doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.024

高标准农田生态位障碍因子诊断模型建立与应用

赵素霞　牛海鹏　张合兵　张小虎
(河南理工大学测绘与国土信息工程学院，焦作 454000)

摘要：基于生态位理论，将生态位模型和指标偏离度思想相结合构建了基于生态位的障碍因子诊断模型。以河南省新郑市为研究对象，从准则层和指标层对制约新郑市高标准农田建设的主要障碍因子展开分析，结果显示：新郑市障碍度在 0.5 以下的耕地总面积为 22 741.14 hm^2，占研究区域耕地总面积的 41.98%；障碍度在[0.51，0.65]之间的耕地总面积为 22 493.79 hm^2，占研究区域耕地总面积的 41.53%；障碍度大于 0.65 的耕地总面积为 8 933.01 hm^2，占研究区域耕地总面积的 16.49%。总体来看，新郑市耕地整体自然禀赋条件较好，障碍度不高。制约新郑市高标准农田建设的主要障碍因子是灌溉保证率和排水条件，部分地区的土壤有机质含量偏低和土壤污染指数偏高。利用该模型获取了新郑市高标准农田建设主要障碍因子的空间分布信息，与实地调查分析结果相符，验证了模型的有效性。该模型既克服了目前障碍因子诊断模型中主观赋权的局限性，又以最适生态位值代替指标偏离度模型中的 100% 值，为指标偏离度模型中 100% 值的确定提供了相关的理论和科学依据，弥补了障碍因子诊断模型的不足，为障碍因子诊断提供了新思路，拓展了生态位理论的应用范围。

关键词：生态位；障碍因子诊断模型；指标偏离度模型；高标准农田；新郑市
中图分类号：F301.21　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1000-1298(2018)01-0194-09

Construction and Application of Obstacle Diagnosis Model Based on Ecological Niche on Well-facilitied Farmland

ZHAO Suxia　NIU Haipeng　ZHANG Hebing　ZHANG Xiaohu
(*College of Surveying and Land Information Engineering*, *Henan Polytechnic University*, *Jiaozuo* 454000, *China*)

Abstract: It is a pivotally strategic measure for China to carry out the rural land consolidation and construct a large-scale well-facilitied farmland which gives stable production despite drought or excessive rain. Because of the different topography, landform, specific factors that restrict agricultural production, the key to solve the well-facilitied farmland construction is also different. Therefore, the most urgent and the prominent obstacle factors that affect the improvement of soil fertility in the well-facilitied farmland construction project must be grasped, so as to eliminate the barrier factors and solve the main problems in the process of land consolidation. The research on the diagnosis of farmland construction obstacle factors was carried out based on Xinzheng City. The research was based on the theory of ecological niche. In the process of diagnosis, the niche suitability evaluation model and the thought of index deviation degree were combined to construct disorder factor diagnosis model based on ecological niche. The index deviation from the optimal niche and the niche deviation of each evaluation factor were calculated by using the model, and the barrier degree of each index was got. Then, the obstacle degree of each evaluation unit was obtained according to the Shefold restriction law. Finally, the factor of the barrier factor value O_i more than 0.4 of each evaluation unit in the region was screened out. The frequency of these factors was calculated and sorted according to the order from large to small, so as to dig out the main obstacle factors affecting the construction of well-facilitied farmland in Xinzheng City. The model not only overcame the limitations of the subjective weighting in the current diagnosis model of obstacle factors, but also replaced

收稿日期：2017-08-28　修回日期：2017-10-12
基金项目：国家自然科学基金项目(41641057、41371524)、国土资源部公益性行业科研专项(201411022)、河南省教育厅重点项目(15A420006)和河南省高校科技创新团队项目(18IRTSTHN008)
作者简介：赵素霞(1980—)，女，博士生，主要从事土地整治与土地复垦等研究，E-mail：zhaosuxiahpu@163.com
通信作者：牛海鹏(1974—)，男，教授，博士生导师，主要从事土地整治和土地生态研究，E-mail：niuhaipeng@126.com

the 100% values in the index deviation model with the optimal niche value, providing theoretical and scientific basis to determine the 100% degree model values of deviation. The model made up for the deficiency of the barrier factor diagnostic model, and made the barrier factor diagnosis model more scientific and reasonable. It provided a new approach for the diagnosis of obstacle factors, and expanded the application of niche theory at the same time. The results showed that the overall obstacle degree was not so high in Xinzheng City. The total farmland area below obstacle degree score of 0.5 was 22 741.14 hm^2, which accounted for 41.98% of the total farmland area in the study area; the total farmland area whose obstacle degree score was in interval of [0.51,0.65] was 22 493.79 hm^2, which accounted for 41.53% of the total farmland area in the study area; the total farmland area whose obstacle degree score was in interval of [0.66,0.8] was 3 873.96 hm^2, and the total farmland area above obstacle degree score of 0.8 was 5 059.05 hm^2, separately accounted for 7.15% and 9.34% of the total farmland area in the study area. The overall natural endowment of cultivated land in Xinzheng City was pretty good, so the main limiting factors to well-facilitied farmland construction in Xinzheng City were guaranteed rate of irrigation and drainage conditions as well as part of low soil organic matter and high soil pollution index. By using this model, the spatial distribution information of main barrier factors of well-facilitied farmland construction in Xinzheng City was obtained, which was consistent with the results of field investigation and analysis, so that the validity of the model was verified. The model reliably provided a basis for the design of well-facilitied farmland construction plan.

Key words: ecological niche; obstacle indicators diagnosis model; index deviation degree model; well-facilitied farmland; Xinzheng City

0　引言

“十二五”期间，我国已累计建成高标准农田 2 600 多万公顷，项目区农田生产条件明显改善，农田抗灾减灾能力显著增强。但是在高标准农田建设过程中，存在项目选址不科学、建设条件不明晰、建设重点和方向不突出、资金使用效率低等问题，产生这些问题的根本原因在于对高标准农田建设中存在的主要障碍因子不明晰，导致规划项目设计雷同，实施方案与当地耕地自然禀赋条件不匹配，影响项目实施效果。因此，为了提高农田建设的科学性和针对性，提升农田建设水平，开展高标准农田建设障碍因子诊断研究尤为重要。

目前，障碍因子诊断模型的研究还处于起步阶段[1-3]，现有为数不多的障碍因子诊断模型主要分为 3 类：基于层次分析法的障碍诊断模型[4]，该模型是通过经验分析获得障碍因素，再用层次分析法计算权重，获得主要障碍因子[5]，虽然操作比较简单，但主观性较强；基于主成分分析的障碍诊断模型[6]，该模型虽然克服了主观性较强的缺陷，但是评价时必须事先获得障碍指标，且计算数据量大；基于指标偏离度的障碍诊断模型[7-9]，该模型应用最为广泛，但计算中障碍因子赋权重时，容易产生主观偏差。综上所述，现有的障碍因子诊断模型虽能较好的对障碍因素进行分析，在实践中也得到了广泛的应用，但评价中普遍存在主观性强和计算复杂等问题。而生态位模型能很好地避免主观赋权的弊端，且计算方法比较简单，鉴于此，本文拟基于生态位理论，将生态位模型和指标偏离度思想相结合构建生态位障碍因子诊断模型，并以新郑市为研究区，识别出影响各区域高标准农田建设的关键障碍因子，提升农田建设效率，同时也为高标准农田建设标准和土地整治规划方案的制订提供参考。

1　研究方法与模型建立

1.1　基于生态位的障碍诊断模型原理

基于生态位的障碍诊断模型是以生态位评价模型和指标偏离度思想为基础，对障碍诊断目标进行多层次分解[5]，利用各指标的现实生态位与最适生态位的偏离程度对指标偏离度进行量化运算，然后根据 Shefold 限制性定律[10]，测算出各目标层的障碍度，从而对障碍因子进行排序分析的一种数学模型。

1.2　基于生态位障碍诊断模型的诊断步骤

（1）构建高标准农田多层次评价指标体系

根据高标准农田建设目标，从目标层、准则层、指标层构建多层次的评价指标体系。

（2）确定各评价指标的最适生态位值

作物对各生态因子作用和反映具有明显的“三基点”特征，即上限值、最适值和下限值[11]。生态位最适值，即各评价因子的状态达到满足作物生产需求的最佳状态。本研究根据高标准农田相关标准，并结合研究区的实际情况，分别确定每个因子对于高标准农田建设的生态位最适值。

（3）计算指标偏离度

计算指标偏离度时，按照生态位评价的要求，对各指标按生态位评价指标量化公式统一进行归一化

处理,评价指标可以分为 3 类,第 1 类是正向因子,即评价因子值越大越好,因子值超过某一值后,其影响程度将越来越小。第 2 类是适度因子,即因子的值存在一个适宜的区间,值过大或过小都会成为高标准农田的限制因素。第 3 类是负向因子,即评价值越小越好[10]。各类评价指标量化公式如下:

第 1 类:正向因子评价模型

$$N_k=\begin{cases}0 & (X_k<D_{k\min})\\ X_k/D_{k\mathrm{opt}} & (D_{k\min}\leqslant X_k<D_{k\mathrm{opt}})\\ 1 & (X_k\geqslant D_{k\mathrm{opt}})\end{cases} \tag{1}$$

式中 N_k——高标准农田评价因子 $k(k\in[1,n])$ 的生态位适宜度

X_k——评价因子 k 的现实生态位

$D_{k\mathrm{opt}}$——高标准农田评价因子 k 的最适生态位

$D_{k\min}$——评价因子 k 的生态位的最小值

第 2 类:适度因子评价模型

$$N_k=\begin{cases}0 & (X_k\leqslant D_{k\min}\text{或}X_k\geqslant D_{k\max})\\ \dfrac{X_k-D_{k\min}}{D_{k\mathrm{opt}}-D_{k\min}} & (D_{k\min}<X_k<D_{k\mathrm{opt}})\\ \dfrac{D_{k\max}-X_k}{D_{k\max}-D_{k\mathrm{opt}}} & (D_{k\mathrm{opt}}<X_k<D_{k\max})\end{cases} \tag{2}$$

式中 $D_{k\max}$——评价因子 k 的生态位的最大值

第 3 类:负向因子评价模型

$$N_k=\begin{cases}1 & (X_k\leqslant D_{k\min})\\ 1-\dfrac{X_k-D_{k\min}}{D_{k\max}-D_{k\min}} & (D_{k\min}<X_k<D_{k\max})\\ 0 & (X_k\geqslant D_{k\max})\end{cases} \tag{3}$$

用指标偏离度公式计算各评价因子的障碍度

$$O_k=1-N_k \tag{4}$$

(4)利用 Shefold 限制性定律进行障碍诊断

高标准农田生态位是一个由 n 种资源构成的 n 维资源空间。根据 Shefold 限制性定律:任何一个生态因子在数量或质量上的不足,就会导致该生物的衰退或不能生存[12-14]。制约高标准农田建设适宜性的关键因素并不是等级高的因子,而是等级最低的因子,即障碍度最大的因子,因此高标准农田障碍因子诊断模型可表示为

$$O=\max(O_k) \tag{5}$$

式中 O——高标准农田的生态位障碍度指数

利用指标偏离度公式可以计算出各评价单元中各指标的障碍度,然后利用式(5)依次计算出各指标层的障碍水平。

(5)障碍因子排序

首先根据式(1)~(5)计算区域内各评价单元各评价因子的障碍度 O_k,筛选出区域内各评价单元障碍度 $O_k>0.4$ 的因子,然后对这些因子进行频率统计,按从大到小依次排序。

2 实例分析

2.1 研究区概况

新郑市位于河南省中部,北靠省会郑州市区,东邻中牟县、尉氏县,西接新密市,南与长葛市、禹州市毗邻,隶属郑州市。位于 34°16′~34°39′N,113°30′~113°54′E;南北长 42 km,东西宽 36 km,总面积 884.59 km^2,全市辖 3 个乡、9 个镇、3 个街道办事处。双洎河贯穿全市,境内长约 30 km。年平均气温 14.3℃,年平均降水量 735 mm,全年无霜期 208 d。新郑市地势西高东低、中部高、南北低。山、丘、岗和平原兼有。土壤类型分为褐土、潮土和风砂土 3 个类型。根据新郑市土地利用现状变更调查,全市耕地总面积 54 167.94 hm^2(高标准农田建设是对田、水、路、林、村的综合整治,因此本研究在区域耕地面积统计时除统计耕地面积之外,还包括田坎、沟渠和农村道路),占全市土地总面积的 61.23%。

2.2 数据来源及数据处理

本研究所用数据包括新郑市数字高程图(DEM)、新郑市土壤图、2015 年土地利用变更调查数据库、新郑市耕地质量等别更新成果(2012 年)、多目标地球化学调查、新郑市土地利用总体规划(2010—2020 年)、中原经济区典型区域土地生态状况信息提取与精细评估相关成果(2014 年)、《新郑市统计年鉴(2015 年)》和通过调查问卷入村调查获得的关于农田基础设施条件、外部水源保证率等资料。

(1)土壤条件和立地条件

表层土壤质地、有效土层厚度、土壤有机质含量和 pH 值数据的获取根据典型地区野外调查采样数据,结合农业部门基础地力调查数据和土壤图等相关资料,其中表层土壤质地分为壤土、黏土、砂土和砾质土,分别赋值 100、90、70、40;土壤污染程度通过测定土壤中重金属污染物如铬、镉、铅、铜、锌,非金属污染如砷和化肥污染硝态氮、铵态氮等含量,利用 NEMEROW(内梅罗)指数计算出土壤综合污染指数;坡度数据则根据新郑市 DEM 提取。

(2)基础设施条件

田间道路通达度用田间地块到农村道路的距离表达,借用 ARCGIS 中的 near 工具计算最短距离;排水条件和灌溉保证率依据新郑市各灌渠分布及水井的有效控制灌溉面积等指标,同时结合实地调查,制定出新郑市的耕地灌溉和排水分布情况图,其中

排水条件分为排水体系健全、排水体系基本健全、排水体系一般和无排水体系 4 个等级，分别赋值 100、80、40、10；灌溉保证率分为充分满足、基本满足、一般满足和无灌溉条件 4 个等级，分别赋值 100、80、50、0；林网密度采用遥感监测方法，农田林网现状通过高分辨率遥感影像解译，采用目视解译获得农田林网现状，以此代表区域农田林网建设的平均状况，然后结合区域耕地分布数据，求算全域农田林网建设现状，林网密度用廊道密度来表示（km/km^2）。

（3）生态景观条件

耕地集中连片程度采用 GIS 分析中空间相连性计算法，假设间隔距离在 5 m 以内的地块是相连的[10]，进行缓冲区分析，获取集中连片面积；田块规模直接用 ArcGIS 获取图斑面积；斑块形状指数计算式为

$$I_i = 0.25P_i/\sqrt{A_i} \quad (6)$$

式中　I_i——田块 i 的斑块形状指数

P_i——田块 i 的周长

A_i——田块 i 的面积，其数值越接近于 1，说明耕地田块越规整

2.3　评价单元划分

本研究以耕地图斑为评价单元。以新郑市 2015 年土地利用变更数据库为基础，提取耕地图斑，把面积过小的图斑进行合并后得到高标准农田障碍因子诊断评价单元图，共计 22 195 个。

2.4　评价指标体系构建和最适生态位的确定

高标准农田应通过土地整治建设达到布局合理化、农田规模化、农艺科技化、生产机械化、经营信息化、环境生态化等标准，因此，入选耕地应具备自然禀赋高、连片程度高、基础设施完善、空间稳定性强等基本特征。通过以上对高标准农田建设适宜性影响因子的分析，结合新郑市的实际情况，考虑到评价指标的可获得性和可操作性，本研究基于生态位理论，在参考相关文献[15-22]的基础上，共选取 13 个指标（表 1）。评价指标属性数据主要分为3类：连续型、离散型和中间型。一般来

表 1　新郑市高标准农田建设评价指标体系及最适生态位值

Tab. 1　Evaluation index system and optimal niche of consolidation on well-facilitied capital farmland in Xinzheng City

目标层	准则层	指标层	指标类型	最适值	依据
高标准农田建设评价	土壤条件	表层土壤质地	正向	100	根据《农用地质量分等规程》（GB/T 28405—2012）中表层土壤质地分级，1 级壤土 100 分作为最适值
		有效土层厚度/cm	正向	100	根据《耕地质量等级》（GB/T 33469—2016）和《农用地质量分等规程》（GB/T 28405—2012），有效土层厚度取 100 cm 作为最适值，最小不能小于 30 cm
		土壤有机质质量比/（$g\cdot kg^{-1}$）	正向	20	根据《农用地质量分等规程》（GB/T 28405—2012）和《耕地质量等级》（GB/T 33469—2016）中土壤有机质含量分级，1 级大于等于 20 g/kg 作为最适值
		pH 值	适度	6.0～7.9	根据《农用地质量分等规程》（GB/T 28405—2012）中的土壤 pH 值分级标准，确定 pH 最适值为 6.0～7.9。最小不能小于 4.5，最大不能大于 9.5
		土壤污染程度/%	负向	0	直接以最小值 0 作为最适值
	立地条件	坡度/（°）	负向	2	根据《农用地质量分等规程》（GB/T 28405—2012）中坡度分级中的 1 级，坡度小于等于 2°作为最适宜值，最大不能大于 15°
	基础设施条件	排水条件/%	正向	100	以最大值 100 作为最适值
		灌溉保证率/%	正向	100	以最大值 100 作为最适值
		林网化比例	正向	7.0	根据《农田防护林工程设计规范》（GB/T 50817—2013），结合新郑市实际取 7.0 km/km^2 作为最适值
		田间道路通达度/m	正向	20	根据《高标准农田建设评价规范》（GB/T 33130—2016）和现场调查确定 20 m 为最适值
	生态景观条件	集中连片程度/hm^2	正向	200	根据《高标准农田建设评价规范》（GB/T 33130—2016）附录 C 中的高标准农田连片和田块规模标准，确定连片规模最适值为 200 hm^2
		田块规模/m^2	正向	10 000	参考相关研究[23]，认为地块面积大于 3 600 m^2 的地块，适宜机械化耕作，其中大于 10 000 m^2 的地块是机械作业的理想规模，因此，确定田块规模 10 000 m^2 作为最适值
		斑块形状指数	负向	1.25	参考相关研究[20]，认为斑块形状指数小于等于 1.25 的田块较规整，大于 2.60 的田块极不规则，影响机械化作业，因此，选择 1.25 作为最适值

说,评价指标 pH 值属于中间型,存在一个最适宜区间;有效土层厚度等指标属于连续性的,且越大越好,超过某一值,它的影响将越来越小;而土壤质地、灌溉保证率则属离散型,根据指标属性类型确定因子的属性值,离散型指标分级分值按级别赋予相应分值。

对高标准农田建设而言,每个评价因子都有一个最适的生态位值,其中排水条件和灌溉保证率等指标属越大越好的指标,直接按分值 100 分作为最适值。而土壤污染程度属越小越好的指标,把 0 作为最适值。结果如表 1 所示。

2.5 高标准农田建设障碍度分析

2.5.1 高标准农田建设准则层障碍度测算与分析

对新郑市域高标准农田建设适宜性评价准则层进行障碍度计算,得到准则层指标障碍度分布情况(表 2 和图 1)。

表 2 新郑市高标准农田建设评价准则层指标障碍度分级统计

Tab. 2 Degree classification statistics of criterion layer obstacle index of consolidation evaluation on well-facilitied capital farmland in Xinzheng City

级别	土壤条件障碍度		立地条件障碍度		基础设施条件障碍度		生态景观条件障碍度	
	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%	面积/hm²	比例/%
Ⅰ级	2 201.09	4.06	418.41	0.77	163.54	0.30	4 727.48	8.73
Ⅱ级	2 957.83	5.46	275.67	0.51	330.81	0.61	1 766.73	3.26
Ⅲ级	19 511.28	36.02	389.55	0.72	23 015.47	42.49	2 732.83	5.05
Ⅳ级	29 497.74	54.46	53 084.31	98.00	30 658.12	56.60	44 940.90	82.97
合计	54 167.94	100	54 167.94	100	54 167.94	100	54 167.94	100

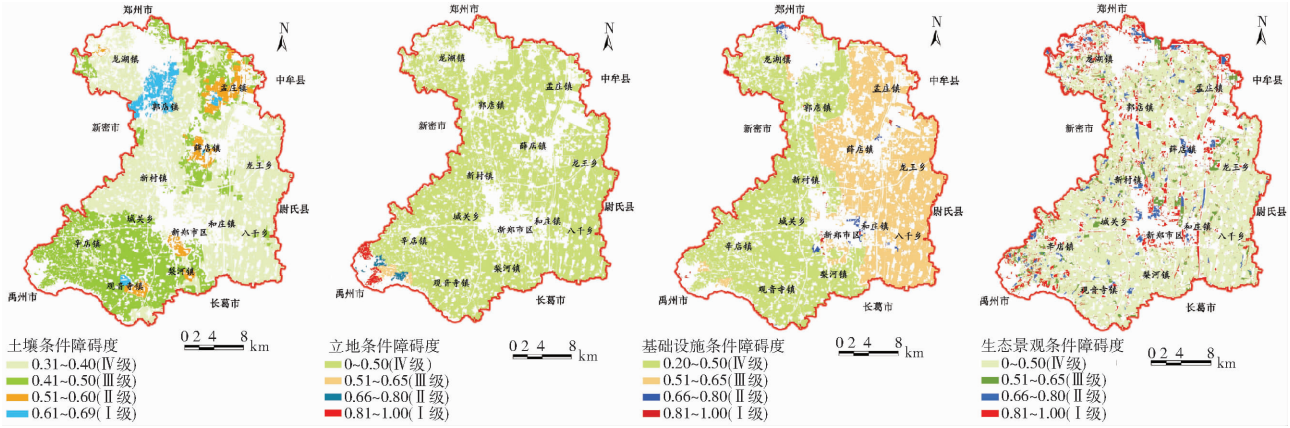

图 1 新郑市高标准农田建设准则层障碍度

Fig. 1 Criterion obstacle degree of well-facilitied capital farmland of Xinzheng City

(1)土壤条件障碍度

从图 1 可以看出,土壤条件障碍度在 0.31 ~ 0.69 之间,障碍度小于 0.5(即Ⅲ级、Ⅳ级)的区域总面积为 49 009.02 hm²,占研究区耕地总面积的 90.48%;障碍度在 0.51 ~ 0.60(即Ⅱ级)之间的区域总面积为 2 957.83 hm²,占研究区耕地总面积的 5.46%,主要分布在孟庄镇、薛店镇、梨河镇和观音寺镇部分区域;障碍度在 0.61 ~ 0.69(即Ⅰ级)之间的区域总面积为 2 201.09 hm²,占研究区耕地总面积的 4.06%,主要分布在郭店镇、观音寺镇和孟庄镇部分区域,其中孟庄镇面积最大。总体来看,新郑市土壤条件较好,仅有 9.52% 的耕地障碍度大于 0.5。

(2)立地条件障碍度

立地条件障碍度在 0 ~ 1 之间均有分布,但立地条件障碍度较大的地区主要分布在辛店镇西南部的山区,其中立地条件障碍度大于 0.5 的耕地面积 1 083.63 hm²,占研究区耕地总面积的 2.00%。其他区域立地条件总体较好,基本无障碍。

(3)基础设施条件障碍度

基础设施条件选择排水条件、灌溉保证率、林网化比例、田间道路通达度作为评价指标。灌溉、排水、田间道路、农田林网等外部基础设施的配套建设,对耕地产能提升效果最显著,同时也是高标准农田建设最容易见效的重要整治环节。从表 2 和图 1 可以看出,新郑市整体基础设施条件一般,障碍度大于 0.5 的耕地面积 23 509.82 hm²,占研究区耕地总面积的 43.40%。基础设施条件障碍度主要是由于区域农田水利设施标准低、配套差、老化失修等现象普遍存在,造成耕地质量偏低,制约了生产的发展。

(4)生态景观条件障碍度

生态景观条件选择集中连片程度、田块规模和斑块形状指数作为指标。高标准农田建设一个重要的目标就是促进集中连片,发挥规模效益。因此耕地的集中连片程度是衡量耕地能否入选高标准农田的主要因素之一。田块规模则会直接影响到灌排渠系、田间道路等作用的发挥以及耕作效率的高低。斑块形状指数反映田块的规整程度,田块形状愈规则,细碎化程度越低,耕作效率越高。从表 2 和图 1 可以看出,新郑市生态景观条件障碍度不高,障碍度大于 0.5 的耕地面积 9 227.04 hm^2,占研究区耕地总面积的 17.04%,障碍度高主要是由于地块零碎,田块面积小,集中连片程度受建设用地占用、切割影响显著,田块不规则性增强,进而导致耕地综合适宜度指数偏低,影响了农业现代化规模效应的发挥。

综上所述,从准则层来看,制约新郑市高标准农田建设的主要障碍因素是基础设施条件。

2.5.2　高标准农田建设指标层障碍度测算与分析

2.5.2.1　高标准农田建设障碍度分区

按照上述步骤计算得到新郑市各评价单元高标准农田建设适宜性的障碍度,从图 2 可以看出,新郑市高标准农田障碍度在 0.33 ~ 1.00 之间,障碍度在 0.5 以下的耕地总面积为 22 741.14 hm^2,占研究区域耕地总面积的 41.98%,该区域集中连片程度较高,主要位于新郑市西南部和北部部分区域,耕地综合质量总体较优,基本无障碍;障碍度在[0.51, 0.65]之间的耕地总面积为 22 493.79 hm^2,占研究区域耕地总面积的 41.53%,该区域主要分布在新郑市东部的沙地区,该区域土壤以沙地为主,耕地集中连片程度较高,但因土壤保水性差,灌排设施欠缺,存在一定的障碍;障碍度在[0.66,0.8]和大于 0.8 之间的耕地总面积分别为 3 873.96 hm^2 和 5 059.05 hm^2,分别占研究区域耕地总面积的 7.15% 和 9.34%,该区域内的耕地明显表现出零星、散乱态势,穿插在其他类型中间(图 2)。

2.5.2.2　高标准农田建设障碍因子空间分布

高标准农田建设项目必须把握需求最迫切、影响地力提高的突出性障碍因素,以便于有针对性地在整治过程中消除障碍因子,解决主要问题[23],因此,本文为了提高农田建设针对性,根据新郑市低山丘陵、平原、沙丘岗的地貌特点,将新郑市分为 3 个区:西部低山丘陵生态农业区、中南部平原高效农业区和东部沙化农业区,然后分区域进行高标准农田建设障碍因子诊断,便于充分挖掘出制约新郑市高标准农田建设的主要障碍因子。

其中西部低山丘陵生态农业区包括新郑市的龙湖镇、郭店镇、辛店镇 3 个乡镇,区域内耕地总面积 16 807.45 hm^2,占新郑市耕地总面积的 31.03%;中南部平原高效农业区包括薛店镇、新村镇、城关乡、和庄镇、观音寺镇、梨河镇、新郑市区 7 个乡镇,区域内耕地总面积 22 820.51 hm^2,占新郑市耕地总面积的 42.13%,是新郑市的主要粮食高产区;东部沙化农业区包括孟庄镇、龙王乡、八千乡 3 个乡镇,区域内耕地总面积 14 539.98 hm^2,占新郑市耕地总面积的 26.84%。各区域障碍因子分布情况见表 3。

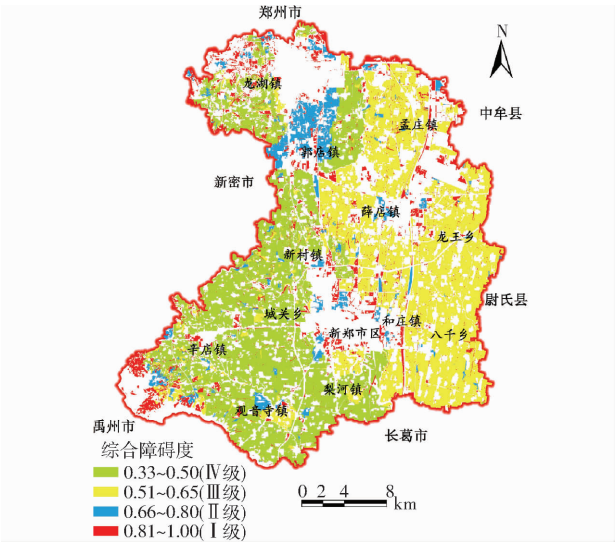

图 2　新郑市高标准农田建设综合障碍度分布图

Fig. 2　Comprehensive obstacle degree distribution diagram of well-facilitied capital farmland of Xinzheng City

(1)中南部平原高效农业区

通过障碍度计算,区域内障碍度为Ⅳ级,即障碍度最小的区域总面积为 12 395.75 hm^2,占新郑市耕地总面积的 22.88%,主要分布在观音寺镇、梨河镇、城关乡、新村镇。该区域耕地自然条件、景观生态条件、基础设施各方面综合最优,各评价因子障碍度均小于 0.4,基本无障碍,该区域是农田保护的核心区域,属于高标准农田建设的首选对象。

区域内障碍度为Ⅲ级的总面积为 7 517.78 hm^2,占新郑市耕地总面积的 13.87%,主要分布在薛店镇和和庄镇。该区域耕地的土壤质量条件较好,主要是灌排设施相对欠缺,在一定程度上影响了耕地的产能,在高标准农田建设过程中应加强农田基础设施配套建设,逐步缩短与优质耕地的差距。

区域内障碍度为Ⅱ级和Ⅰ级的区域总面积分别为 1 085.53 hm^2 和 1 821.46 hm^2,分别占新郑市耕地总面积的 2.00% 和 3.36%;这两个区域多以“插花”形态分布在其他类型之间,田块不规则性显著增强。集中在孟庄镇、郭店镇、薛店镇。该区域土地障碍因素制约明显,集中连片程度受建设用地占用、切割影响显著,田块的不规则性增强,田块规模较小,且灌

溉不足,林网条件较差,影响了农业现代化规模效应的发挥。

(2)东部沙化农业区

区域内障碍度为Ⅳ级总面积为 421.16 hm^2,占新郑市耕地总面积的 0.78%,主要分布在孟庄镇和龙王乡的西部。该区域耕地整体质量较好,但存在一定的障碍,但障碍度不大,主要表现为土壤有机质含量偏低,部分灌溉配套设施老化或经久失修。

区域内障碍度为Ⅲ级总面积为 13 073.39 hm^2,占新郑市耕地总面积的 24.13%,主要分布在孟庄镇、龙王乡和八千乡的大部分区域。该区域耕地以沙地为主,耕地自然禀赋条件较好,集中连片程度高,但存在一定的障碍因素,主要表现为灌排等基础设施条件不配套,土壤有机质含量较低,这 3 个因子对区域内高标准农田建设有一定的限制,因此,该区域在建设过程中,应注重农田水利设施建设,同时增加有机肥使用量,不断增加有机物残留在土壤中的数量。

区域内障碍度为Ⅱ级和Ⅰ级的区域总面积分别为 277.67 hm^2 和 767.76 hm^2,分别占新郑市耕地总面积的 0.51% 和 1.42%;这两个区域主要分布在乡镇周边。该区域土地障碍因素制约明显,主要表现在灌溉不足、土壤有机质含量较低,田块规模较小,且集中连片程度较差。因此,该类型的土地整治工程应以通过配套灌排设施,清挖疏浚河道,改善农田水利基础设施条件和农业生产条件,提高农田连片程度,实现农业增长方式由资源粗放型向集约型转变。

(3)西部低山丘陵生态农业区

区域内障碍度为Ⅳ级总面积为 9 924.23 hm^2,占新郑市耕地总面积的 18.32%,主要分布在龙湖镇西南部、郭店镇东部和辛店镇中东部区域。该区域耕地整体质量较好,限制因素就是农田的基础设施不完善,土壤存在一定程度的污染。因此,在该区域安排农田建设项目时,在注重土壤污染治理的同时,应针对该区域农田水利设施标准低、配套差、老化失修等问题,进一步改善基础设施条件。

区域内障碍度为Ⅲ级、Ⅱ级和Ⅰ级的总面积分别为 1 902.62、2 510.76、2 469.83 hm^2,分别占新郑市耕地总面积的 3.51%、4.64% 和 4.56%。这 3 个区域属于低山丘陵区,该区域的主要限制因子是农田基础设施不完善,较大地区的灌溉和排水设施已不能满足当前农业发展的需要,部分耕地坡度较大,地块零碎,存在一定的水土流失现象,且无法机械化耕种,造成部分耕地存在撂荒现象。因此,该区域应提高农田防护林建设,改善生态环境,防止水土流失,同时加强农业基础配套设施的建设,提高农业综合生产能力。

表 3 新郑市高标准农田建设障碍因子分布

Tab.3 Obstacle indicators distribution of well-facilitied capital farmland of Xinzheng City

分区名称	区域分布	障碍度级别	面积/hm^2	面积比/%	障碍因子
中南部平原高效农业区	薛店镇、新村镇、城关乡、和庄镇、观音寺镇、梨河镇、新郑市区	Ⅰ级	1 821.46	3.36	田块规模 0.95,集中连片程度 0.92,林网化比例 0.62,排水条件 0.6
		Ⅱ级	1 085.53	2.00	集中连片程度 0.74,林网化比例 0.63,排水条件 0.6
		Ⅲ级	7 517.78	13.87	排水条件 0.60,灌溉保证率 0.4
		Ⅳ级	12 395.75	22.88	
东部沙化农业区	孟庄镇、龙王乡、八千乡	Ⅰ级	767.76	1.42	集中连片程度 0.93,田块规模 0.85,排水条件 0.6,土壤有机质含量 0.46,灌溉保证率 0.4
		Ⅱ级	277.67	0.51	集中连片程度 0.71,排水化比例 0.6,灌溉保证率 0.4
		Ⅲ级	13 073.39	24.13	排水条件 0.6,土壤有机质含量 0.47,灌溉保证率 0.4
		Ⅳ级	421.16	0.78	土壤有机质含量 0.41,灌溉保证率 0.4
西部低山丘陵生态农业区	龙湖镇、郭店镇、辛店镇	Ⅰ级	2 469.83	4.56	田块规模 0.95,集中连片程度 0.92,坡度 0.86,综合污染指数 0.44,灌溉保证率 0.40
		Ⅱ级	2 510.76	4.64	坡度 0.74,pH 值 0.66,综合污染指数 0.44,灌溉保证率 0.40
		Ⅲ级	1 902.62	3.51	坡度 0.50,综合污染指数 0.42,灌溉保证率 0.4
		Ⅳ级	9 924.23	18.32	灌溉保证率 0.4,综合污染指数 0.4
合计			54 167.94	100	

注:障碍度小于 0.40 的指标为非主要障碍因子,可以不予考虑。

3 结论

(1)基于生态位理论,将生态位模型和指标偏离度思想相结合构建了基于生态位的障碍因子诊断模型,评价时避免给出各指标的权重,克服了主观赋权的局限性。

(2)在现有障碍因子诊断模型计算过程中,其偏离度的计算公式是各评价指标值与 100% 的差

值，其 100% 值的确定缺乏相关的理论和科学依据[24]。本文借鉴生态位模型中最适生态位的概念，以最适生态位值代替 100% 值，利用因子的现实生态位和最适生态位之间的差异程度构建障碍因子诊断模型，弥补了障碍因子诊断模型的不足，使障碍因子诊断模型更加科学、合理，同时拓展了生态位理论的应用范围。

（3）从障碍度来看，新郑市障碍度在 0.5 以下的耕地总面积为 22 741.14 hm^2，占总研究区域耕地总面积的 41.98%；障碍度在[0.51，0.65]之间的耕地总面积为 22 493.79 hm^2，占总研究区域耕地总面积的 41.53%；障碍度在[0.66，0.8]和大于 0.8 之间的耕地总面积为 3 873.96 hm^2 和 5 059.05 hm^2，分别占总研究区域耕地总面积的 7.15% 和 9.34%，总体来看，障碍度不高。

（4）从障碍因子分布来看，新郑市西南部区域耕地自然禀赋条件较好，评价因子的障碍度不高，是新郑市高标准农田建设的首选对象。制约东部区域高标准农田建设的主要障碍因子是农田基础设施不完善，较大地区的灌溉和排水设施已不能满足当前农业发展的需要，部分地区土壤有机质含量较低和土壤存在一定程度的污染。

参 考 文 献

1 赵宏波，马延吉，苗长虹. 基于熵值-突变级数法的国家战略经济区环境承载力综合评价及障碍因子——以长吉图开发开放先导区为例[J]. 地理科学，2015，35(12)：1525－1532.
ZHAO Hongbo, MA Yanji, MIAO Changhong. Integrated assessment and obstacle factors of environmental carrying capacity of national strategic economic zones based on entropy and catastrophe progression methods: a case study in Changchun－Jilin－Tumenjiang development and opening-up pilot area[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(12): 1525－1532. (in Chinese)

2 陈晓红，杨立. 基于多属性群决策方法的障碍诊断模型[J]. 科研管理，2013，34(3)：115－121.
CHEN Xiaohong, YANG Li. The obstacle diagnosis model based on the multi-attribute group decision-making[J]. Science Research Management, 2013, 34(3): 115－121. (in Chinese)

3 BECK T, DEMIRGUC-KUNT A, LAVEN L, et al. The determinants of financing obstacles[J]. Journal of International Monev and Finance, 2006, 25(6): 932－952.

4 毛旭明，杨庆媛，信桂新，等. 重庆市农地规模经营主要障碍因素分析[J]. 西南大学学报：自然科学版，2007，29(12)：146－150.
MAO Xuming, YANG Qingyuan, XIN Guixin, et al. Analysis of the nain barrier factors for large-scale management of farmland in Chongqing municipality[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2007, 29(12): 146－150. (in Chinese)

5 陈晓红，杨立. 基于突变级数法的障碍诊断模型及其在中小企业中的应用[J]. 系统工程理论与实践，2013，33(6)：1479－1485.
CHEN Xiaohong, YANG Li. Obstacle diagnosis model based on the catastrophe progression method and its applications for the small and medium-sized enterprises[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(6): 1479－1485. (in Chinese)

6 李晓明，杨劲松. 黄淮海平原典型区域耕地盐碱障碍诊断指标研究[J]. 灌溉排水学报，2010，29(4)：56－58.
LI Xiaoming, YANG Jinsong. Indication of diagnosing salinity-alkalinity hazard of typical area in the Huanghuaihai plain[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(4): 56－58. (in Chinese)

7 彭补拙，安旭东，陈浮，等. 长江三角洲土地资源可持续利用研究[J]. 自然资源学报，2001，16(4)：305－312.
PENG Buzhuo, AN Xudong, CHEN Fu, et al. A study on sustainable land use in the Yangtze River Delta[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16 (4): 305－312. (in Chinese)

8 杨奇勇，杨劲松，姚荣江，等. 基于 GIS 的耕地土壤养分贫瘠化评价及其障碍因子分析[J]. 自然资源学报，2010，25(8)：1375－1384.
YANG Qiyong, YANG Jinsong, YAO Rongjiang, et al. GIS-based evaluation of soil nutrient depletion and analysis of its limiting factors in Yucheng City[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(8): 1375－1384. (in Chinese)

9 曲衍波，朱伟亚，郧文聚，等. 基于压力-状态-响应模型的土地整治空间格局及障碍诊断[J]. 农业工程学报，2017，33(3)：241－249.
QU Yanbo, ZHU Weiya, YUN Wenju, et al. Land consolidation spatial pattern and diagnosis of its obstacle factors based on pressure-state-response model[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(3): 241－249. (in Chinese)

10 赵素霞，牛海鹏，张捍卫，等. 基于生态位模型的高标准基本农田建设适宜性评价[J]. 农业工程学报，2016，32(12)：220－228.
ZHAO Suxia, NIU Haipeng, ZHANG Hanwei, et al. Suitability evaluation consolidation based on niche-fitness model[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(12): 220－228. (in Chinese)

11 付清，赵小敏，乐丽红，等. 基 GIS 和生态位适宜度模型的耕地多适宜性评价[J]. 农业工程学报，2009，25(2)：208－213.
FU Qing, ZHAO Xiaomin, LE Lihong, et al. Evaluation on multi-suitability of cultivated land based on GIS and niche-fitness model[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 208－213. (in Chinese)

12 蒙莉娜，郑新奇，赵璐，等. 基于生态位适宜度模型的土地利用功能分区[J]. 农业工程学报，2011，27(3)：282－287.
MENG Li'na, ZHENG Xinqi, ZHAO Lu, et al. Land-use functional regionalization based on niche-fitness model[J].

Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 282 - 287. (in Chinese)

13 方婷婷,程久苗,费罗成,等. 繁昌县后备土地资源多宜性评价[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(5):750 - 757.
FANG Tingting, CHENG Jiumiao, FEI Luocheng, et al. Research on multi-suitability evaluation of reserved land resources in Fanchang country[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(5): 750 - 757. (in Chinese)

14 于婧,聂艳,周勇,等. 生态位适宜度方法在基于 GIS 的耕地多宜性评价中的应用[J]. 土壤学报,2006, 43(2):190 - 196.
YU Jing, NIE Yan, ZHOU Yong, et al. Niche-fitness theory and its application to GIS based multi-suitability evaluation of cultivated land[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(2): 190 - 196. (in Chinese)

15 李鹏山,杜振博,张超,等. 京津冀地区耕地质量等别空间差异分析[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(2):150 - 157. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20170220&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.020.
LI Pengshan, DU Zhenbo, ZHANG Chao, et al. Space difference analysis of cultivated land quality grade in Beijing - Tianjin - Hebei region[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(2):150 - 157. (in Chinese)

16 王晨,汪景宽,李红丹,等. 高标准基本农田区域分布与建设潜力研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(5):226 - 229.
WANG Chen, WANG Jingkuan, LI Hongdan, et al. Research on regional distribution and potentiality of high-standard basic farmland[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(5): 226 - 229. (in Chinese)

17 赵冬玲,何珊珊,杨建宇,等. 基于限制因素和热点分析的耕地质量潜力测算[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(2):158 - 164. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20170221&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.021.
ZHAO Dongling, HE Shanshan, YANG Jianyu, et al. Qualitative potential calculation of arable land consolidation based on limiting factors and hot spot analysis[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(2):158 - 164. (in Chinese)

18 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? flag = 1&file_no = 20161134&journal_id = jcsam. 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]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(11): 245 - 251. (in Chinese)

19 杨建宇,杜贞容,杜振博,等. 基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):109 - 115. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20170614&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.014.
YANG Jianyu, DU Zhenrong, DU Zhenbo, et al. Well-facilitied capital farmland assignment based on land quality evaluation and LISA[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6):109 - 115. (in Chinese)

20 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)

21 赵冬玲,何珊珊,林尚纬,等. 基于 TOPSIS 和热点分析的高标准农田建设优先区选择[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(7):153 - 158. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20170719&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.07.019.
ZHAO Dongling, HE Shanshan, LIN Shangwei, et al. Selection of high-standard farmland construction priority area based on TOPSIS and hotspot analysis[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(7):153 - 158. (in Chinese)

22 孙茜,牛海鹏,雷国平,等. 高标准农田建设区域划定与项目区选址研究[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(12):337 - 346. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20161242&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.12.042.
SUN Qian, NIU Haipeng, LEI Guoping, et al. Well-facilitied farmland construction zoning and project site selection[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(12):337 - 346. (in Chinese)

23 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 Jian, HAN Juan, ZHANG Fengrong, et al. Development of evaluation model and determination of its construction sequence for well-facilitied capital farmland[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(5): 193 - 203. (in Chinese)

24 朱凯. 基于障碍诊断的农村建设用地集约利用调控研究[D]. 重庆:西南大学,2014.
ZHU Kai. The regulation research of rural construction land intensive and economical use based on diagnosis of obstacles [D]. Chongqing: Southwest University, 2014. (in Chinese)