

基于监测单元划分方法的耕地质量监测效率研究 ——以内蒙古自治区开鲁县为例

张玉臻¹ 刘树明² 孔祥斌^{1*} 李月¹ 张蚌蚌¹ 张青璞¹

(1. 中国农业大学 资源与环境学院/国土资源部农用地质量与监测重点实验室,北京 100193;

2. 河北省土地整理服务中心,石家庄 050051)

摘要 从耕地质量监测角度出发,探索监测效率最优的耕地质量监测单元划分方法,并尝试构建耕地质量监测效率评价体系,为耕地质量监测工作提供理论支撑。以内蒙古自治区开鲁县为例,采用因素组合法、主导因素法、图斑法以及网格法4种方法划分耕地质量监测单元,并从耕地质量监测效果、精度以及成本3个方面构建评价体系,对4种方法的监测效率进行比较分析。结果表明,因素组合法划分的耕地质量监测单元的总分值最高,为89.23分,网格法因考虑的耕地质量属性因素较少且划分的单元数目较多,监测效率评价综合得分较低。采用的监测单元划分方法中,因素组合法更适合在县域尺度应用。

关键词 耕地质量监测;因素组合法;主导因素法;图斑法;网格法;效率;内蒙古开鲁县

中图分类号 F301.21

文章编号 1007-4333(2017)09-0154-10

文献标志码 A

Monitoring efficient study of arable land quality based on the monitoring unit division method: A case study of Kailu County in Inner Mongolia

ZHANG Yuzhen¹, LIU Shuming², KONG Xiangbin^{1*}, LI Yue¹,
ZHANG Bangbang¹, ZHANG Qingpu¹

(1. College of Resources and Environmental Sciences/Key Laboratory for Farmland Quality,

Monitoring and Control of the National Ministry of Land and Resources, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Service Center of Land Consolidation in Hebei Province, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract Quality and safety of cultivated land resources is the basis of national food security, and efficient arable land quality monitoring is an important task to protect national farmland resources quality. Inner Mongolia Kailu County area is selected for case study, and element association method, dominant factor method, polygon method and grid method are used to divide arable land quality monitoring unit. From three aspects, cultivated land quality monitoring accuracy, cost and effect, an evaluation system is constructed from the aspects of cultivated land quality monitoring accuracy, cost and effect three. By comparison, it is found that the element association method obtains the highest total score value, 89.23 points; Grid method gets the lowest score of 20.72 points because of the large number of cell division. Based monitoring unit division method proposed in this study, on one hand the foundation for reasonable layout of arable land quality monitoring sample points is built. On the other hand, according to the actual situation of the region, reasonable choice of partitioning method can effectively improve the efficiency of arable land quality monitoring.

Keywords arable land monitoring; element association method; the dominant factor method; polygon method; grid method; efficiency; Kailu County

收稿日期: 2016-07-25

基金项目: 北京市自然科学基金项目(8151001)

第一作者: 张玉臻, 硕士研究生, E-mail: zhangyuzhen66@126.com

通信作者: 孔祥斌, 教授, 博士, 主要从事土地资源可持续利用和土地资源评价研究, E-mail: kxb@cau.edu.cn

耕地是关系到国民经济和社会可持续发展的战略性资源,其利用和供给情况对经济发展有着直接的影响。随着我国社会经济的快速发展,城镇化和工业化进程的不断推进,大量的耕地资源被建设占用,耕地资源约束日益突出,主要表现在耕地数量锐减和耕地质量日趋衰退 2 个方面^[1]。因此,以现有土地资源调查和农用地分等等级成果为基础,进行耕地质量动态监测,不仅是对已有工作成果的应用和扩展,而且有助于掌握我国耕地质量动态变化,保护优质耕地,确保我国粮食安全^[2]。基于现有的农用地分等等级成果,对耕地质量进行动态监测,及时了解耕地质量变化情况、掌握耕地总体质量情况具有重要意义^[3]。同时,相关研究表明,城市建设和经济发展占用的耕地多为优质耕地,“占补平衡”往往是占优补劣,仅仅实现了数量平衡,无法实现质量平衡^[4]。因此,开展耕地质量监测,实时掌握耕地质量动态与空间分布,是进行永久基本农田划定,实现数量、质量“占补平衡”的重要抓手,对保障我国粮食安全战略具有重要现实意义。

国内外围绕耕地质量监测方法开展了大量研究,美国建立了国家资源清单,对耕地质量、数量及生产能力变化情况进行长期定位监测^[5-6];欧盟采用网格法^[7],加拿大利用“监测区-监测样点”的方法分别对全国的资源实施监测^[8]。同样,国内大量学者对耕地质量监测单元的划分方法进行了研究:相慧等^[9]采用空间叠置方法将自然质量分区、利用水平控制区以及经济等值区叠加划分了耕地质量控制分区;孙亚彬等^[10]以北京市大兴区为例,建立了“自然等别-主导因素”理论模型,划分监测控制分区;郭丽娜等^[11]以冀豫鄂为例,采用景观多样性指数法,并结合农用地资源的地域分异特征,划分耕地质量监测带;余述琼等^[12]提出以耕地质量等别为控制,采用熟制-土壤类型-海拔-土地利用系数-土地经济系数因素组合确定耕地质量监测分区的方法,即因素组合法。因此,目前国内外相关研究主要集中在监测单元划分方法,仅仅提到耕地质量监测应该考虑效果、精度和成本^[13],但是缺乏对耕地质量监测效率评价方法、指标以及技术体系的深入研究。

国土资源部历时 10 年完成全国农用地分等工作,并于 2009 年首次发布了农用地分等等级成果^[14];因此,如何在现有农用地分等等级成果及更新资料的基础上,有效地获取耕地质量变化信息,进行合理的耕地质量监测单元划分,是决定后期监测样点布设和耕

地质量监测效率的关键。本研究旨在构建基于耕地质量监测单元划分方法的耕地质量监测效率评价体系,以期快速、准确、低成本进行耕地质量监测提供理论参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

开鲁县位于内蒙古自治区东部、通辽市西部,地处东经 121°25′~122°52′、北纬 43°16′~44°09′;属温带大陆性季风气候,年平均气温 6.6℃,年平均降水量 334.3 mm,最高年降水量 559.3 mm,最低年降水量 171.4 mm;位于西辽河冲积平原西部,地貌成因属堆积类型,西辽河水系泛滥沉积,使沿河两岸出现了宽阔的河漫滩;土壤共分草甸土、风沙土、盐土和沼泽土 4 个土类,大部分地区土壤不存在障碍层,个别区域障碍层分布在 90 cm 以下,部分地区存在盐渍化问题。

1.2 数据来源

本研究采用的土壤图,来源于中国科学院南京土壤研究所与中国农业部土壤环境处数字化 1:100 万全国土壤图;DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(<http://www.gscloud.cn>);开鲁县障碍层距地表距离、灌溉保证率、盐渍化程度、土壤有机质含量、土地利用系数、经济系数等耕地质量相关数据以及开鲁县土地利用现状数据来源于农用地分等等级成果。

2 研究方法

2.1 监测单元划分方法

采用因素组合法、主导因素法、图斑法以及网格法进行耕地质量监测单元划分,并探讨不同监测单元划分方法对耕地质量监测效率的影响。在划分监测单元时充分考虑了气候、地形地貌、土壤、利用水平以及投入-产出等因素,这些因素与农用地分等等级指标体系^[15-16]中的部分指标一致,有利于加强耕地质量监测工作与农用地分等等级工作的衔接。

2.1.1 因素组合法

采用因素组合法^[12]划分耕地质量监测单元的方法:1)影响耕地质量的自然因素主要有气候、地质、地貌以及土壤等因素,各因素间相互作用,共同对耕地的自然本底产生影响;研究对象为县域,气候因素在县域内基本一致,因此,根据地质、地貌以及土壤因素划分自然质量分区;2)耕地利用分区主要

反映耕地的利用水平,依据土地利用系数值进行划分;3)依据耕地投入-产出和效益等影响耕地收益水平的因素,划分经济水平分区;4)对自然质量分区、利用分区和经济分区进行空间叠置,得到耕地利用特征分区,各分区即为单独的耕地评价单元。研究区内的每个耕地评价单元即为监测耕地质量等别变化的监测单元。

2.1.2 主导因素法

主导因素法是指根据影响耕地质量的因素种类及作用的差异,分析对耕地质量变化产生影响的主要因素。依次对耕地等别与农用地分等因素进行相关性分析,依据相关系数大小确定对耕地质量影响最大的分等因素,划分耕地质量监测单元。

2.1.3 土地利用现状图斑法

土地利用现状图斑法是以土地利用现状图为底图,从耕地在空间上的分布特性出发,依据集中连片的原则,将空间上相对集中连片的同一类型(水田、水浇地、旱地)的耕地图斑作为一个整体,以此为基础形成耕地评价单元^[16]。该方法也是目前划分耕地质量监测单元的主要方法。

2.1.4 网格法

采用地统计学理论,以变异函数为理论基础,研究监测单元之间最大相关半径,并以此确定网格大小^[17-19]。计算公式如下:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sqrt{\sum_{i=1}^{n_1} \omega_i \times \gamma_{ij} + \mu} \quad (1)$$

$$\gamma_{ij} = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ c_0 = (c - c_0) \times \left[\frac{3h}{2\alpha} - \frac{h^3}{2\alpha^3} \right] & 0 < h < \alpha \\ c & h \geq \alpha \end{cases} \quad (2)$$

式中: n 为县域耕地分等单元总数; n_1 为监测单元数; ω_i 为监测点*i*对估计点*j*的贡献权重; γ_{ij} 为半变异函数值,考虑块金效应的影响; h 为监测点*i*对估计点*j*之间的距离; α 为拟合的半变异函数确定的变程; c 为基台值; c_0 为块金值; μ 为常数。

2.2 监测单元划分方法评价体系

在已有的耕地质量变更调查、成果更新以及国家耕地质量监测过程中,如何用最小的成本达到最好的监测效果是本研究的目的。因此,从监测效果、监测精度以及监测成本3个方面构建指标体系对耕地质量监测效率进行评价,其中监测效果选取监测单元划分时考虑的耕地质量属性信息个数以及各质量信息变异系数均值等进行衡量;监测精度选取监测单元面积作为衡量指标;监测成本选取监测总面积、监测单元个数作为衡量指标。本研究假设:1)每个监测样点的布设及监测成本相同,为单位1;2)各种方法选取监测样点的方法均相同。在此基础上,监测单元的划分方法与结果,对耕地质量等别监测效率有决定作用。采用层次分析法依次确定各指标的权重,评价指标体系由此建立(表1)。

表1 监测效率评价指标体系

Table 1 Monitoring efficiency evaluation index system

决策层 Decision-making level	准则层 Criterion level	因素层 Factor level	说明 Introduction
监测效率	监测效果	质量属性数量	监测单元划分时选择的耕地质量要素的数量,如:海拔、土壤类型、土地利用类型等
		各属性变异系数均值	
监测成本	监测精度	监测单元面积均值	监测单元平均面积大小
		监测单元面积变异系数	
		监测总面积	实际监测总面积及监测单元个数
		监测单元个数	

注:指标体系中的描述性指标如高、中、低等分别用1、2、3代替,无属性值因其利用类型不是耕地,故赋值为0。

Note: Descriptive indicators such as high, medium and low are replaced with 1, 2, 3 in indicator system; No attribute value is replaced with 0, because its use type is non-cultivated land.

3 监测单元划分结果

3.1 基于因素组合法的耕地质量监测单元划分

1) 确定地貌分区

开鲁县地处西辽河冲积平原西部,地貌以平原为主,平均高度 242 m。本次地形因素的划分依据海拔高度,将开鲁县 DEM 图与村界进行叠加分析,计算每个村庄的平均海拔,以不打破村庄边界为基本原则,按村庄平均海拔高度 195~242 和 242~330 m 进行分类,将开鲁县分为 2 个地貌分区:西部地势较高区,东部地势平坦区(图 1(a)所示)。

2) 确定土壤类型分区

依据全国土壤类型图,得到开鲁县主要的 3 大土壤类型是潮土、栗钙土、风沙土,并以此将开鲁县分为三大土壤类型区:潮土区、栗钙土区以及风沙土区(图 1(b)所示)。

3) 确定土地利用、经济等值区

基于开鲁县农用地分等数据库,根据农用地分等单元的土地利用系数、土地经济系数,本研究采用空间聚类的方法,将全县利用系数分为高(>0.5)、中($0.2\sim 0.5$)、低(<0.2)3 个档次,并以此划分 3 个系数等值区(经济系数同样)。土地利用系数等值区内土地利用水平相近,等值区间土地利用水平差异明显;土地经济系数等值区内土地收益水平相近,等值区间收益水平有明显差异(图 1(c)所示)。

4) 划定监测单元

将地貌分区、土壤类型分区、系数等值区进行空间叠加,形成分区单元,以不打破行政界线为前提,对分区单元进行调整;再将面积较小的单元与临近区进行的归并,最终将开鲁县划分为 9 个监测单元,从左上角开始,以大写字母 J-开头按顺序对监测单元进行编号(图 1(d),表 2 所示)。



(a)地貌分区 Landscape zones;(b)土壤类型分区 Soil type zones;(c)系数等值区(利用系数等值区和经济系数等值区相同) Factor equivalence zones;(d)监测单元 Monitoring units

图 1 因素组合法监测单元划分

Fig.1 Monitoring unit division by element association method

表2 监测单元主要属性(因素组合法)

Table 2 Attribute of monitoring units by element association method

监测单元编号 Label of unite	地貌类型 Geomorphic type	土壤类型 Soil type	土地利用分区 Land use zone	土地经济分区 Land economic zone
J-1	地势平坦区	栗钙土	低	低
J-2	地势平坦区	潮土	低	低
J-3	地势较高区	风沙土	高	高
J-4	地势平坦区	栗钙土	高	高
J-5	地势平坦区	潮土	高	高
J-6	地势较高区	潮土	高	高
J-7	地势平坦区	栗钙土	中	中
J-8	地势平坦区	栗钙土	高	高
J-9	地势平坦区	潮土	高	高

3.2 基于主导因素法的监测单元划分

通过分析影响耕地质量的分等因素,找出影响耕地质量等别变化的主导因素。根据现有数据情况,选定为障碍层距地表距离、灌溉保证率、盐渍化程度、土壤有机质含量4个因素,按照《农用地分等规程》分别将其划分为相应的等级,然后与耕地质量等别进行相关性分析(表3)。

由表3可见,障碍层距地表距离因素与耕地质量等别的显著性程度为0.0043,在0.05的显著性水平下显著,其他因素显著性程度均<0.0001,相关性程度显著。4个因素的相关性系数大小依次为:灌溉保证率>盐渍化程度>土壤有机质含量>障碍层距地表距离,灌溉保证率的相关性系数最大,为0.62989,障碍层距地表距离的相关性最小,为0.03145,并且各影响因素的等级与耕地质量等别呈现正相关性。根据相关情况选取灌溉保证率、盐渍化程度与土壤有机质含量作为影响耕地质量的主

导因素,然后分别对这3种影响因素进行空间聚类分析,并与村界行政区划进行叠加,将小片零碎区域与周围进行合并,得到不同要素的分区图(图2)。其中均出现无属性值区域情况,原因是该区域没有耕地分布,缺少相应属性值。

将灌溉保证率分区、盐渍化程度分区、土壤有机质含量分区进行空间叠加,形成分区单元,以不打破行政界线为前提,对分区单元进行调整;再将面积较小的单元与临近区进行的归并,最终将开鲁县划分为16个监测单元,从左上角开始,以大写字母K-开头按顺序进行编号(图2(d)、表4)。

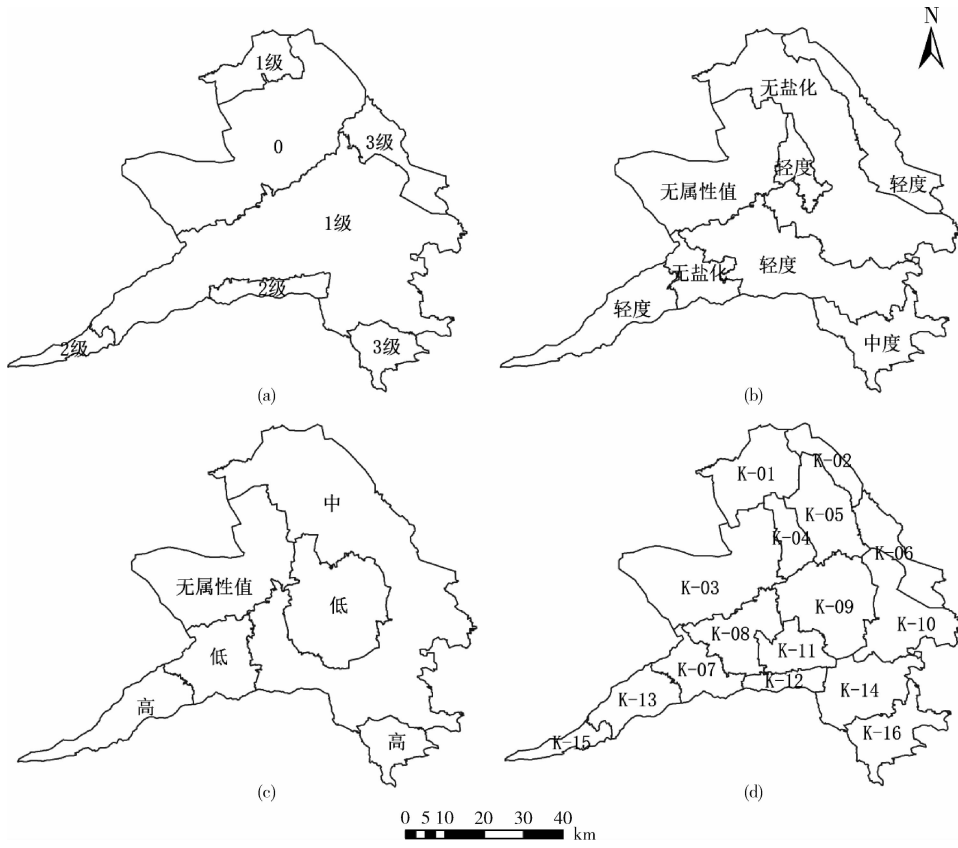
3.3 基于耕地利用现状的监测单元划分

以开鲁县土地利用现状图为底图,依据集中连片的原则,将空间上相对集中连片的同一类型耕地图斑作为一个监测单元,开鲁县共划分为7个监测单元(表5)。从左上角开始,以大写字母N-开头按顺序进行编号,划分结果如图3所示。

表3 耕地质量等别与影响因素相关性分析结果

Table 3 Relevant analysis between gradation of cultivated land and factors

数据类 Data class	障碍层距地表距离 Depth of barrier layer	灌溉保证率 Probability of irrigation	盐渍化程度 Degree of salinity	土壤有机质含量 Organic content
相关性系数	0.0315	0.6299	0.0517	0.0474
显著性程度	0.0043	<0.0001	<0.0001	<0.0001



(a)灌溉保证率分区 Irrigation guarantee rate;(b)盐渍化程度分区 Degree of salinity;(c)有机质含量分区 Organic content;
(d)监测单元划分 Monitoring units

图 2 主导因素分区

Fig. 2 Dominant factor zones

表 4 监测单元主要属性(主导因素法)

Table 4 Attribute of monitoring units by dominant factor method

单元编号 Label of unite	灌溉保证率 Probability of irrigation	盐渍化程度 Degree of salinity	有机质含量 Organic content
K-01	—	—	—
K-02	—	轻度	中
K-03	—	—	—
K-04	1	轻度	低
K-05	1	无盐化	中
K-06	3	轻度	中
K-07	2	无盐化	低
K-08	1	轻度	低
K-09	1	轻度	低
K-10	1	无盐化	中
K-11	2	无盐化	低
K-12	2	轻度	中
K-13	1	轻度	高
K-14	1	中度	中
K-15	2	轻度	高
K-16	3	中度	高

注：—表示没有相应的属性值，为无耕地区域。

Note: There isn't attribute value in the zone of non-cultivated land, so it's blank in the table.

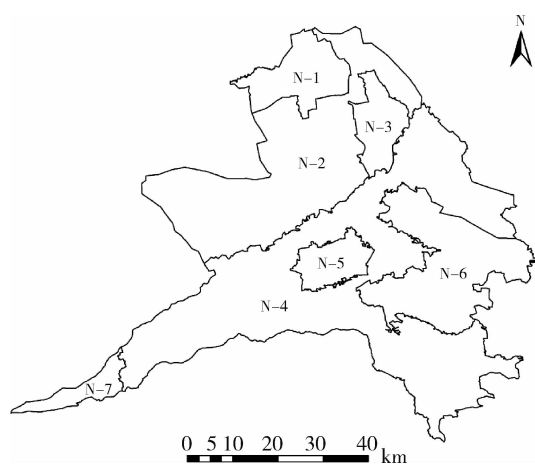


图3 基于现状图斑的监测单元划分

Fig. 3 Monitoring units by polygon method

表5 监测单元主要属性(图斑法)

Table 5 Attribute of monitoring units by polygon method

监测单元编号 Label of unit	地类 Land use type
N-1	水浇地
N-2	其他地类
N-3	旱地
N-4	水浇地
N-5	其他地类
N-6	其他地类
N-7	水田

3.4 网格法划分监测单元

对内蒙古自治区开鲁县耕地自然等指数进行半变异函数拟合,拟合后的变异函数参数如表6所示。

表6 变异函数拟合参数

Table 6 Parameters of variation function

区域变量 Variation	半变异模型 Semivariance function	块金值 (C_0) Nugget	基台值 ($C_0 + C$) Sill	变程(r) Range
自然质量 等指数	球状	2 390	27 960	3 000

从表6中可以看出,开鲁县耕地质量的最大相关距离为3 km,说明0~3 km,单元的距离越小,空间相关性越大。当增加到3 km时,单元间的空间

相关性变小,因此监测单元之间的距离至少为3 km。综合考虑规则格网变程大小^[20],本研究确定采用5 km×5 km的规则格网划分耕地质量监测单元,并将耕地集中区域中耕地面积不足1 250 km²的网格进行临近归并,最终将监测单元数目调整为109个,划分结果如图4所示。

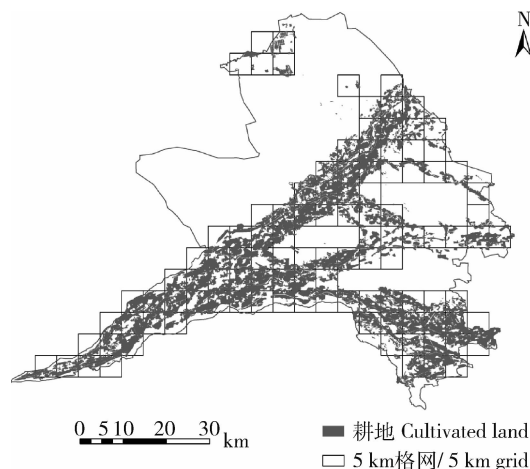


图4 网格法划分监测单元

Fig. 4 Monitoring units by grid method

4 不同监测单元划分方法效率比较

耕地质量监测单元的合理划分对之后的监测工作起着重要作用,直接影响着监测工作的效率、精度以及可操作性等,研究不同监测单元划分方法与结果的差异,分析它们在耕地质量监测工作中的优劣,结合区域实际情况,确定一个效率高、精度好、易操作的耕地质量监测单元划分方法,以达到科学监测、节约成本、提高效率的目的。

4.1 监测效率评价体系建立

根据《农用地分等规程》中对各要素的评价分级情况,以及实际中对于耕地质量的影响好坏,将各要素值进行打分评级为1、2、3……,其中1为1级,表示对耕地质量影响正向作用最大,以此类推,由此得到各监测单元划分方法的监测效率指标实测值如表7所示。

由表7可知,在监测效果上,因素组合法和主导因素法的属性个数分别为4、3,且因素组合法指标的变异系数最大,说明各划分监测单元的各属性之间差异明显,因此对于耕地质量监测单元划分,耕地质量属性个数越多效果越佳;在监测精度上,监测单元的面积越小,其监测的精度越大,但随着精度的增

表 7 各监测单元划分方法监测效率指标实测值

Table 7 Index actual values of different methods

评价指标 Evaluation index		划分方法 Divided method			
		因素组合法 Element association method	主导因素法 Dominant factor method	图斑法 Polygon method	网格法 Grid method
监测效果(耕地 质量属性)	数量	4	3	1	1
	属性变异系数平均值/%	45.15	42.06	35.36	—
监测精度 (监测单元)	极大值/10 ³ hm ²	106.09	68.62	193.51	2.5
	极小值/10 ³ hm ²	18.54	9.55	10.30	2.5
	平均值/10 ³ hm ²	48.38	27.22	62.21	2.5
	标准差	26.43	14.71	63.21	0
	变异系数/%	54.62	54.04	101.62	0
监测成本	监测总面积/10 ³ hm ²	124.98	124.98	124.98	124.98
	监测单元数/个	9	16	7	109

加,监测单元间的差异性及其离散程度会随之变小,使得监测精度意义变小,4种方法监测精度最大的是网格法;对于监测成本指标,4种方法监测总面积一致,均为全县耕地面积,监测单元数越少,则监测成本越小。

4.2 各监测单元划分方法监测效率比较定量分析

对于监测效果、监测精度以及监测成本的评价指标,其权重根据不同地点的不同情况以及管理者对于耕地质量监测工作的重视程度而不同,本研究采用层次分析法确定各级评价指标的权重,其中对监测效率影响较大的监测效果和监测成本赋予相对

较高的权重,监测精度指标的权重最小。为了使评价指标之间有可比性,本研究将4种监测单元划分方法的各种监测效率评价指标均折算为0~100的相对值,其中对于耕地质量正向影响最大的为100,其他根据数据相对情况按照比例赋值,各指标的评价分值如表8所示。

由表8可知,因素组合法分值最大为89.23分,监测评价效率相对最优,主导因素法和图斑法次之;网格法确定的监测单元数目较多,且选择的耕地质量属性因素较少,导致耕地质量监测效率评价所得分值最低,仅为20.72分。

表 8 不同监测单元划分方法监测效率指标评价分值

Table 8 Index score of different methods

监测单元 划分方法 Zoning method of monitoring unite	耕地质量属性指标(权重) Attribute index		监测单元面积指标(权重) Area index		监测成本指标(权重) Cost index		加权后分值 Total scores
	个数 (0.50) Number	变异系数均值 (0.16) Mean of variation	平均值 (0.03) Mean	变异系数 (0.08) Variation	监测面积 (0.04) Area	监测单元数 (0.19) Number of unite	
因素组合法	100.00	100.00	5.17	53.75	100.00	77.78	89.23
主导因素法	75.00	93.16	9.18	53.18	100.00	43.75	69.25
图斑法	25.00	78.31	4.02	100.00	100.00	100.00	56.15
网格法	25.00	0.00	100.00	0.00	100.00	6.42	20.72

4.3 不同监测单元划分方法监测效率定性比较分析

1)对于基于因素组合划分监测单元的方法,其

耕地质量属性信息需要获取较多,因此在信息获取较易较全面的情况下可以采用这种方法;其划分出

的监测单元面积相对较小,因此监测精度较大;对于监测成本因监测单元覆盖整个土地利用类型,并且监测较为精细,因此监测成本较大。此种方法较适宜于耕地质量信息较易获取的情况。

2)对于基于主导因素划分监测单元的方法,其需要获取影响耕地质量变化最为显著的信息,对于影响耕地质量的最显著因素在空间上进行聚类分析,其在农用地等级更新等成果的基础上,需剖析气候变化、土壤沙化、土壤盐渍化、水土流失等影响耕地质量的驱动力,并要以农业气象学、土壤学、土壤地理学、植物生理学、地统计学等为指导获取相关数据,在监测效果上较强;在监测精度上,因监测单元划分较多,各监测单元面积较小,因此监测精度更高;在监测成本上,因其有考虑衡量耕地质量变化因素,因此未发生明显变化区域可以不监测,进而节约成本。此种方法较适宜于区域耕地质量变化显著的区域,并且获取数据较为容易的情况。

3)对于基于现状图斑划分监测单元的方法,其根据耕地利用类型进行划分,因此监测效果在耕地质量呈现明显差异地区不明显;其监测精度也因各耕地质量因素属性单一而大打折扣;但是这种方法的监测成本大幅度下降。所以这种方法适宜于区域耕地连片,且差异变化不显著地区的地区。

4)对于基于网格法划分耕地质量监测单元的方法,因采用统一大小的网格划分监测单元,单元面积小、数量多,造成该方法在监测成本方面分值较低,但是在监测精度方面,网格法划分耕地质量监测单元的方面,精度最高,且该方法不需要耗费长时间分析耕地质量因素。该方法在本研究的评价指标体系中总分值最低,但是网格法对耕地质量监测工作的便捷性及有效衔接不同层次耕地质量监测方面值得探讨。

5 结论与讨论

1)本研究综合分析国内外耕地质量监测方法,选用因素组合法、主导因素法、图斑法以及网格法对耕地质量等别监测单元进行划分,并将这4种方法在内蒙古自治区开鲁县进行应用,然后通过监测效果、监测精度、监测成本3个评价指标对各监测方法的监测效率进行定量化分析比较,结果表明4种方法监测效率综合评分为:网格法 20.72分 < 图斑法 56.15分 < 主导因素法 69.25分 < 因素组合法 89.23分,因此在耕地质量等别监测效率评价体系

中,因素组合法得分最高,其划分耕地质量监测单元的方法相对效率最高。

2)因素组合法划分耕地质量监测单元需获取信息较多,较适宜于耕地质量信息较易获取的情况;主导因素法划分耕地质量监测单元的方法,需要耕地质量信息丰富,监测效果较好,监测精度较高,监测成本因当地实际情况有一定差异,该方法适宜于区域耕地质量变化显著区域;图斑法,因其划分单元所需数据较少,划分单元数量较少,适宜于区域耕地连片且耕地质量差异变化不显著地区;网格法,因其划分的耕地单元数量做多,导致效率评价分值较低。

3)本研究假设各种监测单元划分方法的后续工作相同,且均依据监测单元的成果,将问题进行了简化处理,以便于分析比较,因此有一定的局限性;对于监测分区方法的效率评价指标的权重因管理及现实需要的不同而可能使结果不同,但该方法可以推广到不同监测尺度,不同地区以及不同监测要求之中。对开鲁县,最优划分耕地质量监测单元的方法为因素组合法;但是,随着区域的变化指标权重会改变,不同耕地质量监测单元最后的评价总分排序就会出现变化。因此,本研究仅是提供了耕地质量监测单元的几种划分方法以及相应的效率评价方法,至于上述何种监测单元划分方法最优仍要因地制宜。

4)本研究在划分耕地质量监测单元时考虑的是耕地生产能力影响因素,并未考虑耕地质量的生态环境因素;但是,国土资源部在基于生产能力要素的耕地质量评价、监测背景下,“十三五”期间正在逐步试点并推进耕地质量的生态环境因素评价和监测;因此,在下一步的研究中,应结合国土资源部的最新实践需求,在进行监测单元划分时,综合考虑耕地质量生产能力因素和生态环境因素。

参考文献 References

- [1] Kong X B. China must protect high-quality arable land[J]. *Nature*, 2014, 506(7486): 7
- [2] 王洪波, 鄯文聚, 吴次芳, 苏强, 彭茹燕. 基于农用地分等的耕地产能监测体系研究[J]. *农业工程学报*, 2008(4): 122-126
Wang H B, Yun W J, Wu C F, Su Q, Peng R Y. Farmland productivity monitoring system based on farmland gradation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008(4): 122-126 (in Chinese)
- [3] 蔡鹭斌. 湖南省耕地质量监测布点方法研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014
Cai L B. Study on layout method for arable land quality

- monitoring site in Hunan Province [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014 (in Chinese)
- [4] Song W, Pijanowski B C. The effects of China's cultivated land balance program on potential land productivity at a national scale[J]. *Applied Geography*, 2014, 46: 158-170
- [5] 李奕志, 李立强, 孔祥斌, 蔡鹭斌. 美国国家资源清单及其对中国耕地质量动态监测的启示[J]. *中国土地科学*, 2014(7): 82-89
- Li Y Z, Li L Q, Kong X B, Cai L B. The national resources inventory in the US and its implication to China's dynamic monitoring on cultivated land quality[J]. *China Land Sciences*, 2014(7): 82-89 (in Chinese)
- [6] Maiti T, Miller C P, Mukhopadhyay P K. Neural network imputation: An experience with the National Resources Inventory survey[J]. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 2008, 13(3): 255-269
- [7] Mol G, Vriend S P, van Gaans P F M. Future trends, detectable by soil monitoring networks? [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1998, 62(1/2/3): 61-66
- [8] 蔡鹭斌, 孔祥斌, 段建南, 相慧. 国外经验对中国耕地质量监测布点的启示[J]. *中国农学通报*, 2014(14): 192-197
- Cai L B, Kong X B, Duan J N, Xiang H. Layout for monitoring quality of arable land of China: Inspiration from overseas experience [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014(14): 192-197 (in Chinese)
- [9] 相慧, 孔祥斌, 陈培雄, 李立强. 县域耕地质量等别监测样点布控研究: 以内蒙古自治区达拉特旗为例[J]. *资源科学*, 2014, 36(6): 1203-1210
- Xiang H, Kong X B, Chen P X, Li L Q. Establishing monitoring samples of arable land at the County level: A case study of dalate district in Inner Mongolia[J]. *Resources Science*, 2014, 36(6): 1203-1210 (in Chinese)
- [10] 孙亚彬, 吴克宁, 胡晓涛, 周子健, 马建辉. 基于潜力指数组合的耕地质量等级监测布点方法[J]. *农业工程学报*, 2013(4): 245-254
- Sun Y B, Wu K N, Hu X T, Zhou Z J, Ma J H. Layout method for monitoring quality level of arable land based on combination of potential index[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013(4): 245-254 (in Chinese)
- [11] 郭力娜, 马仁会, 徐东瑞, 张凤荣, 姜广辉. 农用地等别质量监测带布设方法探讨: 以冀豫鄂三省为例[J]. *资源科学*, 2008, 30(8): 1199-1205
- Guo L N, Ma R H, Xu D R, Zhang F R, Jiang G H. Methods of setting up farmland grade monitoring belts in Hebei, Henan and Hubei[J]. *Resources Science*, 2008, 30(8): 1199-1205 (in Chinese)
- [12] 余述琼, 张蚌蚌, 相慧, 孔祥斌. 基于因素组合的耕地质量等级监测样点布控方法[J]. *农业工程学报*, 2014(24): 288-297
- Yu S Q, Zhang B b, Xiang H, Kong X B. Layout method for monitoring sample point of arable land quality level based on combination of factors[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014(24): 288-297 (in Chinese with English abstract)
- [13] 张蚌蚌, 孔祥斌, 相慧, 张青璞. 中国西部区国家级标准样地分布特征及代表性[J]. *农业工程学报*, 2014(7): 227-235
- Zhang B B, Kong X B, Xiang H, Zhang Q p. Distribution characteristics and representative test of national standard farmland in Western China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014(7): 227-235 (in Chinese)
- [14] 程锋, 王洪波, 郎文聚. 中国耕地质量等级调查与评定[J]. *中国土地科学*, 2014(2): 75-82
- Cheng F, Wang H B, Yun W J. Study on investigation and assessment of cultivated land quality grade in China[J]. *China Land Sciences*, 2014(2): 75-82 (in Chinese)
- [15] 张凤荣, 安萍莉, 胡存智. 制定农用地分等定级野外诊断指标体系的原则、方法和依据[J]. *中国土地科学*, 2001(2): 31-34
- Zhang F R, An P L, Hu C Z. The principle, method and basis of the evaluation system for field diagnostic index system of gradation and classification on agricultural land quality[J]. *China Land Sciences*, 2001(2): 31-34 (in Chinese)
- [16] GB/T 28407—2012. 农用地质量分等规程[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会发布.
- GB/T 28407—2012. Regulation for gradation on agriculture land quality [S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China and Standardization Administration of China (in Chinese)
- [17] 祝锦霞, 徐保根, 章琳云. 基于半方差函数与等别的耕地质量监测样点优化布设方法[J]. *农业工程学报*, 2015(19): 254-261
- Zhu J X, Xu B G, Zhang L Y. Optimization layout method of monitoring sample points of cultivated land quality based on semi-variance analysis and grade combination[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015(19): 254-261 (in Chinese)
- [18] 王倩, 尚月敏, 冯锐, 胡晓涛, 吴克宁. 基于变异函数的耕地质量等别监测点布设分析: 以四川省中江县和北京市大兴区为例[J]. *中国土地科学*, 2012(8): 80-86
- Wang Q, Shang Y M, Feng R, Hu X T, Wu K N. Study on location sampling for monitoring the quality of arable land based on variation functions: Case studies in Zhongjiang County and Daxing District[J]. *China Land Sciences*, 2012(8): 80-86 (in Chinese)
- [19] 杨建宇, 岳彦利, 宋海荣, 叶思菁, 赵龙, 朱德海. 基于空间平衡法的县域耕地质量监测布样方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(24): 274-280
- Yang J Y, Yue Y L, Song H R, Ye S J, Zhao L, Zhu D H. Sampling distribution method for monitoring quality of arable land in county area based on spatial balanced[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(24): 274-280 (in Chinese)
- [20] GB/T 12409—2009. 地理格网[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会发布
- GB/T 12409—2009. Geographic grid [S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China and Standardization Administration of China (in Chinese)