调入区耕地综合质量得分在 0.70~0.82 之间,局部空间自相关类型为 LH 型和无显著特征型。这类耕地质量较高,但与优先划定区耕地相比整体稍低。该区域内的无显著特征型耕地大多分布在 HH 型周围,与其保持了良好的连片性,因此可以作为适宜调入的耕地,在优先开发优先划定区的基础上,与优先划定区形成集中连片式开发建设,夯实耕地质量在空间分布上所表现出的高-高关联特性,进一步提高优质耕地的空间聚集规模。

3.3.3 后备调控区

后备调控区耕地综合质量得分在 0.52~0.70 之间,局部空间自相关类型为 HL 型和无显著特征型。该区域内属于无显著特征型的耕地综合质量偏低,且该区域耕地与优先划定区耕地连片性较差,多处适宜调入区和缩减退出区之间,土地整治难度大,需要投入更多的人力、物力和财力,在建设时序安排上应该靠后,可在完成对优先划定区和适宜调入区的高标准农田的建设后,综合考虑财政支持和实际需要等进行建设。

3.3.4 缩减退出区

缩减退出区耕地综合质量得分在 0.25 ~ 0.52 之间,局部空间自相关类型为 LL 型。从空间分布上来看,该区域耕地大多分布于北部的山区。受地

形地貌的影响,该地区耕地较为破碎,理化性质、立地条件以及基础设施都较差。因此该区域土地整治投入大,不适宜建设高标准农田,可作为耕地后备资源开发整治。

表 5 焦作市高标准农田建设分区及整治措施
Tab.5 Zoning of high standard farmland construction and regulation measures in Jiaozuo City

建设区域	1 级		2 级		3 级		4 级		5 级		总计		整治时序
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	
优先划定区	47 521.49	50.67	45 994.92	49.33	0	0	0	0	0	0	93 246.41	47.74	近期整治
适宜调入区	130.54	0.35	37 086.98	99.65	0	0	0	0	0	0	37 217.51	19.05	中期整治
后备调控区	0	0	0	0	37 663.36	99.99	0.000 9	0.01	0	0	37 663.36	19.28	远期整治
缩减退出区	0	0	0	0	15 888.70	58.39	9 339.76	34.32	1 983.20	7.29	27 211.66	13.93	暂不整治

4 结论

按照国家对高标准农田建设区域的基本要求,构建了耕地综合质量评价的指标体系,并利用层次分析法确定评价指标权重。再利用理想点逼近法对耕地进行综合质量评价,并对结果进行局部空间自相关分析。最后根据局部空间自相关分析的结果划定了研究区的高标准农田建设区域与建设时序安排。得到以下结论:

(1)焦作市耕地质量在空间分布上体现出了较强的正相关性,属于正相关的耕地面积达到了耕地总面积的 61.665%。另外,全市耕地质量局部空间

自相关结果与耕地质量评价结果保持了较好的空间一致性,99.72% 的 1 级耕地落入 HH 型区域,而 100% 的 5 级耕地落入 LL 型区域,较为有效地实现了耕地质量属性与空间属性的统一。

(2)根据局部空间自相关结果将全市划分为高标准农田建设优先划定区、适宜调入区、后备调控区和缩减退出区,分别占到全县耕地总面积的 47.74%、19.05%、19.28% 和 13.93%。根据不同空间自相关类型的特征,提出了相应整治措施和建设时序安排。耕地数量、耕地质量与空间聚集特性三者之间的关系在分区方案实现了较好的统一,为高标准农田建设分区提供了切实可行的依据。

参 考 文 献

1 TD/T 1003—2012 高标准基本农田建设标准[S]. 2012.

2 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 X P, JIANG G H, ZHANG R J, 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)

3 钱凤魁,王秋兵,李娜. 基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 225–232.
QIAN F K, WANG Q B, LI N. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18):225–232. (in Chinese)

4 董秀茹,尤明英,王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 336–339.
DONG X R, YOU M Y, WANG Q B. Demarcating method of prime farmland based on land evaluation[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4):336–339. (in Chinese)

5 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 F, PU L J, XU Y, 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)

6 张宇,李双异,裴久渤,等. 桓仁县基本农田划定综合评价指标体系[J]. 中国人口·资源与环境, 2012,22(增刊1): 213–216.
ZHANG Y, LI S Y, PEI J B, et al. Establishment on the comprehensive evaluation index system of demarcating basic farmland with entropy weight and TOPSIS method:taking Huanren County for example[J]. China Population Resources & Environment, 2012,22(Supp. 1):213–216. (in Chinese)

7 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 C S, TAN R, YUE W Z. 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)

8 闫一凡,刘建立,张佳宝. 耕地地力评价方法及模型分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5):204–210.
YAN Y F, LIU J L, ZHANG J B. Evaluation method and model analysis for productivity of cultivated land[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5):204–210. (in Chinese)

- 9 周通. 基于农用地分等成果的任丘市基本农田划定研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
ZHOU T. Study on basic farmland delineation in Renqiu County based on agricultural land classification results[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2013. (in Chinese)
- 10 郑新奇, 杨树佳, 王爱萍. 基于农用地分等的基本农田保护空间规划方法研究[C]//中国地理学会 2006 年学术年会论文摘要集, 2006:66–71.
- 11 冯锐, 吴克宁, 王倩. 四川省中江县高标准基本农田建设时序与模式分区[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22):243–251.
FENG R, WU K N, WANG Q. Time sequence and mode partition of high-standard prime farmland construction in Zhongjiang county, Sichuan province[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(22):243–251. (in Chinese)
- 12 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 J, HAN J, ZHANG F R, 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)
- 13 王璐. 海阳市高标准基本农田建设分区及整治工程类型研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2014.
WANG L. Reseach on construction partition and rearrangement project type of well-facilitated capital farmland in Haiyang City [D]. Ji'nan: Shandong Normal University, 2014. (in Chinese)
- 14 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.
FENG T, ZHANG F R, LI C, 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. (in Chinese)
- 15 汤思阳, 雷国平, 张慧, 等. 基于耕地质量评价的基本农田划定方法[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1):173–181.
TANG S Y, LEI G P, ZHANG H, et al. Method of basic farmland demarcation based on the quality of cultivated land evaluation [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(1):173–181. (in Chinese)
- 16 钱凤魁, 王秋兵, 李娜. 基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18):225–232.
QIAN F K, WANG Q B, LI N. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18):225–232. (in Chinese)
- 17 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 G H, ZHANG R J, ZHANG C Y, 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)
- 18 倪九派, 李萍, 魏朝富, 等. 基于 AHP 和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5):202–209.
NI J P, LI P, WEI C F, et al. Potentialities evaluation of regional land consolidation based on AHP and entropy weight method [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5):202–209. (in Chinese)
- 19 赵建军, 张洪岩, 王野乔, 等. 基于 AHP 和 GIS 的省级耕地质量评价研究——以吉林省为例[J]. 土壤通报, 2012, 43(1):70–75.
ZHAO J J, ZHANG H Y, WANG Y Q, et al. Research on the quality evaluation of cultivated land in provincial area based on AHP and GIS: a case study in Jilin Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2012, 43(1):70–75. (in Chinese)
- 20 曾吉彬, 邵景安, 魏朝富, 等. 西南山地丘陵区永久性基本农田的多目标决策划定方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16):263–274.
ZENG J B, SHAO J A, WEI C F, et al. Delimitation of permanent basic farmland in mountain and hill areas in southwest China based on multiple-objective decision model[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(16):263–274. (in Chinese)
- 21 徐彬. 空间权重矩阵对 Moran's I 指数影响的模拟分析[D]. 南京: 南京师范大学, 2007.
XU B. Simulation analysis of the influence of spatial weight matrix on Moran's I [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2007. (in Chinese)
- 22 李子良, 王树涛, 张利, 等. 经济快速发展地区耕地生产能力空间格局[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11):323–331.
LI Z L, WANG S T, ZHANG L, et al. Spatial pattern of cultivated land productivity in rapid economic development region[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11):323–331. (in Chinese)