

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.01.032; CSTR:32311.14.rswc.2026.01.032.

路昌, 韩颖新, 关鹏, 等. 济南市钢城区耕林空间错配识别与优化配置[J]. 水土保持研究, 2026, 33(1): 341-350.

Lu Chang, Han Yingxin, Guan Peng, et al. Identification and optimization of spatial mismatch between cropland and forestland in Gangcheng District, Jinan City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2026, 33(1): 341-350.

# 济南市钢城区耕林空间错配识别与优化配置

路昌<sup>1</sup>, 韩颖新<sup>2</sup>, 关鹏<sup>3</sup>, 梁乃方<sup>2</sup>, 苗颖<sup>2</sup>, 秦晓敏<sup>2</sup>

(1. 山东建筑大学管理工程学院, 济南 250101; 2. 山东省国土空间规划院, 济南 250014; 3. 山东土地城乡融合发展集团有限公司, 济南 250101)

**摘要:** [目的] 分析济南市钢城区耕林空间错配情况, 优化耕林空间布局, 为解决农业生产“空间错配、功能错配”矛盾冲突提供方法参考与借鉴。[方法] 以山东省济南市钢城区耕地和林地为评价对象, 通过构建“耕转林”适宜性评价指标体系和“林转耕”适宜性评价指标体系, 识别“耕-林”空间错配地块, 并通过空间决策模型实现“耕-林”空间布局优化。[结果] (1) 颜庄街道、艾山街道“宜转林”耕地较少, 辛庄街道“宜转林”耕地较多。(2) 钢城区“较不宜转耕”林地面积最大, 占 57.25%, 而“宜转耕”林地面积仅占 2.61%, 主要集中于辛庄街道和里辛街道。(3) 钢城区耕地与林地利用存在明显的空间错配现象, 其中耕地错配地块有 140.96 hm<sup>2</sup>, 林地错配地块有 249.21 hm<sup>2</sup>, 错配特征在各乡镇间差异显著。(4) 通过空间优化, 钢城区耕地面积增加了 108.25 hm<sup>2</sup>, 林地面积相应减少了 108.25 hm<sup>2</sup>, 辛庄街道和颜庄街道优化幅度较大, 而艾山街道与汶源街道优化幅度较小。[结论] 在长期的土地开发过程中, 钢城区“耕-林”空间错配现象逐渐凸显, 严重制约了土地资源的高效利用与生态环境的协同共进, 通过优化“耕-林”空间布局, 提高了耕地的适宜性程度, 同时合理缩减了低适宜性林地面积。

**关键词:** 耕地; 林地; 适宜性评价; “耕-林”错配指数(ICFM); 布局优化; 钢城区

中图分类号: F323.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2026)01-0341-10

## Identification and optimization of spatial mismatch between cropland and forestland in Gangcheng District, Jinan City

Lu Chang<sup>1</sup>, Han Yingxin<sup>2</sup>, Guan Peng<sup>3</sup>, Liang Naifang<sup>2</sup>, Miao Ying<sup>2</sup>, Qin Xiaomin<sup>2</sup>

(1. School of Management Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;

2. Shandong Provincial Institute of Land and Space Planning, Jinan 250014, China;

3. Shandong Land Urban-Rural Integration Development Group Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** [Objective] This paper analyzes the spatial mismatch between cropland and forestland in Gangcheng District of Jinan City, optimizes their spatial layout, and provides a methodological reference and guidance for addressing the contradictions and conflicts of “spatial mismatch and functional mismatch” in agricultural production. [Methods] Taking Gangcheng District of Jinan City, Shandong Province as a case study, cropland and forestland were selected as evaluation objects. A suitability evaluation index system for “cropland-to-forestland” conversion and another for “forestland-to-cropland” conversion were constructed to identify spatially mismatched plots of the “cropland-forestland” system. The spatial layout was then optimized using a spatial decision model. [Results] (1) Yanzhuang Subdistrict and Aishan Subdistrict had relatively little cropland suitable for conversion to forestland, while Xinzhuang Subdistrict had more. (2) In Gangcheng District, the area of forestland classified as “less suitable for conversion to cropland” was the largest, accounting for 57.25%, while the area classified as “suitable for conversion to cropland” accounted for only 2.61%, mainly concentrated in

收稿日期: 2025-03-27

修回日期: 2025-04-27

接受日期: 2025-05-05

资助项目: 山东省社科规划项目研究成果(24DGLJ24); 山东建筑大学研究生教育质量提升计划资助项目(JG241202)

第一作者: 路昌(1990—), 男, 山东临沂人, 博士, 讲师, 研究方向为土地利用转型及碳排放效应。E-mail: chang20081990@126.com

通信作者: 秦晓敏(1981—), 女, 山东莘县人, 硕士, 正高级工程师, 研究方向为土地保护与利用。E-mail: 53830936@qq.com

<http://stbcyj.paperonice.org>

Xinzhuang Subdistrict and Lixin Subdistrict. (3) An obvious spatial mismatch between cropland and forestland use was observed in Gangcheng District. The area of mismatched cropland plots was 140.96 hm<sup>2</sup>, and that of mismatched forestland plots was 249.21 hm<sup>2</sup>. The characteristics of the mismatch varied significantly among subdistricts. (4) Through spatial optimization, the cropland area in Gangcheng District increased by 108.25 hm<sup>2</sup>, while the forestland area correspondingly decreased by 108.25 hm<sup>2</sup>. The extent of optimization was greater in Xinzhuang and Yanzhuang Subdistricts, and smaller in Aishan and Wenyuan Subdistricts. [**Conclusion**] During the long-term land development process, the spatial mismatch between cropland and forestland in Gangcheng District has become increasingly prominent, which has seriously restricted the efficient utilization of land resources and the synergistic development of the ecological environment. Optimizing the “cropland-forestland” spatial layout enhances the suitability of cropland and rationally reduces the area of low-suitability forestland.

**Keywords:** cropland; forestland; suitability evaluation; Index of Cropland-Forestland Mismatch (ICFM); layout optimization; Gangcheng District

土地资源的合理配置始终是关乎人类社会可持续发展的关键议题,耕地与林地这两种对生态系统服务功能和人类生存需求具有决定性意义的土地利用类型合理配置尤为突出<sup>[1]</sup>。耕地作为粮食生产的核心载体,其空间布局的科学性直接关系着粮食安全,为人类提供赖以生存的物质基础<sup>[2]</sup>;林地作为国家重要的生态安全屏障和战略资源储备,是维系森林生态系统健康稳定的基础载体,也是实现绿色可持续发展不可或缺的核心要素,在涵养水源、保持水土、净化空气、调节气候以及维护生物多样性等方面发挥着无可比拟的屏障作用<sup>[3]</sup>。然而,在长期的土地开发过程中,由于缺乏科学的规划与精准的适宜性评估,“耕-林”空间错配现象逐渐凸显,严重制约了土地资源的高效利用与生态环境的协同共进。在此背景下,深入探究基于适宜性的“耕-林”空间错配识别及布局优化具有极为重要的现实紧迫性。

近年来,土地利用的空间错配识别与优化逐渐成为研究热点,其核心在于利用有限的土地资源,优化各地类的空间布局,以实现不同土地利用类型的协调发展,促进土地的可持续利用,相关学者主要从土地适宜性分析、土地利用预测、景观格局演变等方面进行探讨<sup>[4-6]</sup>。研究方法上,既有研究主要采用自然因素叠加法、多因素综合评价等方法对土地适宜性进行评价<sup>[7-10]</sup>;在适宜性评价指标选取中普遍采用土地自然条件、区位因子、生态质量等指标构建适宜性评价体系,使其契合研究区域自身特点<sup>[11-13]</sup>。研究对象上,已有研究主要针对“三生”空间、“农用-建设”用地等“大类”的错配研究,并且以工业用地为主视角的居多<sup>[4,14-15]</sup>;对于“小类”的错配识别和优化配置的研究偏少,主要集中在“耕-果”“耕-林”<sup>[16-17]</sup>。现有研究往往仅对一种地类进行适宜性评价,对可替代地类的适宜性评价尚未深入展开,导致在进行优化

时存在实际落地过程中偏差较大,难以充分实现土地资源的协调配置<sup>[18]</sup>。此外对于土地资源错配测度及优化研究多以工业用地为主要研究对象,缺乏以耕地、林地等土地利用类型的分析<sup>[15]</sup>。为提高土地利用空间错配识别与优化结果的科学性和实践指导价值,亟需在评价体系中融入可替代地类的适宜性分析,并拓宽研究对象范围。

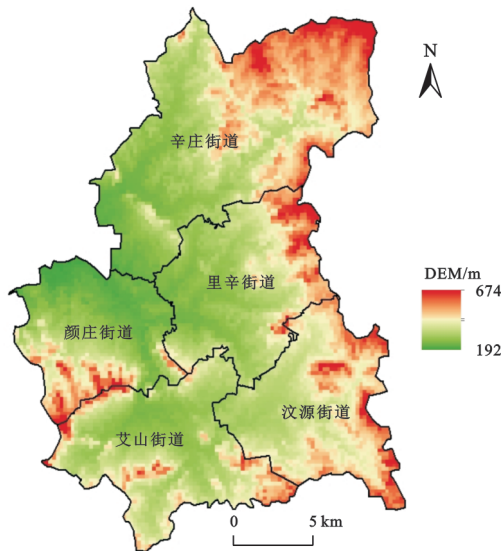
因此,本研究以山东省济南市钢城区耕地和林地作为评价对象,通过构建“耕转林”适宜性评价指标体系和“林转耕”适宜性评价指标体系,识别“耕-林”空间错配地块,并通过空间决策模型实现“耕-林”空间布局优化。研究可为科学推进“山上”与“山下”的“耕-林”布局优化策略,解决农业生产“空间错配、功能错配”的矛盾冲突提供理论方法参考与借鉴,对耕地保护和林地保护发展具有重大现实意义。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

钢城区(117°40′56″—117°58′07″E,35°59′32″—36°17′16″N)隶属山东省济南市,地处鲁中腹地、泰山东麓,总面积约507.00 km<sup>2</sup>,地理区位优势显著,北接淄博市,东邻新泰市,西南与莱芜区接壤(图1)。区域地势特征明显,总体表现为南陡北缓、东高西低,由南部剥蚀成因的残丘地貌和北部冲积平原共同构成,形成土地利用的显著空间分异性<sup>[19]</sup>。南部残丘地貌海拔200~500 m,坡度普遍大于15°,以典型棕壤性土为主,有效土层厚度不足30 cm,受地形破碎化影响,地块规整度不高;北部冲积平原地势平缓(坡度<5°),有效土层厚度可达80~120 cm,形成肥沃的潮棕壤,地块规整度较优,机械化作业便利。这种地形地貌的多样性为区域土地利用提供复杂的环境背景,同时也对“耕-林”空间布局的优化提出挑战。

钢城区的耕地面积为 13 419.36  $\text{hm}^2$ , 占土地总面积的 22.56%; 林地面积为 15 967.35  $\text{hm}^2$ , 占土地总面积的 32.13%。林地作为区域主要的土地利用类型, 其分布范围广泛, 覆盖区域较为完整, 但耕地面积相对较少, 且分布破碎化特征显著。当前研究区存在部分耕地和林地空间错配现象, 即部分适宜耕种的区域被林地占用, 而部分适宜林地的区域却被用于耕作, 这在一定程度上制约区域农业生产力的提升, 也在更深层次上影响生态系统的结构完整性和功能持续性, 优化区域“耕-林”空间布局对实现农业生产和生态保护的协调发展具有重要意义。



注: 基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2022)4312 号的标准地图制作, 底图未做修改, 下同。

图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

## 1.2 数据来源

本文使用的数据包括土地利用数据、土壤数据、数字高程数据等。其中, 土地利用数据来源于 2023 年国土变更调查数据, 空间分辨率为 30 m; 土壤数据来源于中国土壤数据库, 用于获取土壤信息, 包括土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤重金属污染状况、土壤质地、有效土层厚度和土壤盐渍化等土壤的各种理化性质, 空间分辨率为 1 km。数字高程数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 SRTM 数据, 用于提取坡度数据, 空间分辨率为 30 m。对于上述数据进行空间分辨率重采样, 统一分辨率为 30 m, 地理坐标系统一采用 CGCS 2000 坐标系。

## 2 研究方法

### 2.1 “耕转林”适宜性评价

本研究以 2023 年国土变更调查数据为基础, 依据耕地保护分级管控要求和 2023 年国土变更调查技

术规范将耕地分为 3 类: I 类为不纳入耕地保护范围耕地, 包括自然保护地核心保护区、饮用水源一级保护区和生态保护红线内耕地; II 类为 2023 年不稳定耕地, 即 2023 年国土变更调查中标注的林区、牧区耕地及生态脆弱型耕地(含沙化荒漠化耕地、石漠化耕地、盐碱化耕地及坡度在  $25^\circ$  以上耕地); III 类为其他耕地, 即除上述两类耕地之外的所有耕地。符合 I, II 类的耕地即为宜转林耕地, 其他耕地则划为不宜转林耕地。

### 2.2 “林转耕”适宜性评价

稳定林地是指随着时间的推移不易发生地类变化的林地, 否则为不稳定林地, 不稳定林地包括省、市、县级公益林、国有林场、生态保护红线内林地、造林绿化林地、矿区补充林地及超定额补充林地以外林地等。本研究以不稳定林地为评价对象, 依据自然资源部办公厅于 2021 年发布的《关于开展全国耕地后备资源调查评价工作的通知》(自然资办发[2021]47 号)中明确规定的技术标准与评估体系, 其中关于“不宜耕评价”的专项指标, 扣除规划建设占用林地、永久基本农田内林地、沙化荒漠化范围内林地及河湖岸线范围内林地, 依据《全国耕地后备资源调查评价技术方案》和已有研究<sup>[20]</sup>, 从政策因素、自然禀赋、区位条件和景观形态 4 个方面选取 10 个指标, 具体包括: 恢复属性、地形坡度、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤重金属污染状况、土壤质地、有效土层厚度、盐渍化程度、耕作便利度和地块规整度, 构建“林转耕”适宜性评价指标体系(表 1), 进行“林转耕”适宜性评价。

(1) 指标权重确定自然禀赋指标权重主要参考农用地分等定级成果, 其余指标则在参考相关研究的基础上, 采用德尔菲法确定权重。德尔菲法亦称为专家咨询法, 是一类定性的主观权重确定方法<sup>[21]</sup>。选择 5 位耕林领域资深专家, 分别对恢复属性、耕作便利度、地块规整度 3 个指标的重要性独立打分, 计算每位专家对各指标的归一化权重, 再通过算术平均汇总所有专家意见, 最终确定各指标权重。

(2) 指标量化与赋值政策因素为地块的恢复属性, 包括即可恢复、工程恢复和未标注恢复属性; 自然禀赋包括地形坡度、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤重金属污染状况、土壤质地、有效土层厚度、盐渍化程度, 以农用地质量分等数据库标准为依据, 结合农用地分等定级规程进行分等赋值; 区位条件指耕作便利度, 依据是否方便到达进行赋值。

形态破碎的耕地不适宜机械化耕作, 不利于农

业生产,因此选取地块规整度作为景观形态因素的评价指标。地块规整度指地块轮廓形状的整齐程度,值越小说明地块越规整,则更有利于机械化耕作<sup>[22]</sup>。计算公式为:

$$FRAC = \frac{2\ln(A/4)}{\ln C} \quad (1)$$

式中:FRAC为地块规整度;A为地块面积;C为地块周长。

表 1 “林转耕”适宜性评价指标体系

Table 1 Suitability evaluation index system for "forestland-to-cropland" conversion

准则层	指标层	指标分级标准			权重
		I	II	III	
政策因素	恢复属性	即可恢复	工程恢复	未标注恢复属性	0.1261
	地形坡度	≤6°	6°~15°	>15°	0.1771
	土壤pH值	4.0~9.5		≤4.0或≥9.5	0.0724
	土壤有机质含量	≥20 g/kg	10~20 g/kg	<10 g/kg	0.0998
自然禀赋	土壤重金属污染状况	绿色		黄色、红色	0.0565
	土壤质地	壤质、黏质、砂质		砾质或更粗质地	0.0889
	有效土层厚度	≥60cm	<60cm有客土土源	<60cm无客土土源	0.1011
	盐渍化程度	无、轻度盐化、中度盐化	重度盐化有灌溉排水条件	重度盐化无灌溉排水条件	0.0705
区位条件	耕作便利度	方便到达		不方便到达	0.1048
景观形态	地块规整度	≥0.86	0.21~0.86	<0.21	0.1028
	分值	100	60	20	

参考相关文献<sup>[23]</sup>,对上述指标计算量化后,采用自然断点法将指标值划分为3级,以[0,100]为值域进行标准化赋值,具体赋值标准如表1所示。

(3) 综合评价分值计算采用多因素综合评价法对“林转耕”适宜性进行综合评价,综合得分越高,地块越适宜转耕<sup>[23]</sup>。计算公式为:

$$V_x = \sum(F_{xn} \cdot W_n) \quad (2)$$

式中: $V_x$ 为地块 $x$ 的“林转耕”适宜性评价综合得分; $F_{xn}$ 为地块 $x$ 第 $n$ 个评价指标的分值; $W_n$ 为第 $n$ 个评价指标的权重。根据结果分值,将评价结果分为宜耕(90~100分)、一般宜耕(80~90分)、较不宜耕(70~

80分)、不宜耕(60~70分)、极不宜耕(0~60分)。

### 2.3 “耕-林”空间错配识别方法

以“耕转林”适宜性评价和“林转耕”适宜性评价结果为依据,将不宜转林、较宜转耕、较不宜转耕、不宜转耕和极不宜转耕地块视为“耕-林”空间适配地块,这些地块的现状利用方式已经较为合理,调整可能带来不必要的资源浪费或生态风险,因此保持现状;将宜转林地块和宜转耕地块视为“耕-林”空间错配地块,为进行“耕-林”空间布局优化的目标地块(图2),这些地块部分适宜耕种的区域被林地占用,而部分适宜林地的区域却被用于耕作,造成一定的资源浪费,且限制了土地利用效率的提高。

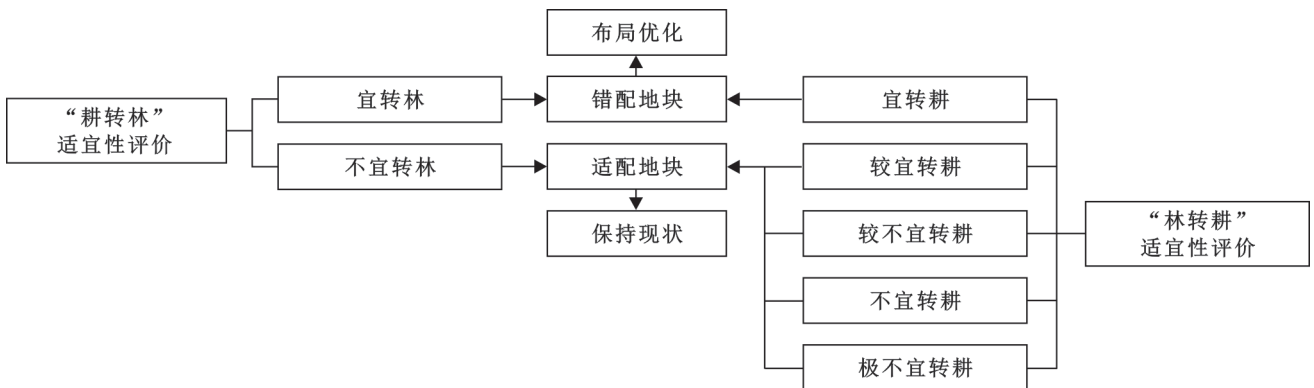


图 2 “耕-林”空间错配识别原理

Fig. 2 Principle of cropland-forestland spatial mismatch identification

借鉴土地资源错配指数的概念<sup>[15]</sup>,以区域耕地错配地块占比与林地错配地块占比之和构建“耕-林”错配指数(Index of Cropland-Forestland Mismatch, ICFM),

用以衡量区域“耕-林”错配程度。计算公式为:

$$ICFM = 10 \times \left( \frac{M_C}{S_C} + \frac{M_F}{S_F} \right) \quad (3)$$

式中:ICFM为“耕-林”错配指数; $M_C$ 和 $M_F$ 分别为耕地错配地块面积和林地错配地块面积; $S_C$ 和 $S_F$ 分别为耕地总面积和林地总面积。

### 2.4 “耕-林”空间布局优化方法

基于“耕-林”空间错配识别结果,以错配地块为优化对象,应用 ArcGIS 软件的空间分析与统计功能构建空间决策模型,对“耕-林”空间布局进行优化调整<sup>[24]</sup>。优化原则为适配地块(不宜转林、较宜转耕、较不宜转耕、不宜转耕和极不宜转耕地块)保持现状,宜转林耕地调整为林地,宜转耕林地调整为耕地。

本研究运用 GIS 技术,采用空间分析的方法,在空间最优化原则下构建协调耕地与林地空间错位矛盾的空间决策模型,实现“耕-林”空间布局置换调整(图 3)。

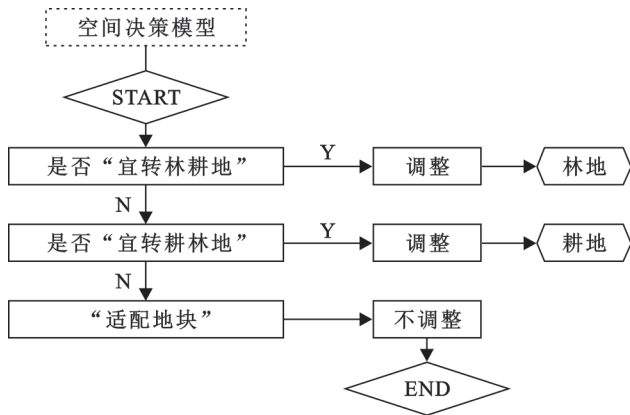


图 3 “耕-林”布局优化空间决策模型

Fig. 3 Spatial decision-making model for cropland-forestland layout optimization

## 3 结果与分析

### 3.1 “耕转林”适宜性分析

钢城区耕地总面积为 13 419.36  $\text{hm}^2$ ,“耕转林”适宜性评价将钢城区耕地划分为“宜转林”和“不宜转林”两个等级(图 4)。总体来看,钢城区不宜转林耕地面积为 13 278.40  $\text{hm}^2$ ,占比达 98.95%(表 2),钢城区土壤质地较好,多为壤质、黏质和砂质,地形坡度多为小于  $15^\circ$ 且耕作便利度基本为方便到达,具有较强的农业生产功能;“宜转林”耕地面积相对较少,仅为 140.96  $\text{hm}^2$ ,占比仅为 1.05%。

从区域分布来看,“宜转林”耕地面积在不同街道之间存在显著差异,辛庄街道的宜转林耕地面积最大,为 97.38  $\text{hm}^2$ ,占全区宜转林耕地总面积的 69.06%,该区域  $25^\circ$ 以上的陡坡耕地比例较高,这些地块土壤条件较差、耕作便利性较低且水土流失严重,不适合继续进行耕作,具备一定的“耕转林”潜力。其他街道的宜转林耕地面积相对较少,其中颜

庄街道和艾山街道的宜转林耕地面积较低,仅为 6.31  $\text{hm}^2$ 和 9.95  $\text{hm}^2$ ,占其各自耕地总面积的比例均不足 0.50%;里辛街道和汶源街道的宜转林耕地面积分别为 15.20  $\text{hm}^2$ 和 12.12  $\text{hm}^2$ ,占其各自耕地总面积的比例均不足 1%。

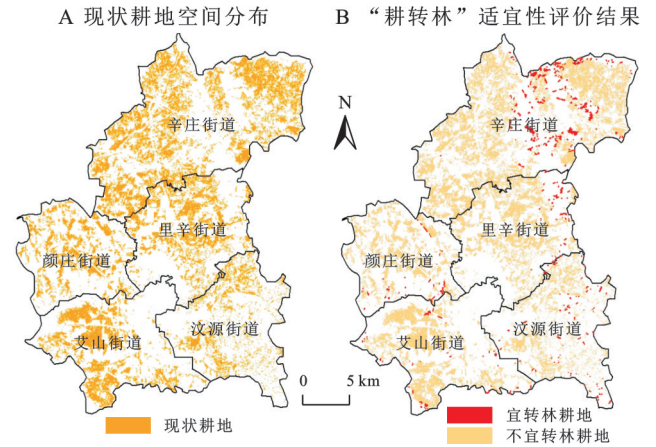


图 4 钢城区现状耕地及“耕转林”适宜性评价结果空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of current cropland and suitability evaluation results for “cropland-to-forestland” conversion in Gangcheng District

表 2 钢城区现状耕地面积及“耕转林”适宜性评价结果  
Table 2 Current cropland area and suitability evaluation results for “cropland-to-forestland” conversion in Gangcheng District

地区	现状耕地面积/ $\text{hm}^2$	宜转林耕地		不宜转林耕地	
		面积/ $\text{hm}^2$	占比/%	面积/ $\text{hm}^2$	占比/%
里辛街道	2318.31	15.20	0.66	2303.11	99.34
艾山街道	2374.74	9.95	0.42	2364.79	99.58
颜庄街道	1665.36	6.31	0.38	1659.05	99.62
辛庄街道	5617.71	97.38	1.73	5520.33	98.27
汶源街道	1443.24	12.12	0.84	1431.12	99.16
钢城区	13419.36	140.96	1.05	13278.40	98.95

### 3.2 “林转耕”适宜性分析

钢城区林地总面积为 15 967.35  $\text{hm}^2$ ,根据“林转耕”适宜性评价指标体系进行评价并进行等级划分,本研究将“林转耕”适宜性评价结果按照表 3 的标准划分为 5 个等级(图 5),分别为极不宜转耕林地、不宜转耕林地、较不宜转耕林地、较宜转耕林地以及宜转耕林地。其中,较不宜转耕林地面积最大为 5 471.73  $\text{hm}^2$ ,占比达 57.25%;其次为不宜转耕林地和较宜转耕林地,面积分别为 2 350.62  $\text{hm}^2$ 和 1 375.29  $\text{hm}^2$ ,占比分别达 24.60%和 14.39%;宜转耕林地和极不宜转耕林地面积最少,分别为 249.21  $\text{hm}^2$ 和 110.25  $\text{hm}^2$ ,占比分别仅为 2.61%和 1.15%(表 3)。

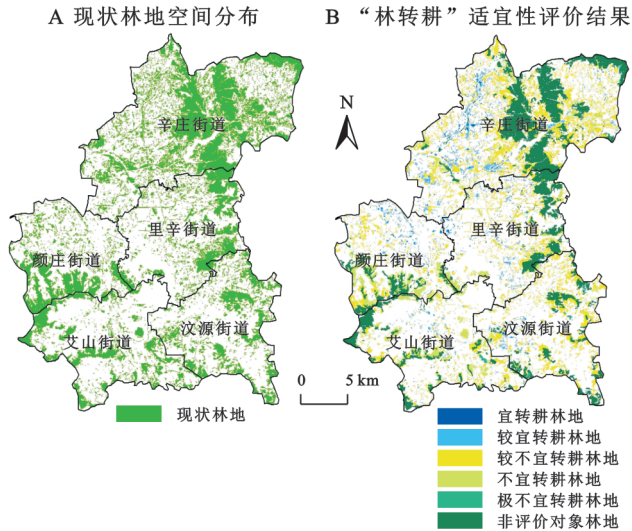


图5 钢城区现状林地及“林转耕”适宜性评价结果空间分布  
Fig. 5 Spatial distribution of current forestland and suitability evaluation results for “forestland-to-cropland” conversion in Gangcheng District

表3 钢城区“林转耕”适宜性评价结果

Table 3 Suitability evaluation results for “forestland-to-cropland” conversion in Gangcheng District

地区	参数	宜转耕林地	较宜转耕林地	较不宜转耕林地	不宜转耕林地	极不宜转耕林地
里辛街道	面积/hm <sup>2</sup>	34.83	247.32	708.39	367.56	11.88
	占比/%	2.54	18.05	51.71	26.83	0.87
艾山街道	面积/hm <sup>2</sup>	11.61	103.86	586.80	647.01	39.51
	占比/%	0.84	7.48	42.25	46.59	2.84
颜庄街道	面积/hm <sup>2</sup>	55.08	175.77	529.65	657.54	0.63
	占比/%	3.88	12.39	37.33	46.35	0.04
辛庄街道	面积/hm <sup>2</sup>	135.63	713.43	2533.68	539.10	22.05
	占比/%	3.44	18.09	64.24	13.67	0.56
汶源街道	面积/hm <sup>2</sup>	12.06	134.91	1113.21	139.41	36.18
	占比/%	0.84	9.40	77.53	9.71	2.52
钢城区	面积/hm <sup>2</sup>	249.21	1375.29	5471.73	2350.62	110.25
	占比/%	2.61	14.39	57.25	24.60	1.15

### 3.3 “耕-林”空间错配识别

根据“耕转林”适宜性评价和“林转耕”适宜性评价结果,总体来看钢城区整体ICFM为0.26,“耕-林”空间错配程度较为显著,该区域在耕地和林地资源的利用上存在一定的不协调性。其中耕地错配地块总面积为140.96 hm<sup>2</sup>,相关地块分布较为破碎,地形起伏度大于15°,这种耕作条件不仅增加了农业生产的难度,同时极易导致土地资源利用率低下、农业可持续发展受阻等问题,因此适宜转林,以实现资源优化配置,提升土地利用效率;林地错配地块总面积为249.21 hm<sup>2</sup>,相关地块地势平坦,土壤肥沃,地块规整度高且耕作便利,当前的利用方式限制了其粮食生产潜力的发挥,因此适宜转耕,以充分发挥其农业生产功能,提升粮食生产能力。

从空间分布来看,钢城区“宜转耕”和“较宜转耕”林地主要集中在辛庄街道和里辛街道,其中辛庄街道“宜转耕”林地面积为135.63 hm<sup>2</sup>,占全区宜转耕林地面积的54.42%,且“较宜转耕”林地面积达713.43 hm<sup>2</sup>,占全区该等级面积的51.87%,该区域林地具有较大的转耕潜力,其地形坡度较低、土壤肥力较高、地块规整且耕作便利度较高,具备优越的农业耕作条件。极不宜转耕林地主要分布于艾山街道和汶源街道,该区域地形复杂、坡度较陡、土壤条件较差、耕作便利度低,一定程度上限制了其林转耕的可能性。不宜转耕林地主要分布在颜庄街道,该区域地形条件相对较为平缓,但土壤质量和地块规整度较差,不适宜进行大规模耕作生产。较不宜转耕林地主要分布在辛庄街道,该区域坡度较陡,地块土壤条件较差、耕作便利性较低且水土流失严重,缺乏适宜耕作的条件,不适宜大规模的农业生产。

乡镇尺度上,不同街道的“耕-林”空间错配特征差异明显(图6)。辛庄街道的耕地错配面积和林地错配面积均最高,分别为97.38 hm<sup>2</sup>和135.63 hm<sup>2</sup>,占比达69.08%和54.42%,部分林地、耕地资源未能合理利用,ICFM为0.37,耕地与林地空间错配程度最严重;艾山街道和汶源街道的ICFM分别为0.09,0.14,错配程度较低,耕地与林地资源利用较为协调。颜庄街道的林地错配面积较高,达到55.08 hm<sup>2</sup>,占比为22.39%,ICFM为0.31,显示出较高的错配程度,部分林地未能得到合理利用。里辛街道和汶源街道的错配程度居中,ICFM分别为0.21,0.14(表4)。

### 3.4 “耕-林”空间布局优化

通过ArcGIS 10.6实现空间决策模型,得到“耕-林”空间布局优化结果(图7),耕地面积由13 419.36

hm<sup>2</sup>增加至 13 527.61 hm<sup>2</sup>,增加了 108.25 hm<sup>2</sup>;林地面积由 15 967.35 hm<sup>2</sup>减少至 15 859.10 hm<sup>2</sup>,减少 108.25 hm<sup>2</sup>,其在一定程度上改善耕地与林地的空间错配现象,优化了土地资源的空间配置。转为耕地的地块地势平坦、土壤肥沃、地块规整度较高,具备良好的农业生产条件,能够有效提升粮食生产能力。优化过程中将部分不适宜耕种的陡坡地、破碎化耕地转为林地,减少资源浪费。优化后的空间布局提高了耕地的适宜性程度,同时合理缩减低适宜性林地面积。

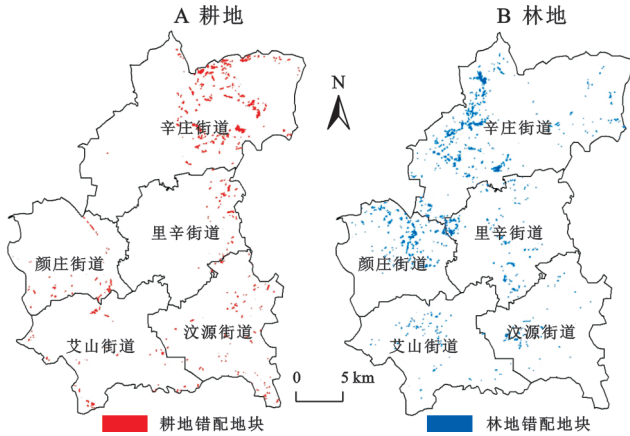


图 6 钢城区“耕-林”空间错配地块空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of mismatched cropland-forestland plots in Gangcheng District

表 4 钢城区分乡镇“耕-林”空间错配地块面积及错配指数(ICFM)

Table 4 Area of mismatched plots and Index of Cropland-Forestland Mismatch (ICFM) by subdistrict in Gangcheng District

地区	耕地错配地块面积/hm <sup>2</sup>	林地错配地块面积/hm <sup>2</sup>	ICFM
里辛街道	15.20	34.83	0.21
艾山街道	9.95	11.61	0.09
颜庄街道	6.31	55.08	0.31
辛庄街道	97.38	135.63	0.37
汶源街道	12.12	12.06	0.14
钢城区	140.96	249.21	0.26

乡镇尺度上,不同街道的优化面积存在明显差异(表 5)。辛庄街道优化调整前耕地调整区域多位于海拔较高,坡度大的不宜耕地区,这些地块由于地形限制和土壤条件较差,农业生产效率低下,优化后将其调整为适宜进行农业生产的区域,该街道的优化面积最大,面积为 38.25 hm<sup>2</sup>,在钢城区耕地资源上占据核心地位;其次为颜庄街道,优化面积为 48.77 hm<sup>2</sup>,该区域土地具备较高的耕作适宜性,优化前部分地块由于分布零散和利用方式不合理等,未能充分发挥其生产潜力,优化后显著提升其耕地的生产潜力;艾山街道和汶源街道优化幅度较小,耕地与林地面积变化

均不足 2.00 hm<sup>2</sup>,这些区域的土地利用类型在优化前已相对较合理,优化后以保持现有类型为主。总体来看,对“耕-林”进行空间布局优化有效提升耕地与林地的空间利用效率,避免了耕地撂荒等低效利用现象,改善耕地与林地资源分布的不均衡和不协调,为区域土地利用的可持续发展奠定基础。

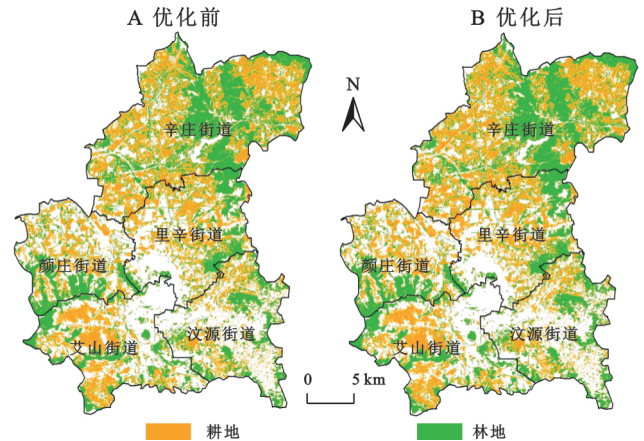


图 7 钢城区“耕-林”空间布局优化结果

Fig.7 Optimization results of cropland-forestland spatial layout in Gangcheng District

表 5 “耕-林”空间优化前后面积比较

Table 5 Area comparison before and after cropland-forestland spatial optimization

地区	耕地面积/hm <sup>2</sup>		林地面积/hm <sup>2</sup>	
	优化前	优化后	优化前	优化后
里辛街道	2318.31	2337.94	2353.14	2333.51
艾山街道	2374.74	2376.40	2265.75	2264.09
颜庄街道	1665.36	1714.13	2029.50	1980.73
辛庄街道	5617.71	5655.96	7062.12	7023.87
汶源街道	1443.24	1443.18	2256.84	2256.90
钢城区	13419.36	13527.61	15967.35	15859.10

## 4 讨论

耕地作为粮食生产的物质基础,承载着保障国家粮食安全的重要使命;而林地作为陆地生态系统的主体,在维护国土生态安全方面发挥着不可替代的基础性作用,耕地保护和林地保护都是“国之大者”,但土地资源有限性致使山东省林粮“争地”空间矛盾长期存在。当前,耕地和林地统筹面临地类管理模糊、功能空间错配、布局碎片化等问题,致使耕林统筹工作开展难度较大。

基于此,政策上应从以下几个方面统筹耕地和林地保护:(1)强化国土空间规划约束,优化耕林空间布局。基于“三区三线”划定成果,明确耕地集中保护区与生态林地核心区,确保国土空间唯一性;在平原区,

优先保障优质耕地集中连片,严格限制林地占用,推动耕地提质增效;针对坡度 $>25^\circ$ 的耕地有序退耕还林,强化生态修复,对适宜耕作的缓坡地(坡度 $<15^\circ$ ),优化农田基础设施,提升耕作便利度。(2)健全用途管制,耕地转林地需符合生态退耕标准,严禁违规“毁田造林”;林地转耕地需经生态影响评估,确保不破坏核心生态功能。(3)明确林地保有量和森林覆盖率目标,统筹开展国土变更调查和林草湿荒普查,逐步调整优化耕地林地布局和面积。(4)构建“数量-质量-生态”三位一体保护体系,优先保护 $\leq 15^\circ$ 缓坡耕地,严格管控 $25^\circ$ 以上陡坡区域,优化田块与基础设施衔接,提升集中连片程度,通过多维度协同管控实现生态安全与农业生产空间的优化配置。

在空间布局优化过程中,不仅需要统筹考量覆被适宜性,还需要通过科学配置植被类型与空间格局<sup>[25]</sup>,在满足覆被条件的同时增强系统抵御干扰与自我恢复的能力。需要说明的是,本研究属于理论探讨,耕地作为国家严格保护的用地类型,其优化调整受政策、制度等多方面约束与限制,不得擅自变更。此外,本研究尚未考虑耕地和林地及其产权主体在空间地域上的对应关系,还需在以后的研究中进一步深入。

## 5 结论

(1)钢城区耕地总面积为 $13\,419.36\text{ hm}^2$ ,其中 $98.95\%$ ( $13\,278.40\text{ hm}^2$ )的耕地为“不宜转林”,其具备较好的土壤质地、坡度平缓及耕作便利的特点,仅 $1.05\%$ ( $140.96\text{ hm}^2$ )耕地为“宜转林”,主要集中于坡度大于 $15^\circ$ 、土壤条件较差的区域。

(2)钢城区林地总面积为 $15\,967.35\text{ hm}^2$ ,全区林地以“较不宜转耕”为主,占比达 $57.25\%$ ,其次为“不宜转耕”和“较宜转耕”林地,分别占 $24.60\%$ 和 $14.39\%$ 。“宜转耕”和“极不宜转耕”林地占比较小,仅为 $2.61\%$ 和 $1.15\%$ 。“宜转耕”和“较宜转耕”林地主要集中于辛庄街道和里辛街道,“极不宜转耕”林地主要分布于艾山街道和汶源街道。

(3)钢城区耕地与林地利用存在明显的空间错配现象,整体ICFM指数为 $0.26$ ,耕地错配面积为 $140.96\text{ hm}^2$ ,林地错配面积为 $249.21\text{ hm}^2$ 。乡镇尺度上,辛庄街道“耕-林”空间错配最为严重,ICFM值为 $0.37$ ;艾山街道和汶源街道的ICFM值较低,分别为 $0.09$ 、 $0.14$ ,土地利用较为协调。

(4)通过空间优化,钢城区耕地、林地面积相应增减 $108.25\text{ hm}^2$ ,优化结果有利于实现农业生产与生态保护的平衡发展。辛庄街道和颜庄街道优化幅度较大,分别增加 $38.25\text{ hm}^2$ 、 $48.77\text{ hm}^2$ 的耕地,改善了土地

资源配置效率;艾山街道与汶源街道优化幅度较小,保持了合理的土地利用格局,避免了生态压力的增加。

### 参考文献(References):

- [1] 刘新智,周韩梅.土地资源配置如何影响城市经济效率:基于中国286个地级以上城市工业数据的实证检验[J].中国土地科学,2022,36(9):49-58.  
Liu X Z, Zhou H M. How does land resource allocation affect urban economic efficiency: an empirical test based on industrial data of 286 cities above prefecture level in China[J]. China Land Science, 2022, 36(9):49-58.
- [2] 王世磊,金晓斌,洪步庭,等.新时期耕地保护规划的内在逻辑与战略构想[J].地理研究,2025,44(3):638-655.  
Wang S L, Jin X B, Hong B T, et al. The internal logic and strategic conception of cultivated land protection planning in the new period[J]. Geographical Research, 2025, 44(3):638-655.
- [3] 欧阳晓,陈键,魏晓,等.长株潭城市群土地利用变化对生态系统健康影响的关键类型及阈值效应[J].地理科学,2024,44(11):1946-1954.  
Ouyang X, Chen J, Wei X, et al. Exploring key types and threshold effects of land use change impact on ecosystem health in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration[J]. Scientia Geographica Sinica, 2024, 44(11):1946-1954.
- [4] 董光龙,王珏,王克强,等.基于土地利用偏好与位置重要性的农业土地利用冲突识别与调解[J].地理研究,2024,43(8):1994-2009.  
Dong G L, Wang J, Wang K Q, et al. Identification and mediation of agricultural land use conflicts based on land use preference and location importance[J]. Geographical Research, 2024, 43(8):1994-2009.
- [5] 苏泽琛,邵战林.干旱区土地利用变化对耕地空间的影响及预测:以昌吉市为例[J].干旱区研究,2024,41(11):1936-1945.  
Su Z C, Shao Z L. Influence and prediction of land use change on the space of arable land in arid zones: taking Changji City as an example[J]. Arid Zone Research, 2024, 41(11):1936-1945.
- [6] 张慧,邱凯玉,王宇瑶,等.农业主产区土地生态安全格局构建:以克东县为例[J].水土保持研究,2021,28(6):274-282.  
Zhang H, Qiu K Y, Wang Y Y, et al. Construction of land ecological security pattern in main agricultural production areas: taking Kedong County as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(6):274-282.
- [7] 石小伟,冯广京,苏培添,等.大都市郊区土地利用时空演变特征与生境质量评价[J].农业工程学报,2021,37(4):275-284.  
Shi X W, Feng G J, Su P T, et al. Spatiotemporal evolution of land use and habitat quality assessment in the

- suburbs of metropolitan[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(4): 275-284.
- [8] 贾克敬,何鸿飞,张辉,等.基于“双评价”的国土空间格局优化[J].中国土地科学,2020,34(5):43-51.  
Jia K J, He H F, Zhang H, et al. Optimization of territorial space pattern based on resources and environment carrying capacity and land suitability assessment[J]. China Land Science, 2020, 34(5):43-51.
- [9] 温良友,孔祥斌,张蚌蚌,等.基于可持续发展需求的耕地质量评价体系构建与应用[J].农业工程学报,2019, 35(10):234-242.  
Wen L Y, Kong X B, Zhang B B, et al. Construction and application of arable land quality evaluation system based on sustainable development demand[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(10):234-242.
- [10] 彭焕智,周国华,崔树强,等.湘江流域土地利用多功能性评价及障碍因子识别[J].水土保持研究,2022, 29(4):308-315.  
Peng H Z, Zhou G H, Cui S Q, et al. Evaluation and obstacle factor identification of multifunctionality of land use in Xiangjiang River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4):308-315.
- [11] 翁睿,金晓斌,张晓琳,等.集成“适宜性-集聚性-稳定性”的永久基本农田储备区划定[J].农业工程学报, 2022, 38(2):269-278, 331.  
Weng R, Jin X B, Zhang X L, et al. Delimitating permanent prime cropland reserve areas on the perspective of suitability-cluster-stability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(2):269-278, 331.
- [12] 赵素霞,牛海鹏,张合兵,等.高标准农田建设中耕地空间稳定性评价研究[J].农业机械学报,2018,49(7):119-126.  
Zhao S X, Niu H P, Zhang H B, et al. Space stability evaluation during well-facilitated cropland consolidation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(7):119-126.
- [13] 杨晓帆,蔡海生,张学玲,等.富硒耕地质量综合评价及利用分区研究:以宜春市袁州区为例[J].江西农业大学学报,2023,45(2):482-493.  
Yang X F, Cai H S, Zhang X L, et al. Study on comprehensive evaluation and zoning of selenium-enriched arable land quality: a case study of Yuanzhou district, Yichun[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(2):482-493.
- [14] 潘方杰,万庆,曾菊新,等.城镇化进程中湖北省“生产-生活-生态”空间冲突演化及其影响因素[J].经济地理, 2023, 43(2):80-92.  
Pan F J, Wan Q, Zeng J X, et al. Evolution characteristics and influence factors of spatial conflicts between production-living-ecological space in the rapid urbanization process of Hubei Province, China[J]. Economic Geography, 2023, 43(2):80-92.
- [15] 李璐,张斌,夏秋月,等.土地资源错配对碳排放效率的空间效应与影响路径:来自长江经济带108个城市的经验证据[J].资源科学,2023,45(5):1059-1073.  
Li L, Zhang B, Xia Q Y, et al. Spatial effect of land resource misallocation on carbon emission efficiency and its influence path: empirical evidence from 108 cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2023, 45(5):1059-1073.
- [16] 张运平,林建平,黄艺敏,等.基于空间决策模型的耕-果错位空间分析与协调布局优化[J].农业工程学报, 2024, 40(6):330-338.  
Zhang Y P, Lin J P, Huang Y M, et al. Spatial analysis and coordinated layout optimization of cropland-orchard mismatch using spatial decision modeling[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(6):330-338.
- [17] 陈航,肖武,谭永忠,等.林-耕布局优化及其对系统韧性的影响研究:以浙江省永康市为例[J].中国土地科学, 2024, 38(8):124-134.  
Chen H, Xiao W, Tan Y Z, et al. An examination of the layout optimization of forest and cropland and its impact on system resilience: evidence from Yongkang City, Zhejiang Province[J]. China Land Science, 2024, 38(8):124-134.
- [18] 韦月莉,王亚红,蔡亚平.土地资源错配对碳排放的动态影响效应及机制[J].环境科学研究,2024,37(12): 2632-2640.  
Wei Y L, Wang Y H, Cai Y P. The dynamic impact and mechanism of land resource misallocation on carbon emissions[J]. Research of Environmental Sciences, 2024, 37(12):2632-2640.
- [19] 侯蕾,于新雨,燕振华,等.牟汶河钢城区河段地表水水质评价与变化趋势分析[J].山东农业大学学报:自然科学版,2021,52(4):670-674.  
Hou L, Yu X Y, Yan Z H, et al. Evaluation and variation trend analysis on surface water quality in Gangcheng district of muwen river[J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition, 2021, 52(4): 670-674.
- [20] 董光龙,张文信,杨忠学,等.山东省耕地后备资源宜耕性评价[J].中国农业大学学报,2018,23(8):160-170.  
Dong G L, Zhang W X, Yang Z X, et al. Suitability assessment of reserve cultivated land resources in Shandong Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(8):160-170.
- [21] 王培京,孟庆义,肖金玉,等.基于德尔菲法和情景分析的北京市农村生活污水处理工艺优选[J].环境科学学报, 2022, 42(5):22-29.  
Wang P J, Meng Q Y, Xiao J Y, et al. Optimization of rural domestic wastewater treatment technology based

- on Delphi method and scenario analysis in Beijing [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2022, 42(5):22-29.
- [22] 王来刚, 郭燕, 贺佳, 等. 遥感数据辅助下县域耕地质量评价与空间分布研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(12):137-146.
- Wang L G, Guo Y, He J, et al. Cultivated land quality evaluation and spatial distribution in Anyang County supported by remote sensing data [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(12):137-146.
- [23] 董秀茹, 潘翀, 刘强, 等. 沈阳市耕地质量等别提升潜力评价研究[J]. *土壤通报*, 2022, 53(4):787-794.
- Dong X R, Pan C, Liu Q, et al. Evaluation of improvement potential for cultivated land utilization quality grade in Shenyang [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53(4):787-794.
- [24] 张运平, 林建平, 黄艺敏, 等. 基于PLUS空间决策模型的城镇与农业空间协调布局优化[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(20):233-243.
- Zhang Y P, Lin J P, Huang Y M, et al. Optimizing spatial coordination layout between town and agriculture using PLUS spatial decision model [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(20):233-243.
- [25] 陈美球, 王检萍, 邱薇, 等. 农业生产中土地资源错配: 基本认知与治理策略[J]. *中国土地科学*, 2025, 39(4):12-19.
- Chen M Q, Wang J P, Qiu W, et al. Land resource misallocation in agricultural production: basic understanding and governance strategies [J]. *China Land Science*, 2025, 39(4):12-19.

(上接第329页)

- [27] Xie X T, Li X S, Fan H P, et al. Spatial analysis of production-living-ecological functions and zoning method under symbiosis theory of Henan, China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(48):69093-69110.
- [28] 曲衍波, 王世磊, 赵丽望, 等. 山东省乡村地域多功能空间格局与分区调控[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(13):222-232.
- Qu Y B, Wang S L, Zhao L J, et al. Spatial pattern and regional regulation of rural territorial multi-functions in Shandong Province, China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(13):222-232.
- [29] 安太天, 王涛, 高金柱. 基于生态系统的海岸带管理分区方法与应用[J]. *生态经济*, 2024, 40(7):159-165.
- An T T, Wang T, Gao J Z. Methods and applications of ecosystem-based coastal management zoning [J]. *Ecological Economy*, 2024, 40(7):159-165.
- [30] 胡冉再琪, 孔雪松, 文高辉, 等. 武汉城市圈“三生”功能与土地利用碳排放耦合测度及协同分区[J]. *中国农业资源与区划*, 2024, 45(5):209-221.
- Hu R, Kong X S, Wen G H, et al. The coupling measurement and co-zoning of production-living-ecological functions and land use carbon emission in Wuhan metropolitan region [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2024, 45(5):209-221.

(上接第340页)

- [26] 张学斌, 石培基, 罗君, 等. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析: 以石羊河流域为例[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(3):410-419.
- Zhang X B, Shi P J, Luo J, et al. The ecological risk assessment of arid inland river basin at the landscape scale: a case study on Shiyang River Basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(3):410-419.
- [27] 环境保护部, 国家发展改革委. 生态保护红线划定指南 [EB/OL]. (2017-5-21). <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/W020170728397753220005.pdf>. Ministry of Environmental Protection, National Development and Reform Commission. Guidelines for the Demarcation of Ecological Protection Red Lines [EB/OL]. (2017-5-21). <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/W020170728397753220005.pdf>.
- [28] 张良侠, 樊江文, 张海燕, 等. 黄土高原地区生态脆弱性时空变化及其驱动因子分析[J]. *环境科学*, 2022, 43(9):4902-4910.
- Zhang L X, Fan J W, Zhang H Y, et al. Spatial-temporal variations and their driving forces of the ecological vulnerability in the Loess Plateau [J]. *Environmental Science*, 2022, 43(9):4902-4910.
- [29] 梅子钰, 张雅茹, 黄心言, 等. 基于生态系统服务的青海湖流域生态风险评估及其空间异质性影响因素分析[J]. *生态学报*, 2024, 44(12):4973-4986.
- Mei Z Y, Zhang Y R, Huang X Y, et al. Ecological risk assessment and its influencing factors of spatial heterogeneity based on ecosystem services in Qinghai Lake Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(12):4973-4986.
- [30] 牛丽楠, 邵全琴, 宁佳, 等. 黄土高原生态恢复程度及恢复潜力评估[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(3):779-794.
- Niu L N, Shao Q Q, Ning J, et al. Evaluation on the degree and potential of ecological restoration in Loess Plateau [J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(3):779-794.