

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.042

高标准农田建设区域划定与项目区选址研究

孙茜¹ 牛海鹏¹ 雷国平² 赵玉领³ 张捍卫¹ 张合兵¹
(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000; 2. 东北大学土地管理研究所, 沈阳 110004;
3. 国土资源部土地整治中心, 北京 100035)

摘要: 以河南省新郑市为例, 基于 GIS 和改进突变级数模型相结合的方法测度高标准农田建设的适宜性和空间稳定性指数, 并以耦合协调度模型统筹适宜性和空间稳定性, 从而明确高标准农田建设的区域, 在此基础上通过冷热点分析遴选高标准农田建设项目区。结果表明, 研究区较为适宜开展高标准农田建设, 优先建设区、重点建设区、全面整治建设区和不宜建设区的面积分别为 27 004. 83、17 040. 40、4 361. 16、5 761. 55 hm²。其中优先建设区应大力发展特色优质安全高效现代农业, 重点建设区以整治项目为依托提升利用效率和效益, 全面整治建设区以优化耕地布局和提升潜力为主, 不宜建设区应注重修复提升地力、增强防灾减灾能力。通过冷热点分析高标准农田建设的适宜性和空间稳定性耦合协调度在空间上的联系模式, 实现了快速识别高标准农田建设项目区, 结合研究区实际遴选了 10 个高标准农田建设项目区。同时, 基于障碍度模型诊断识别各项目区的主要障碍因素, 从而有针对性地指导各项目区有序开展高标准农田建设活动。

关键词: 高标准农田; 改进突变级数模型; 耦合协调度; 冷热点; 新郑市
中图分类号: F323. 211 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)12-0337-10

Well-facilitied Farmland Construction Zoning and Project Site Selection

Sun Qian¹ Niu Haipeng¹ Lei Guoping² Zhao Yuling³ Zhang Hanwei¹ Zhang Hebing¹
(1. College of Surveying & Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China
2. Land Management Institute, Northeastern University, Shenyang 110004, China
3. Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Well-facilitied farmland construction is an important step toward implementing the “storing grain in farmland” strategy to ensure national food security in China. Scientific zoning and project sites are important for improving grain production in an effective manner. Aiming to improve the zoning process, Xinzheng city was considered as a study area for the implementation of well-facilitied farmland construction according to the coupling coordinated degree of suitability and spatial stability. The suitability index and spatial stability index were evaluated using an improved catastrophe progression model, which avoided the problems of subjective weights and aggregated evaluation results. The results demonstrated that Xinzheng city was suitable for well-facilitied farmland construction, which was divided into four types: preferential construction, main construction, regulation construction and unsuitable construction areas, with total land areas of 27 004. 83 hm², 17 040. 40 hm², 4 361. 16 hm² and 5 761. 55 hm², respectively. Areas assigned with these four types should be developed according to their specific characteristics. Thus, high-quality modern agriculture needed to be developed vigorously in the preferential construction areas. The main construction areas should be utilized efficiently with support by project regulation. The regulation construction areas needed to focus on optimizing the cultivated land

收稿日期: 2016-08-18 修回日期: 2016-09-19
基金项目: 国家自然科学基金项目(41371524、U1404402)和国土资源部公益性行业科研专项(201411022)
作者简介: 孙茜(1982—), 女, 博士生, 主要从事资源利用与评价研究, E-mail: sunqian8218@163.com
通信作者: 牛海鹏(1974—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土地整治与土地经济研究, E-mail: niuhaipeng@126.com

layout and upgrading potential. In unsuitable construction areas, efforts should be made to restore the soil productivity, improve the ecological environment for cultivated land and enhance the capacity to resist extreme conditions. Based on zoning, hot and cold spots analysis using a geographic information system was employed to analyze the spatial patterns of the coupling coordination degree, and 10 project regions were selected accurately from these hot spot regions. Furthermore, the main obstacles in each project region were diagnosed to identify the next steps for development in Xinzheng city.

Key words: well-facilitied farmland; improved catastrophe progression model; coupling coordination degree; hot and cold spots; Xinzheng city

引言

高标准农田建设是强化耕地保护,实施藏粮于地战略的重大举措^[1],其建设区域的科学划定及项目区的识别对于有效提升粮食产能具有重要意义。随着我国经济社会的发展,耕地数量尤其是优质耕地数量急剧减少,严重威胁国家粮食安全。虽然全国第二次土地调查数据显示我国耕地数量有所增加,但是耕地保护形势仍十分严峻,人均耕地少、耕地质量总体不高、耕地后备资源不足的基本国情没有根本改变。以完善农田基础设施、提升耕地质量、提高耕地产能为核心的高标准农田建设对于确保中国粮食安全^[2],促进耕地数量、质量和生态全面管护,增强国家粮食安全保障能力,推进农业现代化与新农村建设具有重要意义^[3]。

近年来,高标准农田建设研究已形成诸多成果,主要集中于高标准农田建设的相关理论政策及战略措施^[4]、内涵及建设标准^[5-6]、建设区域的识别与划定方法^[7-13]、建设时序与建设模式^[14-15]、潜力测算^[16]和规划设计^[17]等方面,随着研究的深入部分学者分析了高标准农田建设的生态影响及效益^[18-19]。上述研究丰富和完善了高标准农田建设的理论与方法,但高标准农田建设是一个涵盖适宜性和空间稳定性的复合系统,既要考虑适宜建设,又要保证建成后不被占用、稳定持续发挥作用。而现有研究偏重适宜性评价,个别研究虽涉及空间稳定性,但较少深入反映适宜性与空间稳定性之间的有机联系;并且建设区域的划定结果具有一定的宏观性,未能明确项目区的具体选址,不便于高标准农田建设活动的具体落实。同时,研究方法多采用综合指数法、理想点等,存在权重确定过程中易受主观干扰的问题。鉴于此,在研究中引入耦合协调度模型,实现从综合发展水平和整体功能上反映系统之间的协调发展程度及系统间相互作用与影响情况,而且还体现系统之间的协同功能,可以有效耦合协调高标准农田建设的适宜性与空间稳定性。随着协调发展理念上升为中国五大发展理念之一,该方法已推

广至城镇化与生态环境、产业发展等领域^[20-21]。突变级数模型利用动态系统的拓扑理论构造数学模型,从而描述自然现象与社会活动中事物联系性中断的质变过程。在适宜性和空间稳定性评价中采用改进突变级数模型可以统筹考虑系统内部的连续性和突变性,并且仅需考虑指标的相对重要性,从而减少主观干扰,计算方法简便适用,该方法广泛应用于资源环境、经济管理等方面^[22-23]。据此,本文基于GIS和改进突变级数模型相结合的方法测度高标准农田建设的适宜性和空间稳定性指数,并以耦合协调度模型统筹适宜性和空间稳定性,从而明确高标准农田建设的区域。在此基础上通过冷热点分析高标准农田建设的适宜性和空间稳定性耦合协调度在空间上的联系模式,实现快速精准识别高标准农田建设的项目区,并基于障碍度模型识别项目区主要建设内容,从而解决高标准农田建设区域不明晰、项目区选址不明确的问题,为高标准农田建设区域的划定及项目区的选址提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况及数据来源

新郑市位于河南省中部,介于东经 113°30′ ~ 113°54′、北纬 34°16′ ~ 34°39′ 之间,土地总面积 88 459.15 hm²。地处豫西山区向豫东平原过渡的地带,西部、西南部为浅山丘陵区,中部、西北部为黄土低丘岗地区,东部主要为岗丘风沙区,南部为冲积平原区。2013 年全市总人口为 63.88 万人,粮食总产量为 28.9 万 t;2013 年耕地面积为 54 167.94 hm²,占土地总面积的 61.23%,其中旱地和水浇地面积占 89.55%,主要分布于辛店镇、郭店镇、八千乡、观音寺镇等乡镇。新郑是重要的粮食主产市,耕地增产潜力以及灌排基础设施提升空间较大。新郑市位于郑州航空港经济综合实验区的核心区,在城镇化和工业化进程中,各项建设不可避免占用部分耕地,导致人地矛盾日益凸显。

数据主要来源于:①2013 年新郑市土地利用变更调查数据。②新郑市耕地质量等别更新成果。

③新郑市多目标区域地球化学调查成果。④《新郑市土地利用总体规划(2010—2020 年)》。⑤《新郑市土地整治规划(2011—2020 年)》。⑥《新郑市统计年鉴(2014 年)》。⑦NASA 提供的 MOD17A3 数据 (https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool)。

1.2 评价单元确定

评价单元是进行高标准农田建设研究的基础,当前评价单元的划分主要有乡镇和行政村^[7,16]、栅格^[24]、图斑^[25]。其中,图斑是数据库数据管理的基本单元,以图斑为评价单元可以明确指导各地块的建设方向,并且高标准农田建设需落实到具体地块。因此,以耕地图斑为基础,通过合并细小图斑获取到 17 960 个评价单元。

1.3 研究方法

1.3.1 评价指标体系构建

高标准农田是指土地平整,集中连片,耕作层深厚,土壤肥沃无明显障碍因素,田间灌排设施完善,灌排保障较高,路、林、电等配套,能够满足农作物高产栽培、节能节水、机械化作业等现代化生产要求,达到持续高产稳产、优质高效和安全环保的农田^[5]。因而在研究中坚持数量、质量、空间稳定并重原则,同时参考相关成果构建兼顾适宜性和空间稳定性的评价指标体系^[1-2,15,26-27],见表 1。其中,适宜性从生产利用的角度衡量耕地是否适宜于耕作及其程度,具体包括自然禀赋、基础设施、可持续性 3 个方面。自然禀赋是高标准农田建设的基础,表征了基础自然背景,选取土壤质地、有机质含量等;基础设施是衡量高标准农田的基本条件,通过道路通达度、灌溉保证率、排水条件等表征;可持续性反映了耕地在生产利用过程中土壤理化性状、生态环境等对人为影响的响应,选取土壤污染指数、植被净初级生产力(NPP)、pH 值等。

空间稳定性主要反映经济社会发展过程中耕地被非农建设占用的潜在威胁和风险,主要体现在空间位置、经济发展占用、规划管控、景观空间配置等方面。由于评价单元是图斑,传统的城镇化、工业化水平等区域性指标不能充分反映每个图斑的真实情况。因此,从区位条件、区域发展、耕地性状、景观空间配置等层面构建空间稳定性评价指标。其中,区位条件体现农田的空间位置,通过与城镇、交通干线距离等表征;区域发展重点反映经济社会发展对耕地占用的可能性,采用城镇规划、土地利用规划确定的城镇发展方向、分区等;耕地性状是高标准农田建设不可或缺的因素,选取耕地性质及利用方式;景观空间配置是空间稳定性的空间表象,直接影响着高

标准农田系统的景观稳定和生产功能,选取分维数、面积形状指数表征。

表 1 高标准农田建设评价指标体系
Tab.1 Evaluation index system of well-facilitied farmland construction

目标层	子系统层	准则层	指标层
高标准农田建设	自然禀赋		土壤质地
			有机质含量/(g·kg ⁻¹)
			有效土层厚度/cm
	建设适宜性	基础设施	坡度/(°)
			道路通达度
			灌溉保证率/%
	可持续性		排水条件
			pH 值
			土壤污染指数
	空间稳定性	区位条件	NPP(以碳计)/(g·m ⁻² ·a ⁻¹)
			集中连片度/hm ²
			与城镇距离/km
	区域发展		与交通干线距离/km
			与河道距离/km
			功能分区
			城镇发展
			耕地性质
	景观空间配置		耕地利用方式
			面积形状指数
			分维数

1.3.2 评价指标量化处理

研究中涉及指标较多,并且各指标的属性、效用不尽相同,对高标准农田建设的影响方式及程度存在差异。因此,在指标量化处理过程中,根据指标属性不同可以分为连续型、中间型、离散型。有机质含量、有效土层厚度、NPP、道路通达度等属于连续型,超过某一临界值其影响将越来越小;pH 值等指标属于中间型,存在一个最优区间;而土壤质地、灌溉保证率、排水条件、耕地性质及利用方式等属于离散型。对于连续型指标采用线性比例变换法进行量化处理,而中间型和离散型指标则采用阈值赋值法、经验法进行量化处理。具体根据 NY/T 2148—2012《高标准农田建设标准》、TD/T 1033—2012《高标准基本农田建设标准》和 GB/T 28405—2012《农用地质量分等规程》等,并借鉴相关研究成果以及咨询专家对指标进行量化赋值^[1,12,28],见表 2。

- 指标量化处理如下:
- (1)依据新郑市耕地质量等别更新成果、新郑市多目标区域地球化学调查成果获取土壤质地、有机质含量、有效土层厚度、pH 值等指标。
 - (2)基于新郑市 DEM 数据提取坡度信息。
 - (3)道路通达度,采用 ArcGIS 中的 near 功能分

表 2 部分评价指标量化标准
Tab.2 Partial evaluation index quantitative standard

指标层	指标分值					
	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
土壤质地	壤土	黏土	砂土	砾质土	—	—
有效土层厚度/cm	≥100	[80,100)	[60,80)	[30,60)	(0,30)	0
坡度/(°)	≤2	(2,6]	(6,15]	(15,20]	(20,25]	>25
灌溉保证率/%	充分满足	基本满足	一般满足	—	—	无
排水条件	健全	基本健全	一般	—	—	无
pH 值	[6,8]	[5.5,6); (8,8.5]	—	[4.5,5.5); (8.5,9.5]	<4.5; >9.5	—
功能分区	限制建设区	—	—	有条件建设区	—	禁止建设区、 允许建设区
城镇发展	控制区	—	—	备用区	—	建设区
耕地性质	基本农田	耕地	—	—	—	—
耕地利用方式	水田	水浇地	旱地	—	—	—

析各地块与农村道路的最近距离。

(4)灌溉保证率、排水条件等数据通过新郑市耕地质量等别更新成果、问卷调查与实地调研相结合的方式获取。

(5)土壤污染指数,根据新郑市多目标区域地球化学调查中获取的土壤 6 大重金属含量值,采用单因子指数法与内梅罗综合指数法相结合的方法测算,其计算公式为

$$P=\sqrt{\frac{\left(\frac{1}{6}\sum_{v=1}^6\frac{C_v}{S_v}\right)^2+\max\left(\frac{C_v}{S_v}\right)^2}{2}}\tag{1}$$

式中 P ——土壤污染指数

C_v ——污染物 v 的实测浓度

S_v ——污染物 v 的标准值

(6) NPP 来源于 NASA 提供的 2013 年 MOD17A3 数据。

(7)集中连片度,根据地块面积衡量,采用 Q 表示, Q 值越大说明集中连片度越高,反之则越低^[29],地块面积阈值通过对新郑市耕地地块面积采用自然断裂点法获取,计算公式为

$$Q=\begin{cases}0.1 & (x<3.2) \\ 1-0.9\frac{x-3.2}{9.25-3.2} & (3.2\leqslant x<9.25) \\ 1 & (x\geqslant 9.25)\end{cases}\tag{2}$$

式中 x ——耕地地块面积

(8)区位条件,采用 ArcGIS 的 Euclidean Distance 功能提取属性数据,分别计算与城镇、交通干线以及河道的距离。

(9)根据新郑市土地利用总体规划(2010—2020 年)确定的建设用地空间管制分区获取功能分区信息,依据新郑市城镇规划确定城镇发展方向。

(10)耕地性质根据土地利用规划对耕地的管

控要求,分为基本农田和一般耕地;耕地利用方式则根据 GB/T 21010—2007《土地利用现状分类》,将耕地分为水田、水浇地、旱地。

(11)分维数是对田块边缘复杂性的度量^[30-31],因而可以表征田块的规整程度,该指数越小表明田块形状越规则;借助 ArcGIS 9.3 和 Fragstats 3.3 软件从新郑市 2013 年土地利用变更调查数据库获取分维数、面积形状指数等景观空间配置指标。

1.3.3 改进突变级数模型构建

高标准农田建设涵盖适宜性、空间稳定性 2 个子系统,各子系统又包含多个层次和指标,需逐层获取评价结果。突变级数模型以 RENE·THOM^[32]1972 年提出的突变理论为基础,核心是利用突变理论分歧方程所推导出的归一化公式(表 3)建立递归运算法则。研究中分别将高标准农田建设的适宜性、空间稳定性评价指标体系中的指标层递归到准则层,然后由准则层递归到子系统层,即得各子系统的评价指数。但是该方法在对指标层及准则层中各指标的主次关系进行排序时,依靠主观确定,易受主观干扰。另外,由于突变级数模型归一化公式的聚集特点,导致最终评价指数均较高^[33],并且评价结果之间差距较小。因此,采用主成分分析法实现客观确定评价指标的主次关系,同时根据突变模型的特点和绝对意义下的常规等级标准,制定突变模型下的等级标准,并最终获取评价结果。

(1)指标主次关系排序

运用主成分分析法分别确定高标准农田建设适宜性和空间稳定性子系统中各指标的相关系数矩阵 R 和因子载荷矩阵 F ,根据相关系数矩阵 R 与每一列因子载荷向量 F_k 建立回归方程: $R\times\overline{b}_k=\overline{F}_k$,可得

表 3 突变级数模型
Tab.3 Catastrophe progression models

突变类型	势函数	分歧集方程	归一化方程
折叠突变	$f(x) = x^3 + ax$	$a = -3x^2$	$x^a = a^{1/2}$
尖点突变	$f(x) = x^4 + ax^2 + bx$	$a = -6x^2, b = 8x^3$	$x^a = a^{1/2}, x^b = b^{1/3}$
燕尾突变	$f(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx$	$a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$	$x^a = a^{1/2}, x^b = b^{1/3}, x^c = c^{1/4}$
蝴蝶突变	$f(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{3}bx^3 + \frac{1}{2}cx^2 + dx$	$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$	$x^a = a^{1/2}, x^b = b^{1/3}, x^c = c^{1/4}, x^d = d^{1/5}$

注： $f(x)$ 表示突变系统的势函数； x 表示突变系统的状态变量； $a、b、c、d$ 表示突变系统的控制变量； $x^a、x^b、x^c、x^d$ 表示控制变量对应的突变级数值。

$\bar{b}_k = R^{-1} \times \bar{F}_k$ 。其中 $\bar{b}_k$ 为主成分分量贡献矩阵；则第 m 个指标第 k 个系数的主成分分量贡献量 b_{mk} 与其对应的方差贡献量 D_k 的组合，即为第 m 个评价指标的主次关系系数 $\bar{B}_m$ ，即 $\bar{B}_m = \sum_{k=1}^n |b_{mk}| D_k$ (n 为主成分个数； $m = 1, 2, \cdots, p, p$ 为指标个数)，其中，主成分个数按照方差贡献率大于 85% 的原则选取，然后对 $\bar{B}_m$ 进行归一化处理^[34]，即为各指标主次关系排序系数。

(2) 突变级数模型下的等级标准制定

根据高标准农田建设评价指标体系中各准则层和指标层的关系，分别计算当底层控制变量全部为 $\{0, 0.1, 0.2, \cdots, 0.9, 1\}$ 时的顶层突变评价指数（初始综合值） e_i ，并作为刻画常规突变的等级标准，标准分为 10 个等级，相应区间为 (e_i, e_{i+1}) ($i = 0, 1, \cdots, 9$)。将常规突变级数法的初始综合值 $E_j \{E_1, E_2, \cdots, E_u\}$ (u 为评价对象个数) 根据等级标准映射到对应的均匀区间 $([0, 1]$ 上的 10 个均匀区间)，即得调整综合值 $E'_j \{E'_1, E'_2, \cdots, E'_u\}$ 。若 $e_i \leq E_j \leq e_{i+1}$ ，则

$$E'_j = 0.1 \left(\frac{E_j - e_i}{e_{i+1} - e_i} + i \right) \tag{3}$$

1.3.4 高标准农田建设区域确定

高标准农田建设区域的划定主要解决“建在哪儿”，引入耦合协调度模型体现系统之间的协同，避免不同评价单元的高标准农田建设的适宜性、空间稳定性评价指数在相差较大情况下，其耦合协调度可能会处于同一水平的情况，使得评价清晰、层次分明。根据容量耦合概念及容量耦合系数模型，并借鉴廖重斌^[35]相关研究成果，建立高标准农田建设的适宜性和空间稳定性的耦合协调度模型，从而确定高标准农田建设的区域。相关参数计算公式分别为

$$C = \left[\frac{E_c(x) E_s(y)}{\left(\frac{E_c(x) + E_s(y)}{2} \right)^2} \right]^k \tag{4}$$

$$T = \alpha E_c(x) + \beta E_s(y) \tag{5}$$

$$D = \sqrt{CT} \tag{6}$$

式中 C ——耦合度，介于 0~1 之间， C 越大系统耦合程度越好，反之则越差

$E_c(x)$ ——高标准农田建设的适宜性评价指数

$E_s(y)$ ——高标准农田建设的空间稳定性评价指数

k ——子系统个数， $k = 2$

T ——高标准农田建设的适宜性、空间稳定性综合协调指数

$\alpha、\beta$ ——待定系数，取 $\alpha = \beta = 1/2$ (适宜性、空间稳定性同等重要)

D ——耦合协调度， $D \in [0, 1]$

廖重斌^[35]在研究中将耦合协调状态分为 3 个层次、10 种小类和 30 种基本类型，对于高标准农田建设区域的划定而言太细、不便于操作。为提升类型判别标准的针对性和可操作性，在研究中借鉴廖重斌^[35]3 个层次、10 种小类的耦合协调类型划分方式，并兼顾耦合协调度取值范围，同时结合《高标准农田建设标准》、《高标准基本农田建设标准》等，制定高标准农田建设的适宜性、空间稳定性耦合协调发展类型判别标准(表 4)。

2 结果与分析

2.1 适宜性和稳定性评价结果

基于 GIS 和改进突变级数模型相结合的方法分别测算研究区高标准农田建设的适宜性、空间稳定性评价指数，并采用自然断裂点法对适宜性和空间稳定性评价指数进行分级(图 1)。

新郑市高标准农田建设的适宜性评价指数在 0.369 7~0.885 5 之间，均值为 0.683 4，该指数整体较高，但存在区域差异。运用自然断裂点法将新郑市高标准农田建设适宜性分为 4 级(图 1a)，从 I 级到 IV 级适宜性分别为高适宜、中适宜、低适宜和不适宜。其中，I 级 ($E_c(x) > 0.755$) 和 II 级 ($0.696 < E_c(x) \leq 0.755$) 区域的耕地面积分别占研究区耕地

表 4 高标准农田建设的耦合协调发展类型判别标准

耦合协调发展类型	耦合协调度	组合类型	高标准农田建设区域	
			等级	难易程度
优良协调发展类	[0.8,1.0]	高稳定高适宜、高稳定中适宜	I	优先建设区
初中级协调发展类	[0.7,0.8)	高稳定低适宜、中稳定高适宜、 中稳定中适宜、中稳定低适宜	II	重点建设区
勉强协调发展类	[0.6,0.7)	高稳定不适宜、中稳定不适宜、 低稳定高适宜、低稳定中适宜	III	全面整治建设区
濒临失调衰退类或失调衰退类	[0,0.6)	低稳定低适宜、低稳定不适宜、 不稳定高适宜、不稳定中适宜、 不稳定低适宜、不稳定不适宜	IV	不宜建设区

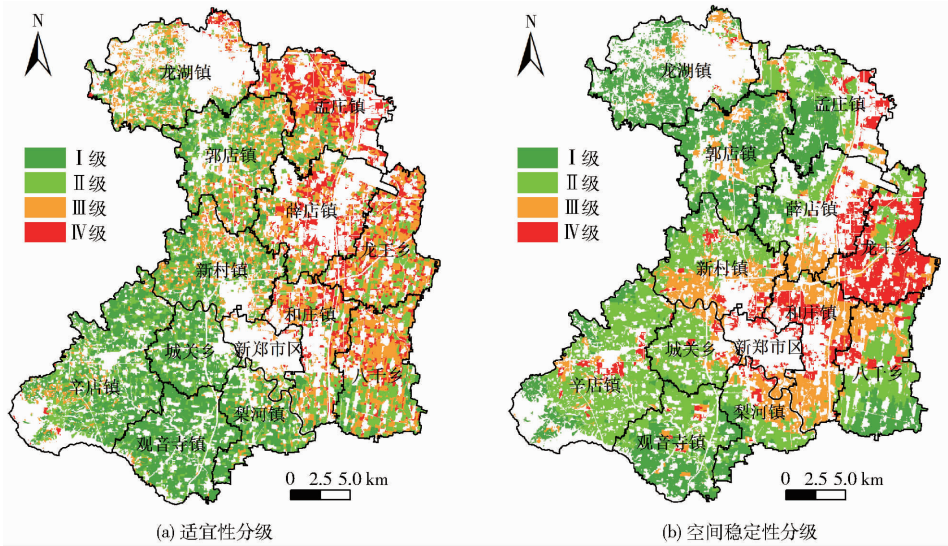


图 1 新郑市高标准农田建设的适宜性和空间稳定性评价结果

Fig.1 Evaluation results of well-facilitated farmland construction subsystems in Xinxing city

总面积的 30.49% 和 30.62%，主要位于辛店镇、观音寺镇、梨河镇、城关乡等区域；Ⅲ级 ($0.6425 < E_c(x) \leq 0.696$) 和Ⅳ级 ($E_c(x) \leq 0.6425$) 区域的耕地面积分别占研究区耕地总面积的 25.81% 和 13.09%，多分布于新郑市东部、东北部的龙王乡、孟庄镇、薛店镇等。

研究区高标准农田建设的空间稳定性评价指数介于 0.149 0 ~ 0.868 3 之间，均值为 0.583 9，分为 4 级 (图 1b)，从Ⅰ级到Ⅳ级空间稳定性分别为高稳定、中稳定、低稳定和不稳定。其中，Ⅰ级 ($E_s(y) > 0.6774$) 和Ⅱ级 ($0.566 < E_s(y) \leq 0.6774$) 区域的耕地面积分别占研究区耕地总面积的 29.58% 和 38.89%，集中分布在观音寺镇、辛店镇、梨河镇西南部、城关乡、郭店镇、龙湖镇、孟庄镇中西部等区域。Ⅲ级 ($0.4094 < E_s(y) \leq 0.566$) 和Ⅳ级 ($E_s(y) \leq 0.4094$) 区域的耕地面积分别占研究区耕地总面积的 17.33% 和 14.2%，多分布于龙王乡、孟庄镇东部、新郑市区周边等区域。同时，从空间分布来看，高标准农田建设的空间稳定性评价指数大致呈现圈层分布，距离城镇、交通干线越近，受城镇扩张压力

越大，空间稳定性评价指数相对越低。

2.2 高标准农田建设区域划定

根据高标准农田建设的适宜性、空间稳定性耦合协调度及其类型判别标准，将研究区高标准农田建设区域划分为优先建设区、重点建设区、全面整治建设区和不宜建设区，结果如图 2 所示。

优先建设区：高标准农田建设的适宜性、空间稳定性评价指数均较高，并且相互耦合协调匹配，属于高稳定高适宜、高稳定中适宜的组合类型。面积为 27 004.83 hm^2 ，占全市耕地面积的 49.85%，主要分布在观音寺镇、郭店镇、梨河镇西南部、辛店镇北部和东部、八千乡南部等区域。该区域是高效农业区和丘陵生态农业区，耕地自然禀赋较好、基础设施完备、耕地集中连片度高，并且与城镇、交通干线有一定距离，建设占用的可能性较小，耕地利用水平较高，景观生态良好，大部分已经基本具备高标准农田的条件。应继续推行惠农政策，促进耕地规模化、集约化经营，按照“高效、生态、设施、标准”现代农业发展要求，大力发展特色优质安全高效现代农业。

重点建设区：高标准农田建设的适宜性、空间稳

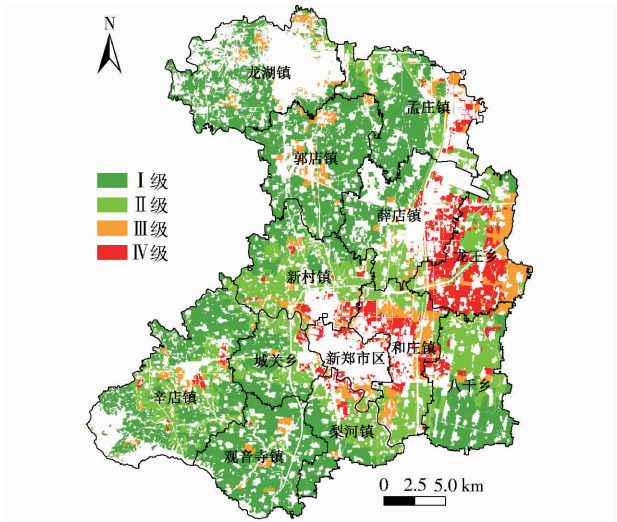


图2 新郑市高标准农田建设区域划定

Fig. 2 Well-facilitated farmland construction zoning of Xinzheng city

定性评价指数中由于某项不高导致耦合协调度稍低,但经过稍加整治即可达到高标准农田的条件,是开展高标准农田建设的重点区域。该区域面积为 17 040. 40 hm^2 , 占全市耕地面积的 31. 46%, 集中分布于新村镇中南部、梨河镇中东部、八千乡北部等。该区耕地集中连片度较高,农业基础设施较完善,但土壤肥力稍低,导致高标准农田建设的适宜性评价指数较低。同时,部分区域空间稳定性稍差,并且耕地呈细碎化态势、田块规整度不高。针对该区域特点,重点做好土壤生态修复与改良,开展土地平整工程,实现田面平整,提高田块集中连片度和规整度,以土地整治项目为依托,建设一批“基础设施完备、布局稳定、景观生态良好”的高标准农田,提升利用效率和效益。

全面整治建设区:高标准农田建设的适宜性和空间稳定性的耦合协调度不高,属于勉强协调发展类型,经过全面整治才能达到高标准农田的条件。该区域面积为 4 361. 16 hm^2 , 占全市耕地面积的 8. 05%, 主要分布于城镇、产业集聚区、交通干线等周边,呈点状、条带状分布,布局较为凌乱。该区域距离城镇、交通干线等较近,受经济社会发展影响较大,导致空间稳定性不高,并且耕地自然禀赋较差、集中连片度不高,建设适宜性较低。在全面整治建设过程中,应结合规划调整完善和耕地流转等,优化耕地布局,提升潜力。

不宜建设区:高标准农田建设的适宜性、空间稳定性评价指数均较低,不具备高标准农田建设的条件。面积为 5 761. 55 hm^2 , 占全市耕地面积的 10. 64%, 主要集中在孟庄镇东部、龙王乡中西部、和庄镇中南部、薛店镇东部等。该区集中布局了郑州

航空港经济综合实验区、新港产业集聚区等,是河南省经济社会发展的龙头,易被建设占用,空间稳定性较差。同时,该区处于岗丘风沙区,土壤质地较差,并且土壤污染较重,加之基础设施不完善,因而当前不适宜建设高标准农田。但是应根据耕地的土壤质地、养分丰缺、污染情况等,通过土壤改良、修复提升地力,维护和改善耕地生态环境,完善基础设施,增强防灾抗灾能力。

2.3 高标准农田建设项目区遴选

高标准农田建设以项目为载体实施,为进一步明晰项目区选址,在高标准农田建设区域划定的基础上,基于 ArcGIS 冷热点分析高标准农田建设的适宜性和空间稳定性耦合协调度在空间上的联系模式,采用自然断裂法进行分级,依次划分为热点、次热点、过渡、次冷点和冷点 5 个区域,得到高标准农田建设区域空间关联集聚图(图 3),为高标准农田建设项目区的选址提供依据。同时,采用障碍度模型诊断各项目区的主要障碍因素,为项目区建设指明方向(表 5)。

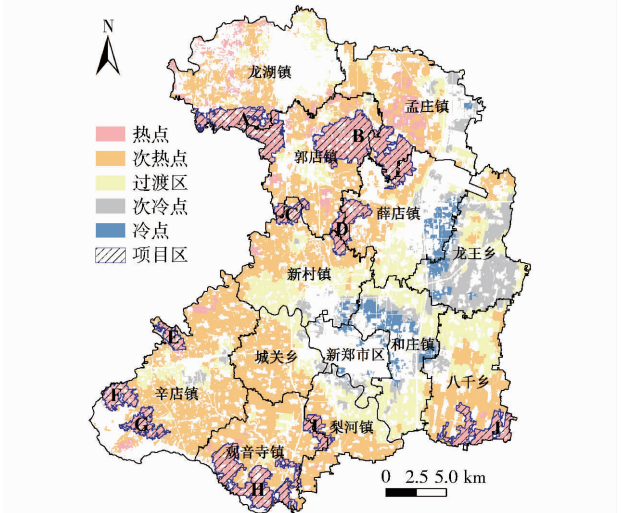


图3 高标准农田建设区域空间关联集聚及项目区遴选

Fig. 3 Well-facilitated farmland construction area spatial association and project site selection

通过对研究区高标准农田建设区域的冷热点分析,热点区聚类值介于 2. 89 ~ 7. 65 之间,耕地面积为 12 175. 37 hm^2 , 主要分布在郭店镇北部和南部、龙湖镇西部、孟庄镇西部、八千乡南部、观音寺南部等区域。针对“集中连片、设施配套、高产稳产、生态良好、抗灾能力强、与现代农业生产和经营方式相适应”的高标准农田建设要求,在热点聚集区遴选高标准农田建设项目区。结合研究区实际,遴选了 10 个高标准农田建设项目区。从图 3 和表 5 可知,项目区主要位于郭店镇、龙湖镇、辛店镇、观音寺镇等乡镇,项目区总面积 8 805. 78 hm^2 , 其中现有耕地

面积7 779.00 hm²,最大的项目区面积2 491.48 hm²,最小的项目区面积245.42 hm²,符合国家对高标准农田建设规模的相关要求。同时,通过障碍度模型诊断

识别,各项目区在建设过程中应主要从土壤培肥、土壤修复、完善灌溉设施、田间道路建设、田块平整及规模化整治等方面开展。

表 5 高标准农田建设项目区
Tab.5 Well-facilitied farmland construction project region

名称	总面积/hm ²	耕地面积/hm ²	项目区位置	主要障碍因素
A	1 481.41	1 282.84	郭店镇、龙湖镇	有机质含量、灌溉保证率、集中连片度、与交通干线距离
B	2 491.48	2 189.47	郭店镇、孟庄镇	有机质含量、灌溉保证率、NPP
C	336.28	288.17	郭店镇、新村镇	有机质含量、灌溉保证率、集中连片度
D	710.69	623.35	郭店镇、新村镇、薛店镇	土壤质地、有机质含量、灌溉保证率、排水条件
E	245.42	212.00	辛店镇	道路通达度、土壤污染、集中连片度
F	424.25	360.97	辛店镇	有机质含量、土壤污染、道路通达度
G	418.87	385.54	辛店镇	土壤污染、集中连片度、道路通达度
H	1 565.82	1 370.50	观音寺镇、梨河镇	集中连片度、道路通达度
I	336.89	271.48	观音寺镇、梨河镇	有机质含量、集中连片度
J	794.67	794.67	八千乡	土壤质地、集中连片度、道路通达度
合计	8 805.78	7 779.00		

3 结论

(1)根据高标准农田建设的内涵和目标,从适宜性、空间稳定性2个层面构建指标体系,基于GIS和改进突变级数模型相结合的方法测度高标准农田建设的适宜性和空间稳定性指数,并以耦合协调度模型统筹适宜性和空间稳定性,从而明确高标准农田建设的区域,解决高标准农田“建在哪儿”这一关键问题,为高标准农田建设区域的划定提供科学依据。

(2)根据高标准农田建设的适宜性和空间稳定性耦合协调度及其类型判别标准,研究区高标准农田建设区域划分为优先建设区、重点建设区、全面整治建设区和不宜建设区。其中,优先建设区耕地面积为27 004.83 hm²,主要分布在观音寺镇、郭店镇、八千乡南部等区域,该区是高效农业区和丘陵生态农业区,应大力发展特色优质安全高效现代农业;重点建设区耕地面积为17 040.40 hm²,以整治项目为

依托提升利用效率和效益;全面整治建设区耕地面积为4 361.16 hm²,以优化耕地布局和提升潜力为主;不宜建设区耕地面积为5 761.55 hm²,应注重修复提升地力、增强防灾抗灾能力。

(3)新郑市高标准农田建设的适宜性评价指数在0.369 7~0.885 5之间,均值为0.683 4,整体较高,但存在区域差异,其中辛店镇、观音寺镇、梨河镇等区域较高。空间稳定性评价指数大致呈圈层分布,距离城镇、交通干线越近,受城镇扩张的压力越大,空间稳定性评价指数相对越低,以观音寺镇、辛店镇、城关乡、郭店镇等区域较高。

(4)基于冷热点分析,明晰高标准农田建设的适宜性和空间稳定性的耦合协调度在空间上的联系模式,实现了快速精准识别高标准农田建设项目区,结合研究区实际遴选了10个高标准农田建设项目区。同时,基于障碍度模型诊断识别项目区主要障碍因素,明确各项目区的重点建设内容。

参 考 文 献

1 冯锐,吴克宁,王倩. 四川省中江县高标准基本农田建设时序与模式分区[J]. 农业工程学报,2012,28(22):243-251.
FENG Rui, WU Kening, WANG Qian. Time sequence and mode partition of high-standard prime farmland construction in Zhongjiang County, Sichuan Province[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(22):243-251. (in Chinese)

2 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 Zhong, LEI Guoping, ZHANG Hui, et al. Time sequence analysis of high-standard basic farmland construction in 853 farm of Heilongjiang province[J]. Economic Geography,2014,34(6):155-161. (in Chinese)

3 李少帅,郇文聚. 高标准基本农田建设存在的问题及对策[J]. 资源与产业,2012,14(3):189-193.
LI Shaoshuai, YUN Wenju. Issues and approaches to the construction of high-standard of basic farmland[J]. Resources and Industries,2012,14(3):189-193. (in Chinese)

4 刘新卫,李景瑜,赵崔莉. 建设4亿亩高标准基本农田的思考与建议[J]. 中国人口·资源与环境,2012,22(3):1-5.
LIU Xinwei, LI Jingyu, ZHAO Cuili. On building 4 hundred million of high-standard basic farmland in the twelfth five-year plan [J]. China Population, Resources and Environment,2012,22(3):1-5. (in Chinese)

- 5 NY/T 2148—2012 高标准农田建设标准[S]. 2012.
- 6 TD/T 1003—2012 高标准基本农田建设标准[S]. 2012.
- 7 胡业翠,吕小龙,赵国梁. 四川省达县高标准基本农田建设规模与建设区域划定[J]. 中国土地科学, 2014, 28(11): 30–38.
HU Yecui, LÜ Xiaolong, ZHAO Guoliang. Construction scale and spatial distribution of well-facilitated primary farmland of Daxian county in Sichuan province[J]. China Land Sciences, 2014, 28(11): 30–38. (in Chinese)
- 8 王新盼,姜广辉,张瑞娟,等. 高标准基本农田建设区域划定方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 241–250.
WANG Xinpan, JIANG Guanghui, ZHANG Ruijuan, et al. Zoning approach of suitable areas for high quality capital farmland construction[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(10): 241–250. (in Chinese)
- 9 刘建生,鄢文聚,赵小敏,等. 基于差距度与投资度的高标准基本农田建设研究与应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 47–53.
LIU Jiansheng, YUN Wenju, ZHAO Xiaomin, et al. Theory and application of well-facilitated capital farmland construction: an analysis based on the gap degree and investment intensity[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(3): 47–53. (in Chinese)
- 10 钱凤魁,王秋兵,李娜. 基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 225–232.
QIAN Fengkui, WANG Qiubing, LI Na. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18): 225–232. (in Chinese)
- 11 蔡朕,刁承泰,王锐,等. 基于集对分析的高标准基本农田建设项目选址合理性评价——以重庆市梁平县为例[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(7): 828–836.
CAI Zhen, DIAO Chengtai, WANG Rui, et al. Evaluation of the reasonability of site selection for high quality capital farmland construction project based on set pair analysis[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(7): 828–836. (in Chinese)
- 12 熊昌盛,谭荣,岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 276–284.
XIONG Changsheng, TAN Rong, YUE Wenzhe. Zoning of high standard farmland construction based on local indicators of spatial association[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22): 276–284. (in Chinese)
- 13 沈明,陈飞香,苏少青,等. 省级高标准基本农田建设重点区域划定方法研究——基于广东省的实证分析[J]. 中国土地科学, 2012, 26(7): 28–33, 90.
SHEN Ming, CHEN Feixiang, SU Shaoqing, et al. Approach to determining the key areas for provincial high-standard primary farmland development: based on Guangdong Province[J]. China Land Sciences, 2012, 26(7): 28–33, 90. (in Chinese)
- 14 薛剑,韩娟,张风荣,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 Jian, HAN Juan, ZHANG Fengrong, et al. Development of evaluation model and determination of its construction sequence for well-facilitated capital farmland[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 193–203. (in Chinese)
- 15 唐秀美,潘瑜春,刘玉,等. 基于四象限法的县域高标准基本农田建设布局与模式[J]. 农业工程学报, 2014, 30(13): 238–246.
TANG Xiumei, PAN Yuchun, LIU Yu, et al. Layout and mode partition of high-standard basic farmland construction at county level based on four-quadrant method[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(13): 238–246. (in Chinese)
- 16 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)
- 17 刘晓南,黄燕,程焄. 高标准基本农田建设工程生态化设计研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2016, 24(1): 1–11.
LIU Xiaonan, HUANG Yan, CHENG Jiong. Ecological engineering designs of high standard basic farmland construction [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2016, 24(1): 1–11. (in Chinese)
- 18 蔡洁,李世平. 基于熵权可拓模型的高标准基本农田建设项目社会效应评价[J]. 中国土地科学, 2014, 28(10): 40–47.
CAI Jie, LI Shiping. Social effects evaluation of high-standard primary farmland construction project based on entropy-weighted method and extension model[J]. China Land Science, 2014, 28(10): 40–47. (in Chinese)
- 19 姜雨辰,孙鹏举,刘学录,等. 张掖市高标准基本农田建设生态效益评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 12(6): 126–131.
JIANG Yuchen, SUN Pengju, LIU Xuelu, et al. Ecological benefit evaluation on high standards for construction of basic farmland in Zhangye[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2015, 12(6): 126–131. (in Chinese)
- 20 张超,李丁,魏秀梅,等. 西北河谷型城市新型城镇化与土地利用效益耦合协调发展研究——以兰州市为例[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2015, 51(2): 173–179.
ZHANG Chao, LI Ding, WEI Xiumei, et al. Evaluation of the coupling and coordination development between new urbanization and urban land use benefits of valley-cities in the Western China: Taking Lanzhou as an example[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2015, 51(2): 173–179. (in Chinese)
- 21 朱江丽,李子联. 长三角城市群产业-人口-空间耦合协调发展研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 75–82.
ZHU Jiangli, LI Zilian. Coupling coordination development of industry-population-space in city cluster of Yangtze river-delta region[J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(2): 75–82. (in Chinese)
- 22 李彩惠,霍海鹰,李雅洁,等. 基于突变级数模型的城市低碳竞争力评价及障碍因子诊断分析[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1474–1481.
LI Caihui, HUO Haiying, LI Yajie, et al. Evaluation of low-carbon city competitiveness and its obstacle indicators analysis in Shandong Province[J]. Resource Science, 2015, 37(7): 1474–1481. (in Chinese)

- 23 高艺凡. 基于突变级数法的中国经济发展评价[J]. 系统工程, 2015, 33(12): 85-91.
GAO Yifan. Evaluation system of China's economic development based on catastrophe theory[J]. System Engineering, 2015, 33(12): 85-91. (in Chinese)
- 24 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, 94.
CUI Yong, LIU Zhiwei. A GIS-based approach for suitability evaluation of high standard primary farmland consolidation: a case from Huairou in Beijing[J]. China Land Sciences, 2014, 28(9): 76-81, 94. (in Chinese)
- 25 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 Ting, ZHANG Fengrong, LI Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(1): 200-210. (in Chinese)
- 26 孙宇, 高明, 莫建兵, 等. 西南丘陵区高标准基本农田建设区域划定研究——以重庆市铜梁区为例[J]. 中国土地科学, 2016, 30(3): 20-28, 87.
SUN Yu, GAO Ming, MO Jianbing, et al. Construction area division of high-standard primary farmland in the southwest hilly area: a case study in Tongliang, Chongqing[J]. China Land Sciences, 2016, 30(3): 20-28, 87. (in Chinese)
- 27 任艳敏, 唐秀美, 刘玉, 等. 基于“生产-生态-区位”的都市区粮田布局方法[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 321-327.
REN Yanmin, TANG Xiumei, LIU Yu, et al. Layout method of cereal field based on production-ecology-location in metropolitan area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 321-327. (in Chinese)
- 28 朱传民, 郝晋珉, 陈丽, 等. 基于耕地综合质量的高标准基本农田建设[J]. 农业工程学报, 2015, 31(8): 233-242.
ZHU Chuanmin, HAO Jinmin, CHEN Li, et al. Well-facilitated capital farmland construction based on cultivated land comprehensive quality[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(8): 233-242. (in Chinese)
- 29 李赓, 吴次芳, 曹顺爱, 等. 划定基本农田指标体系的研究[J]. 农机化研究, 2006, 28(8): 46-48.
LI Geng, WU Cifang, CAO Shuai, et al. Study on indicators system of selecting cultivated land into prime farmland[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006, 28(8): 46-48. (in Chinese)
- 30 蔡海生, 林建平, 朱德海. 基于耕地质量评价的鄱阳湖区耕地整理规划[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 75-80.
CAI Haisheng, LIN Jianping, ZHU Dehai. Cultivated land consolidation planning based on quality evaluation of cultivated land in Poyang Lake region[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 75-80. (in Chinese)
- 31 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]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 281-287.
LI Pengshan, LÜ Yahui, ZHANG Chao, et al. Analysis of cultivated land fragmentation in Beijing-Tianjin-Hebei region based on kernel density estimation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(5): 281-287. (in Chinese)
- 32 POSTON T, IAN S. Catastrophe theory and application[M]. Lord: Pitman, 1978.
- 33 盖美, 王宇飞, 马国栋, 等. 辽宁沿海地区用水效率与经济的耦合协调发展评价[J]. 自然资源学报, 2013, 28(12): 2081-2094.
GAI Mei, WANG Yufei, MA Guodong, et al. Evaluation of the coupling coordination development between water use efficiency and economy in Liaoning coastal economic belt[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(12): 2081-2094. (in Chinese)
- 34 何宜庆, 翁异静. 鄱阳湖地区城市资源环境与经济协调发展评价[J]. 资源科学, 2012, 34(3): 502-509.
HE Yiqing, WENG Yijing. Assessment of harmonious development between resource, environment and urban economy in Poyang lake area[J]. Resource Science, 2012, 34(3): 502-509. (in Chinese)
- 35 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系——以珠江三角洲城市群为例[J]. 热带地理, 1999, 19(2): 172-177.
LIAO Chongbin. Quantitative judgment and classification system for coordinated development of environment and economy: a case study of the city group in the pearl river delta[J]. Tropical Geography, 1999, 19(2): 172-177. (in Chinese)

(上接第 292 页)

- 18 宋怀波, 何东健, 潘景朋. 基于凸壳理论的遮挡苹果目标识别与定位方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 174-180.
SONG Huaibo, HE Dongjian, PAN Jingpeng. Recognition and localization methods of occluded apples based on convex hull theory[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(22): 174-180. (in Chinese)
- 19 GONZALEZ Rafael C, WOODS Richard E. Digital image processing[M]. New York: Pearson Education International, 2007: 764-769.
- 20 GONZALEZ Rafael C, WOODS Richard E, EDDINS Steve L. Digital image processing using Matlab[M]. Knoxville, TN: Gatesmark Publishing, 2009: 810-825.
- 21 傅蓉, 申洪, 陈浩. 基于凹点搜寻的重叠细胞图像自动分离的算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(17): 21-28.
FU Rong, SHEN Hong, CHEN Hao. Research of automatically separating algorithm for overlap cell based on searching concave spot[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(17): 21-28. (in Chinese)
- 22 刘伟华, 隋青美. 基于凹点搜索的重叠粉体颗粒的自动分离算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(12): 1095-1100.
LIU Weihua, SUI Qingmei. Automatic segmentation of overlapping powder particle based on searching concavity points[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(12): 1095-1100. (in Chinese)