

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

周 明, 王占岐

(中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074)

摘 要:为了实现基本农田保护政策“优质集中”的具体要求,以湖北省团风县为例,首先基于耕地自然质量、水利基础设施、区位条件、空间形态构建了 4 个因素 11 个评价指标的评价指标体系以反映耕地质量的空间差异性,随后使用 K 均值聚类法对耕地的综合质量等级进行划分,建立了基于耕地质量和空间聚类的基本农田划定方法。结合上级下达的基本农田保护指标确定团风县入选基本农田的耕地面积为 16 333 hm²,且相应的耕地质量总分值均大于 76.21,团风县基本农田大多分布在长江沿岸平原区。通过使用基于多因素加权求和模型获得的基本农田划定结果对此种方法进行验证,并基于景观格局指数对两种方法进行对比分析,这种方法不仅可行,而且能更好地实现基本农田划定中的质优和集中的目标。

关键词:基本农田;耕地质量;K 均值聚类;景观指数;团风县

中图分类号:F301.24; F321.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)05-0316-06

Spatial Distribution of Primary Farmland Based on Cultivated Land Quality and Spatial Clustering at County Scale —A Case of Tuanfeng County, Hubei Province

ZHOU Ming, WANG Zhanqi

(School of Public Administration, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to achieve the goal of high quality and concentration of the basic farmland protection policy, we took Tuanfeng County as an example and put forward a new method of the demarcation of basic farmland based on cultivated land quality and spatial clustering. Firstly, in order to describe the quality of cultivated land, indexes for each land unit were constructed by four elements that consist of eleven factors based on the spatial difference of cultivated land natural quality, water conservancy facilities, location and space form. Then the quality of cultivated land was classified by using K means clustering method in spatial clustering. The results showed that the area of cultivated land selected as basic farmland in Tuanfeng County was determined to be 16 333 hectares based on the basic farmland protection objectives assigned by the superiors, and the scores of the corresponding quality of cultivated lands were greater than 76.21, in addition, the primary farmland of Tuanfeng County mostly distributed in the plains along the Changjiang River. Through verifying this method by using the result basic farmland demarcating based on multi-factor model of weighted summation, and introducing landscape pattern index to compare two methods, the proposed method is not only feasible, but also can more better achieve the goal of high quality and concentration of basic farmland demarcation.

Keywords: primary farmland; the quality of cultivated land; K means clustering; landscape index; Tuanfeng County

基本农田是指“根据一定时期人口和社会经济发展对农产品的需求以及对建设用地预测,依据土地利用总体规划确定的不得占用的和基本农田保护区规划期内不得占用的耕地”^[1]。因此耕地保护的重心是对基本农田的保护。目前我国在进行基本农田划定时,

仅仅是按照一定时期人口和社会经济发展对农产品的需求来确定基本农田的数量指标,之后按照一定的比例将指标分解到各个省、市、县、乡镇,以此来确定基本农田的区域和位置。为解决经济发展与基本农田保护的矛盾,在具体实践中就出现了耕地入选基本农田过

收稿日期:2015-10-12

修回日期:2015-10-28

第一作者:周明(1989—),男,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为土地评价、土地利用规划。E-mail:1492313560@qq.com

通信作者:王占岐(1965—),男,陕西岐山人,教授,博士生导师,主要从事土地调查与评价、土地经济与管理、土地利用规划等研究。E-mail:zhqwang@cug.edu.cn

程主观、重数量轻质量、划劣不划优，划远不划近等现象。围绕如何将限额的基本农田分配到最合适的区域、满足基本农田保护政策“优质集中”的具体要求，国内学者开展了大量研究。在基本农田入选指标方面，一些学者指出既要考虑耕地的自然地理条件，同时也要考虑耕地潜力、立地条件、连片程度、田块规整度，建设压力等因素^[2-4]；部分学者借助于 GIS 和农用地分等定级成果探讨了基本农田划定的方法和流程^[5-7]；同时农用地产能核算成果及农业自然风险综合评价等也被应用于基本农田划定中，并取得了较好的实践效果^[8-9]。上述方法大都是根据多因素综合评价法将耕地质量综合排序后划定基本农田，由于得出的各评价单元质量总分值比较接近，划分耕地等级时常带有主观性。因此，本文借助耕地质量综合评价的思想，构建一种基于耕地质量和空间聚类的基本农田划定的新方法。首先根据基本农田优质集中，便于耕作的特点构建包括耕地自然质量、水利基础设施、区位条件、耕地空间形态在内的耕地入选基本农田的评价指标体系来研究耕地质量的空间差异，再借助 K 均值聚类的方法对耕地分级，从而为耕地划定基本农田提供科学、可靠的依据，最终为县级基本农田划定提供参考和借鉴。

1 研究区概况

团风县位于湖北省东部，长江中游北岸，大别山南麓，东经 114°47′—115°14′，北纬 30°35′—30°54′。全县东西宽约 44 km，南北长约 38 km，东邻巴水，与浠水县相望，南与黄冈市黄州区接壤，西北抵举水和武汉市新洲区毗邻，西南靠长江与鄂州市以人民洲为界，北倚大崎山与罗田县、麻城市为邻。辖 8 镇、2 乡、286 个村。2012 年总人口为 37.60 万人，总人口密度 452 人/km²。团风县地理位置优越，交通便捷。京九铁路、106 国道、江北一级公路、大广高速公路横贯南北；318 国道、武英高速公路连接东西；距离武汉天河机场 47 km，形成了水路、公路、铁路、航空的立体交通网络。根据最新的土地变更调查成果，团风县土地总面积 83 164.62 hm²，其中，农用地 64 577.59 hm²，占土地总面积的 77.65%；建设用地 11 897.97 hm²，占土地总面积的 14.31%；其他土地 6 689.06 hm²，占土地总面积的 8.04%。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

本研究数据来源：(1) 通过 1 : 5 000 团风县土壤图(资料源自矢量化的团风县土壤数据库)获取反映耕地自然质量的评价指标属性，如 pH 值、有机质含量、

表层土壤质地等；(2) 从团风县农村土地调查数据库中获取团风县耕地的坡度数据；(3) 从团风县农用地分等成果中获得耕地排水条件、灌溉保证率的水利基础设施数据；(4) 从 1 : 10 000 团风县土地利用现状图中获取耕地地块、农村居民点、现状公路及各乡镇行政中心等。

2.2 研究方法

2.2.1 K 均值聚类 根据基本农田为部分质优、空间分布相对集中、形状不太规则的耕地，以及作为评价单元的各个耕地图斑如果根据多因素综合评价法确定的质量总分值比较接近，难以人工区分的特点，采用 K 均值聚类^[7-8]的方法对耕地质量进行分级，以此作为基本农田划定的依据。K 均值聚类法的基本流程为：从 n 个耕地地块中任意选择 K 个地块作为初始聚类中心，计算各地块与聚类中心的距离，从而将全部对象划分为 K 个区域；根据最小距离重新对地块划分 K 类，重新计算新划分的 K 类的聚类中心，不断重复这个过程，直到标准测度函数的误差准则函数(常用均方差)收敛为止；最后获得 K 个聚类具有各聚类内部紧凑、聚类间相异的特点。

为了有效地耦合各耕地地块属性的相似性，在计算各个耕地地块与聚类中心的距离时，参考前人经验，将两个地块之间的距离定义为：

$$D_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (a_{ik}w_k - b_{jk}w_k)^2} \tag{1}$$

式中： D_{ij} 为第 n 个地块到第 j 个地块的距离； a_{ik} 为第 i 个地块第 k 个属性值； b_{jk} 为第 j 个地块第 k 个属性值； w_k 为第 k 个属性特征的权重值；n 为属性值的个数，其中 w_k 之和为 1。K 均值聚类过程借助 SPSS 19 实现。

2.2.2 景观指数 本文基于基本农田划定集中连片，便于耕作的要求选择景观指数中的斑块密度(PD)、平均斑块形状指数(MSI)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)来反映基本农田斑块的不规则程度和破碎化程度，其中斑块密度表征基本农田的破碎化程度，其值小，表明景观较为完整，无明显破碎化现象；反之，则破碎化程度高，平均斑块形状指数反映了基本农田斑块形状的规则程度，其值越大，表明基本农田斑块形状越不规则，边界越曲折，越不利于机械化耕作， $MSI \geq 1$ ，面积加权平均板块分维数反映了基本农田斑块的不规则和破碎化程度，其值介于 1~2，其值越大，表明基本农田斑块越不规则，越破碎^[10]。3 个计算公式如下：

$$PD = \frac{NP}{TA} \tag{2}$$

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{0.25P_i}{\sqrt{a_i}} \right)}{NP} \tag{3}$$

$$AWMPFD=\sum_{i=1}^n\left[\frac{2\ln(0.25P_i)}{\ln(a_i)}\cdot\frac{a_i}{TA}\right]\quad(4)$$

式中:PD 为斑块密度;NP 为基本农田斑块的个数;TA 为基本农田的总面积; n 为基本农田斑块的数量;MSI 为平均斑块形状指数, P_i 为基本农田斑块 i 的周长; a_i 为基本农田斑块 i 面积;AWMPFD 为面积加权平均斑块分维数。

3 团风县基本农田划定的方法与过程

3.1 评价指标体系的构建和评价单元的确定

根据基本农田内涵的定义和要求,质量和区位条件综合最优的耕地应该优先划定为基本农田。而耕地利用系统是由自然条件和人为活动共同组成的有机整体,是人和自然环境相互作用、相互协调构成的自然—社会—经济—生态的复合系统,受气候、母质、地形、人为等因素影响,客观上形成了耕地质量的空间差异性。入选基本农田的耕地,不仅要肥力较高、区位较好、水利设施良好等,同时也要考虑为了协调城镇化发展和基本农田保护的关系,地方政府主观上将耕地转为建设用地的可能性,否则会对已划定的基本农田进行频繁调整和占用,危害基本农田规划的严肃性和客观性。本文以划定入选基本农田的耕地为目的,以遴选出自然质量条件好、区位条件优、水利基础设施良好的耕地为首要条件,在参考《可持续土地评价纲要》^[11]、《基本农田保护条例》^[1],结合团风县自然条件、农业生产的实际状况以及现有研究的基础上,确定了 4 个因素 11 个因子的评价指标体系(表 1)。确定指标选取的原则为:(1) 对耕地生产能力有较大的影响;(2) 研究区内指标属性差异较大、与其他指标的关联性较小;(3) 对基本农田的稳定性有影响,例如耕地距离城镇要有一定的距离,距离城镇过近则容易因城镇扩张被占用;(4) 指标以定量为主并可测度。

因为本文是确定入选基本农田的耕地地块,所以评价单元直接定义为土地利用现状图中的耕地图斑。

根据层次分析法的原理确定各评价指标的层次矩阵,利用 Excel 的函数功能,计算各特征向量即权系数,然后对目标层和准则层进行一致性检验,一致性比率 CR 均小于 0.1,通过检验,得到各指标的权重见表 1。

3.2 基本农田影响因子的定性分析

3.2.1 评价单元属性数据的获取 对于各评价单元的属

性数据,采取空间插值、缓冲区和叠置分析等方法获取:(1) 坡度:采用农村土地调查数据库中耕地的坡度分级数据;(2) 有机质、pH 值、表层土壤质地:从团风县土壤图中获取;(3) 排水条件、灌溉保证率:从团风县农用地分等成果中直接提取;(4) 区位条

件:以提取的道路、农村居民点、建制镇分别做缓冲区分析获取对应的单因子图层。

表 1 团风县入选基本农田的指标体系

目标层	准则层	权重	指标层	权重
耕地质量	自然质量	0.33	坡度	0.08
			有机质含量	0.11
			表层土壤质地	0.06
	水利基础设施	0.20	pH 值	0.05
			排水条件	0.08
			灌溉保证率	0.12
			耕地到城镇的距离	0.06
	区位条件	0.18	耕地到农村居民点的距离	0.08
			耕地到道路的距离	0.05
	空间形态	0.29	集中连片度	0.18
			规整度	0.13

3.2.2 耕地集中连片度分析 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阈值的时候即可被认为是连片的^[5],阈值可以根据实际情况来定。耕地连片性可细分为绝对相连和相对相连。一个地块与其他地块有一条以上共同边界或有一个以上公共点时,称为绝对相连;而一个地块与另一地块不是绝对相连,但是距离小于某一阈值时称为相对相连。本文利用 ArcGIS 的缓冲区分析和叠置分析功能,设定一定的缓冲距离 D ,如果地块缓冲 $D/2$ 距离之后空间上是绝对相连的,则认定它们是连片的。分析中涉及 2 个基本参数,即基本农田保护目标和地块缓冲阈值 D 。基本农田保护目标的确定有利于在总量的控制下对全县耕地展开空间分析,实现入选耕地质量最优、空间布局最合理。缓冲阈值则为判断地块的连片性提供依据。基本农田保护目标的确定以上级下达的指标为依据。黄冈市国土局下达的团风县指标是 16 320 hm²,因此本文确定的基本农田保护面积不少于 16 320 hm²。缓冲阈值的确定与研究区域地形地貌、路网疏密、地块破碎度以及基本农田保护目标等因素息息相关,需根据研究区的实际情况决定。本文根据团风县实际情况,测定地块之间的距离,选定连片地块中距离最大的值为缓冲距离,最终确定团风县耕地连片性测度的距离为 20 m,即 $D=20$ m。本文采用面积大小作为衡量耕地连片性的主要指标^[5],认为耕地图斑在集中连片地块中的面积比重越大,其连片性越好,计算公式如下:

$$W_i=\frac{S_i}{S}\quad(5)$$

式中: W_i 为耕地图斑 i 的连片性得分; S_i 为耕地图斑的 i 面积; S 为集中连片地块的面积。

3.2.3 耕地田块规整度分析 耕地田块形状越规则越有利于农田的机械化运营,也就越有利于高效的生产经营耕地。耕地田块的规整程度使用景观生态学中的分维数 FRAC 来表达,分维数描述了田块几何形状复杂性,该指数理论范围为 1.0~2.0,指数越小,表明田块形状越规则,反之则田块形状越复杂^[12]。计算方法如下:

$$FRAC=\frac{2\ln\left(\frac{P_i}{4}\right)}{\ln(a_i)}$$

(6)

式中:FRAC 为田块规整度; P_i 为田块 i 的周长; a_i

为田块 i 的面积。

3.3 评价指标属性值的标准化

由于各个指标性质不同、量纲不统一且值域相差很大,需要对各指标属性值标准化处理到[0,100]区间中才能比较并衡量其对耕地质量的影响程度。

3.3.1 离散型和域值型 对于坡度、土壤质地等离散型数据以及 pH 值、有机质等域值型数据,参考《第二次全国土地调查技术规程》、《农用地质量分等规程》以及有关专家的意见,根据特尔菲法,将分值定义如下(表 2):

表 2 耕地自然质量评价指标分级标准及分值

坡度	分级标准	≤2°	2°~6°	6°~15°	
	得分	100	80	50	
有机质含量	分级标准	≥2.69%	1.18%~2.69%	≤1.18%	
	得分	100	85	60	
表层土壤质地	分级标准	壤土	黏土	砂土	
	得分	100	80	60	
pH 值	分级标准	6.8~7	5.6~6.8 或 7~7.2	4~5.6 或 7.2~7.8	≤4 或 >7.8
	得分	100	80	60	20

3.3.2 空间扩散型 将经过缓冲区分析后获得的耕地到道路的距离、耕地到农村居民点的距离以及耕地到城镇的距离的影响度值标准化处理到[0,100]区间;排水条件和灌溉保证率来源于农用地分等成果,根据特尔菲法进行定义(表 3)。

表 3 水利基础设施评价指标分级标准及分值

排水条件	得分	灌溉保证率	得分
排水体系健全	100	充分满足	100
排水体系基本健全	80	基本满足	80
排水体系一般健全	60	一般满足	60
无排水体系	20	无灌溉条件	20

3.3.3 阈值型 对于与耕地空间形态有关的两个指标采用极值法进行标准化处理。

$$X_{i\text{标}}=\frac{X_i-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}$$

(7)

式中: $X_{i\text{标}}$ 为经标准化后的耕地地块 i 的指标属性值; X_i 为耕地地块 i 的指标实测值; X_{\min} 为指标实测值的最小值; X_{\max} 为指标实测值的最大值。

$$X_{i\text{标}}=\frac{X_{\max}-X_i}{X_{\max}-X_{\min}}$$

(8)

式中: $X_{i\text{标}}$ 为经标准化后的耕地地块 i 的指标属性值; X_i 为耕地地块 i 的指标实测值; X_{\min} 为指标实测值的最小值; X_{\max} 为指标实测值的最大值。

3.4 评价单元质量总分值的计算

采用上述标准化模型对评价单元各指标属性值进行标准化处理后,利用多因素加权求和模型计算获取各耕地图斑入选基本农田的质量总分值,其值越大,表明越优先入选基本农田。

3.5 根据 K 均值聚类法对耕地聚类后获得的耕地质量综合评价结果

根据公式(1)采用 K 均值聚类对耕地综合质量等级进行划分,根据专家意见和孔祥斌等^[7]研究成果,将耕地聚类为 4 类。聚类结果如图 1 所示,聚类结果:1 类,类中心耕地综合质量平均值为 77.56;2 类,类中心耕地综合质量平均值为 68.04;3 类,类中心耕地综合质量平均值为 63;4 类,类中心耕地综合质量平均值为 57.22。

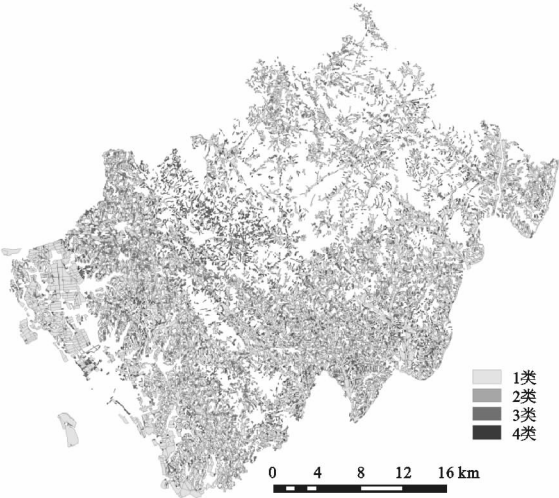


图 1 团风县耕地类别

3.6 团风县耕地入选基本农田的方案确定

在对耕地进行空间聚类分析的基础上,结合类中心耕地综合质量平均值,从平均值最大的第 1 类开始,按耕地综合质量分值由高到低选取耕地地块,逐步达到满足黄冈市下达的团风县基本农田保护面积不少于

16 320 hm² 的指标为止。借助 ArcGIS 的统计工具,采取累加汇总的方式最终确定入选基本农田的耕地面积为 16 333 hm²,对应的耕地综合质量总分值均大于 76.21,耕地质量总分值平均分是 80.05,同步得到团风县基本农田的布局。基本农田布局如图 2 所示。

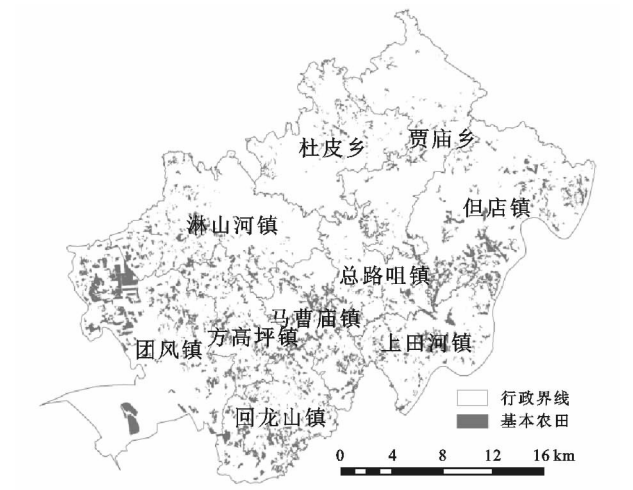


图 2 团风县基本农田分布

3.7 结果与分析

3.7.1 基于多因素加权求和模型划定基本农田的对比分析 仅以多因素加权求和模型求得的耕地综合质量总分值为基础进行排序,根据上级下达的基本农田保护目标确定入选基本农田的耕地。根据耕地综合质量总分值由高到低进行面积累积确定基本农田,最终确定团风县入选基本农田的面积为 16 348 hm²,其中最低的耕地质量总分值为 76.26,并且耕地综合质量总分值平均分为 79.77。前述的基本农田划定质量与此方法划定的基本农田质量相当,说明基于耕地质量和空间聚类划定基本农田的方法是可行的。

3.7.2 基于景观指数的两种方法对比分析 根据公式(2)—(4)分别计算两种方法的斑块密度、平均斑块形状指数、面积加权平均斑块分维数,结果见表 4。

表 4 两种方法划定的基本农田斑块密度等景观指数对比			
基本农田 划定方法	斑块 密度	平均斑块 形状指数	面积加权平均 斑块分维数
多因素加权求和模型	0.1533	1.8795	1.3968
K 均值空间聚类	0.1427	1.5109	1.1005

上述结果表明:基于耕地质量和空间聚类划定的基本农田斑块破碎度和不规则程度都比较小,集中连片程度比较高,基本农田形状比较规则,更有利于机械化作业,便于生产管理。基于多因素加权求和模型划定基本农田,仅以质量排序,片面追求基本农田的优质性,容易忽略集中连片的要求,单纯地将达到质量等级要求的耕地地块面积累加以达到上级政府下

达的基本农田保护数量目标要求,完成基本农田保护的目标。而本文提出的 K 均值空间聚类法既考虑到耕地质量的优质性,又结合了耕地图斑之间的距离,比较好地满足了基本农田集中连片的要求,是一种比较合理的基本农田划定方法。

3.7.3 基于 K 均值聚类划定的基本农田与现有基本农田对比分析 将从团风县第二次土地调查数据库中提取的上一轮土地利用总体规划确定的基本农田布局和本文确定的基本农田布局对比可得,在数量上,本文确定的基本农田数量比现有的基本农田少了 4 820 hm²。这主要因为一方面本研究在仅以十堰市下达的最低标准进行划定时优先保留了原有基本农田中的高等级、集中连片耕地,另一方面现有的基本农田由于某些原因忽视了基本农田集中管理的原则,单纯地将达到质量等级的耕地地块面积累加,同时还保留大量的建设用地、未利用地,以及不符合土地利用总体规划基本农田布局要求且不可调整或达不到耕地质量标准的农用地。在空间布局上,本研究划定的基本农田相对上轮而言大都集中在交通干线两侧,农村居民点附近,同时距离城镇又保持一定的距离。这主要因为本文在确定影响基本农田分布的区位因素时考虑到了城镇扩张占用基本农田的可能性,于是通过使用距城镇的距离这一指标为城镇建设预留了一定的缓冲区,从而既较好地满足了“集中连片”、便于耕种的要求,也保证了基本农田规划的稳定性和严肃性。

3.7.4 基于耕地质量和空间聚类确定的团风县基本农田布局分析 团风县基本农田主要分布在淋山河镇南部和西南部、团风镇北部、回龙山镇、马曹庙镇、但店镇南部及方高坪镇等地区。上述地区位于团风县南部、西南部,大部分属于长江沿江平原,少部分属于丘陵和岗地,地势平坦,海拔较低,土壤肥沃,交通便利,水源充足,农田灌排基础设施完善,分布在该地区的耕地田块普遍面积比较大,集中连片度高,自然质量和利用条件也比较好。而团风县北部和东北部的贾庙乡、杜皮乡和总路咀镇和但店镇西北部等地区是以大小崎山为主的中低山区和低山丘陵区,大部分地区地形起伏变化大,坡度大,空间形态破碎,地块零散,不易于农田机械运作和规模经营,少部分低丘岗地适合耕作,因此,较少部分的基本农田分布在上述地区。

4 结论

(1) 本文从基本农田划定的质优和集中入手,提出了一种基于耕地质量和 K 均值聚类的新方法,尤其是在构建耕地质量综合评价指标体系时为了更好地体现基本农田集中连片的要求引进了耕地连片性

和田块规整度指标,使得空间聚类的基本农田划定结果更为科学。从团风县基本农田划定实证分析以及相关景观指数的计算结果看,本文提出的方法相较于多因素加权求和模型的方法更为优秀,划定的基本农田集中连片和形状规则程度都比较高,以此为基础编制的基本农田保护规划和确定的基本农田布局更具有现实意义。

(2) 本文所采取的 K 均值空间聚类法首先要确定分类数,分类数的不同直接影响空间聚类的结果,也就影响基本农田划定的结果。同时使用 K 均值聚类法划定基本农田时定义的空间距离的不同也会导致基本农田划定结果的不同。如何更加科学合理地定义分类数和空间距离,以便科学划定基本农田,还需要进一步研究。

(3) 本文在构建耕地质量综合评价指标体系时由于难以量化等原因并没有考虑生态安全,城镇规划等对基本农田分布和生产的影响。耕地周边生态系统稳定性和地质灾害等生态问题对耕地可耕作性具有很大的影响;经济发展,城镇化扩张则容易大量占用耕地,有可能导致基本农田布局和规划频繁调整,影响基本农田规划的严谨性。如何量化考虑生态安全和城镇发展对基本农田划定的影响还需要进一步研究。

参考文献：

[1] 国土资源部,基本农田保护条例[M]. 北京:法律出版社,2003.

[2] 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.

[3] 周尚意,朱阿兴,邱维理,等. 基于 GIS 的农用地连片性分析及其在基本农田保护规划中的应用[J]. 农业工程学报,2008,24(7):72-77.

[4] 钱凤魁. 基于耕地质量及其立地条件评价体系的基本农田划定研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2011.

[5] 孙祥龙,涂建军,黄九松,等. 基于 ArcGIS 空间分析技术和农用地分等成果划定基本农田:以重庆市秀山县为例[J]. 西南大学学报:自然科学版,2014,36(8):130-135.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] 郭贝贝,金晓斌,杨绪红,等. 基于农业自然风险综合评价的高标准基本农田建设区划定方法研究[J]. 自然资源学报,2014,29(3):377-386.

[10] 傅伯杰,陈利顶,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2001.

[11] FAO. An international framework for evaluating sustainable land management[R]. Rome:FAO,1993.

[12] 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.



(上接第 315 页)

[14] 汤洁,毛子龙,王晨野,等. 基于碳平衡的区域土地利用结构优化:以吉林省通榆县为例[J]. 资源科学,2009,31(1):130-135.

[15] 陈溪,王子彦,匡文慧. 土地利用对气候变化影响研究进展与图谱分析[J]. 地理科学进展,2011,30(7):930-937.

[16] 刘荣霞,薛安,韩鹏,等. 土地利用结构优化方法述评[J]. 北京大学学报:自然科学版,2005,41(4):655-662.

[17] 孙丕苓,杨海娟. 商洛市土地利用结构优化的情景分析[J]. 水土保持通报,2012,32(2):200-205.

[18] 李超,张凤荣,宋乃平,等. 土地利用结构优化的若干问

题研究[J]. 地理与地理信息科学,2003,19(2):52-55.

[19] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 南京:南京大学,2010.

[20] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学:D 辑,2007,37(6):804-812.

[21] 路昌,雷国平,张慧,等. 黑龙江省哈尔滨市不同土地利用类型的碳排放效应分析[J]. 水土保持研究,2014,21(6):245-250.

[22] 吴有平,刘杰,何杰. 多目标规划的 LINGO 求解法[J]. 湖南工业大学学报,2012,26(3):9-12.