

基于 TOPSIS 算法的永久基本农田划定方法

杨建宇^{1,2} 徐 凡¹ 刘光成³ 张 欣¹ 张婷婷¹ 赵冬玲^{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;
3. 中国土地勘测规划院, 北京 100035)

摘要: 永久基本农田划定是保护优质耕地、严格控制建设占用优质耕地的重要手段。科学划定永久基本农田是保障国家耕地资源安全的重要需求。以河北省清河县为研究区, 立足于我国永久基本农田相关制度, 借鉴农用地分等成果, 综合考虑耕地自然禀赋、区位条件和建设水平等方面, 构建永久基本农田划定指标体系, 并引入 TOPSIS 算法对耕地综合情况进行分区, 划定永久基本农田。结果表明: 永久保护区域、调整建设区域和重点整治区域的耕地由优到劣, 整体上质量较为优越, 地形平坦, 集中连片, 其中部分耕地需经过重点整治方可划定为永久基本农田; 后备调控区域的耕地质量较差, 地形起伏较大, 耕作难度较高, 投入产出比低, 不宜划为永久基本农田。本文对永久基本农田的划定工作进行了量化研究, 并引入 TOPSIS 算法对耕地优劣进行排序, 为永久基本农田划定拓宽了思路。

关键词: 农用地分等; 永久基本农田; TOPSIS; 清河县

中图分类号: F321.1; O221.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)08-0133-07

Demarcation Method of Permanent Prime Cultivated Land Based on TOPSIS

YANG Jianyu^{1,2} XU Fan¹ LIU Guangcheng³ ZHANG Xin¹ ZHANG Tingting¹ ZHAO Dongling^{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

3. China Land Surveying and Planning, Beijing 100035, China)

Abstract: The demarcation of permanent prime cultivated land is a method of economical and intensive use of land, and it is one of the effective ways to solve the shortage of cultivated land reserve resources. Taking Qinghe County, Hebei Province as the study area, firstly the cultivated land natural endowments, location conditions, construction levels were considered according to the system of permanent prime cultivated land of China, then the index system of demarcation of permanent prime cultivated land was constructed with result of agricultural land classification, and the cultivated land was classified and partitioned by TOPSIS. The result showed that mainly cultivated land in permanent protection area, adjustment and construction area and primary remediation area was high quality, flat, centralized and contiguous, some of cultivated land could be demarcated as the permanent prime cultivated land. Cultivated land in reserved construction area was low quality, high terrain relief degree, farming difficult and low benefit, and it was not suitable to be demarcated as the permanent prime cultivated land. This study quantified the demarcation of permanent prime cultivated land, and the cultivated land comprehensive quality was sorted by drawing into the TOPSIS, the result could broaden the way of demarcation of permanent prime cultivated land.

Key words: agricultural land classification; permanent prime cultivated land; TOPSIS; Qinghe County

引言

2008 年,我国为实现基本农田的三位一体重点

管控目标,提出了划定永久基本农田的重大决策,在新一轮土地利用总体规划已划定基本农田的基础上,通过选择确定部分优质基本农田不随规划调整

而得到长期保护,从而实现基本农田保护区的基本稳定,确保粮食生产能力^[1-4]。2015 年 5 月,国土资源部、农业部下发通知,中国 106 个重点城市周边将划定永久基本农田。自 2016 年 3 月 17 日正式启动专项督查以来,截至 2016 年 5 月 20 日,89 个重点城市通过了相关部门会审。2016 年 8 月 4 日,国土资源部、农业部联合发布《关于全面划定永久基本农田实行特殊保护的通知》,对年底前永久基本农田全面划定加强特殊保护,做出部署。

目前永久基本农田划定的相关研究,多从土地评价^[5-6]、农用地分等成果^[7-10]、空间聚类^[11]等角度,以地形地貌类型^[9-10]为主要依据进行考量。孔祥斌等^[8]基于农用地利用等别,借助聚类分析和 GIS 手段实现基本农田保护区的划定,优先将高利用等别的耕地划入基本农田;董秀茹等^[5]从自然条件和立地条件两方面考虑,建立“按指定量”的基本农田划定方法;钱凤魁等^[7]以 LESA 方法为指导,结合农用地分等成果,进行耕地质量与立地条件评价分析,并以此为基础划定基本农田。以上研究多数侧重耕地质量对永久基本农田划定的影响,却较少从耕地自然禀赋、区位条件和建设水平等角度综合考虑,这有可能造成优质农田快速流失、空间布局散乱等问题。

就评价方法而言,常见的有多因素综合评价法^[12-14]、逼近理想点法^[15-17]、LESA 法^[7]等,综合比较各种方法的优缺点,本文选取逼近于理想解的排序法 TOPSIS 算法进行研究。TOPSIS 算法具有对数据分布及样本量、指标多少无严格限制,数学计算不复杂,既适用于小样本资料,也适用于多样本的大系统,对原始数据的利用比较充分等优点^[18]。

本文从划定永久基本农田的目的出发,依据我国永久基本农田制度,考虑耕地自然禀赋、区位条件和建设水平,选取耕地自然等指数、耕地连片性、灌溉保证率、与交通干线距离和城镇辐射 5 个指标,借鉴农用地分等成果构建永久基本农田划定指标体系,引入 TOPSIS 算法对耕地情况进行分区^[15-17],并最终划定永久基本农田,从而实现基本农田保护区的基本稳定,保障粮食生产能力不下降,保证优质耕地能可持续耕种。

1 研究区域概况

清河县地理坐标为 115°30′~115°50′E、36°55′~37°11′N,最大纵距 28 km,最大横距 27 km,位于河北省东南部,地处黑龙港流域南运河西岸,属邢台地区。东与山东省武城、夏津两县隔河相望,西与威县交界,北与故城县、南宫市为邻,南与临西县毗连。

清河县地处环渤海经济区中心地带,北京、天津、济南、石家庄、郑州、太原等大城市拱卫辐射内外,区位优势战略潜力巨大。清河县辖 6 个镇、1 个办事处。清河县属属暖温带半湿润大陆性气候,四季分明,年平均温度 12.8℃,历年平均降水量 505.5 mm。



图 1 清河县区位图

Fig. 1 Location map of Qinghe County

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

以清河县为研究区,主要数据包括:清河县 2011 年农用地分等成果、2011 年清河县土地利用现状图、清河县行政区划图、地形图等成果文件以及相关农业统计资料。

2.2 评价单元划分

评价单元是要能够反映耕地自然禀赋和立地条件的耕地,因此需要划分适当的评价单元来客观地反映耕地的空间差异性。本研究结合清河县农用地分等成果,以农用地分等成果中的耕地图斑作为评价单元,共计 2 253 个评价单元。

2.3 研究方法

本文为划定永久基本农田,采用比较科学合理的研究方法流程,见图 2。以下为主要内容:

(1)搜集相关资料:查阅有关耕地保护、基本农田保护、永久基本农田划定等方面的相关文献,充分掌握划定永久基本农田的研究现状,其次从有关部门收集农用地分等成果、行政区划等数据资料,并结合相关政策,深入了解永久基本农田划定的内涵及政策要求。

(2)指标体系及评价方法确定:查阅相关文献及规程,选定相关指标构成指标体系,权衡多种评价方法优缺点,最终选定 TOPSIS 算法为本文评价方法。

(3)划定分区:依据各分值段的优势及限制因素,提出相应的分区名称,并依据当地实际情况,提出相应的管护措施。

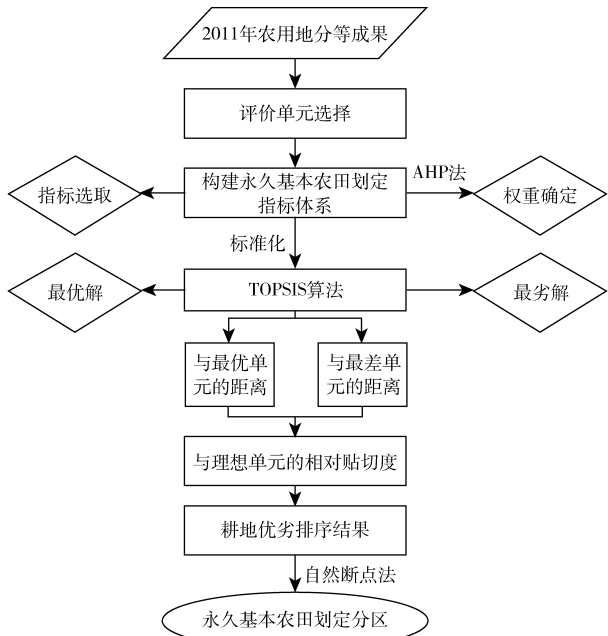


图 2 方法流程

Fig. 2 Flow chart of method

2.3.1 基于农用地分等成果的永久基本农田划定指标体系构建

通过阅读相关政策与文献[19–22],永久基本农田的划定应遵循以下原则:城市(镇)周边的优质耕地应优先划为永久基本农田;集中连片的耕地应优先划为永久基本农田;交通沿线的优质耕地应优先划为永久基本农田。

表 3 永久基本农田划定指标分值计算表达式及参数含意

Tab.3 Express and index implication for demarcation of permanent prime cultivated land			
序号	评价指标	指标分值计算表达式	参数含意
1	耕地自然等指数(C1)	S_1 由农用地分等成果获取	S_1 为耕地自然等指数
2	耕地连片度(C2)	$S_2 = \begin{cases} 0.1 & (x < 1 \text{ hm}^2) \\ 0.1 + 0.9(x - 1)/99 & (1 \text{ hm}^2 \leq x \leq 100 \text{ hm}^2) \\ 1 & (x > 100 \text{ hm}^2) \end{cases}$	S_2 为耕地图斑连片程度的指标值, x 为耕地图斑面积
3	灌溉保证率(C3)	S_3 由农用地分等成果获得	S_3 为耕地灌溉保证等级
4	与交通干线距离(C4)	$S_4 = \begin{cases} 0.1 & (x > 3\,000 \text{ m}) \\ 0.1 - 0.9(x - 500)/2\,500 & (500 \text{ m} \leq x \leq 3\,000 \text{ m}) \\ 1 & (x < 500 \text{ m}) \end{cases}$	S_4 为耕地与交通干线距离的指标值, x 为耕地与交通干线之间的最短距离
5	城镇辐射(C5)	$S_5 = \begin{cases} 0.1 & (x > 1\,000 \text{ m}) \\ 0.1 - 0.9(x - 300)/700 & (300 \text{ m} \leq x \leq 1\,000 \text{ m}) \\ 1 & (x < 300 \text{ m}) \end{cases}$	S_5 为耕地所处城镇辐射的指标值, x 为耕地所处城镇辐射缓冲区范围

2.3.2 划定指标分值标准化

由于各划定指标分值所反映的量纲不同,所以需要将各指标分值统一转化到某一度量范围。通常通过标准化将指标分值划为[0,1]范围内。对正相关和负相关的指标分别采用计算公式

$$Y_{ij} = \frac{M_{ij} - M_i^{\min}}{M_i^{\max} - M_i^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

(1)

基于以上原则,本研究选取耕地自然禀赋、耕地建设水平以及耕地区位条件 3 个目标层因子、5 个决策指标构成永久基本农田划定指标评价体系(表 1)。各指标权重采用 AHP 法确定^[23–25](表 2),并对划定指标数据进行标准化处理(表 3)。

表 1 永久基本农田划定指标评价体系

Tab.1 Assessment index system for demarcation of permanent prime cultivated land			
决策目标 A	目标层因子 B	决策指标 C	指标相关性
永久基本农田	自然禀赋	耕地自然等指数 C1	正相关
	建设水平	耕地连片度 C2	正相关
		灌溉保证率 C3	正相关
		与交通干线距离 C4	负相关
	区位条件	城镇辐射 C5	负相关

表 2 清河县永久基本农田划定指标权重

Tab.2 Weight for demarcation of permanent prime cultivated land of Qinghe County				
决策指标 C	目标层因子 B			组合权重
	耕地自然禀赋 (0.40)	耕地建设水平 (0.30)	耕地区位条件 (0.30)	
C1	1.00			0.40
C2		0.60		0.18
C3		0.40		0.12
C4			0.50	0.15
C5			0.50	0.15

$$Y_{ij} = \frac{M_i^{\max} - M_{ij}}{M_i^{\max} - M_i^{\min}} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

(2)

式中 i ——决策指标编号
 j ——评价单元对应的图斑编号
 M ——某指标分值
 Y ——某指标分值标准化后的分值
其中, C1、C2、C3 决策指标应用公式(1), 因为

这些指标表现出正相关性,即属性值与决策目标呈正相关;C4、C5 决策指标应用公式(2),因为这些指标表现出负相关性,即属性值与决策目标呈负相关。

2.3.3 TOPSIS 算法

TOPSIS 是根据有限个评价对象与理想化目标的接近程度进行排序的方法,即实现对现有对象进行相对优劣的评价。TOPSIS 是一种逼近于理想解的排序法,该方法只要求各效用函数具有单调递增(或递减)性,其基本原理是通过检测评价对象与最优解、最劣解的相对贴切度来进行排序,若评价对象最靠近最优解,同时又最远离最劣解,则为最好;若评价对象最远离最优解,同时又最靠近最劣解,则为最差。其中最优解的各指标值都达到各评价指标的最优值,最劣解的各指标值都达到了各评价指标的最差值。TOPSIS 不仅适合小样本资料,也适合多评价对象、多指标的大样本资料,因此对耕地利用 TOPSIS 进行综合评价,可得出良好的可比性评价排序结果^[15,18,26]。具体公式为

$$Q_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n [W_j(k_{ij} - k_j^{\max})]^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

(3)

$$Q_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n [W_j(k_{ij} - k_j^{\min})]^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

(4)

式中 Q_i^+ ——第 i 个评价单元与最优单元的距离
 Q_i^- ——第 i 个评价单元与最差单元的距离
 W_j ——第 j 个决策指标的权重
 k_{ij} ——第 i 个评价单元的第 j 个评价指标分值
 $k_j^{\max}$ ——第 j 个决策指标最大值标准化后分值
 $k_j^{\min}$ ——第 j 个决策指标最小值标准化后分值

评价单元对理想单元的相对贴切度 R_i 的计算公式为

$$R_i = \frac{Q_i^-}{Q_i^- + Q_i^+} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

(5)

式中 R_i 越大则表明该评价单元与理想单元越接近,即 R_i 越大的耕地图斑越优先划定为永久基本农田。

3 结果与分析

3.1 永久基本农田划定指标标准化结果

3.1.1 耕地自然等指数(C1)

耕地自然等指数反映的是耕地的自然禀赋,从农用地分等成果中获取,研究区耕地自然等指数在 1719 ~ 3348 之间,指标分值按式(1)进行标准化,采用自然断点法对标准化结果分级,如图 3 所示。耕地自然等指数较高的区域主要分布在连庄镇、油坊

镇、谢炉镇、坝营镇,耕地自然等指数较低的区域分布在葛仙庄镇、王官庄镇及坝营镇南部。

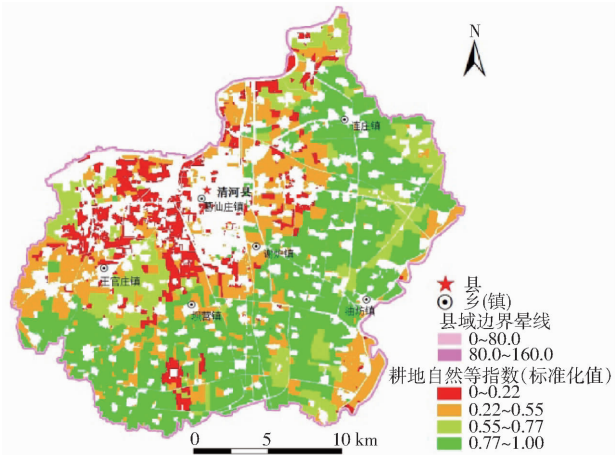


图 3 耕地自然等指数标准化图

Fig.3 Standardization map of cultivated land use index

3.1.2 耕地连片度(C2)

集中连片的耕地有利于大规模机械化作业,便于统一管理,能大幅减少资金投入,提高耕地的投入产出比,因此耕地连片性应该作为永久基本农田划定中重点考虑的因素之一。在耕地连片性研究中,常用的方法有临界值法、模糊纹理定量方法、基本农田保护指数方法等^[27-29]。本文采用临界值法,即在实验之前设定一个适宜当地实际情况的距离阈值,本文设定距离阈值为零,当相邻耕地图斑之间距离小于设定的距离阈值时,将两耕地图斑进行合并,反之,则认为两耕地图斑不相连。

通过这一方法,清河县耕地图斑数量由 2 253 个变为 1 182 个,研究区耕地连片度在 0.57 ~ 3 259.69 hm² 之间。再按表 3 对指标分值进行计算。为去除数据的单位限制,指标分值按式(1)进行标准化,采用自然断点法对标准化结果分级,如图 4 所示。耕地连片度较高的区域主要分布在油坊镇、王官庄

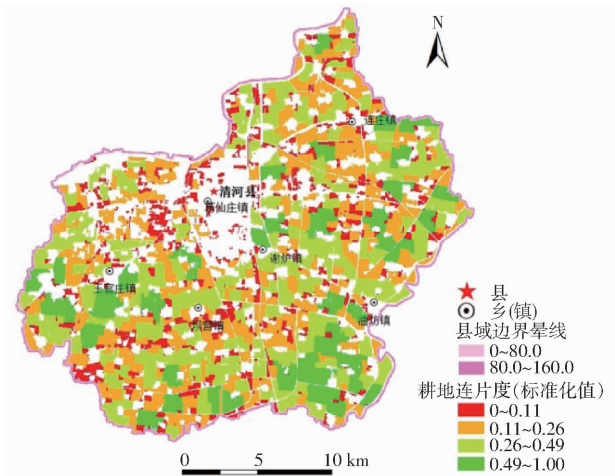


图 4 耕地连片度标准化图

Fig.4 Standardization map of cultivated land connectivity

镇,耕地连片度较低的区域主要分布在葛仙庄镇、坝营镇。

3.1.3 灌溉保证率 (C3)

耕地的灌溉有多重作用,如提高作物产量、改善环境等,其灌溉保证率受地形影响较大,因此将灌溉保证率选为永久基本农田划定的指标之一。灌溉保证率从农用地分等成果中获取,按 GB/T 28407—2012《农用地分等规程》中规定,分等情况如下:1 级:充分满足,包括水田、菜地和可随时灌溉的水浇地。2 级:基本满足,有良好的灌溉系统,在关键需水生长季节有灌溉保证的水浇地。3 级:一般满足,有灌溉系统,但在大旱年不能保证灌溉的水浇地。4 级:无灌溉条件,包括旱地与望天田。

再按表 3 对指标分值进行计算。为去除数据的单位限制,指标分值按式 (1) 进行标准化,采用自然断点法对标准化结果分级,如图 5 所示。灌溉保证率较高的区域主要分布在连庄镇、王官庄镇、坝营镇,其中王官庄镇、坝营镇的灌溉保证率表现出较大的差异性。

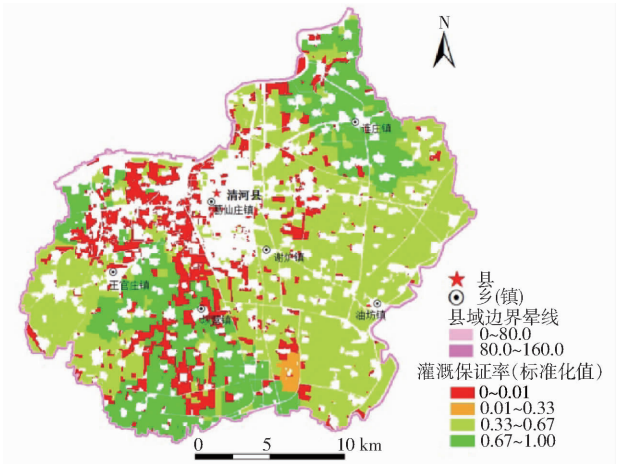


图 5 耕地灌溉保证率标准化图

Fig. 5 Standardization map of cultivated land probability of irrigation

3.1.4 与交通干线距离 (C4)

耕地与交通干线的距离反映了耕地的区位条件,与交通干线距离越近,其区位条件越优越,便于大规模机械耕种。相关研究表明,当耕地与交通干线的距离低于 500 m 时,通常认定为非常适宜划定为永久基本农田;而当耕地与交通干线的距离高于 3 000 m 时,则认定为不适宜划定为永久基本农田。本文将耕地图斑与交通干线的最短距离作为其与交通干线的距离。

清河县耕地图斑与交通干线距离在 14.86 ~ 6 587.56 m 之间。再按表 3 对指标分值进行计算。为去除数据的单位限制,指标分值按式 (2) 进行标准化,采用自然断点法对标准化结果分级,如图 6 所

示。以葛仙庄镇为中心,大致在与其它 5 个镇中心连线附近的耕地,与交通干线距离较近,其分值较高。

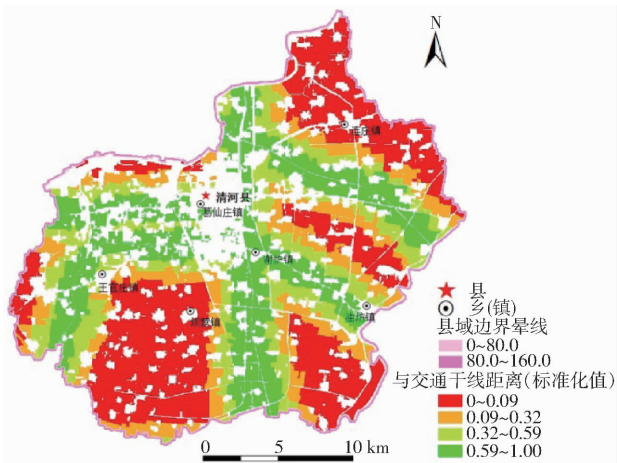


图 6 与交通干线距离标准化图

Fig. 6 Standardization map of distance from traffic trunk roads

3.1.5 城镇辐射 (C5)

耕地城镇辐射即耕地所处中心城镇的辐射缓冲区。耕地离城镇越近受城镇辐射影响越大,其区位条件越好,基础设施、配套设备便于配备。结合研究区实际情况,本文城镇按 300、500、1 000 m 的半径设置缓冲区,位于同一缓冲区内的耕地图斑受城镇辐射影响相同。

再按表 3 对指标分值进行计算。为去除数据的单位限制,指标分值按式 (2) 进行标准化,采用自然断点法对标准化结果分级,如图 7 所示。受城镇辐射影响较大的耕地主要分布在各城镇中心附近。

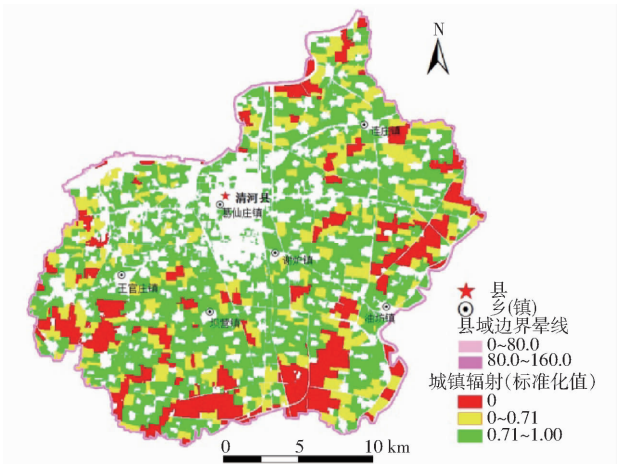


图 7 城镇辐射标准化图

Fig. 7 Standardization map of urban radiation

3.2 永久基本农田划定分区

本文对永久基本农田划定指标先进行了标准化处理,因此清河县耕地最优解 $(k_1^{\max}, k_2^{\max}, k_3^{\max}, k_4^{\max}, k_5^{\max}) = (1, 1, 1, 1, 1)$, 最劣解 $(k_1^{\min}, k_2^{\min}, k_3^{\min}, k_4^{\min}, k_5^{\min}) = (0, 0, 0, 0, 0)$ 。依据 TOPSIS 计算清河县耕

地评价单元对理想点的相对贴切度 R_i , R_i 在 0.19 ~ 0.99 之间。采用自然断点法对耕地评价结果进行分级分类,将耕地由优到劣分为 4 个区域:永久保护区域、调整建设区域、重点整治区域、后备调控区域,如表 4、图 8 所示。

表 4 清河县永久基本农田划定结果

Tab.4 Demarcation results of permanent prime cultivated land in Qinghe County

划定结果	图斑	图斑总	面积
	总数	面积/hm ²	占比/%
永久保护区域(0.74 ~ 0.99)	611	9 177.96	27.13
调整建设区域(0.59 ~ 0.73)	759	13 725.39	40.57
重点整治区域(0.44 ~ 0.58)	334	5 670.07	16.76
后备调控区域(0.19 ~ 0.43)	549	5 255.76	15.54
合计	2 253	33 829.18	100

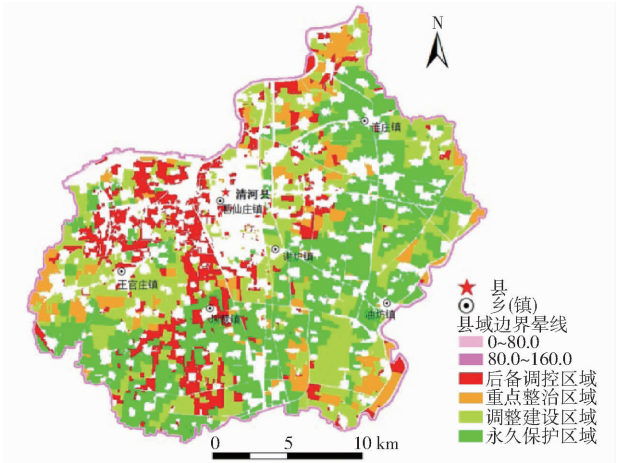


图 8 永久基本农田划定结果

Fig.8 Demarcation map of permanent prime cultivated land in Qinghe County

(1)永久保护区域

永久保护区域的耕地,各项指标值相较于研究区其他区域最为接近理想目标,是划定为永久基本农田的首选区域。其耕地分布基本靠近城镇周边、交通干线附近以及地势较缓地区,自然禀赋、建设水平及区位条件均为最优,综合评价结果最贴切于理想结果。主要分布于连庄镇、油坊镇和谢炉镇,以及王官庄镇的西南部。

(2)调整建设区域

调整建设区域的耕地,各项指标值仅次于永久保护区域耕地,综合评价结果较为理想,该区域耕地仍是永久基本农田划定的适宜区域。调整建设区域耕地面积占耕地总面积的 40.57%,面积占比超过清河县耕地的 1/3,因此这一区域是清河县永久基本农田的重要组成部分,该区域耕地建设水平较为优越,集中连片分布,该部分区域耕地只需要进行适当的调整建设,就能划入永久基本农田。主要分布

于连庄镇东部、油坊镇西南部,以及王官庄镇的东南部。

(3)重点整治区域

重点整治区域耕地主要分布于城镇附近,地形相较于前两种区域更为复杂,仍可划定为永久基本农田,但需经过重点整治,如提高对基础设施配备的资金投入等。重点整治区域耕地经过相应整治后,可显著改善其综合评价结果,并将其划定为永久基本农田。主要分布于王官庄镇西部、连庄镇北部及油坊镇南部。

(4)后备调控区域

后备调控区域的耕地,综合评价结果最差,不适宜划定为永久基本农田。该部分区域耕地自然等指数较低,地形起伏较大,耕作难度较高,投入产出比低。后备调控区域耕地是非农建设的首选区域,例如退耕还林等。主要分布于坝营镇、葛仙庄镇、王官庄镇及连庄镇西北部。

综上所述,永久保护区域、调整建设区域、重点整治区域耕地的综合评价结果较为理想,主要分布在连庄镇、油坊镇、谢炉镇以及王官庄镇的西南部地区。该部分耕地基本上地形平坦,区位条件优越,集中连片性强,部分耕地经过重点整治可以达到划定为永久基本农田的要求。因此将这 3 个区域耕地划定为清河县永久基本农田,面积为 28 573.42 hm²,占耕地总面积的 84.46%。

4 结论

基于耕地的自然禀赋、建设水平、区位条件选取了 5 个决策指标,构建永久基本农田划定指标体系,并通过 AHP 法对各指标确定权重,然后通过 TOPSIS 算法对耕地优劣排序,对贴切度采用自然断点法分级,最终划定永久基本农田。得出以下结论:

(1)基于农用地分等成果的永久基本农田划定结果,划入清河县永久基本农田的耕地面积为 28 573.42 hm²,占耕地总面积的 84.46%。本文基于农用地分等成果进行永久基本农田划定的研究,既考虑耕地自然禀赋,又考虑耕地的建设水平和区位条件,划定的永久基本农田优质稳定。

(2)以农用地分等成果作为研究数据基础,通过构建恰当的指标体系,采用 AHP 法对指标赋予权重,并引入 TOPSIS 将多指标进行综合评价,最终依据评价单元与理想点的相对贴切度进行分级。量化了永久基本农田的划定工作,为永久基本农田划定工作提供了数据支持,拓宽了永久基本农田划定思路。

参 考 文 献

1 TD/T 1032—2011 基本农田划定技术规程[S]. 2011.

2 国土资发[2009]167 号. 国土资源部农业部关于划定基本农田实行永久保护的通知[S]. 2009-12-02.

3 国土资发[2010]218 号. 国土资源部农业部关于加强和完善永久基本农田划定有关工作的通知[S]. 2010-12-30.

4 楼启明. 对划定永久基本农田的思考[J]. 浙江国土资源, 2011(3): 44-45.

5 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.

6 DONG Xiuru, YOU Mingying, WANG Qiubing. Demarcating method of prime farmland based on land evaluation[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4): 336-339. (in Chinese)

7 何有富. 基于耕地质量评价成果更新的永久基本农田划定研究——以九台市为例[D]. 长春: 吉林大学, 2015.

8 HE Youfu. Study on the delimitation of permanent basic farmland based on the updating of agricultural lands evaluation—a case of Jiutai City[D]. Changchun: Jilin University, 2015. (in Chinese)

9 钱凤魁, 王秋兵. 基于农用地分等与 LESA 方法的基本农田划定[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 251-255.

10 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(3): 251-255. (in Chinese)

11 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.

12 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)

13 赵宏志. 基于农用地分等成果的永久基本农田划定研究——以汉中市城固县为例[D]. 西安: 长安大学, 2014.

14 ZHAO Hongzhi. Study on the planning permanent basic farmland based on agricultural land classification—a case of Chenggu County of Hanzhong City[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014. (in Chinese)

15 康雅丽. 基于农用地分等成果的永久性基本农田划定研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2015.

16 KANG Yali. Permanent basic farmland demarcated evaluation based on the results of farmland classification of Linchuan[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2015. (in Chinese)

17 冯莎. 基于空间聚类的基本农田保护规划[D]. 武汉: 湖北大学, 2012.

18 FENG Sha. A protection planning of prime farmland based on spatial clustering[D]. Wuhan: Hubei University, 2012. (in Chinese)

19 李赓, 吴次芳, 曹顺爱. 划定基本农田指标体系的研究[J]. 农机化研究, 2006(8): 46-48.

20 LI Geng, WU Cifang, CAO Shun'ai. Study on indicators system of selecting cultivated land into prime farmland[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(8): 46-48. (in Chinese)

21 宇向东, 郝晋珉, 鲍文东. 基于耕地分等的基本农田空间配置的方法[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 1): 185-189.

22 YU Xiangdong, HAO Jinmin, BAO Wendong. Methods of spatial allocation of basic farmland based on classification of arableland[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(Supp. 1): 185-189. (in Chinese)

23 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.

24 WU Fei, PU Lijie, XU Yan, 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)

25 胡永宏. 对 TOPSIS 用于综合评价的改进[J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(4): 572-575.

26 HU Yonghong. The improved method for TOPSIS in comprehensive evaluation[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2002, 32(4): 572-575. (in Chinese)

27 曾吉斌, 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.

28 ZENG Jibin, SHAO Jing'an, WEI Chaofu, 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)

29 余雁, 梁樑. 多指标决策 TOPSIS 方法的进一步探讨[J]. 系统工程, 2003, 21(2): 98-101.

30 YU Yan, LIANG Liang. Extensions of the TOPSIS for multiple criteria decision making[J]. Systems Engineering, 2003, 21(2): 98-101. (in Chinese)

31 唐光华. 对 TOPSIS 法的评价与扩展[J]. 浙江统计, 1998(2): 12-14.

32 肖保全. 保护优质耕地划定永久基本农田[J]. 中国农业信息, 2016(5): 78-79.

33 刘一铭. 划定永久基本农田城镇化告别“摊大饼”[J]. 协商论坛, 2014(11): 46-48.

34 鄧文聚, 张蕾娜. 新形势下永久基本农田划定的启示[J]. 农村工作通讯, 2015(2): 27-29.

35 彭艳丽, 杨静. 城市周边永久基本农田划定方法探析——以武汉市为例[J]. 中国土地, 2015(9): 40-42.

36 危向峰, 段建南, 胡振琪, 等. 层次分析法在耕地地力评价因子权重确定中的应用[J]. 湖南农业科学, 2006(2): 39-42.

37 WEI Xiangfeng, DUAN Jiannan, HU Zhenqi, et al. Applying analytic process to determining farmland productivity evaluation factor's weight[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2006(2): 39-42. (in Chinese)

38 周旭, 安裕伦, 许武成, 等. 基于 GIS 和改进层次分析法的耕地土壤肥力模糊评价——以贵州省普安县为例[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 51-55.

39 ZHOU Xu, AN Yulun, XU Wucheng, et al. Fuzzy evaluation on soil fertility of cultivated land based on GIS and improved AHP—a case of Pu'an County in Guizhou Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2009, 40(1): 51-55. (in Chinese)

40 杨明龙, 潘萍. 层次分析法在耕地质量评价中的应用[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2010, 26(3): 23-26.

41 YANG Minglong, PAN Ping. Application of analytic hierarchy process in quality evaluation of cultivated land[J]. Journal of Kunming Metallurgy College, 2010, 26(3): 23-26. (in Chinese)

42 倪婷. 基本农田划定决策模型研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.

43 NI Ting. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011. (in Chinese)

44 郭姿含, 杨永侠. 基于 GIS 的耕地连片性分析方法与系统实现[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(3): 59-62.

45 GUO Zihan, YANG Yongxia. GIS-based farmland connectivity analysis methods research and system implementation[J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(3): 59-62. (in Chinese)

46 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.

47 ZHOU Shangyi, ZHU Axing, QIU Weili, et al. GIS based connectivity analysis and its application in prime farmland protection planning[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 72-77. (in Chinese)

48 陈显光, 张强胜, 缙武龙. 基于耕地质量的基本农田空间连片性评价[J]. 广东农业科学, 2015, 42(23): 159-163.

49 CHEN Xiangguang, ZHANG Qiangsheng, GOU Wulong. Spatial connectivity evaluation of basic farmland based on cultivated land quality[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(23): 159-163. (in Chinese)