

基于限制因素和热点分析的耕地整治质量潜力测算

赵冬玲¹ 何珊珊¹ 杨建宇^{1,2} 张超^{1,2} 李鹏山^{1,2} 杜振博¹

(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: 以规则网格为评价单元, 采用因素组合法对耕地自然质量限制因素进行分析; 采用热点分析法对耕地利用水平指标进行局部聚类; 并分别测算限制因素改变和利用水平指标提升后的耕地质量变化。以河北省涿州市为研究区进行研究, 结果表明: 灌溉保证率是涿州市耕地自然质量的限制因素, 经改善灌溉条件的耕地自然等指数可平均提升 408。涿州市耕地整体利用水平相差较大, 可依据热点分析结果提出相应的耕地平整、修建沟渠或田间道路等工程措施, 改善土地利用条件, 提高耕地利用等指数。综合整治潜力呈现东西低、中部高的分布特点。所提出的耕地整治质量潜力测算方法有助于确定耕地质量限制因素、划分耕地整治区域及指明整治方向。

关键词: 耕地整治; 质量潜力; 限制因素; 热点分析; 网格

中图分类号: F301.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2017)02-0158-07

Qualitative Potential Calculation of Arable Land Consolidation Based on Limiting Factors and Hot Spot Analysis

ZHAO Dongling¹ HE Shanshan¹ YANG Jianyu^{1,2} ZHANG Chao^{1,2} LI Pengshan^{1,2} DU Zhenbo¹

(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: Land consolidation can excavate the potential of arable land quality effectively. In order to calculate the potential of arable land quality scientifically and reasonably and guide corresponding land consolidation projects, a new method was proposed based on limiting factors and hot spot analysis. Zhuozhou city was chosen as the study area for experiment with space grid as basic unit. Firstly, element association method was used to analyze factors influencing arable land natural quality. Secondly, an index system was established to response to arable land utilization level and calculated one by one, and then hot spot analysis was adopted to find low values cluster area. Thirdly, land consolidation projects were carried out to figure out the influence of changes of limiting factors and improvement of indicator values. Eventually, potential of arable land quality was calculated to examine the effects after limiting factors changing and indicator values improving. The results showed that physical quality grade index could be improved by an average of 408. Irrigation was the top limiting factor of arable land natural quality and the overall utilization levels of arable lands in Zhuozhou city were varied widely with the characteristics of both eastern and western areas being higher than that of the central region. It was put forward to carry out water-saving irrigation in low irrigation areas and to carry out corresponding measures in cold spot cluster areas, such as building arable land roads, arable land shelterbelts and irrigation systems. Statistically significant cold spots of arable land space form score located in north-central areas, these areas should strengthen arable land leveling. Statistically significant cold spots of rural roads located in northern and western areas, these areas should be recommended to strengthen the construction of roads. Statistically significant cold spots of ditches throughout the central region of Zhuozhou, from south to north, these areas should strengthen the construction of ditch. The method proposed was helpful to determine the limiting factors, divide zones of arable land consolidation and provide relevant measures. The result was an important gist for regional land consolidation planning, land consolidation project as well as land consolidation zone dividing.

Key words: land consolidation; quality potential; limiting factors; hot spot analysis; grid

收稿日期: 2016-07-13 修回日期: 2016-08-17

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201511010-06)

作者简介: 赵冬玲(1961—), 女, 副教授, 主要从事工程测量及航空摄影测量研究, E-mail: zhaodongling@cau.edu.cn

通信作者: 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: ycyjyang@cau.edu.cn

引言

多年来,我国通过实施最严格的耕地保护制度,耕地数量快速下降的趋势得到有效遏制,在耕地面积基本稳定的前提下,着力提升耕地质量、提高耕地产能是保障国家粮食安全的根本途径^[1]。耕地整治能够有效挖掘耕地潜力,提升耕地等级,减灾抗灾,能够为使用新技术、新装备、新品种打造良好的基础平台^[2],是实现农业机械化、农业可持续发展的重要途径^[3],也是实现“藏粮于地,藏粮于技”的重要手段。科学合理测算耕地整治潜力,是编制区域土地整治规划的基础工作,可为制定整治目标与任务、划分整治区域、确定整治重点区域等提供科学依据^[4]。

耕地整治潜力反映待整治农用地可改善程度,具体表现为耕地有效利用面积增加、耕地质量提高、生产成本降低、生态环境改善等,集中体现在耕地数量潜力、质量潜力和生态潜力方面^[5]。我国耕地整治潜力研究与实践正在从最初的单一新增耕地面积向提升耕地质量、改善生态环境方向发展^[6],目前研究集中在数量潜力测算和质量潜力测算。其中,质量潜力测算方法主要有目标产能法^[7-8]、目标等别法^[9-11]、修正因素分析法^[12-13]、模式法^[14]等。目标产能法和目标等别法以待整治耕地潜在的生产能力作为质量目标,多数将耕地质量分等单元的理论单产与可实现单产之差作为理论潜力,将可实现单产与实际单产之差作为可实现潜力,将理论等级或最高等别与现状等别之差作为质量潜力,由于缺乏考虑整治难度和可实现性,在当前技术水平和经济社会发展条件下,潜力大的地区往往很难通过整治达到预期的质量目标,甚至有些土地不适合整治成耕地,潜力往往被高估。修正因素分析法和模式法均从因素层面分析因素变化导致的耕地质量提升,多结合现有农用地分等成果进行,但是农用地分等所选的参评因素多表征耕地本底条件,不能全部涵盖土地整治工程所影响的因素,而造成评价结果不能准确反映实际情况。另外,在分析中耕地质量空间属性越来越受到重视,农田建设布局规划多采用空间聚类^[15-16]和空间自相关^[17-18]等方法,热点分析是常用的局部聚类算法,本文将应用其进行耕地质量分析。

针对土地整治工程对耕地质量的影响特点,总结现有方法的不足,本文提出基于限制因素和热点分析的方法,通过分等因素组合法寻找耕地自然质量的限制因素,通过利用指标热点分析方法指导整治分区,并且测算限制因素条件改变和耕地利用水

平指标值提升后的耕地质量变化。

1 研究区及其数据概况

1.1 研究区域概况

涿州市位于河北省中部,地处太行山山前平原北部,东经 $115^{\circ}44'$ ~ $116^{\circ}15'$ 、北纬 $39^{\circ}21'$ ~ $39^{\circ}36'$,东临固安,西接涑水,北通北京,南到高碑店。东西横距 36.5 km,南北纵距 25.5 km。全区总面积 739.67 km²,其中耕地面积 443.5 km²,耕地面积占区域总面积的 60%。地势平坦,起伏较小,处于暖温带半湿润季风气候区,四季分明。区域内河流较多,有永定河、白沟河、小清河、玻璃河、北拒马河、胡良河等,适宜小麦、玉米、水稻种植,是黄淮海平原重要粮食产区。涿州市耕地土地利用系数变化幅度较大,证明全市整体水平差异较大,质量较好的耕地分布在中南部,质量较差的耕地分布在东北部和西南部。

涿州市区位特殊,位于京、津、保三角区中心地带,处于太行山山地丘陵区与华北平原区过渡带,同时处于北京都市城区与保定贫困区过渡带(图1),资源整合和治理是京津冀协同发展的先决条件^[19],涿州市在京津冀一体化发展中处于特殊位置。《河北省土地整治规划(2011—2020年)》指出涿州市是土地整治重点区和示范县,选择该区域进行耕地整治质量潜力研究,具有较强的典型性和代表性。

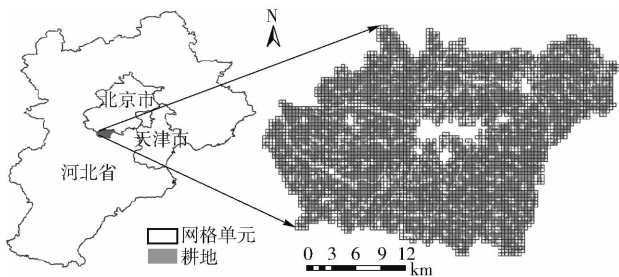


图1 涿州市区位及空间网格单元

Fig. 1 Geographical position of Zhuozhou city and space grid unit

1.2 数据预处理

所用数据包括涿州市 2013 年 1:10 000 耕地质量等级成果数据,2011 年 1:10 000 土地利用现状数据、行政区划数据及调查数据。

网格是对地理空间的划分,具有打破行政界线实现数据脱密、为多源空间信息提供统一评价单元尺度、为耕地质量动态更新提供便利的优点^[20-21]。农田网格化有利于基本农田的多级层次化管理,提高信息检索与更新效率,有利于利用 GPS 等对基本农田定位与现场检查,易于与遥感图像像元匹配,有利于基本农田朝规整化方向建设^[22]。

鉴于耕地利用水平各项指标属于中尺度指标,

网格不宜过小。另外,考虑到研究区范围不是很大,网格不宜过大。已有研究结果表明中尺度指标网格适宜尺寸为 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ [23]。因此,选择网格尺寸 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ 。首先,依据研究区范围划分 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$ 空间规则网格;其次,用耕地质量数据与规则网格相交,筛除没有耕地的网格;最后,将耕地质量等级成果数据及土地利用现状中的线状地物进行网格化处理,最终获得所需的基础数据。空间网格单元见图1。

2 研究思路与方法

2.1 研究思路

我国于2009年完成的农用地分等工作,是以作物生产量为纽带,将耕地质量分为自然质量、利用质量与综合质量3个层次[24],按照GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》[25](以下简称“规程”)对耕地质量内涵的定义,耕地自然质量综合反映耕地所处的光、温、水、热、土、地形等自然条件,耕地利用质量综合反映农民对耕地利用状况。本文对耕地生产力的质量表征基本上以上述理论为依据。但是,计算方法略有改进,现阶段处在传统农业向现代农业转型阶段,国家对农业基础设施大力建设,农机化水平迅速提升,已经大大改变了农业的生产经营方式,“规程”以传统农业下的历史经验数据计算利用系数反映现代农业下的耕地利用水平显然已不再适合,不能满足现代农业对耕地质量的定位。因此,本文的利用系数通过耕地本身的规整性、连片性程度和基础设施水平来反映。

通过对耕地质量内涵的认识,耕地质量影响来自多方面。农用地整治通过土地平整、灌溉与排水、田间道路、农田防护等工程措施,可以优化田块布局,改善耕作条件,完善农田水利基础设施和道路布局等,对耕地自然质量及利用质量均有一定的影响。

基于以上分析,本文从自然质量和利用质量两方面来分析土地整治潜力。首先,将耕地质量数据

和土地利用数据网格化,得到涿州市网格化后的耕地数据库。其次,通过因素组合法研究分析耕地自然质量的限制因素,建立因素组合与自然等别和自然等指数的对应关系,查表计算得到限制因素改变后的耕地自然质量潜力。再次,构建土地利用水平指标体系,用层次分析法赋予权重,计算各指标值并归一化得到各类指标得分,继而通过热点分析法来探究耕地利用水平较差区域并进行整治分区,提升这些区域各类指标得分值。最后,计算整治前后耕地利用系数、耕地利用等指数和利用质量潜力。研究流程见图2。

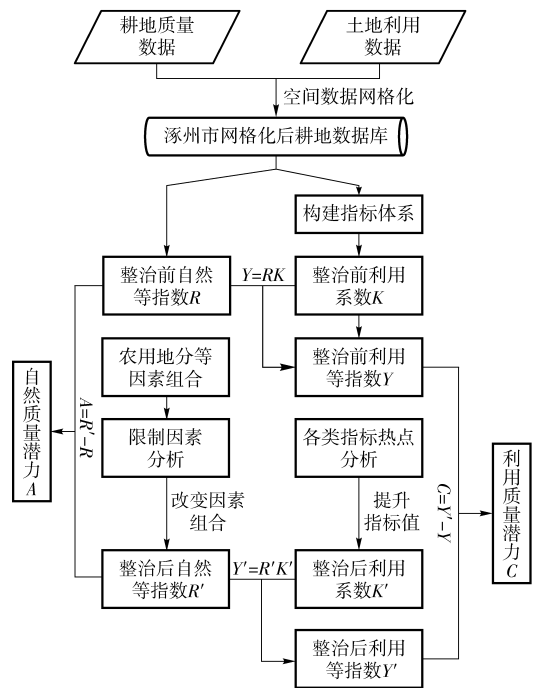


图2 研究框架

Fig.2 Research framework

2.2 耕地自然质量潜力测算方法

2.2.1 因素组合法

涿州市位于太行山北段冀中山前平原冬小麦、夏玉米一年两熟分等因素指标区,参与农用地分等的指标及计分规则见表1。涿州市4个分等因素:

表1 涿州市农用地分等因素及其分级分值

Tab.1 Arable land grading indicators and their classification and scores in Zhuozhou city

因素分值	因素分值代码	灌溉保证率	表层土壤质地	土壤有机质含量/%	剖面构型
100	+	充分满足	壤土		通体壤、壤/粘/壤
90	9	基本满足	粘土		壤/粘/粘、壤/砂/壤、砂/粘/粘
80	8			> 2.0	粘/砂/粘、通体粘
70	7	一般满足	砂土		砂/粘/砂
60	6			1.5 ~ 2.0	壤/砂/砂、浅位姜
50	5			1.0 ~ 1.5	粘/砂/砂
40	4			0.6 ~ 1.0	通体砂、通体砾
30	3	无灌溉条件			
20	2			< 0.6	
10	1				

注:各因素分值分级标准与GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》一致。

灌溉保证率、表层土壤质地、土壤有机质含量(质量分数)、剖面构型, 分别有 3、3、2、2 个分级水平(表 1)。因素组合法遵循“2 位或 3 位数得分缩写为 1 位代码”的规则, 将一个分等单元内的因素得分代码按照表 1 中分等因素的顺序合并到一起, 作为该分等单元的因素组合标识。即规则为“100 分”记为“+”, “90 分”记为“9”, “80”分记为“8”以此类推。如某单元因素组合标识为“9+6+”, 则说明该单元灌溉保证率为基本满足, 表层土壤质地为壤土, 土壤有机质含量 2%, 剖面构型为通体壤、壤/粘/壤。已有研究表明分等因素得分在 50 分以下时, 因素对作物生长有主要限制作用^[20]。本文中定义得分小于 50 分的因素为自然质量限制因素。

2.2.2 自然质量潜力测算

建立因素组合与耕地质量自然等指数的对应关系。类比参照已完成的耕地整治项目对耕地自然因素的改造程度, 模拟耕地整治工程对分等因素的改变来改变因素组合。得到整治后的耕地自然等指数。整治后自然等指数与整治前自然等指数差值为耕地自然质量潜力, 计算公式为

$$A_i = R'_i - R_i \quad (1)$$

式中 A_i ——第 i 个网格单元耕地自然质量潜力

R'_i ——第 i 个网格单元整治后耕地自然等指数

R_i ——第 i 个网格单元整治前耕地自然等指数

2.3 耕地利用质量潜力测算

2.3.1 耕地利用系数计算

将土地整治对耕地利用的影响归纳为田块空间形态、田间道路设施、田间沟渠设施 3 个方面, 因此选取耕地空间形态、田间道路基础设施水平、田间沟渠基础设施水平来反映耕地利用水平, 并构建耕地利用水平指标体系。以网格为单元计算各类指标, 应用层次分析法并通过一致性检验后给各指标赋予权重(表 2)。极差归一化方法解决指标正逆取向问题, 并消除量纲。依据自然断点法并辅助手动修改设置各类指标的打分规则, 利用加权求和法计算耕地利用系数, 其计算式为

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij} f_{ij}}{100} \quad (2)$$

式中 K_i ——第 i 个网格单元耕地利用系数

w_{ij} ——第 i 个网格单元第 j 类耕地利用指标对应的权重

f_{ij} ——第 i 个网格单元第 j 类耕地利用指标对应的分值, 在 10 ~ 100 分之间

表 2 涿州市耕地利用水平指标体系及权重

Tab. 2 Indicators and their weights of cultivated land utilization level in Zhuozhou city

目标层 T	准则层 B	指标层 I	指标说明	指标取向
耕地利用水平	耕地空间形态 B_1 (0.34)	耕地面积比 I_1 (0.17)	网格单元内耕地面积占网格单元面积的比例	正
		田块形状指数 I_2 (0.17)	反映耕地田块的规整度, 值越大, 田块的形状越复杂	负
		耕地集中连片度 I_3 (0.66)	耕地图斑集中连片性程度的重要度量, 值越大, 连片程度越高	正
	田间道路水平 B_2 (0.33)	田间道路密度 I_4 (0.5)	网格内道路总长度与耕地面积之比	正
		田间道路宽度 I_5 (0.5)	将长度设为权重的网格内田间道路加权平均宽度	正
	田间沟渠水平 B_3 (0.33)	田间沟渠密度 I_6 (0.5)	网格内沟渠总长度与耕地面积之比	正
		田间沟渠宽度 I_7 (0.5)	将长度设为权重的网格内田间沟渠加权平均宽度	正

2.3.2 热点分析法

热点分析 (Getis - OrdGi*) 工具可分析得到高值或低值要素在空间上发生聚类的位置。冷点是本文中所要寻找的聚类区域, 即某网格内耕地利用各类指标得分较低并被得分较低的网格包围的局部聚类区域, 这些区域急需进行土地整治工程。本文采用 Getis - OrdGi* 局部统计来分析耕地利用水平局部聚类, 计算式为

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n a_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n a_{ij} \right)^2}{n-1}}} \quad (3)$$

其中

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (4)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - \bar{X}^2} \quad (5)$$

式中 G_i^* ——输出统计 Z 得分

x_j ——网格 j 的指标得分

a_{ij} ——网格 i 和 j 之间的空间权重

n ——网格总数 \bar{X} ——指标得分均值

S ——指标得分标准差

当局部总和与所预期的局部总和有很大差异, 会产生一个具有显著统计学意义的 Z 得分。本文

利用 $Z(G_i^*)$ 将各类耕地利用水平指标划分为 7 种类型:高高相邻、高中相邻、中中相邻、随机、高低相邻、中低相邻、低低相邻。其中,中低相邻、低低相邻型是具有显著统计意义的冷点聚类区域,该区域内各类指标得分较低,则可以提出有针对性土地整治工程建设的整治建议,因此冷点聚类区结果可指导整治分区。

2.3.3 利用质量潜力测算

耕地利用等指数计算式为

$$Y_i = R_i K_i \quad (6)$$

式中 Y_i ——第 i 个网格单元耕地利用等指数

类比参照已完成的耕地整治项目对各指标的改造程度,来提高各类指标得分,并重复 2.3.1 节步骤计算第 i 个网格单元整治后的利用系数,记作 K'_i 。

整治后利用等指数与整治前利用等指数差值为耕地利用质量潜力,即

$$C_i = Y'_i - Y_i \quad (7)$$

式中 C_i ——第 i 个网格单元耕地利用质量潜力值
 Y'_i ——第 i 个网格单元整治后耕地利用等指数,计算方法与 Y_i 相同

3 结果与分析

3.1 自然质量潜力

理论上,涿州市农用地分等单元因素组合类型是 4 个因素组合成的 36 种,经汇总分析,发现因素组合类型实际有 23 种(3768、3788、3+8+、3968、3988、398+、7788、3+6+、7768、7988、7+8+、796+、7968、798+、9768、9988、7+6+、9+68、9+8+、976+、9968、998+、9+6+)。按照定义,各因素得分小于 50 为耕地自然质量限制因素,即在因素组合中代码小于 5,可知无灌溉条件是限制因素,无灌溉条件对作物生长产生了限制作用,无灌溉条件的耕地分布较广,零星分布在整个研究区范围内,见图 3。

结合周边地区已完成的土地整治项目及整治难度,建议进行节水灌溉,确定涿州市无灌溉条件的耕

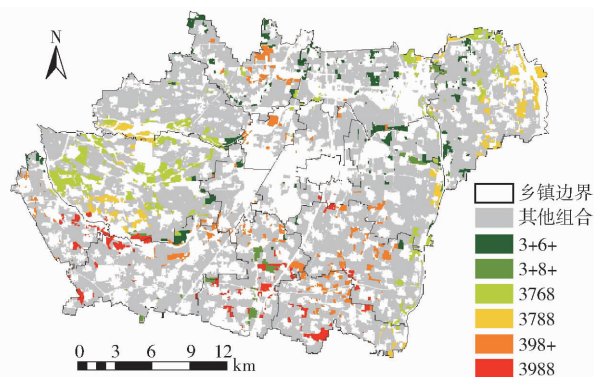


图 3 限制因素分布

Fig.3 Limiting factors distribution

地经土地整治能够达到灌溉一般满足。其他分等因素不是限制因素且整治工程也较难改变,因此保持其他因素代码不变,仅改变灌溉保证率的代码来改变因素组合,查找因素组合与地方自然等别和自然等指数的对应关系得到整治前、后因素组合及自然等指数(表 3),并测算自然质量潜力,结果表明经改变灌溉条件的耕地,其自然等指数平均提高 408。

表 3 整治前后因素组合及自然等指数

Tab.3 Elements association and physical quality grade index before and after land consolidation

因素组合	整治前		整治后	
	自然等指数	省级自然等别	因素组合	自然等指数
3+6+	1843	10	7+6+	2252
3+8+	1779	9	7+8+	2187
3768	1507	8	7768	1916
3788	1443	8	7788	1851
3788	1378	7	7788	1787
398+	1712	9	798+	2120
3988	1577	8	7988	1986

3.2 利用质量潜力

3.2.1 局部聚类结果

以网格为单元计算并归一化处理得到各类指标得分。耕地空间形态、田间道路设施、沟渠设施 3 类指标热点分析结果如图 4 所示,蓝色区域为冷点局部聚类区域,耕地空间形态和 2 类基础设施

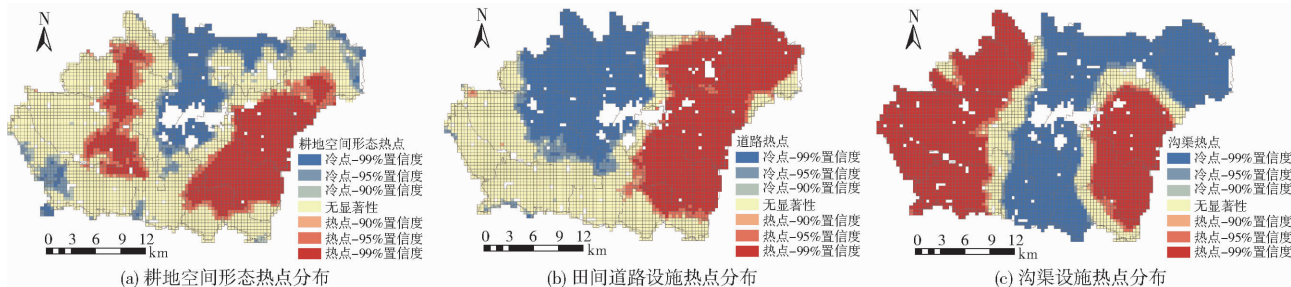


图 4 耕地整治分区

Fig.4 Arable land consolidation zoning

综合得分较低,水平较差,建议进行相应整治工程。

耕地空间形态热点分析结果如图4a所示,中部蓝色区域为冷点区域,即表现为耕地空间形态得分较低,耕地占比重低,耕地破碎,不够集中连片,分布在涿州市中北部地区,这些区域的耕地需进行平整,加强集中连片建设。田间道路设施水平热点分析结果如图4b所示,蓝色表示显著性冷点聚集区域,即田间道路设施综合得分较低,田间道路设施不够完善,不足以满足生产建设要求。主要分布在中西北部地区,这些区域应建议加强道路建设,修建并完善农村田间道路设施。田间沟渠基础设施水平热点分析结果如图4c所示,蓝色表示显著性冷点聚集区域,即田间沟渠设施综合得分较低,田间沟渠设施不够完善,不足以满足生产建设的要求。主要分布贯穿整个涿州市的中部地区,从南到北,这些地区田间沟渠设施不够完善,应加强沟渠建设。

3.2.2 潜力测算及分级

参照表2权重和式(2)计算整治前的耕地利用系数 K_i 和耕地利用等指数 Y_i , K_i 在0.10~0.99之间, Y_i 在137.8~2292.3之间。

对比周边地区已有土地整治项目对耕地空间形态、道路设施、沟渠设施的改变程度,对上述冷点区域进行相应的土地整治工程,分值提升为区域内该类指标的最高得分。并计算指标提升后的利用系数 K_i 和整治后的利用等指数 Y_i 。 K_i 在0.10~0.99之间, Y_i 在178.7~2456.0之间。整治潜力分级见图5和表4。

涿州市耕地整治质量潜力较大,呈现中部地区高于东西部地区的特点,对不同潜力级别的区域提出整治方向与建议,具体见表4。

4 结论

(1)本文提出的耕地整治质量潜力测算方法,

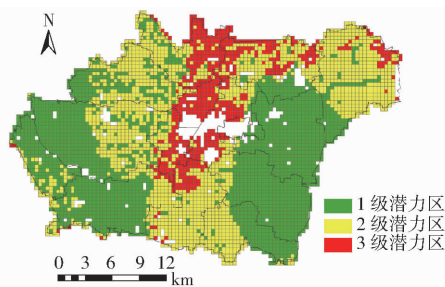


图5 综合潜力分布

Fig.5 Potential distribution

表4 综合潜力分级

Tab.4 Classification of potential

潜力分级	潜力值	分布	网格比例/%	整治工程
1	30.910	东西两侧	40.14	节水灌溉
2	304.87	西北部,中南部,东北部	43.02	修建沟渠、田间道路
3	693.54	中北部	16.84	土地平整、修建田间道路和沟渠

综合考虑了自然质量潜力和利用质量潜力。在分析研究耕地自然质量的限制因素和耕地利用水平的基础上,提出了更具针对性的整治方向。

(2)通过分析可知,涿州市耕地整治潜力较大,灌溉保证率是耕地自然质量的限制因素,改善灌溉条件后耕地自然等指数可平均提升408,进行土地平整、修建沟渠或道路工程可提高耕地利用等指数。

(3)综合整治潜力呈现中部地区大于东部和西部区域的分布特点,应该加强对中部地区耕地的整治。

(4)本文只讨论了耕地整治理论质量潜力,经济条件、整治工程难度、农民整治意愿等因素对于理论潜力实现的限制作用需要进一步修正。另外,不同网格单元产量提升潜力对耕地利用质量的影响需进一步研究。

参 考 文 献

- 杨邦杰, 鄢文聚, 程锋. 论耕地质量与产能建设[J]. 中国发展, 2012, 12(1): 1-6.
YANG Bangjie, YUN Wenju, CHENG Feng. On farmland quality and productivity construction[J]. China Development, 2012, 12(1): 1-6. (in Chinese)
- 鄢文聚. 没有农田整治,就没有现代农业[J]. 中国土地, 2010(11): 13-14.
- 陈志. 我国农业可持续发展与农业机械化[J]. 农业机械学报, 2001, 32(1): 1-4, 15.
CHEN Zhi. A sustainable development of agriculture and agricultural mechanization in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(1): 1-4, 15. (in Chinese)
- 鄢文聚. 土地整治规划概论[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- 刘巧芹, 李子君, 吴克宁, 等. 中国耕地整理潜力测算方法研究综述[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(2): 127-130, 148.
LIU Qiaoqin, LI Zijun, WU Kening, et al. Review on methods for cultivated land consolidation potential calculation in China [J]. Resource Development & Market, 2013, 29(2): 127-130, 148. (in Chinese)
- 张正峰, 陈百明. 土地整理潜力分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6): 664-669.

- ZHANG Zhengfeng, CHEN Baiming. Primary analysis on land readjustment potentiality[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(6): 664-669. (in Chinese)
- 7 王秋香,张红富,胡智毅,等.广东省不同典型区耕地产能利用潜力分析[J].土壤学报,2011,48(3):487-495.
WANG Qiuxiang, ZHANG Hongfu, HU Zhiyi, et al. Analysis of use potential of farmland productivity in different typical areas of Guangdong province [J]. Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(3): 487-495. (in Chinese)
- 8 刘文智,陈亚恒,李新旺,等.基于产能的耕地整理数量质量潜力测算方法研究——以河北省卢龙县为例[J].水土保持研究,2010,17(3):227-231.
LIU Wenzhi, CHEN Yaheng, LI Xinwang, et al. Study on the quantitative and qualitative potential of farmland consolidation on production capacity—a case study on Lulong county [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(3): 227-231. (in Chinese)
- 9 王洪丹,王金满,李新风.北方山丘区县域农用地整理数量质量潜力测算方法研究[J].山东农业大学学报:自然科学版,2015,46(3):373-378.
WANG Hongdan, WANG Jinman, LI Xinfeng. Study on quantitative and qualitative potential of farmland consolidation within county region in the northern hilly regions [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2015, 46(3): 373-378. (in Chinese)
- 10 杨建锋,王令超,杨新民,等.基于农用地分等的耕地整理建设等级目标研究——以豫西北太行山地丘陵类型区为例[J].地域研究与开发,2009,28(4):100-104.
YANG Jianfeng, WANG Lingchao, YANG Xinmin, et al. The study of constructing grading objective for cultivated land consolidation based on classification on agricultural land—a case study of Taihang mountains and hills in the northwest of Henan province [J]. Areal Research and Development, 2009, 28(4): 100-104. (in Chinese)
- 11 TANG Xiumei, CHEN Baiming, ZHANG Leina, et al. Analysis of cultivated land consolidation potential in China [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 219-224.
- 12 徐康,金晓斌,吴定国,等.基于农用地分等修正的土地整治项目耕地质量评价[J].农业工程学报,2015,31(7):247-255.
XU Kang, JIN Xiaobin, WU Dingguo, et al. Cultivated land quality evaluation of land consolidation project based on agricultural land gradation [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7): 247-255. (in Chinese)
- 13 张瑞娟,姜广辉,周丁扬,等.耕地整治质量潜力测算方法[J].农业工程学报,2013,29(14):238-244.
ZHANG Ruijuan, JIANG Guanghui, ZHOU Dingyang, et al. Calculation method of qualitative potential of farmland consolidation [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(14): 238-244. (in Chinese)
- 14 杨伟,谢德体,廖和平,等.基于高标准基本农田建设模式的农用地整治潜力分析[J].农业工程学报,2013,29(7):219-229.
YANG Wei, XIE Deti, LIAO Heping, et al. Analysis of consolidation potential of agricultural land based on construction mode of high-standard basic farmland [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(7): 219-229. (in Chinese)
- 15 杨永侠,施彦如,孙婷,等.基于空间聚类的西藏耕地后备资源开发组合模型[J/OL].农业机械学报,2016,47(4):239-247. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160432&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.032.
YANG Yongxia, SHI Yanru, SUN Ting, et al. Spatial clustering-based model of exploitation combination for reserved cultivated land resources in Tibet [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 239-247. (in Chinese)
- 16 胡晓宇.哈巴河县土地整治潜力评价及分区研究[D].北京:北京林业大学,2015:1-72.
HU Xiaoyu. Research on land comprehensive consolidation potentiality and regionalization of Habahe county [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015:1-72. (in Chinese)
- 17 张超,张海锋,杨建宇,等.网格环境下县域基本农田建设空间布局方法研究[J/OL].农业机械学报,2016,47(11):245-251. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20161134&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.034.
ZHANG Chao, ZHANG Haifeng, YANG Jianyu, et al. Spatial layout of basic farmland construction at county scale in grid environment [J/OL]. 2016, 47(11): 245-251. (in Chinese)
- 18 杨永侠,王旭,孟丹,等.基于空间自相关的耕地等别指数检验方法研究[J/OL].农业机械学报,2016,47(5):328-335. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160545&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.045.
YANG Yongxia, WANG Xu, MENG Dan, et al. Test method of cultivated land grading index based on spatial autocorrelation [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 328-335. (in Chinese)
- 19 李鹏山,吕雅慧,张超,等.基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J/OL].农业机械学报,2016,47(5):281-287. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160538&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.038.
LI Pengshan, LÜ Yahui, ZHANG Chao, et al. Analysis of cultivated land fragmentation in Beijing-Tianjin-Hebei region based on kernel density estimation [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 281-287. (in Chinese)

- ZHANG Xiaoyan, ZHANG Li, CHEN Ying, et al. Analysis on spatial pattern of agriculture land resources quality in Hebei Province based on quantitative geography model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2010, 17(1):101 - 106. (in Chinese)
- 16 段正松, 罗崇连, 左旭阳, 等. 基于景观指数和基尼系数的广西耕地质量空间格局分析[J]. 南方农业学报, 2015, 46(1): 175 - 180.
- DUAN Zhengsong, LUO Chonglian, ZUO Xuyang, et al. Spatial pattern of cultivated land quality in Guangxi based on landscape index and Gini coefficient[J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(1):175 - 180. (in Chinese)
- 17 张耿杰, 刘淑霞, 曾维军, 等. 云南省耕地利用等别与生态环境空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2):275 - 279.
- ZHANG Gengjie, LIU Shuxia, ZENG Weijun, et al. The spatial distribution characteristics of arable land utilization grade and ecoenvironment in Yunnan Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(2): 275 - 279. (in Chinese)
- 18 张贞, 魏朝富, 尚慧. 丘陵山区耕地质量的空间格局分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(8):901 - 907.
- ZHANG Zhen, WEI Chaofu, SHANG Hui. Spatial pattern analysis based on modified cultivated quality grades in hilly area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(8): 901 - 907. (in Chinese)
- 19 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 Ge, LI Dan, LIANG Haiou, 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 County in Heilongjiang Province[J]. Economic Geography, 2012, 32(7):129 - 134. (in Chinese)
- 20 李艳华, 许月卿, 郭洪峰. 西部生态脆弱区典型县域农用地质量等别对比研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8):14 - 20.
- LI Yanhua, XU Yueqing, GUO Hongfeng. Comparison and analysis on agricultural land grading of typical counties in western ecological fragile area[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(8):14 - 20. (in Chinese)
- 21 李玉, 杜丽娟. 河北省耕地问题及可持续利用对策[J]. 河北省科学院学报, 1999, 16(3):57 - 60.
- LI Yu, DU Lijuan. A problem analysis on cultivated land and strategy for continuous use[J]. Journal of the Hebei Academy of Sciences, 1999, 16(3):57 - 60. (in Chinese)
- 22 王千, 金晓斌, 周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8):338 - 344.
- WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang. Cultivated land ecological security and spatial aggregation pattern in Hebei Province [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 338 - 344. (in Chinese)
- 23 李鹏山, 吕雅慧, 张超, 等. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(5):281 - 287. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160538&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.038.
- LI Pengshan, LÜ Yahui, ZHANG Chao, et al. Analysis of cultivated land fragmentation in Beijing - Tianjin - Hebei region based on kernel density estimation[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 281 - 287. (in Chinese)

(上接第 164 页)

- 20 陈述彭, 陈秋晓, 周成虎. 网格地图与网格计算[J]. 测绘科学, 2002, 27(4):1 - 6.
- CHEN Shupeng, CHEN Qiuxiao, ZHOU Chenghu. Grid mapping and grid computing [J]. Science of Surveying and Mapping, 2002, 27(4): 1 - 6. (in Chinese)
- 21 李德仁, 朱欣焰, 龚健雅. 从数字地图到空间信息网格——空间信息多级网格理论思考[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2003, 28(6):642 - 650.
- LI Deren, ZHU Xinyan, GONG Jianya. From digital map to spatial information multi-grid—a thought of spatial information multi-grid theory [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2003, 28(6): 642 - 650. (in Chinese)
- 22 沈立宏, 张超, 桑玲玲, 等. 利用网格法确定县域农田整治优先度[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18):241 - 247.
- SHEN Lihong, ZHANG Chao, SANG Lingling, et al. Determination of consolidation priority for farmland at county level using grid method [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(18): 241 - 247. (in Chinese)
- 23 陈彦清. 网格环境下基于多尺度指标体系的耕地质量评价方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015:1 - 98.
- CHEN Yanqing. A cultivated land quality evaluation method based on multi-scale indicators' system in grid environment [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015: 1 - 98. (in Chinese)
- 24 郭力娜, 张凤荣, 曲衍波, 等. 基于分等因素组合的农用地整理类型分区[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9):308 - 314.
- GUO Li'na, ZHANG Fengrong, QU Yanbo, et al. Farmland consolidation type zoning based on combination of grading factors [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(9): 308 - 314. (in Chinese)
- 25 GB/T 28407—2012 农用地质量分等规程[S]. 2012.