

引用格式:慕正隆,石培基,刘春芳,等. 基于形态优化和边界识别的基本农田保护区研究[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 22-31.
[Mu Z L, Shi P J, Liu C F, et al. Basic farmland protection area based on morphological optimization and boundary identification[J].
Resources Science, 2018, 40(1): 22-31.] DOI: 10.18402/resci.2018.01.03

基于形态优化和边界识别的基本农田保护区研究

慕正隆, 石培基, 刘春芳, 郑海松

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要:划定基本农田保护区是保障国家粮食安全,提高粮食综合生产能力的重要举措。然而,2011年修订的《基本农田保护条例》只强调将优质耕地划入基本农田保护区,却没有对保护区形态做出明确要求,导致保护区地块数量多,边界线长且模糊不清,无形中增大了基本农田被占用的风险。基于此,本文拟采用逐级修正多因素综合评价法、基于Moran's I指数的局部空间自相关分析、GIS空间分析方法,以甘肃省榆中县2015年耕地为基础,对基本农田保护区进行优化。结果表明:①榆中县耕地质量总体是中等水平,其中高等地与中等地合计占79.76%。高质量耕地聚集区(HH)和低高集聚区(LH)可以划入基本农田保护区;②经过边界识别,共划定11个基本农田保护区,总面积75 878.17hm²,其中平原区3个,丘陵区5个,山地区3个。与优化前相比,能够完成土地利用总体规划确定的目标,图斑数量减少,单位图斑面积增大,边界线缩短且明确,景观格局优化。该研究过程和方法可为相关工作的开展提供参考。

关键词:耕地质量;空间集聚;基本农田保护区;边界识别;榆中县

DOI: 10.18402/resci.2018.01.03

1 引言

粮食安全事关国民经济与社会发展全局,是保障国家安全的重要基石^[1]。耕地作为粮食生产资料,对于保障国家粮食安全具有举足轻重的地位^[2, 3]。随着城镇化、工业化进程的加快,中国耕地资源保护的面临严峻挑战。基本农田作为保护耕地的重要抓手,是土地利用总体规划确定的不得占用的耕地,对于协调耕地保护和经济建设之间的关系,保障国家粮食安全具有重要意义。然而,2011年修订的《基本农田保护条例》只强调将优质耕地划入基本农田保护区,却没有对保护区形态做出明确要求,导致实际划定中保护区地块数量多,边界线长且模糊不清,无形中增大了基本农田被占用的风险。

当前,学术界对基本农田的筛选及保护区划定研究也是一个热点问题^[4-12],既有从土地评价的角度出发,研究耕地质量影响因素^[6-10]、借鉴农用地分等

及产能核算成果^[4, 11]等方法划定基本农田保护区;也有从基本农田功能定位^[5]、耕地历史动态变化过程^[12]的角度考虑问题。然而以上研究仅重视如何筛选优质耕地,却对基本农田保护区内耕地的集中连片、形态与边界优化、边界识别的研究较少。导致基本农田分散、细碎化,保护区边界复杂,实地不宜识别,保护区的“阻隔屏障”功能无法发挥,不仅限制了农业规模化生产,更增大了非农建设占用的风险,给耕地保护造成极大的压力。

基于Moran's I指数的局部空间自相关分析方法可识别不同空间位置上相似和不相似样本的空间集聚程度^[13],即样本集聚程度高低的具体空间分布,并识别空间异质性^[14]。此方法可以识别优质耕地的空间集聚区,也可以剔除夹杂在集聚区中的变异值,能够为划定基本农田保护区提供帮助。本文以甘肃省榆中县为例,以2015年土地变更调查成果

收稿日期:2017-03-27;修订日期:2017-10-10

基金项目:国家自然科学基金项目(41771130)。

作者简介:慕正隆,男,甘肃庆城人,硕士生,主要研究方向为城市与区域发展、国土整治。E-mail: mzxbsd@163.com

通讯作者:石培基, E-mail: xbsdspj@163.com

2018年1月

中的耕地为研究对象,评价其耕地质量,采用局部空间自相关方法分析耕地质量的空间集聚格局,并借助实际地物特征,利用GIS空间分析方法对保护区边界进行识别,以期划定集中连片、优质高产、稳定性高、边界清晰的基本农田保护区。

2 研究区概况及数据来源

2.1 研究区概况

榆中县地处甘肃省兰州市,地理位置介于 $35^{\circ}34'20''\text{N}$ - $36^{\circ}26'30''\text{N}$, $103^{\circ}49'15''\text{E}$ - $104^{\circ}34'40''\text{E}$ 之间(图1),总面积 3295km^2 ,占兰州市的24.97%。地势南高北低,中部凹,呈马鞍形,地貌分南部山地、中部河谷川滩盆地、北部黄土梁峁沟谷丘陵区。耕地主要分布在梁峁顶部、沟谷底部以及河谷川滩盆地较平坦的区域^[15]。全县由于地形复杂,降雨量分布极其不均,由东南向西北减少,东南部年均 550mm 以上,西北部却低于 250mm ^[16]。地表水年总径流量 5349万m^3 ,主要有发源于南部马衔山、兴隆山的自产水和入境黄河客水,形成南山自流灌区、中部和西北部电灌区,是全县农业生产最宝贵的水资源^[16]。榆中县现辖20个乡镇、168个行政村。2015年年末人口总数44.50万人,其中农业人口39.61万人,农民人均纯收入8100元。全县耕地面

积 $111\,926.29\text{hm}^2$,占兰州市总耕地面积的40%,有效农田灌溉面积占33.87%,是全市重要的农业县和国家高标准农田建设示范县。

随着经济社会发展,榆中县已成为兰州城市发展的东扩区域,城市建设、产业发展对耕地保护造成极大压力。同时南部具有“陇佑名山”之称的兴隆山国家级自然保护区是兰州及其周边重要水源涵养区,全国主体功能区划确定的禁止开发区,生态功能尤为突出^[17]。因此,在榆中县及时划定基本农田保护区,落实基本农田保护红线,对当地耕地保护、生态建设、防止城市无序蔓延都具有重要的意义。

2.2 数据来源

本文采用数据项主要有:①土壤(有效土层厚度、土体构型、土壤有机质含量、表层土壤质地)来源于榆中县农用地分等数据(2013年)^[18];②地貌(地貌类型、沟谷)来源于榆中县志中地形图^[19];③路网来源于县交通运输规划^[20];④地质灾害来源于县地质灾害防治规划(2010—2030年)^[21];⑤水资源(年均降雨量、灌溉状况、沟渠)来自于县水利志^[22];⑥土地利用现状(耕地面积与坡度、村庄、田间道路数据)来源于土地变更调查数据(2015年)^[23];⑦土地利用规划用途来源于榆中县土地利用总体规划图(2009—2020)^[24];⑧土壤污染来源于环保局土壤污染调查^[25];⑨统计数据来源于榆中县2015年统计提要^[26]。

3 评价指标选取与研究方法

3.1 评价指标选取

耕地质量是多层次的综合概念,是指对耕地的自然、环境和经济等因素水平的综合评价^[27]。内容包括耕地的地力质量、工程质量、空间质量、生态环境质量等^[28]。本文以土地变更调查成果中的耕地图斑作为评价单元,拟从以上四个方面,同时考虑耕地的稳定性,构建耕地质量综合评价指标体系,借鉴张忠^[31]、边振兴^[29]、宋戈^[30]等人百分赋值指标量化方法及取值区间的研究成果,确定本文指标量化结果。

(1)地力质量、工程质量依据农用地质量分等成果分别选取地貌类型、耕地坡度、年平均降水量、有效土层厚度、土体构型(土地的剖面结构)、土壤有机质含量、耕作层土壤质地7个指标^[6,7,29,30]和灌溉保证率、田间道路通达度2个指标^[3,8,28,31]。

(2)空间质量反映农田的区位条件,影响耕地

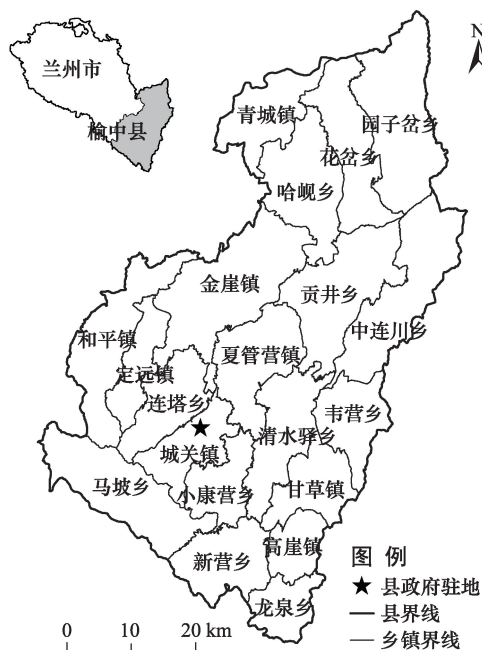


图1 研究区地理位置

Figure 1 Location of the study area

的生产效率,选取田块距村庄的距离,田块距主干道的距离2个指标^[9,10],其中田块距村庄的距离利用ARCGIS软件中的NEAR工具实现,田块距主干道的距离利用BUFFER工具实现。

(3)生态环境质量反映耕地可持续利用水平和农产品品质,选取土壤污染程度作为评价指标^[11],依据环保部门提供的环境污染企业监测信息,征求环保部门意见,以污染企业为原点,一定距离为缓冲区半径,确定土壤污染范围,分为无污染和污染两种类型。

(4)耕地的稳定性反映耕地被占用或破坏的风险,选取规划用途、地质灾害2个指标^[12,32,33],其中规划用途按土地利用总体规划确定,分为耕地用途和非耕地用途;地质灾害以灾害隐患点为原心,按照一定的半径和规则划定缓冲区,缓冲区之内确定为地质灾害区,耕地易受灾害损毁,分为灾害区和非灾害区。

指标权重采用层次分析法和德尔菲法综合确定。指标及其量化结果见表1。

3.2 研究方法

3.2.1 逐级修正多因素综合评价法

本文采用多因素综合评价法、指数法^[7,34]及逐级修正相结合的方法构建耕地质量评价模型。多因

素综合评价法主要确定单一准则下耕地质量得分,指数法主要是为了减弱各准则层对耕地质量的影响^[7],逐级修正是在上述两种方法评价结果的基础上采用土壤污染系数、规划用途系数、地质灾害系数对耕地质量进行修正。评价模型为:

$$Q_i = \left(\sqrt[n]{\prod_{m=1}^n \left(\sum_{j=1}^r P_{mj} \times \omega_{mj} \right)} \right) \times f(Sc)_i \times f(Pp)_i \times f(Gh)_i \quad (1)$$

式中 Q_i 表示评价单元 i 的耕地综合质量; m 表示评价准则(地力质量、工程质量、空间质量); n 表示评价准则个数; P_{mj} 为评价单元 i 第 m 个评价准则下第 j 个指标的量化得分; ω_{mj} 为评价单元 i 第 m 个评价准则下第 j 个指标的权重值; r 表示第 m 个评价准则下指标个数; $f(Sc)_i$ 为评价单元 i 土壤污染系数,按无污染和污染两种类型赋值为1和0.4; $f(Pp)_i$ 为评价单元 i 规划用途系数,规划用途系数按耕地用途和非耕地用途赋值为1和0.4; $f(Gh)_i$ 为评价单元 i 地质灾害系数,按灾害区和非灾害区,赋值为1和0.4。

3.2.2 局部空间自相关分析法

空间自相关是描述空间域中位置 S 上变量与其临近位置 S_i 上变量的相关性,其测度的是位置 S 对于位置 S_i 上属性值的相似与不相似程度,如果相互间属性值相似,空间模式表现出正空间自相关,否

表1 耕地质量评价指标体系量化及权重

Table 1 The quantification and weight of index system of cultivated land quality evaluation

目标层	准则层	指标层	指标分值					指标权重
			20	40	60	80	100	
耕地综合质量	地力质量	地貌类型			山地	丘陵	平原	0.134 9
		耕地坡度/°	≥25	15~25	6~15	2~6	≤2	0.182 9
		年平均降水量/mm	< 250	250~300	300~400	400~500	≥ 500	0.066 2
		有效土层厚度/cm	< 30	30~70	70~100	100~150	≥ 150	0.173 4
		土体构型	壤砂砂	通体黏	壤黏黏	壤黏壤	通体壤	0.095 3
		土壤有机质含量/%	< 0.8	0.8~1.2	1.2~2.0	2.0~3.0	> 3.0	0.162 9
	工程质量	耕作层土壤质地		砂壤	重壤	轻壤	中壤	0.184 4
		灌溉保证率/%		不能满足 (< 30)	一般满足 (30~60)	基本满足 (60~80)	充分满足 (> 80)	0.585 8
		田间道路通达度/m	> 50	20~50	10~20	5~10	≤ 5	0.414 2
	空间质量	田块距村庄的距离/km	> 3	2~3	1~2	0.5~1	≤ 0.5	0.513 3
		田块距主干道的距离/km	> 4	3~4	2~3	1~2	≤ 1	0.486 7
生态环境质量	土壤污染程度			污染			无污染	-
耕地稳定性	规划用途			非耕地用途			耕地用途	-
	地质灾害			有			无	-

2018年1月

则,空间模式表现出负空间自相关^[35]。局部空间自相关作为空间自相关的重要内容,主要基于空间异质性特征,研究在一定地域范围内局部存在不同空间自相关的情形。耕地质量的集聚特征存在明显的局部空间自相关,采用该方法可以研究同等质量耕地的聚集情况。自相关程度采用空间联系局部指标LISA来衡量,其Moran's I统计量定义公式为:

$$I_i = \frac{Q_i - \bar{Q}}{\delta} \sum_{m=1}^n \omega_{im} (Q_m - \bar{Q}) \quad (2)$$

式中 Q_i 是评价单元 i 的耕地综合质量; \bar{Q} 是平均值; δ 是 Q_i 的标准差; Q_m 是评价单元 m 的综合质量; ω_{im} 是 i 与 m 的空间权重矩阵,采用行标准化矩阵。Moran's I的期望值计算公式为:

$$E[I_i] = \sum_{m=1}^n \omega_{im} / (n-1) \quad (3)$$

式中 $I_i \geq E[I_i]$ 表明 i 的耕地综合质量被相似质量的耕地包围,即高质量耕地集聚(HH)或低质量耕地集聚(LL)。 $I_i < E[I_i]$ 表明 i 的耕地综合质量被相反质量的耕地包围,即高质量耕地被低质量包围(HL),高质量耕地分散;或者低质量耕地被高质量包围(LH),低质量耕地分散。

3.2.3 GIS空间分析方法

基本农田保护区是依据土地利用总体规划划定的特定保护区域,区域边界简单清晰、稳定、实地容易辨别,可以为国土资源管理工作提供便利,更有利于保护区划定之后,政府进行政策宣传时提高农民的接受程度,因为只有清晰的边界,才能给农民留下深刻印象,促进保护政策的有效落实。然而,当前传统的做法是以耕地田块边界作为保护区边界,存在如下缺点:一是边界不稳定,因为田块的边界田坎很容易改变,比如耕种、撂荒、土地整治中小田并大田等活动,造成边界不稳定;二是边界不清晰、复杂、实地不宜辨别,由于保护区边界由若干个田块边界构成,每一个田块形状、规模、分布都不相同,从而造成保护区复杂的边界,耕地破碎化地区更加严重,实地辨别困难;三是基本农田被占用风险大,抗干扰能力不强,由于保护区边界与耕地田块边界重合,中间没有缓冲带,建设活动穿过边界将直接占用基本农田。

鉴于此,本文考虑用离田块边界最近的线状地物作为实际保护区边界,因为线状地物一般由人类修筑的线性工程(如公路、铁路)或自然条件形成的天然屏障(如河流、沟谷、沟渠等)构成,农业活动改变的可能性不大,稳定性高,而且清晰明确,实地易辨别。本文拟采用GIS空间分析法实现这一过程。①利用局部空间自相关分析提取集聚优质田块(图2a),经过相邻田块合并,生成大的片块,提取片块最外围范围线作为集中优质田块边界(图2b)。考虑到线状地物中公路最为常见,而低等级公路的路基宽度一般为10m,这个宽度范围内一般只有一条公路。以片块范围线为基础,利用ArcGIS软件(Buffer工具)以10m为间隔向外生成缓冲区;②以生成的缓冲区和实际线状地物利用ArcGIS软件(Intersect工具)进行叠置分析,提取两者的公共部分作为保护区边界。如果部分区域没有重叠的线状地物,则对这部分再向外增加10m缓冲区,重复上述操作,直到找到最近的线状地物为止(图2c),形成闭合的保护区边界(图2d)。

4 结果分析

4.1 耕地综合质量分析

榆中县耕地质量综合评价分值在9.71~94.62之间,平均值68.69,耕地整体质量中等。利用等距法,将榆中县耕地质量分为四种类型(图3a,见27页),分别为高等地、中等地、中下等地、低等地四种类型。高等地(分值73.4~94.62)占43.85%,中等地(分值52.17~73.39)占35.91%。高、中等地在平原区主要分布于中部盆地、宛川河谷地及西北部的青城镇,依靠黄河进行灌溉;在丘陵区主要分布于黄土梁、峁、沟谷中比较平坦的区域,集中在北部的309国道、324县道沿线的花岔乡、贡井乡、中连川乡和县域东南角的高崖镇、龙泉乡,该区域虽无灌溉,但由于交通便利,村庄集中,耕作条件成熟,是全县优质的旱作农业区;在山区主要分布于南部兴隆山和马衔山之间的沟谷地带,主要依靠山区冰雪融水形成的自流灌溉系统灌溉。中下等地(分值30.95~52.16)占耕地总面积的17.36%,低等地(分值小于30.95)占耕地总面积的2.88%。中下等地、低等地多分布于北部、东南部山区,中部县城规划区和南

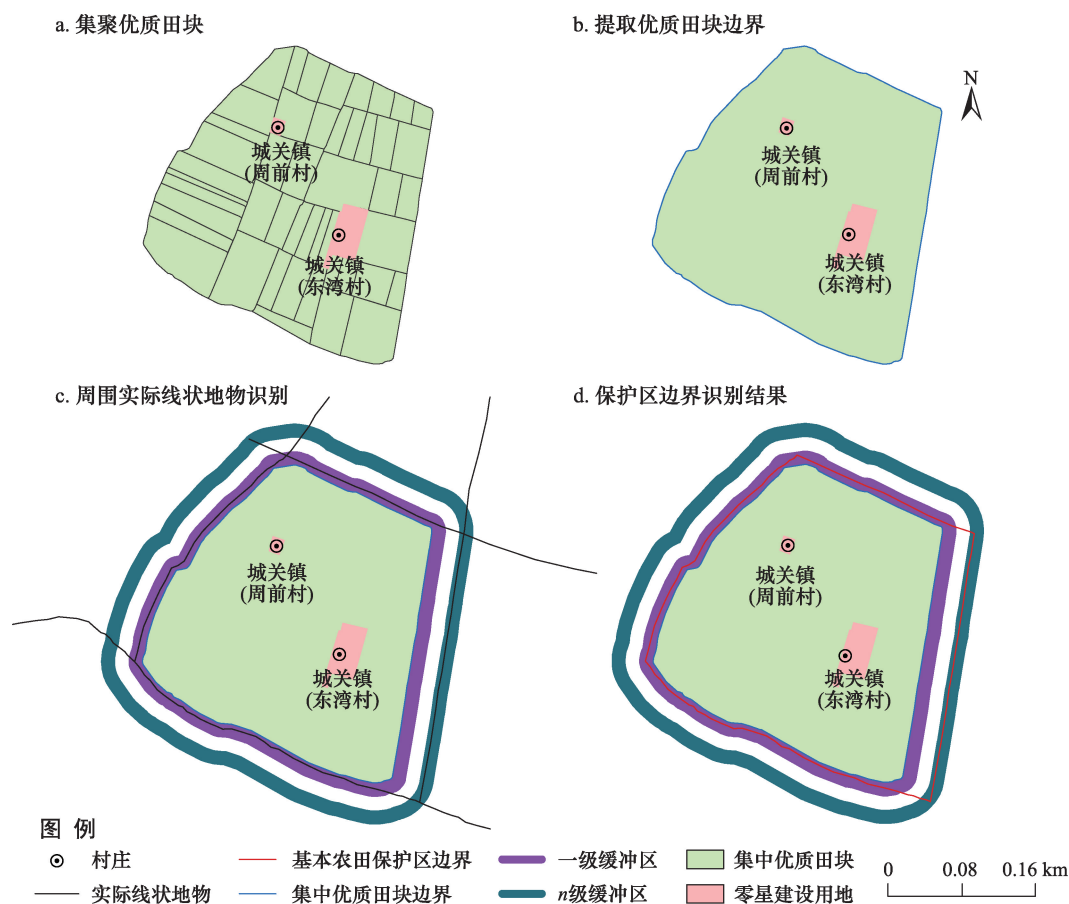


图2 GIS空间分析法

Figure 2 The spatial analysis method based on GIS

部兴隆山自然保护区范围内,田块零碎散乱。

4.2 耕地质量集聚特征分析

榆中县耕地质量集聚特征分为高高、高低、底高、低低集聚区四种类型(图3b)。

(1)高高集聚区(HH):即高质量耕地集聚区,区内耕地 74 065.69hm²。集聚区在平原、丘陵、山区均有分布,分别占 43.68%、39.46%、16.86%。平原区耕地地力质量、工程质量、空间质量平均得分为 80.86、73.17、97.66,耕地自然生产潜力高,基础设施配套较完善,耕作便利,面临的主要风险为城市建设易于侵占,主要分布于定远镇、连搭乡、城关镇、夏管营镇、小康营乡、清水驿乡、青城镇。丘陵区地力质量、工程质量、空间质量平均得分 71.62、59.37、93.58,无灌溉水源是主要的限制条件,但农业生产条件成熟、区位条件优越。主要分布于北部花盆乡、哈岷乡、贡井乡、中连川乡、龙泉乡、高崖镇。山区地力质量、工程质量、空间质量平均得分 70.24、

63.17、87.58,山区冰雪融水形成自流灌溉系统,土地肥沃,是全县高原夏菜、兰州百合的主产区,分布于南部新营乡、马坡乡。因此,HH区耕地优质集中,是基本农田的优选区。

(2)高低集聚区(HL):即高质量耕地被低质量耕地包围形成的集聚区,区内耕地 6156.12hm²,耕地自身质量得分平均值 77.36,质量较高,但被低质量耕地包围,导致高质量耕地无法形成集中连片区,零星分布于北部和东部。因此,该区耕地不宜划入基本农田。

(3)低高集聚区(LH):即低质量的耕地被高质量的耕地包围形成的集聚区,区内耕地 1005.96hm²。耕地自身质量得分平均值 50.81,质量偏低,穿插分布于高高集聚区之中,周围全是优质耕地。这部分耕地不选入基本农田,造成保护区中产生空洞,如果纳入基本农田,同时对保护区制定合理的整治措施,可以将这部分耕地转换为优质耕地。因此,该

2018年1月

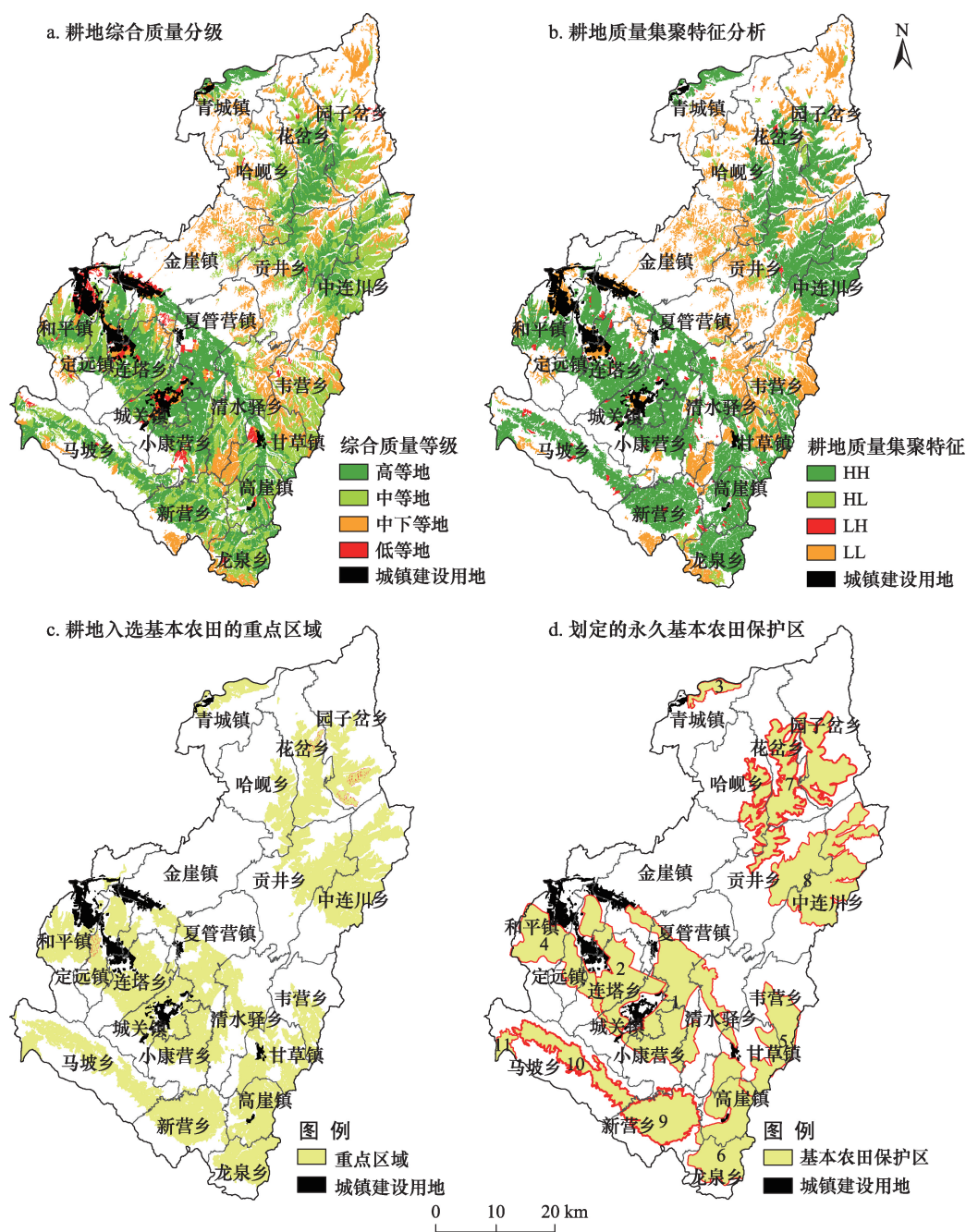


图3 基本农田保护区优化各阶段成果

Figure 3 Basic farmland protection area optimization of the various stages of the results

区域可以作为基本农田的优选区。

(4)低低集聚区(LL):即低质量耕地集聚区,区内耕地 16 304.35hm²。耕地自身质量得分平均值 46.28,质量较低。该区在全县范围内均有分布,北山低质量耕地数量最多,干旱缺水、耕作距离远、地质灾害频发是主要限制因素;中部盆地区未来城市建设、土壤污染等造成耕地质量偏低;因此,该区极

不宜划入基本农田。

4.3 基本农田保护区边界识别

提取高高集聚区和低高集聚区耕地构成基本农田保护区的重点区域(见图3c),融合相邻图斑,提取图斑外围边界线作为基本农田保护区初始边界。同时,选取线状地物(如河流、公路、铁路、沟渠、沟谷等)作为参照物,利用GIS空间分析对初始

边界调整,选择最近的线状地物作为实际边界。

经过边界识别,榆中县共确定11个基本农田保护区(见图3d),总面积75 878.17hm²。按地貌类型划分:①平原区3个,保护区编号为1-3,面积为23 110.17hm²,占总面积的30.46%;②丘陵区5个,保护区编号为4-8,面积为42 341.46hm²,占总面积的55.80%;③山区3个,保护区编号为9-11,面积为10 426.54hm²,占总面积的13.74%。从耕地质量来看,高等地和中等地合计占98.66%。

4.4 基本农田保护区优化前后对比分析

优化后基本农田保护区与优化前榆中县土地利用规划(2009—2020年)、榆中县城市周边和全域基本农田划定成果相比:从目标上看,优化后保护区内基本农田面积占优化前的104.84%,能够完成土地利用总体规划确定的目标;从布局上看,空间布局与全域基本农田划定成果重合比占95.44%,与实际划定成果相符。优化后,图斑数量减少,单位面积增大,保护区边界线长度大大降低且明晰;景观分维数、边缘密度、形状指数都有所降低,景观形态得到进一步优化。从地貌单元来看,增大了平原区基本农田比例,将平原区集中连片的优质耕地划入了基本农田,同时依据规划用途为城市建设预留了一定的发展空间;减少了丘陵区 and 山区的基本农田数量,主要是北部生态脆弱和南部兴隆山林区低质量、分散的耕地。因此,基本农田保护区形态优化和边界识别,使得基本农田更加集中连片,边界清晰规整,同时为城市建设预留了发展空间、避让了重要生态区。优化前后对比见表2。

5 结论

(1)本文采用逐级修正多因素综合评价、基于Moran's I指数的局部空间自相关分析、基于GIS的空间分析相结合的方法,以甘肃省榆中县为例,划定优质稳定、集中连片、保护边界清晰的基本农田保护区。与农用地分等成果相比,本文选择的耕地质量综合评价方法具有明显的优势,不仅考虑了农用地分等评价中的因素(地力质量、工程质量),还在此基础上增加了空间质量、生态环境质量、耕地的稳定性指标,主要原因是能够入选基本农田的优质耕地,不仅要求自然条件与农业工程措施良好,而且还要耕作半径适度、土壤未遭受污染、无地质灾害和城市建设不占用的耕地。与直接选择高质量耕地集中连片区作为基本农田保护重点区域相比,本文基于耕地的空间异质性特征,采用局部空间自相关分析方法,可以自动得到HH、HL、LH、LL四种类型。同时,从集聚区的结果来看,LH区穿插于HH区之中,将其纳入基本农田重点区域,可以减少保护区内部的空洞和边界长度,划入后便于统一管理。

(2)从耕地质量来看,榆中县耕地质量平均值68.69,整体中等。耕地质量共划分为高、中、中下和低四种类型,其中高等地与中等地合计占79.76%,是全县优质和稳定性高的耕地,在各地貌单元中均有分布。平原区分布于中部和西北角,丘陵区分布于北部和东南部黄土山梁、峁、沟谷中较平坦的区域,山区分布于南部两山之间的沟谷地带。从耕地质量集聚特征来看,共划分成HH、HL、LH、LL四种类型,其中HH、LH共有耕地75 071.65hm²,可作为

表2 基本农田保护区优化前后结果对比

Table 2 Comparison of the results of the optimization of the basic farmland protection area

		保护区内基本 农田面积/hm ²	图斑数量 /块	平均图斑 面积/hm ²	景观分 维数	景观边缘 密度	景观形状 指数	保护区边界 总长度/km
优化前	全县	71 608.00	5 191	13.79	1.44	360.16	1.72	344.40
	平原区	17 768.87	834	21.31	1.41	258.12	1.69	66.22
	丘陵区	42 777.43	3 754	11.40	1.43	425.11	1.79	193.42
	山区	11 061.70	603	18.34	1.47	397.25	1.68	84.76
优化后	全县	75 071.65	4 533	16.56	1.40	317.37	1.67	113.47
	平原区	22 903.11	912	25.11	1.36	212.24	1.64	25.51
	丘陵区	42 011.28	3 124	13.45	1.42	374.66	1.72	67.25
	山区	10 157.26	497	20.44	1.43	365.22	1.66	20.71

2018年1月

划入基本农田的重点区域。

(3)经过边界识别,全县共划定11个基本农田保护区,总面积75 878.17hm²。其中平原区3个,占30.46%;丘陵区5个,占55.80%;山区3个,占13.74%。与形态优化前相比,本次划定的保护区能够满足土地利用总体规划确定的目标,图斑数量减少,图斑面积增大,保护区边界线长度降低,边界更加容易辨别,景观形态得到进一步优化。优化后,增大了平原区优质基本农田的数量,剔除了丘陵区 and 山区生态区的耕地,使得保护区内耕地更加集中连片,质量优良,便于开展高标准农田建设和管理。

参考文献(References):

- [1] 宋小青, 欧阳竹. 1999-2007年中国粮食安全的关键影响因素[J]. 地理学报, 2012, 67(6): 793-803. [Song X Q, Ouyang Z. Key influencing factors of food security guarantee in China during 1999-2007[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 793-803.]
- [2] 邓楚雄, 李晓青, 向云波, 等. 长株潭城市群地区耕地数量时空变化及其驱动力分析[J]. 经济地理, 2013, 33(6): 142-147. [Deng C X, Li X Q, Xiang Y B, et al. The spatio-temporal change and driving forces of cultivated land quantity in Chang-Zhu-Tan urban agglomeration[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(6): 142-147.]
- [3] 张忠, 雷国平, 张慧, 等. 黑龙江省八五三农场高标准基本农田建设时序分析[J]. 经济地理, 2014, 34(6): 155-161. [Zhang Z, Lei G P, Zhang H, et al. Time sequence analysis of high-standard basic farm land construction in 853 farm of Helongjiang Province [J]. *Economic Geography*, 2014, 34(6): 155-161.]
- [4] 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 X B, Jin J, Liu Y, et al. Planning method of the prime farmland protection zone based on farmland utilization grade[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(10): 46-51.]
- [5] 董涛, 孔祥斌, 谭敏, 等. 大都市边缘区基本农田功能特点及划定方法[J]. 中国土地科学, 2010, 24(12): 32-37. [Dong T, Kong X B, Tan M, et al. Functional features and identification methods of prime farmland in metropolitan suburbs[J]. *China Land Science*, 2010, 24(12): 32-37.]
- [6] 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 south west China based on multiple-objective decision model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(16): 263-274.]
- [7] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(1): 200-210.]
- [8] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(23): 222-229.]
- [9] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(4): 336-339.]
- [10] 聂艳, 吴西子, 于婧, 等. 基于土地评价和空间聚类的基本农田划定方法研究-以湖北省鹤峰县为例[J]. 中国土地科学, 2013, (12): 39-45. [Nie Y, Wu X Z, Yu J, et al. Primary farmland zoning based on land evaluation and spatial clustering: a case of Hefeng county[J]. *China Land Science*, 2013, (12): 39-45.]
- [11] 侯现慧, 王占岐, 杨俊, 等. 基于产能核算和土地质量地球化学评估的县域基本农田布局研究[J]. 中国土地科学, 2016, 30(1): 89-96. [Hou X H, Wang Z Q, Yang J, et al. Research on the layout of country prime farmland based on productivity and land quality geochemical assessment[J]. *China Land Science*, 2016, 30(1): 89-96.]
- [12] 关小东, 何建华. 基于贝叶斯网络的基本农田划定方法[J]. 自然资源学报, 2016, (6): 1061-1072. [Guan X D, He J H. Prime farmland protection zoning based on Bayesian network[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, (6): 1061-1072.]
- [13] 董玉红, 刘世梁, 安南南, 等. 基于景观指数和空间自相关的吉林大安市景观格局动态研究[J]. 自然资源学报, 2015, 30(11): 1860-1871. [Dong Y H, Liu S L, An N N, et al. Landscape pattern in Da'an city of Jilin province based on landscape indices and local spatial autocorrelation analysis[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(11): 1860-1871.]
- [14] 董丞妍, 谭亚玲, 罗明良, 等. 中国“癌症村”的集聚格局[J]. 地理研究, 2014, 33(11): 2115-2124. [Dong C Y, Tan Y L, Luo M L, et al. Spatial aggregation pattern of "cancer village" in China[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 2115-2124.]
- [15] 张美兰. 基于GIS的耕地地力评价研究-以甘肃省榆中县为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2010. [Zhang M L. Study on Land Force Evaluation Based on GIS in Yuzhong [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2010.]

- [16] 罗隆城, 王俊. 半干旱地区 NDVI 对气温和降水响应的多时间尺度分析—以甘肃省榆中县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 167–171. [Luo L C, Wang J. The multi-time-scale response of NDVI to temperature and precipitation in semiarid areas—a case study of Yuzhong County of Gansu Province[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(9): 167–171.]
- [17] 魏强, 凌霄, 柴春山, 等. 甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质[J]. 生态学报, 2012, 32(15): 4700–4713. [Wei Q, Ling L, Chai C S, *et al.* Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): 4700–4713.]
- [18] 牛建彪, 张成荣. 榆中县耕地质量评价[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2013. [Niu J B, Zhang C R. Evaluation of Cultivated Land Quality in Yuzhong County[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2013.]
- [19] 榆中县志编纂委员会. 榆中县志[M]. 兰州: 甘肃文化出版社, 2011. [Yuzhong Chronicles Compilation Committee. Yuzhong County Annals[M]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 2011.]
- [20] 榆中县交通运输局. 榆中县十三五交通运输规划[R]. 兰州: 榆中县人民政府, 2016. [Yuzhong County Transportation Bureau. 13th Five-Year Transportation in Yuzhong County[R]. Lanzhou: The People's Government of Yuzhong County, 2016.]
- [21] 榆中县国土资源局. 榆中县地质灾害防治规划(2008–2030)[R]. 兰州: 榆中县人民政府, 2008. [Yuzhong County Land Resources Bureau. The Geological Disaster Prevention and Control Planning in Yuzhong County(2008–2030)[R]. Lanzhou: The People's Government of Yuzhong County, 2008.]
- [22] 榆中县水务局. 榆中县水利志[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2015. [Yuzhong County Water Affairs Bureau. Records Water Conservancy in Yuzhong County[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2015.]
- [23] 榆中县国土资源局. 榆中县2015年土地变更调查报告[R]. 兰州: 榆中县国土资源局, 2016. [Yuzhong County Land Resources Bureau. Land Change Survey Report of Yuzhong County in 2015[R]. Lanzhou: Yuzhong County Land Resources Bureau, 2012.]
- [24] 榆中县国土资源局. 榆中县土地利用总体规划(2009–2020)[R]. 兰州: 榆中县人民政府, 2012. [Yuzhong County Land Resources Bureau. Land Use Planning in Yuzhong County(2009–2020)[R]. Lanzhou: The People's Government of Yuzhong County, 2012.]
- [25] 兰州市环境保护局. 兰州市土壤污染调查报告[R]. 兰州: 兰州市环境保护局, 2016. [Lanzhou Municipal Environment Protection Bureau. Investigation Report of Soil Pollution in Lanzhou[R]. Lanzhou: Lanzhou Municipal Environment Protection Bureau, 2016.]
- [26] 榆中县统计局. 2015榆中县统计提要[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2016. [Yuzhong County Bureau of Statistics. 2015 Yuzhong County Statistical Abstract[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2016.]
- [27] 沈仁芳, 陈美军, 孔祥斌, 等. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. 土壤学报, 2012, 49(6): 1210–1217. [Shen R F, Chen M J, Kong X B, *et al.* Conception and evaluation of quality of arable land and strategies for its management[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(6): 1210–1217.]
- [28] 杜国明, 刘彦随, 于凤荣, 等. 耕地质量观的演变和再认识[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 243–249. [Du G M, Liu Y S, Yu F R, *et al.* Evolution of concepts of cultivated land quality and recognition[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(14): 243–249.]
- [29] 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, (3): 436–446. [Bian Z X, Yang Z J, Qian F K, *et al.* Study on time sequence of high-standard prime farmland based on on LESA[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, (3): 436–446.]
- [30] 宋戈, 李丹, 梁海鸥, 等. 松嫩高平原黑土区耕地质量特征及其空间分异—以黑龙江省巴彦县为例[J]. 经济地理, 2012, 32(7): 129–134. [Song G, Li D, Liang H O, *et al.* The characteristics of cultivated land quality and its spatial variation in black soil region of Songnen high plain—a case study of Bayan country in Heilongjiang Province[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(7): 129–134.]
- [31] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(5): 193–203.]
- [32] 范文洋, 孔祥斌, 门明新, 等. 北京市大兴区耕地资源稳定性评价[J]. 中国土地科学, 2009, 23(4): 48–53. [Fan W Y, Kong X B, Meng M X, *et al.* Evaluation on cultivated land resources stability in Beijing Daxing district[J]. *China Land Science*, 2009, 23(4): 48–53.]
- [33] 崔勇, 刘志伟. 基于 GIS 的北京市怀柔区高标准基本农田建设适宜性评价研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(9): 76–81. [Cui Y, Liu Z W. A GIS-based approach for suitability evaluation of high standard primary farmland consolidation: a case from Huairou in Beijing[J]. *China Land Science*, 2014, 28(9): 76–81.]
- [34] 谢花林, 李秀彬, 陈瑜琦, 等. 土地利用规划环境影响的生态安全评价方法初探—以内蒙古翁牛特旗为例[J]. 资源科学, 2010, 32(1): 57–63. [Xie H L, Li X B, Chen Y Q, *et al.* Environment impacts of land use planning based on an ecological security method in Ongniud Banner, Inner Mongolia[J]. *Resources Science*, 2010, 32(1): 57–63.]
- [35] 王远飞, 何洪林. 空间数据分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2007. [Wang Y F, He H L. Spatial Data Analysis Method[M]. Beijing: Science Press, 2007.]

Basic farmland protection area based on morphological optimization and boundary identification

MU Zhenglong, SHI Peiji, LIU Chunfang, ZHENG Haisong

(College of Geography and Environment Science of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Delimitation of basic farmland protection area is an important measure ensuring national crop security and improving comprehensive grain production capacity. However, the 2011 amendments to the “Regulations on the Protection of Basic Farmland” emphasized that high-quality farmland is only included in basic farmland protection areas. It did not make clear requirements for the protection region as well, which contributes to a large number of protected areas, long and obscure boundary lines, virtually increasing the risk of basic farmland being occupied. Therefore, taking country cultivated land in 2015 as an example, we adopted the method of step-by-step multi-factor comprehensive evaluation to optimize the basic farmland protection area based on farmland in Yuzhong County of 2015 and Moran’s I index spatial autocorrelation analysis and GIS. We found that the quality of cultivated land in Yuzhong County is at a moderate level, with an overall amount of 79.76% for high-quality farmland and middle-leveled farmland. High-quality (HH) and low-quality (LH) agglomeration area can be allocated as basic farmland protection area. After boundary identification, 11 designated basic farmland protection areas can be delimited, with a total area of 75 878.17 hm² including three plain areas, five hilly areas, and three mountainous areas. Compared with areas before optimization, we reached the goal of completing the overall land use planning to reduce the number of patches when patch unit area increases and the boundary line is shortened and cleared. The landscape pattern is optimized as well. Our research process and methodology provides a reference for the development of relevant work.

Key words: cultivated land quality; spatial agglomeration; basic farmland protection area; boundary recognition; Yuzhong County