

基于多维超体积生态位的高标准生态农田建设分区方法

赵振庭^{1,2}, 孔祥斌^{1,2*}, 张雪靓¹, 陈文广^{1,2}, 廖宇波^{1,2}, 姚东恒^{1,2}

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

摘要: 明晰高标准生态农田建设选址及提升方向是发挥高标准农田投资效益, 提升高标准农田抗灾减灾能力的技术关键。该研究基于多维超体积生态位的理论方法, 从土壤条件、立地条件、空间稳定性、景观格局、生态约束等 5 个维度构建了高标准生态农田建设适宜性评价体系, 通过比较各因素的现实生态位与理想生态位, 建立障碍度与生态位耦合的障碍因子诊断模型, 结合适宜性-障碍度-改造难度的组合结果, 按照“由优到劣, 先易后难”的顺序进行高标准生态农田建设优先度分区, 并对河北省保定市 326 460 万个耕地斑块进行了定量化评估。结果表明: 1) 保定市高标准生态农田建设适宜性整体中等偏低, 中等适宜的耕地面积最多, 勉强适宜的耕地面积最少。2) 保定市耕地的土壤条件与生态约束对其建设发展的障碍度较高。土壤条件维度下的主要障碍因子为有机质含量、土壤 pH 值及土层厚度; 地下水埋深与地下水补给量是生态约束维度的主要障碍因子。3) 将保定市高标准生态农田建设划分为生产优先建设区、生产次优先建设区、“生产-生态”协同建设区、后备建设区及生态保育区。其中生产优先建设区所占比例最大, 面积约为 20.99 万 hm^2 , 建设适宜性高, 主要障碍因子改造难度小, 提升潜力大, 稍加改造即可达到区域最优水平。上述方法能够有效用于区域高标准生态农田建设适宜性评价, 研究结果可为国家实施的高标准生态农田建设选址工作提供科学的决策依据。

关键词: 土地利用; 适宜性; 区划; 多维超体积生态位; 高标准生态农田

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.13.028

中图分类号: F323.211

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-13-0253-11

赵振庭, 孔祥斌, 张雪靓, 等. 基于多维超体积生态位的高标准生态农田建设分区方法[J]. 农业工程学报, 2022, 38(13): 253-263. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.13.028 <http://www.tcsae.org>

Zhao Zhenting, Kong Xiangbin, Zhang Xueliang, et al. Method for zoning high-standard ecological farmland construction using multi-dimensional super-volume ecological niche[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(13): 253-263. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.13.028 <http://www.tcsae.org>

0 引言

建设高标准生态农田是进一步巩固和提高粮食生产能力、保障国家粮食安全的关键举措^[1-2], 其建设适宜区的科学划定及质量提升方向的准确把握对于提高优质耕地管理效率、确保粮食稳定供给具有重要意义。截止到 2020 年底中国已完成 8 亿亩的高标准农田建设任务^[3], 《乡村振兴战略规划(2018—2022 年)》提出到 2022 年要完成 10 亿亩高标准农田建设目标, 随着国家进入高质量发展的转型期, 城乡居民对农产品尤其是优质农产品的需求日益提高^[4], 高标准农田建设也面临着新挑战。在现状优质耕地资源开发殆尽的情境下, 大力推进土地整治与中低产田改造成为未来一段时期内高标准农田建设的重要发力点^[5-6], 但整治难度大、选址困难等依旧是高标准农田建设不可避免的难题。再加上对生态要素的考量较浅, 不适当的工程设施破坏了植被和土壤生态, 导致高标

准农田周边生态环境变差, 甚至生物多样性丧失^[7-8], 对自然灾害的抵抗力降低, 偏离高标准农田建设目标, 不利于粮食稳定供给。基于此, 2021 年 9 月, 农业农村部发布了新一轮《全国高标准农田建设规划(2021—2030 年)》, 要求高标准农田建设做到以保障粮食产能为基础, 产能提升与绿色发展相协调。在新的发展目标下, 高标准农田建设已经不局限于数量保护与质量提升问题, 更要做到生态环境的保持与改善。因此, 如何在高标准农田建设中科学统筹质量提升与生态环境良好发展, 服务于山水林田湖草生命共同体的构建, 建设新型的高标准生态农田是耕地保护与利用研究的重要议题^[9]。

近年来, 高标准农田建设受到党中央和国务院的高度重视^[10], 学界对高标准农田建设的标准与分区方法也展开了广泛而深入的研究, 与其相关的理论研究主要集中在高标准农田建设模式、时空布局、时序安排、障碍因子诊断、实证分析^[11]等方面, 产生了较为丰富的研究成果, 但仍存在亟需进一步改进完善之处。在评价方法的选择上, 目前研究主要集中于改进突变级数模型、TOPSIS(理想解逼近法)、四象限法、熵权法以及空间自相关分析法等^[12-15]方面。然而, 权重确定过程存在基于研究者主观经验影响最终结果的问题且部分研究中高标准农田建设区域的划定较为宏观, 通常以行政村甚至乡镇作为评价或分区单元^[16-17], 单元内部属性差异较大,

收稿日期: 2022-03-03 修订日期: 2022-04-28

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(19ZDA096); 国家自然科学基金面上项目(42171289); 国家自然科学基金面上项目(41771561); 河北省第三次全国国土调查耕地等别调查评价项目

作者简介: 赵振庭, 研究方向为耕地资源可持续利用。

Email: al642639414@163.com

*通信作者: 孔祥斌, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地资源评价、利用与保护。Email: kxb@cau.edu.cn

未能从地块角度反映“能不能建，怎么建”的问题，这些成果往往很难支撑实际工程建设。

1917 年, Grinnell^[18]首次定义“生态位”并提出“空间生态位”的概念, 1927 年 Elton^[19]强调生物在系统中的地位及与其它物种的作用关系并将其称为“功能生态位”, 两者分别从生物的空间分布以及生物在系统中的功能两方面界定生态位的内涵。1957 年, Hutchinson^[20]提出了多维超体积生态位理论, 他认为生物所处的位置受到多种因素的影响, 这些因素共同作用构成了物种的生态位, 多维超体积生态位强调的是生物对所处环境中资源的需求, 不单单强调生境意义, 该理论方法相较“空间生态位”与“功能生态位”更能反映生态位的本质含义^[21]。随着生态理论研究的不断深入, 生态位的内涵也由纯粹的自然生态系统转向“自然-社会-经济”的复合系统。如徐小千等^[22]将生态位理论引入耕地整治适宜性评价中, 丰富了耕地整治适宜性评价方法, 赵素霞^[23]创新性地从生态位理论出发对新郑市高标准农田建设的适宜性进行评价, 为生态位理论在高标准农田建设中的应用提供示范, 夏敏峰等^[24]基于空间生态位, 对鄱阳湖区域高标准农田建设的障碍性进行诊断, 为区域高标准农田建设提供新思路。可以看出, 现有的高标准农田建设适宜性评价仍侧重从空间生态位或功能生态位的单一角度出发, 关注于农田本身的状况, 而忽略了其与邻域环境如水体等外自然系统的联系^[25]。

基于上述背景, 本研究以京津冀协同发展重要城市——河北省保定市为研究案例, 在高标准农田建设的区划中创新性地引入多维超体积生态位理论, 通过构建多维度高标准生态农田建设适宜性评价体系, 利用基于障碍度与生态位适宜度指数耦合的障碍因子诊断模型, 对影响高标准生态农田建设的障碍因子进行定性识别与定量诊断, 在此基础上结合指标改造难易程度与建设适宜性的组合结果划定高标准生态农田建设优先区域, 以期为高标准生态农田划定与建设工作提供科学参考。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

保定市位于河北省中部, 总面积约 2.21 万 km², 地理位置为 38°10′~40°00′N, 113°40′~116°20′E, 是京津冀地区的腹地城市, 也是雄安新区建设的重要区域。研究区属暖温带大陆性季风气候区, 年平均气温约为 13.4℃, 年平均降水量约为 498.9 mm, 降水集中在夏季; 地势整体上呈现西北高、东南低的趋势, 地貌主要分为平原和山地两部分, 各占总面积的 50%左右。保定市位于大清河流域, 西部太行山山区分布着林地、草地等, 中东部山前平原以耕地为主, 水系汇入最东侧的白洋淀流域, 构成“山-水-林-田-湖-草”生态系统。平原区主要种植制度为冬小麦-夏玉米一年两熟制, 因降水量不足及地表水匮乏, 长期开采地下水用于冬小麦灌溉导致了严重的超采及生态环境问题。截止到 2021 年 10 月底, 保定市浅层地下水平均埋深约为 22.54 m, 受生态补水及当

年降水量充沛的影响, 水位较上年同期上升 1.33 m, 但从长期发展来看, 地下水超采对生态环境和粮食生产可持续的威胁依然严峻。截止到 2020 年, 保定市高标准基本农田建设面积超过耕地总面积的 90%以上, 约 60.3 万 hm² 的耕地纳入高标准基本农田的建设范围。

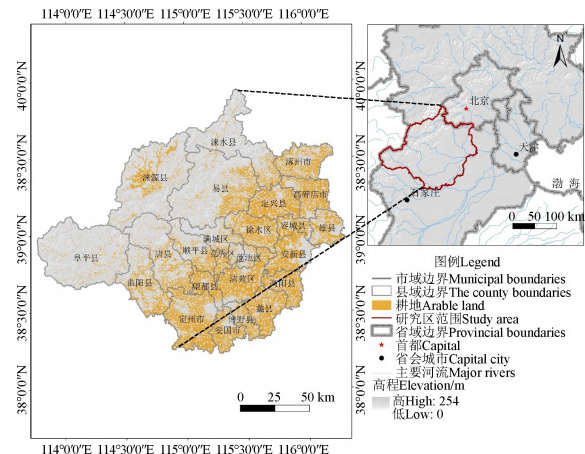


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Geographical location of the study area

1.2 数据来源

高标准生态农田建设适宜性评价主要涉及的数据库包括: 有效土层厚度、有机质含量等数据来源于 2020 年耕地资源质量分类数据库, 将耕地图斑作为评价基本单元, 共计 326 460 个; 2000—2014 年保定市分县(区)降水量数据, 来源于《中国水利统计年鉴》; 2015 年中国省级行政区划图、全国水系图, 来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>); ASTER GDEM V2 30 m 分辨率数据, 来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>), 浅层地下水埋深数据来源于《河北省地下水超采区地下水位监测情况通报》(2018 年第 1 期—2020 年第 9 期), 3 年数值算术平均获取, 保定市降水量数据来源于国家气象科学数据共享服务平台 (<https://data.cma.cn>), 主要选取 2000—2019 年, 20 年的分区县数据取平均值作为各区县单元的平均值。

为增强高标准生态农田建设的可操作性, 研究结果需落实到具体地块, 故本研究将耕地地块作为评价基本单元, 直接从保定市耕地资源质量分类数据库中提取耕地图斑, 共计 326 460 个。

2 研究方法

2.1 基于多维超体积生态位的生态农田建设分区总体思路

高标准农田指的是土地平整、集中连片、设施完善、农田配套、土壤肥沃、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旱涝保收、高产稳产, 划定为永久基本农田的耕地^[26]。生态农田目前国内外还没有统一定义^[7], 高标准生态农田仍以高产、稳产作为首要目标。结合“生产-生态”相协同的思想, 本文将高标准生态农田表述为通过高效、高水平农业生产方式来保障耕地生产力、维持良好生境质量的优质农田。依据《高

标准农田建设通则》，本文从土壤条件、立地条件、空间稳定性、景观格局和生态约束等 5 个方面构建评估体系，结合多维超体积生态位理论，构建多维度的高标准生态农田建设适宜性评价体系，通过比对现实生态位与理想生态位的差距，判定建设的适宜性程度，同时引入障碍度模型，对影响高标准生态农田建设的障碍因子进行诊断分析，在此基础上遵循“由优到劣，先易后难”的顺序，将适宜性、障碍度与改造难度的组合结果作为高标准生态农田建设优先区的划定标准，并提出差异化建设与管控策略（图 2）。

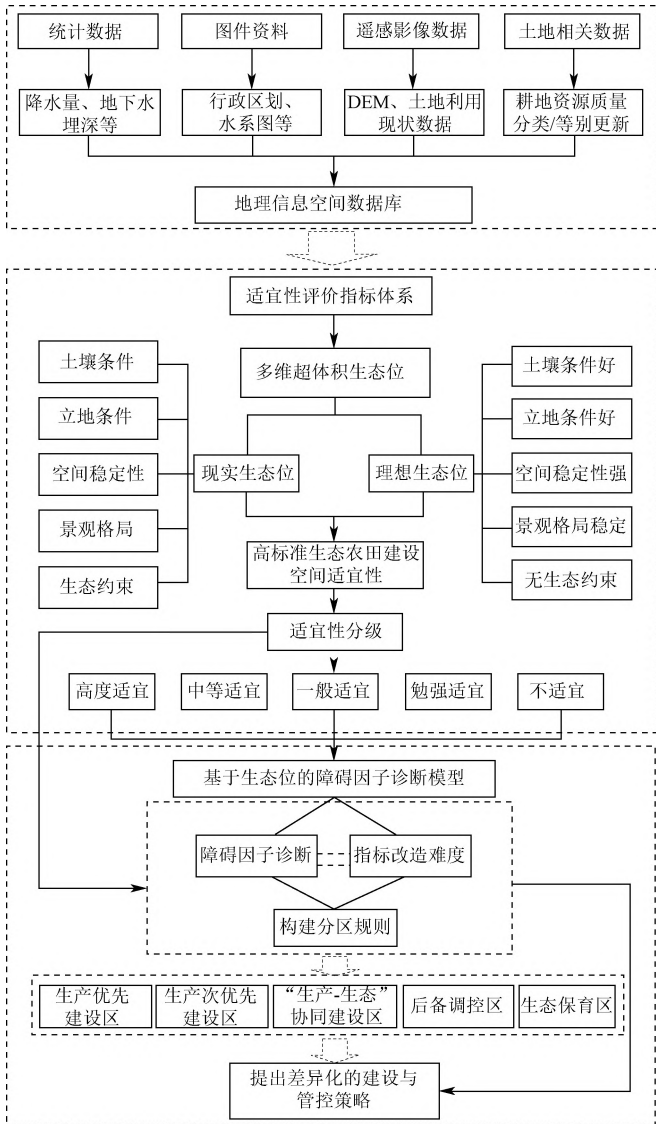


图 2 高标准生态农田建设适宜性评价理论框架

Fig.2 Theoretical framework of suitability evaluation of high standard ecological farmland construction

2.2 生态位最优值确定

高标准生态农田建设最优值受多重因素的影响。根据生态位适宜度模型以及相关研究^[19-20]，将与高标准生态农田建设适宜性相关因子分为正向指标、适度指标和负向指标这 3 种类型。正向指标的指标值越大，现实资源条件越优越，故将该类指标的极值标准化后的最大值作为最优值；适度指标有一个最适宜的区间，属于区间

性指标，故选择指标极值标准化后的平均值作为最优值；负向指标的指标值越小，现实资源条件越好，因此选择该类指标极值标准化后的最小值作为最优值（图 3）。

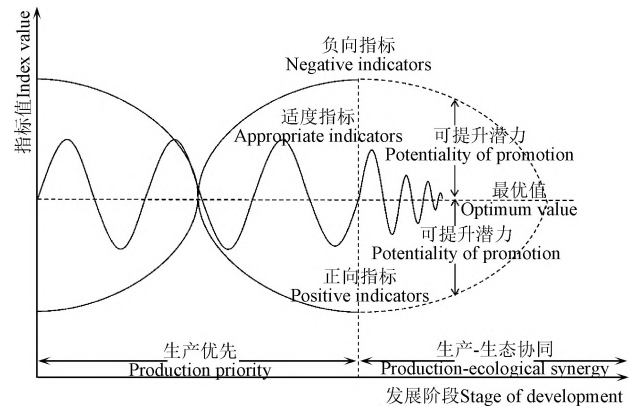


图 3 基于多维超体积生态位理论的三种指标最优值确定方法
Fig.3 Three methods to determine the optimal value of index based on multidimensional super volume niche theory

2.3 基于生态位适宜度模型的多维指标体系构建

为全面反映耕地土壤、立地条件、景观格局等对生态位适宜度的影响程度，本文遵循科学性、综合性、可操作性和差异性原则，构建评价指标体系如表 1 所示。首先根据已有研究基础及现有技术体系^[14-16,29-31]获取了包括土壤 pH 值、有效土层厚度等的 19 个评价因子，其次甄别合并相同或相近因子，最终形成了由 5 个维度 16 个指标组成的高标准生态农田建设适宜性评价指标体系。

其中，土壤质地、坡度等属于离散型指标，为了更好的量化数据，本文将离散性指标通过分级进行赋分处理，分级和赋分标准主要参考《土地评价纲要》、《中国 1:100 万土地资源评价系统》等已有成果，其他连续型指标依据前文提到的生态位适宜度评价模型进行测算，统一用极值法进行标准化处理（表 2）。

2.3.1 评价因子的生态位适宜度指数计算

为了计算方便，结合生态位适宜度模型将影响高标准农田建设适宜性的制约因素分为三类，第一类是正向因素，即资源条件越优越好。该类因素的评价模型为

$$NF_k = \begin{cases} 0 & X_k < D_{kmin} \\ X_k / D_{kopt} & D_{kmin} < X_k < D_{kopt} \\ 1 & X_k > D_{kopt} \end{cases} \quad (1)$$

式中 NF_k 为适宜性评价中第 k 个评价因素的生态位适宜度； X_k 为第 k 个评价因素的现实生态位值； D_{kopt} 为第 k 个评价因素的最优生态位值； D_{kmin} 为第 k 个评价因素的生态位最小值。

第二类是适度因素，即该类因素存在一个适宜的区间内，值越大或者越小都会对耕地适宜性产生不利影响。该类因素的评价模型为

$$NF_k = \begin{cases} 0 & X_k \leq D_{kmin}, X_k \geq D_{kmax} \\ (X_k - D_{kmin}) / (D_{kopt} - D_{kmin}) & D_{kmin} < X_k < D_{kopt} \\ (D_{kmax} - X_k) / (D_{kmax} - D_{kopt}) & D_{kopt} < X_k < D_{kmax} \end{cases} \quad (2)$$

式中 D_{kmax} 为第 k 个评价因素的生态位最大值。

表 1 高标准生态农田建设适宜性评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of the suitability of high standard ecological farmland construction

维度 Dimensionality	因子 Divisor	最优值 Optimal value	类型 Type	属性获取 Retrieve attributes
土壤条件 Soil conditions	有效土层厚度/cm	100	正向	耕地资源质量分类数据库
	土壤质地	100	正向	耕地资源质量分类数据库
	土壤 pH 值	7	适度	耕地资源质量分类数据库
	有机质含量/(g·kg ⁻¹)	20	正向	耕地资源质量分类数据库
立地条件 Site conditions	坡度/(°)	2	负向	耕地资源质量分类数据库
空间稳定性 Spatial stability	耕地利用方式	100	正向	耕地资源质量分类数据库
	与主干道距离	—	正向	ArcGIS 近邻工具, 利用欧式距离计算出最短距离
	灌溉保证率	100	正向	2017 年度耕地质量等别数据库
	耕地连片度	0	负向	$P=L/S$ 其中 L 为耕地周长, S 为耕地面积 ^[27]
景观格局 Landscape pattern	田块规模/m ²	10 000	正向	耕地资源质量分类数据库
	景观指数	1	正向	$LSI=4\sqrt{S}/L$, 其中 L 为耕地周长, S 为耕地面积 ^[28]
	斑块形状指数	1	负向	$PSI_i=0.25 \times \frac{P_i}{A_i}$, $i=1,2,3...n$; 其中, P 为耕地周长, A 为耕地面积 ^[29]
生态约束 Ecological constraints	地下水埋深/m	15.54	负向	根据多年《水资源公报》求取平均值获取 $Q_{雨淋} = \sum a_i P_i A_i$
	地下水补给量/m ³	2.4×10^8	正向	$i=1,2,3...n$; $Q_{雨淋}$ 为年平均降水入渗补给量, m ³ ; a_i 为分区域内降水入渗系数; P_i 为分区年有效降水量, m; A_i 为各评价单元面积, m ² ^[30]
	生物多样性	100	正向	耕地资源质量分类数据库
	重金属污染	100	正向	耕地资源质量分类数据库

表 2 高标准生态农田建设评价离散型指标得分

Table 2 High standard ecological farmland construction evaluation discrete index score table

指标类型 Index type	分级标准 Grading standard	得分 Score
土壤质地 Soil texture	壤土	100
	黏土	90
	砂土	70
耕地利用方式 Cultivated land use pattern	水田	100
	水浇地	80
	旱地	60
生物多样性 Biodiversity	丰富	100
	一般	60
	不丰富	40
重金属污染状况 Heavy metal pollution status	无污染	100
	轻度污染	40
	重度污染	10
灌溉保证率 Probability of irrigation	充分满足	100
	基本满足	90
	一般满足	70
	无灌溉条件	50

第三类是负向因素, 即值越小越好。评价模型为:

$$NF_k = \begin{cases} 1 & X_k \leq D_{kmin} \\ 1 - (X_k - D_{kmin}) / (D_{kmax} - D_{kmin}) & D_{kmin} < X_k < D_{kmax} \\ 0 & X_k \geq D_{kmax} \end{cases} \quad (3)$$

2.3.2 计算耕地的生态位适宜度指数

生态位适宜度在生态学中表示物种对其生境条件的适宜性, 即生物的现实资源生态位与理想生态位之间的贴近程度。当现实资源条件满足物种需求时, 生态位适宜度接近于 1, 反之, 接近于 0, 故生态位适宜度值区间为 $[0,1]$ ^[32-33]。由于高标准生态农田建设生态位是一个由多因素组建的 n 维资源空间, 任何一个评价因子的不足都会影响其适宜性, 基于此, 确定的高标准生态农田建设适宜度模型为

$$M_i = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n NF_k} \quad (4)$$

式中 M_i 为第 i 个评价单元的综合生态位适宜度。

2.4 基于生态位的高标准生态农田建设障碍度模型

对影响区域高标准生态农田建设的主要障碍因子进行识别判断, 可以针对性地开展整治工程削弱甚至消除障碍因子。在本研究中, 障碍度高低表示高标准生态农田建设各维度因子对其影响程度的大小, 结合木桶定律可知, 制约高标准生态农田建设的关键因素是生态位适宜度最差的因素。利用生态位适宜度指数与障碍度模型 (Q_i) 进行高标准生态农田障碍因子诊断。

各评价因子的障碍度模型计算式如下

$$Q_i = 1 - NF_k \quad (5)$$

高标准生态农田的障碍度 Q 计算式如下

$$Q = \max(Q_i) \quad (6)$$

2.5 高标准生态农田建设区划方法

高标准生态农田建设不仅要求地块的适宜性, 还要求障碍因子易改造, 建设成本低, 效率高等, 所以实际进行建设选址时, 在优先考虑建设适宜性的基础上, 还要考虑障碍因子对高标准生态农田建设的影响以及指标改造的难易程度。本文在适宜性评价的基础上, 综合考虑障碍度模型与指标改造难易程度, 构建分区规则, 对高标准生态农田建设区域进行划定。

2.5.1 障碍因子改造难易程度分级

高标准生态农田建设主要通过整治工程来改造甚至消除障碍因子, 进而提升耕地建设适宜性。但是由于障碍因子改造的难易程度不同, 在开展整治工程时也要遵循由易到难的顺序开展, 使得工程建设能以更低的成本获取更高的整治收益。在土壤条件维度中, 相比于有效土层厚度与土壤有机质含量, 土壤 pH 值以及土壤质地属于难改造指标, 根据相关研究表明, 整治工程对于土壤 pH 值的影响不大^[34], 而且土壤质地也是难改造指标^[35]; 立地条件维度中的坡度也属于难改造指标, 虽然现在可以通过修筑梯田来抵消一部分坡度对耕地不利的影 响, 但是该工程需要投入大量成本, 花费的时间较长, 而且还不便于机械进入, 存在一定的问题; 毕玮等^[36]在对西北地区耕地生产潜力进行评价的过程中, 认为灌溉保证率和耕地利用方式都属于易改造指标, 主要考虑到能通过引水灌溉工程解决问题, 改造难度较低, 而耕地与主干道距离涉及到的社会、经济因素较多, 不能仅仅通过整治工程解决, 故改造难度大; 景观格局维度中的各指

标理论上都可以通过土地平整等工程措施改变的，所以纳入易改造指标范围，该论断在赵素霞^[23]的研究中也得到证实；生态约束维度中的 4 项指标都需要进行综合治理才能改变，而且依靠长期投入，属于难改造指标。因此，依据上述分析结果，将各适宜性指标改造难度分为“难”、“易”两部分，为方便表述，分别用大写字母“N”，“Y”代替，如表 3 所示。

表 3 高标准生态农田建设障碍因子改造难易程度分级标准
Table 3 Classification standard of difficulty and ease of reconstruction of high standard ecological farmland construction obstacle factors

改造程度 Transformation	障碍因子 Obstacle factors
难(N) Hard(N)	坡度、与主干道距离、地下水埋深、重金属污染状况、生物多样性、地下水补给量、土壤质地、土壤 pH 值
易(Y) Easy(Y)	有机质含量、有效土层厚度、耕地利用方式、灌溉保证率、耕地连片度、田块规模、景观指数、斑块形状指数

2.5.2 基于“适宜性-障碍度-难易程度”的建设区划方法

高标准生态农田建设适宜性分为五级，分别用罗马数字 I-V 表示，其中高度适宜对应 I 级区域。依据上文构建的障碍度耦合模型，障碍度大小分为 1 级、2 级、3 级、4 级 4 个等级，其中 1 级障碍度表示该因子对高标准生态农田建设影响程度最高，2 级次之。基于上述思想，构建“适宜性-障碍度-难易程度”相结合的高标准生态农田区域划定方法，例如组合代码“I-3-Y”则表示该地块建设适宜性高，有一定的障碍性且该障碍因子改造难度较低，即在空间上建设适宜性高且不存在难改造因子与高障碍度因子，应当优先建设并划入生产优先建设区。依据类型组合应该具有 40 种组合方式，但在实际统计过程中发现保定市仅有 25 种，具体组合类型如表 4。

表 4 高标准生态农田建设分区标准及类型组合
Table 4 Zoning standard and type combination of high standard ecological farmland construction

建设区划 The construction division	分区标准 The partition standard	组合类型 Combination type
生产优先建设区	建设适宜性高，不存在难改造因子与 1 级障碍度因子且限制因子中不存在生态约束指标。	I-3-Y、I-2-Y、II-3-Y、II-2-Y
生产次优先建设区	建设适宜性较高，存在除生态约束维度外的 1 级障碍度指标或者难改造因子中的一种或建设适宜性中等，但是不存在难改造或 1 级障碍度指标。	I-1-Y、I-3-N、I-2-N、II-1-Y、II-3-N、II-2-N、IV-3-Y、III-3-Y、III-2-Y
“生产-生态”协同建设区	建设适宜性中等，存在高障碍度或者难改造因子的一种并且该指标属于生态约束的维度。	III-1-Y、III-3-N、III-2-N
后备建设区	建设适宜性较低，只存在高障碍度或者难改造因子中的一种但不属于生态约束维度的指标。	IV-1-Y、IV-3-N、IV-2-Y
生态保育区	至少存在建设适宜性低、高障碍度以及难改造中的两种。	III-1-N、IV-2-N、IV-1-N、V-1-Y、V-2-N、V-1-N

3 结果分析

3.1 适宜性分级结果

图 4 为保定市高标准生态农田建设适宜性评价结果，由图 4 和表 5 可知，I 级区域，即高度适宜区。耕地面积约为 9.70 万 hm^2 ，约占耕地总面积的 13.95%，区域已初

步具备高标准生态农田建设条件，主要集中在保定市东部区域，以定州市、清苑区、安国市、蠡县和望都县等区域为主。该区域地形平坦，以平原为主；土壤肥沃，耕地的主要利用方式为水浇地，有效土层厚度大于 80 cm。此外耕地连片程度较高，适宜机械化耕作，具有较为充足的灌溉条件且几乎不存在土壤污染问题。

II 级区域，即中等适宜区。耕地面积约为 19.42 万 hm^2 ，约占总面积的 27.93%，该区域存在一定的限制因子，稍加整治才能满足高标准生态农田建设条件，面积最大且分布零散，在 17 个县（市）均有分布，其中高阳县、涞水县、曲阳县、顺平县等区域分布较广。该区域地形以丘陵为主，地面略有起伏，有效土层厚度以 60~80 cm 为主，基础配套设施需进一步完善，耕地空间稳定性较高，此区域仍具有较好的耕作条件。

III 级区域，即一般适宜区。耕地面积约为 18.00 万 hm^2 ，约占总面积 25.90%，该区域存在 1~2 个较高限制因子，需要针对地采取整治措施才能满足高标准生态农田建设条件。此区主要集中在保定市东北和西南部分，坡度较大，土壤 pH 值偏高，存在一定的盐碱化现象，耕地连片程度相对较差，机械化作效率低下。

表 5 保定市高标准生态农田建设适宜性分级结果
Table 5 Suitability grading results of the suitability of high standard ecological farmland construction in Baoding City

适宜等级 Appropriate level	适宜度指数 Suitability index	面积 Area/ hm^2	适宜度分级 Suitability classification	面积比例 Area proportion/%
I	0.65~1.00	96 970.13	高度适宜	13.95
II	0.58~0.65	194 184.17	中等适宜	27.93
III	0.51~0.58	180 022.82	一般适宜	25.90
IV	0.42~0.51	73 438.72	勉强适宜	10.56
V	0.00~0.42	150 530.55	不适宜	21.66

IV 级区域，即勉强适宜区。耕地面积约为 7.34 万 hm^2 ，约占总面积的 10.56%，该区域基本不具备建成高标准生态农田的条件，耕地面积分布最少，主要集中在东北和西南区域，以竞秀区、莲池区、定兴县、容城县等地为主，该区域存在较多的限制因子，地面起伏较大，土壤条件较差，而且地下水作为一个较强的限制指标，耕地利用方式以旱地为主，水源灌溉不足。

V 级区域，即不适宜区域。耕地面积约为 15.05 万 hm^2 ，约占总面积的 21.66%，该区域覆盖面积较广。主要集中在保定市北部和西南部，以雄县、安新县、涿州市、易县等区域为主。依据木桶定律，如果出现高限制因子，那么该区域就被认定为不适宜建设区，这些区域在坡度、土壤 pH 值、田块规模、地下水等方面都存在一到两个高限制指标，基础条件差，利用效益低。

3.2 障碍度分析结果

通过构建的生态位障碍因子诊断模型对保定市高标准生态农田建设各维度的障碍度进行分析，如图 5 所示。依据相关研究基础，限制因素达到中等水平才会对高标准生态农田建设产生影响，故确定障碍度临界值 $Q=0.5$ ，结合 ArcGIS 中的自然断裂点法，将各维度障碍度分为 4 级，结果详见表 6。

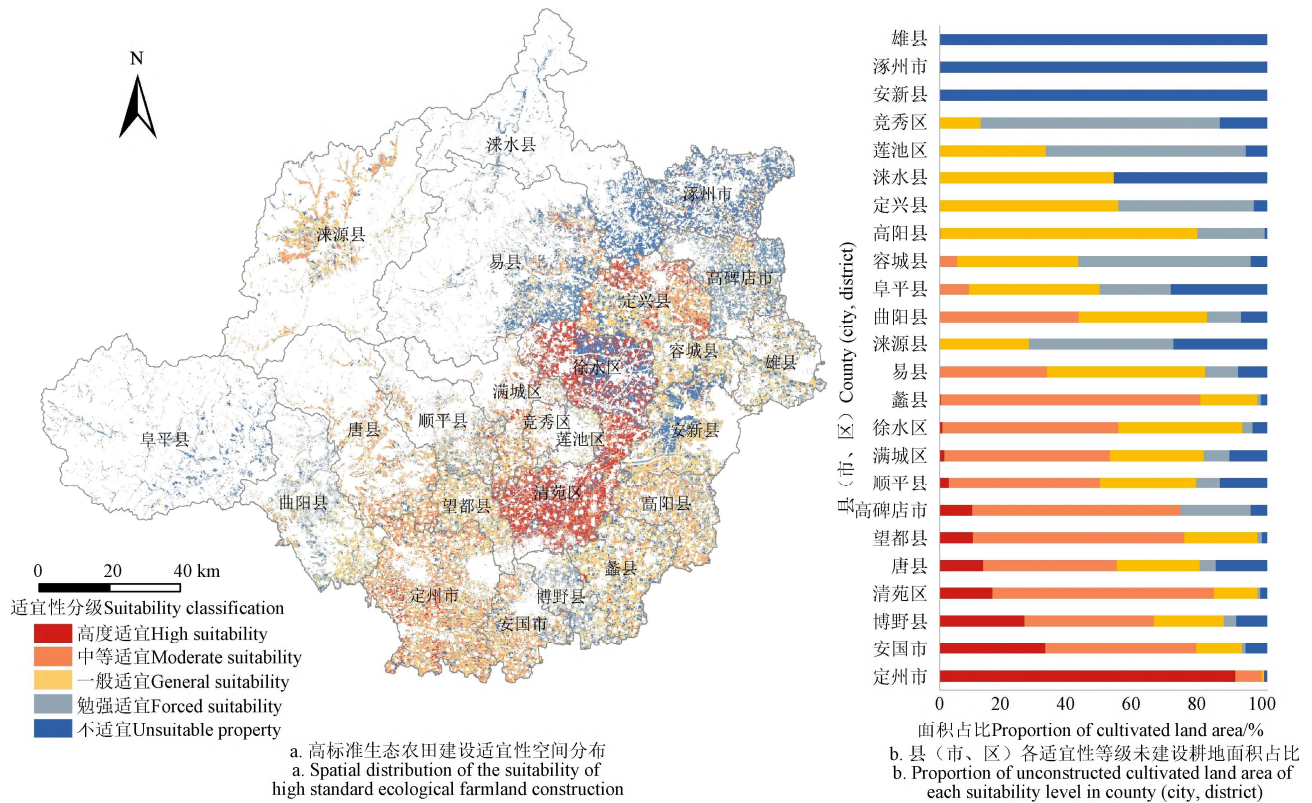


图 4 保定市高标准生态农田建设适宜性评价结果

Fig.4 Evaluation results of the suitability of high standard ecological farmland construction in Baoding City

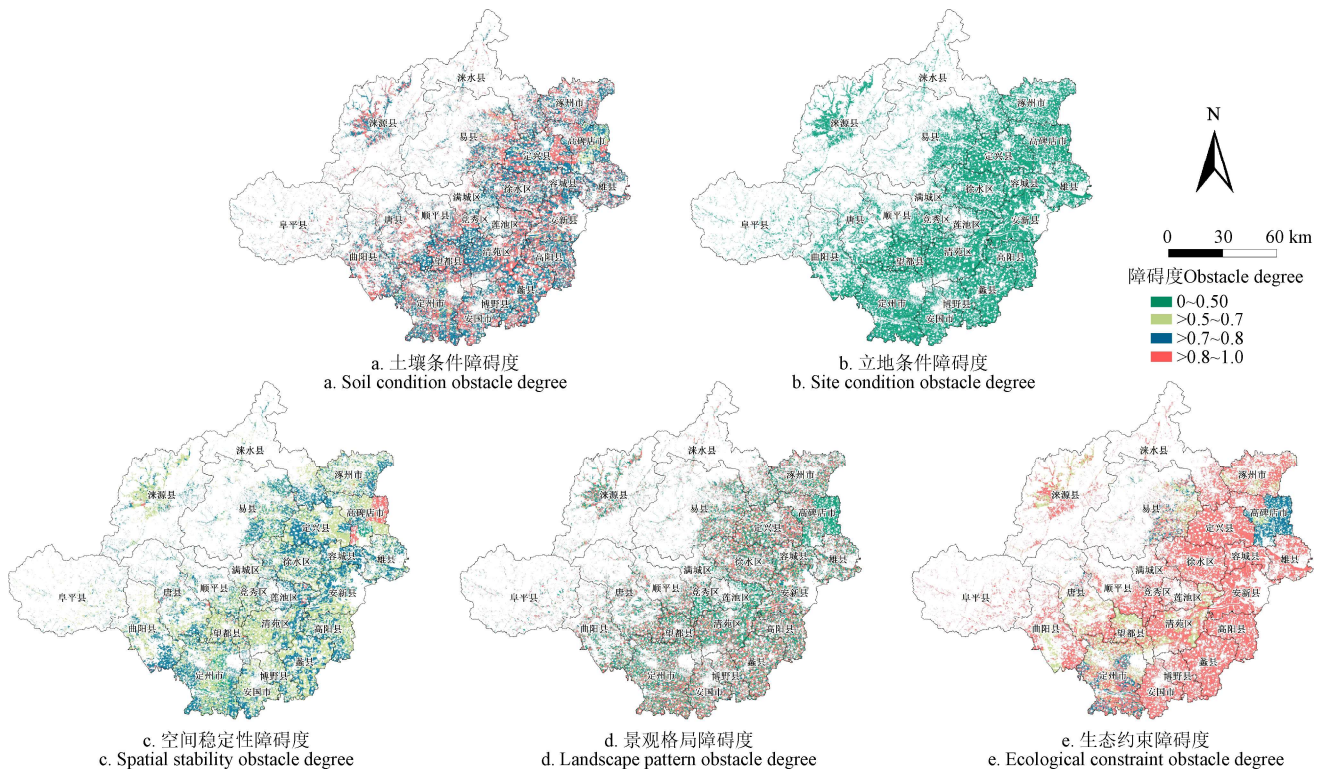


图 5 分维度下的高标准生态农田建设障碍度空间分布

Fig.5 Spatial distribution of the obstacle degree of sub-dimension high standard ecological farmland construction

1) 土壤条件障碍度

保定市高标准生态农田建设的土壤条件障碍度 ≤ 0.5 的区域总面积为 0, 这表明保定市耕地受到土壤条件影响较大; 障碍度处于 0.51~0.70、0.71~0.80 和 0.81~1.00

的区域面积分别占总面积的 17.31%、38.52%和 44.17%, 空间分布如图 5 所示。影响土壤条件主要的障碍因子依次为有机质含量、土壤 pH 值以及土层厚度, 其中土壤有机质含量障碍度最高 ($Q_{mean}=0.7065$), 处于 2 级障碍度

范围，这表明保定市耕地土壤有机质含量普遍较低。

2) 立地条件障碍度

保定市立地条件障碍度 ≤ 0.5 的区域总面积约为 68.19 万 hm^2 ，约占区域总面积的 98.09%；仅有约 1.47%

的耕地立地条件障碍度为 $>0.7\sim 0.8$ ，约 0.44%的耕地立地条件障碍度 >0.8 ，零星分布在定州市、望都县等东南区域，可见保定市耕地地块受到坡度限制较低，对高标准生态农田建设几乎不存在影响。

表 6 障碍度指标面积统计及主要障碍因子排序
Table 6 Obstacle degree index area statistics and main obstacle factors ranking

障碍度类型 Type of obstacle	项目 Item	指标区间 Target range				总计 Total	主要障碍因子排序 Sequencing of major obstacle factors		
		≤ 0.50	(0.50, 0.70]	(0.70, 0.80]	(0.80, 1.00]		一	二	三
土壤条件 Soil condition	面积/ hm^2	0	120 356.44	267 720.96	307 068.98	695 146.38	有机质含量 $Q_{\text{mean}}=0.706 5$	土壤 pH 值 $Q_{\text{mean}}=0.657 2$	土层厚度 $Q_{\text{mean}}=0.608 6$
	占比/%	0	17.31	38.52	44.17	100.00			
立地条件 Site condition	面积/ hm^2	681 856.77	0	10 198.24	3 091.37	695 146.38	与主干道距离 $Q_{\text{mean}}=0.636 5$		
	占比/%	98.09	0	1.47	0.44	100.00			
空间稳定性 Spatial stability	面积/ hm^2	155 004.07	220 625.36	111 471.12	208 045.83	695 146.38	与主干道距离 $Q_{\text{mean}}=0.636 5$		
	占比/%	22.30	31.74	16.03	29.93	100.00			
景观格局 Landscape pattern	面积/ hm^2	509 511.65	83 283.93	29 588.03	72 762.77	695 146.38	地下水补给量 $Q_{\text{mean}}=0.617 2$		
	占比/%	73.29	11.98	4.26	10.47	100.00			
生态约束 Ecological constraint	面积/ hm^2	0	298 739.14	183 175.96	213 231.28	695 146.38	地下水埋深 $Q_{\text{mean}}=0.573 4$		
	占比/%	0	42.98	26.35	30.67	100.00			

注： Q_{mean} 指的是区域平均障碍度。

Note: Q_{mean} is regional average obstacle degree.

3) 空间稳定性障碍度

保定市耕地空间稳定性障碍度处于 0.37~1.00 之间，总体来看属于中等偏上水平，其中障碍度处于 0.51~0.70 的区域面积最大，约为 22.06 万 hm^2 ，占区域总面积的 31.74%，主要集中在清苑区、定兴县、安国市、博野县等东部区域；障碍度位于 0.81~1.00 的区域面积次之，约占区域总面积的 29.93%，主要集中在高碑店市。经统计，该维度下的主要障碍因子为地块与主干道距离，导致高碑店市耕地空间稳定性差的最主要原因就是地块多处于交界处，与主干道距离近，存在被占用的潜在问题。

4) 景观格局障碍度

保定市景观格局障碍度主要集中在低障碍度范围内（图 5d），即障碍度 ≤ 0.50 的区域，该障碍度范围内耕地面积约为 50.95 万 hm^2 ，占区域总面积的 73.29%，基本在每个县市均有分布；障碍度处于 0.51~0.70 的区域面积约为 8.33 万 hm^2 ，约占耕地总面积的 11.98%；剩下两级障碍度区域范围分布较窄，分别占耕地总面积的 4.26%与 10.47%。这表明保定市绝大多数地块不存在景观格局不稳定情况，通过对主要障碍因子进行诊断也可知：该维度下所有障碍因子的综合平均障碍度都小于 0.5，基本对高标准生态农田建设影响程度较小。

5) 生态约束障碍度

生态约束主要涉及到跟保定市耕地生产密切相关的井灌所用地下水情况。保定市生态因素中地下水补给量的障碍度最高（ $Q_{\text{mean}}=0.617 2$ ），处于 3 级障碍度水平，其次为地下水埋深（ $Q_{\text{mean}}=0.573 4$ ），其中东南区域障碍度最高，主要分布在蠡县、高阳县、安新县、徐水区、定兴县等地（图 5e）。

3.3 高标准生态农田建设区划结果

图 6 为保定市高标准生态农田建设优先区划定结果。由图 6 可知，生产优先建设区地块建设适宜性高且不存在生态约束维度的难改造因子，稍加整治即可划入高标准生态农田建设区域，该类型耕地面积约为 20.99 万 hm^2 ，主要集中在清苑区与徐水区。该区域以平原为主，地形平坦并且地块较为规整，耕地连片性较好，适合机械化种植、统一管理与维护。此外，该区域处于河流交汇处，水源较为充足，基础设施完善，是高标准生态农田优先及重点建设区域，在此区域上，应重点落实耕地保护政策，严格管控“非粮化”、“非农化”。

生产次优先建设区地块建设适宜性较高，存在生态维度指标外的 1 级障碍度指标或者难改造因子的一种，需采取一定的整治措施才能划入高标准生态农田建设区域。该区域耕地立地条件较好，地形较为平坦，地块较为规整，但是土壤条件一般，土壤 pH 值偏高，存在一定的土壤盐碱化问题，有机质含量偏低，该区域要以提升土壤肥力为主，建议采取秸秆就地还田的方式培肥地力，目前秸秆还田常常与少耕、免耕等栽培技术相结合，这些技术较传统方法能大大降低工程建设成本，而且在提升产量与作物品质方面也具有显著效果。

“生产-生态”协同建设区地块建设适宜性中等，只存在高障碍度或难改造因子的一种且该指标属于生态约束的维度。依据分区标准，该类分区主要包含 3 种组合类型，耕地面积约为 8.64 万 hm^2 ，该区域开始受到以生态约束为主导的限制因素的制约，如地下水埋深或补给量等，生态因素对高标准生态农田建设的影响程度逐渐加深，该区域应采取“生产-生态”协同建设的策略，在对高标准生态农田整治的过程中同时关注外自然系统对其

不利影响, 采取相应措施同步推进高标准生态农田建设。

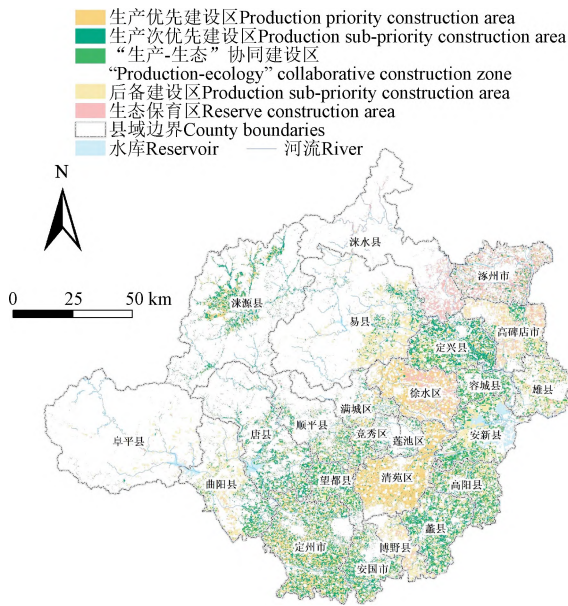


图 6 保定市高标准生态农田建设优先区划定

Fig.6 Priority zones for high standard ecological farmland construction in Baoding City

后备建设区地块建设适宜性较低, 只存在高障碍度或难改造因子中的一种, 但该因子不属于生态约束的维度。后备建设区耕地面积较大, 约为 20.47 万 hm²且主要分布于易县、曲阳县、阜平县等丘陵区, 该区域耕地资源禀赋较差, 且耕作条件较为困难, 工程投资的建设成本较低, 应该作为高标准生态农田建设的储备区。

生态保育区的地块至少存在建设适宜性差、高障碍度以及难改造中的两种, 确定的组合类型共有 6 种。该区域耕地面积约为 5.62 万 hm², 主要分布涞水县、涿州市等地, 该区域已经不适宜农作物种植, 针对这一部分的耕地应探索更为有效的有偿有序退出机制或者作为后备资源进行调控, 在满足合理用地需求的同时, 落实耕地保护策略。

4 结论与讨论

本文围绕国家对高标准农田建设的新要求, 基于多维超体积生态位理论, 构建了高标准生态农田建设适宜性评价的指标体系, 并依据综合生态位适宜度指数划分适宜性区域。在此基础上进一步利用生态位与障碍度耦合的限制因子诊断模型, 明确不同耕地斑块的限制因子类型与影响程度, 并给出了精确到地块的高标准生态农田建设区域与时序安排。得到以下结论:

- 1) 依据高标准农田建设新要求, 从土壤条件、立地条件、空间稳定性、景观格局和生态约束 5 方面构建市域高标准生态农田建设适宜性评价指标体系可以较为全面地评价耕地地块的建设适宜性, 可以较好地反映耕地空间分布特征。保定市耕地整体的建设适宜性中等, 其中中等适宜建设耕地面积最大, 约为 19.42 万 hm², 约占全市耕地总面积的 27.93%, 其次是中等适宜建设耕地,

面积约为 18.00 万 hm², 约占全市耕地总面积的 25.90%。

2) 障碍度与生态位适宜度指数相结合的高标准生态农田建设障碍因子诊断模型, 可反映出地块指标对高标准生态农田建设的影响程度, 方便障碍因子的识别与判断。保定市土壤条件以及生态约束的障碍度较高, 土壤条件维度下的障碍因子主要是有机质含量、土壤 pH 值以及土层厚度, 市域范围内的综合平均障碍度分别为 0.706 5, 0.657 2, 0.608 6; 生态约束维度下的主要障碍因子为地下水埋深与地下水补给量, 综合平均障碍度为 0.617 2, 0.573 4。

3) 总体按照“由优到劣, 先易后难”的顺序, 在考虑生态约束的前提下, 根据不同改造难度的限制因子与建设适宜性组合结果将全市划分为高标准生态农田生产优先建设区、生产次优先建设区、“生产-生态”协同建设区、后备建设区及生态保育区。生产优先建设区耕地面积 20.99 万 hm², 建设适宜性高, 主要障碍因子改造难度小, 提升潜力大, 稍加改造即可达到区域最优水平; “生产-生态”协同建设区耕地面积约为 8.64 万 hm², 该区域开始受到以生态约束维度的障碍因子为主导的影响; 后备建设区耕地面积约为 20.47 万 hm², 主要分布于易县、曲阳县、阜平县等丘陵区; 生态保育区耕地面积约为 5.62 万 hm², 针对这一部分的耕地应探索更为有效的有偿有序退出机制或者作为后备资源进行调控, 在满足合理用地需求的同时, 落实耕地保护策略。

本研究将多维超体积生态位理论与高标准农田建设新要求相结合, 进行地块尺度下的高标准生态农田建设适宜性评价, 在原有的障碍度模型上进行改进, 引入综合生态位适宜度指数, 根据不同改造难度障碍因子与适宜性组合结果将高标准生态农田划分为生产优先建设区、生产次优先建设区、“生产-生态”协同建设区、后备建设区及生态保育区。这一套理论方法不需对指标赋予权重, 从一定程度上避免了主观因素对评价结果的影响, 使其更具有科学性, 另一方面, 从系统性与协同性的角度出发, 扩充了高标准农田的生态内涵, 这也符合生命共同体的理念。考虑到工程建设的实操性, 本文从田块角度对每一个图斑都进行了量化评估, 研究方法也可直接应用于实践。值得说明的是, 本文应用的多维超体积生态位理论并没有否定高标准农田以保障产能, 提高农田抗灾减灾能力为核心的理念, 而是从整体性的角度出发, 在保障产能的基础上, 以“生产-生态”协同为目标, 兼顾绿色与高质量发展, 构建新型的高标准生态农田建设方法, 以期进一步增强高标准农田的抗灾减灾能力, 最大程度的发挥高标准农田建设投资效益。文中构建的高标准生态农田分区是基于理论指导下的理想状况, 只能提供一定参考, 实际建设过程中可能会存在冲突, 所以在进行高标准生态农田建设选址时, 还应综合考虑区域实际情况, 综合研判。

[参考文献]

[1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院办公厅关于切实加强高标准农田建设提升国家粮食安全保障能力的意见 [EB/OL].[2019-11-21].http://www.gov.cn/zhengce/content/2

- 01911/21/content_5454205.htm.
- [2] 曾懿婷, 王征, 吴长春, 等. “绿色”农田推进高标准农田高质量建设[J]. 农业展望, 2021, 17(9): 90-95.
Zeng Xieting, Wang Zheng, Wu Changchun, et al. Green farmland promoting the high-quality construction of high quality-farmland[J]. Agricultural Outlook, 201, 17(9): 90-95. (in Chinese with English abstract)
- [3] 全国国土资源标准化技术委员会. 高标准农田建设通则: GB/T30600-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [4] 姜长云. 新发展格局、共同富裕与乡村产业振兴[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2022, 22(1): 1-11, 22.
Jiang Changyun. New pattern of development, common prosperity, and rural industrial revitalization[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Science Edition), 2022, 22(1): 1-11, 22. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张红旗, 谈明洪, 孔祥斌, 等. 中国耕地质量的提升战略研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5): 16-22.
Zhang Hongqi, Tan Minghong, Kong Xiangbin, et al. Research on the strategy for improving cultivated land quality in China[J]. China Engineering Science, 2018, 20(5): 16-22. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈麟, 吴克宁, 冯喆, 等. 生态文明建设视角下的高标准农田建设适宜性评价[J]. 土壤, 2019, 51(4): 803-812.
Chen Lin, Wu Kening, Feng Zhe, et al. Suitability evaluation of high standard farmland construction from perspective of ecological civilization construction[J]. Soil, 2019, 51(4): 803-812. (in Chinese with English abstract)
- [7] 吴洋, 吴晓亮, 严家家, 等. 关于推进生态型高标准农田建设的思考[J]. 新农业, 2022(3): 82-83.
Wu Yang, Wu Xiaoliang, Yan Jiajia, et al. Thoughts on promoting ecological high standard farmland construction[J]. New Agriculture, 2022(3): 82-83. (in Chinese with English abstract)
- [8] 汤怀志, 郇文聚. 新时期耕地保护需要“生态良田工程”[J]. 中国农业综合开发, 2022(1): 11-13.
Tang Huaizhi, Yun Wenju. “Ecological Good Farmland Project” is needed for cultivated land protection in the new period[J]. China Comprehensive Agricultural Development, 2022(1): 11-13. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张合兵, 赵素霞, 陈宁丽, 等. 基于耦合协调度模型的高标准农田建设项目区优选研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 161-168.
Zhang Hebing, Zhao Suxia, Chen Ningli, et al. Research on optimization of high-standard farmland construction project area based on coupled coordination degree model[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 161-168. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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. Thoughts and suggestions on the construction of 400 million Mu of high-standard basic farmland[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(3): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [11] 陈文广, 张青璞, 孔祥斌, 等. 基于“三线”统筹的省域永久基本农田布局优化规则与实证研究[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 248-257.
Chen Wenguang, Zhang Qingpu, Kong Xiangbin, et al. Optimizing rules and empirical research of provincial permanent basic farmland layout based on the “Three-line” coordination[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(15): 248-257. (in Chinese with English abstract)
- [12] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(8): 233-242. (in Chinese with English abstract)
- [13] 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-facilitated capital farmland[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(5): 193-203. (in Chinese with English abstract)
- [14] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 238-249.
Xin Guixin, Yang Chaoxian, Yang Qingyuan, et al. Post-evaluation of well-facilitated capital farmland construction based on entropy weight method and improved TOPSIS model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(1): 238-249. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘霏珈, 吴克宁, 赵华甫, 等. 基于耕地综合质量的基本农田布局优化: 以河南省温县为例[J]. 中国土地科学, 2015, 29(2): 54-59, 2.
Liu Peijia, Wu Kening, Zhao Huaifu, et al. Spatial allocation optimization of prime farmland based on cultivated land comprehensive quality: A case study of wen county, Henan Province[J]. Chinese Land Science, 2015, 29(2): 54-59, 2. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(22): 243-251. (in Chinese with English abstract)
- [17] 郭贯成, 韩小二. 考虑粮食安全和耕地质量的县域基本农田空间布局优化[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7): 252-260.

- Guo Guancheng Han Xiaoe. Spatial layout optimization of basic farmland considering food security and cultivated land quality at county scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(7): 252-260. (in Chinese with English abstract)
- [18] Grinnell J. The niche-relationship of the California trasher[J]. Auk, 1917, 34:427-433.
- [19] Elton C S . Animal Ecology[J]. Nature, 1927, 119(2988): 193-193.
- [20] Hutchinson G E . Concluding Remarks[J]. Cold Spring Harbor Symp Quant Biol, 1957, 22(1507): 239.
- [21] 王子迎, 吴芳芳, 檀根甲. 生态位理论及其在植物病害研究中的应用前景(综述)[J]. 安徽农业大学学报, 2000(3): 250-253.
Wang Ziying, Wu Fangfang, Tan Genjia. Niche theory and its application prospect in plant disease research (Review)[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2000(3): 250-253. (in Chinese with English abstract)
- [22] 徐小千, 汪景宽, 李双异, 等. 基于生态位理论的东北黑土区耕地整治适宜性评价: 以公主岭市为例[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(3): 432-441.
Xu Xiaoqian, Wang Jingkuan, Li Shuangyi, et al. Evaluation of cultivated land consolidation suitability in Northeast China black soil zone using niche-fitness model: A case study of Gongzhuling City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(3): 432-441. (in Chinese with English abstract)
- [23] 赵素霞. 高标准农田建设空间适宜性与稳定性评价及其时空布局研究[D]. 焦作: 河南理工大学, 2018.
Zhao Suxia. Suitability, Stability and Its Spatio-temporal Distribution of Well-facilitated Farmland Construction[D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2018. (in Chinese with English abstract)
- [24] 夏敏峰, 余慧敏, 李爽, 等. 基于生态位的鄱阳湖平原区高标准农田建设障碍因子诊断[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(7): 182-190.
Xia Minfeng, Yu Huimin, Li Shuang, et al. Obstacle factors diagnosis of well-facilitated farmland construction based on ecological niche in Poyang Lake Plain[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(7): 182-190. (in Chinese with English abstract)
- [25] 刘艳芳, 安睿, 曲胜秋, 等. 福建省耕地生态安全评价及障碍因子分析[J/OL]. 中国农业资源与区划: 1-15. [2022-04-26].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20220107.1102.025.html.
Liu Yanfang, An Rui, Qu Shengqiu, et al. Ecological security evaluation and obstacle factor diagnosis of the cultivated land in Fujian Province[J/OL]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning: 1-15. [2022-04-26].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20220107.1102.025.html. (in Chinese with English abstract)
- [26] 韩博, 金晓斌, 顾铮鸣, 等. 乡村振兴目标下的国土整治研究进展及关键问题[J]. 自然资源学报, 2021, 36(12): 3007-3030.
Han Bo, Jin Xiaobin, Gu Zhengming, et al. Research progress and key issues of territory consolidation under the target of rural revitalization[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(12): 3007-3030. (in Chinese with English abstract)
- [27] 王秀丽, 李程秀, 刘瑜歆, 等. 基于宜耕性评价的耕地利用效率分区与提升路径[J]. 农业机械学报, 2021, 52(5): 212-218.
Wang Xiuli, Li Chengxiu, Liu Yuxin, et al. Zoning and improving path of cultivated land use efficiency based on evaluation of cultivated land suitability[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(5): 212-218. (in Chinese with English abstract)
- [28] 杨建宇, 张欣, 徐凡, 等. 基于 TOPSIS 和局部空间自相关的永久基本农田划定方法[J]. 农业机械学报, 2018, 49(4): 172-180.
Yang Jianyu, Zhang Xin, Xu Fan, et al. Designation method of permanent basic farmland based on TOPSIS and local spatial autocorrelation[J]. Transactions of the Chinese society for agricultural machinery, 2018, 49(4): 172-180. (in Chinese with English abstract)
- [29] 钟紫玲, 王占岐, 李伟松. 基于 Voronoi 图与景观指数法的山区农村居民点空间分布特征及其影响因素[J]. 水土保持研究, 2014, 21(2): 211-216.
Zhong Ziling, Wang Zhanqi, Li Weisong. Spatial distribution characteristics and affecting factors of rural residential land in the mountainous area based on voronoi landscape indices[J]. Soil and Water Conservation Research, 2014, 21(2): 211-216. (in Chinese with English abstract)
- [30] 李林森. 白洋淀流域平原区地下水动力场演化及预测[D]. 西安: 长安大学.
Li Linsen. Evolution and Prediction of Groundwater Dynamic Field in Plain Area of Baiyangdian Watershed[D]. Xi'an: Chang'an University. (in Chinese with English abstract)
- [31] 李义龙, 廖和平, 张亚飞, 等. 乡村振兴背景下镇域高标准农田建设条件及发展模式研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(2): 90-99.
Li Yilong, Liao Heping, Zhang Yafei, et al. Construction conditions and development pattern of well-facilitated farmland in town area based on rural vitalization[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2019, 41(2): 90-99. (in Chinese with English abstract)
- [32] Steere J B. The distribution of genera and species of non-migratory land birds in the philippines[J]. Ibis, 2010, 36(3): 411-420.
- [33] 刘春艳, 张继飞. 基于生态位模型的岷江上游典型县乡村聚落用地适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2021, 37(14): 266-273.
Liu Chunyan, Zhang Jifei. Land suitability evaluation using niche model for rural settlements in typical county in the upper reaches of Minjiang River[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(14): 266-273. (in Chinese with English abstract)

- [34] 王瑗玲, 赵庚星, 王庆芳, 等. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 311-315. Wang Ailing, Zhao Gengxing, Wang Qingfang, et al. Effects of land consolidation on soil physical and chemical characteristics of hilly region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(9): 311-315. (in Chinese with English abstract)
- [35] 宋安安, 王慧敏, 郑艳东, 等. 太行山区耕地整理适宜性评价及障碍因子诊断: 以河北省涞源县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(10): 45-53. Song Anan, Wang Huimin, Zheng Yandong, et al. Suitability evaluation of arable land consolidation and diagnosis of obstacle indicators in Taihang mountainous area: A case study in Laiyuan county of Hebei[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(10): 45-53. (in Chinese with English abstract)
- [36] 毕玮, 党小虎, 马慧, 等. “藏粮于地”视角下西北地区耕地适宜性及开发潜力评价[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7): 235-243. Bi Wei, Dang Xiaohu, Ma Hui, et al. Evaluation of arable land suitability and potential from the perspective of “Food Crop Production Strategy based on Farmland Management” in northwest China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(7): 235-243. (in Chinese with English abstract)

Method for zoning high-standard ecological farmland construction using multi-dimensional super-volume ecological niche

Zhao Zhenting^{1,2}, Kong Xiangbin^{1,2*}, Zhang Xueliang¹, Chen Wenguang^{1,2}, Liao Yubo^{1,2}, Yao Dongheng^{1,2}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Land Quality and Monitoring, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China)

Abstract: Site selection and upgrading direction can greatly contribute to the high-standard ecological farmland construction, particularly for the high investment benefits and disasters resistance. In this study, an evaluation system was constructed for the high-standard ecological farmland using the multi-dimensional super-volume ecological niche from five dimensions, including the soil conditions, standing conditions, spatial stability, landscape pattern, and ecological constraints. A quantitative assessment was also performed on the 326 460 cultivated land patches in Baoding City, Hebei Province of China. The results show that: 1) The better performance was achieved in the high-standard ecological farmland construction suitability evaluation index system in the city from the aspects of soil conditions, standing conditions, spatial stability, landscape pattern, and ecological constraints. The construction suitability was also comprehensively evaluated to better reflect the spatial distribution characteristics of cultivated land plots. There was the medium construction suitability of cultivated land in the study area. Among them, there was the largest area (about 194 200 hm²) of arable land that was barely suitable for construction, accounting for about 27.93% of the total cultivated land in the city, followed by medium suitable cultivated land with an area of 180 000 hm², accounting for about 25.90% of the total. 2) There was no area of soil condition obstacles ≤ 0.5 for the construction of high-standard farmland, indicating that the cultivated land was greatly affected by the soil conditions. Specifically, the areas with the obstacles of 0.51-0.70, 0.71-0.80, and 0.81-1.00 accounted for 17.31%, 38.51%, and 44.17% of the total area, respectively. 3) The study area was divided into the high-standard ecological farmland production priority construction area, production sub-priority construction area, "production-ecology" collaborative construction area, reserve construction area, and ecological conservation area, according to the combination of restriction factors and construction suitability of different transformation difficulties under ecological constraints. The cultivated land area of the production priority construction area was 209 900 hm², indicating the high construction suitability. Nevertheless, the main obstacle factors were difficult to transform, while the regional optimal level was reached with a little transformation, indicating a large improvement potential. The land construction suitability of the sub-priority production construction area is relatively high. The "production-ecology" cultivated land area of the collaborative construction area was about 86 400 hm², which was affected by the obstacle factors of the ecological constraint dimension. The cultivated land area of the reserve construction area was about 204 700 hm², mainly distributed in the hilly areas, such as Yi County, Quyang County, and Fuping County. The cultivated land area of the ecological conservation area was about 56 200 hm², where the more effective paid and orderly exit mechanism should be explored or regulated as a reserve resource. The farmland protection strategy should also be implemented to fully meet the needs of reasonable land use.

Keywords: land use; suitability; zoning; multi-dimensional super-volume ecological niche; high-standard ecological farmland