doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2026.18.024

空间和效率双维视角下安徽省“耕林”资源错配测度与优化路径

王秉义[1,2]　闫梦茹[1,3]　郭佳佳[4]

(1.安徽建筑大学公共管理学院, 合肥 230601; 2.安徽城乡融合创新发展研究院, 合肥 230601;
3.南京超图国信技术有限公司, 南京 210036; 4.自然资源部江淮耕地资源保护与生态修复重点实验室, 合肥 230601)

摘要: 科学测度“耕林”资源错配规模、程度及特征对优化国土空间布局、统筹粮食安全与生态保护具有重要实践意义。本文以安徽省“耕林”资源为研究对象,基于 2013、2018、2023 年土地利用数据,构建包含期望产出与非期望产出的超效率 SBM 模型,综合运用适宜性评价、耦合协调度模型及层次分析法等方法,系统分析耕地与林地空间分布格局匹配程度及其演变规律。结果表明:空间维度上,安徽省“耕林”错配呈显著的“南高北低”空间格局,全省错配面积由 2013 年的 730.62 km^2 增至 2023 年的 773.76 km^2,错配高值区集中于宣城市、六安市、安庆市等皖南区域,并表现出较强持续性。效率维度上,错配程度整体显著下降,区域差异逐步缩小。空间格局呈现由初期高值广布向后期低值主导的结构性变化,区域协调性持续增强;其中,宿州市错配指数从 2013 年的 0.84 降至 2023 年的 0.22,由极高错配区转变为极低错配区,凸显其资源配置效率的快速提升。双高错配格局形成空间与效率双向强化的负向闭环,是省内“耕林”错配风险最高、问题最突出区域;双低错配格局实现了空间适配与效率协同的双向互促良性循环,为风险低位可控的最优资源配置状态。空间优化通过功能分区与生态补偿重构“耕林”格局,实现资源配置从人为干预向自然禀赋的根本性转变;效率优化通过精准投入、高效产出与协同优化达到生态经济效益提升;以破解错配风险为目标,构建空间适配与效率提升双向互促的“耕林”资源良性配置格局。研究结果可为安徽省耕地保护与生态修复政策制定提供科学依据,对构建高质量国土空间格局具有参考价值。

关键词: “耕林”资源; 错配测度; 空间适配; 效率提升; 双维互动; 安徽省

中图分类号: F301.24　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2026)18-0282-17　　**OSID**:

Measurement and Optimization Path of “Cultivated and Forest Land” Resource Misallocation in Anhui Province from Dual Perspectives of Space and Efficiency

Wang Bingyi[1,2]　Yan Mengru[1,3]　Guo Jiajia[4]

(1. *School of Public Policy and Management*, *Anhui Jianzhu University*, *Hefei* 230601, *China*
2. *Anhui Institute of Innovative Urban-Rural Integrated Development*, *Hefei* 230601, *China*
3. *Nanjing SuperMap Guoxin Technology Co.*, *Ltd.*, *Nanjing* 210036, *China*
4. *Key Laboratory of Jiang Huai Arable Land Resources Protection and Eco-restoration*, *Ministry of Natural Resources*, *Hefei* 230601, *China*)

Abstract: Scientifically measuring the scale, degree and characteristics of the misallocation of “cultivated and forest land” resources is of great practical significance for optimizing the layout of territorial space and coordinating food security and ecological protection. Taking the cultivated and forest resources in Anhui Province as the research object, based on the land use data of 2013, 2018 and 2023, a super-efficiency SBM model was constructed, including expected and non-expected outputs. By comprehensively applying methods such as suitability evaluation, coupling coordination degree model and analytic hierarchy process, it systematically analyzed the matching degree and evolution law of the spatial distribution pattern of cultivated land and forest land. The results showed that in the spatial dimension, the misallocation of “cultivated and forest land” resources in Anhui Province presented a significant

收稿日期: 2026-01-05　修回日期: 2026-04-24

基金项目: 安徽省哲学社会科学规划一般项目(AHSKYY2025D33)、安徽省高校人文社科重大项目(2025AHGXSK20043)和自然资源部江淮耕地资源保护与生态修复重点实验室开放课题(ARPE-2023-KF04)

作者简介: 王秉义(1982—),男,副教授,博士,主要从事土地资源管理研究,E-mail: wangbingyi@ahjzu.edu.cn

“high in the south and low in the north” spatial pattern. The total area of misallocation in the province was increased from 730.62 km^2 in 2013 to 773.76 km^2 in 2023, with high-value areas concentrated in the southern regions such as Xuancheng City, Lu'an City and Anqing City, and showing strong persistence. In terms of efficiency, the overall degree of misallocation was significantly decreased, and regional differences were gradually narrowed. The spatial pattern underwent a structural change from a widespread high-value area in the early stage to a low-value dominated area in the later stage, and regional coordination was continuously strengthened. Among them, the misallocation value of Suzhou City was decreased from 0.84 in 2013 to 0.22 in 2023, transforming from a highly misallocated area to a very low misallocated area, highlighting the rapid improvement of its resource allocation efficiency. The double-high misallocation pattern formed a negative closed loop that reinforced both spatial and efficiency aspects, making it the area with the highest risk and most prominent problem of “cultivated and forest land” misallocation within the province. The double-low misallocation pattern achieved a mutually reinforcing positive cycle of spatial adaptation and efficiency synergy, representing the optimal resource allocation state with low and controllable risks. Spatial optimization can be achieved by reconfiguring the “cultivated and forest land” pattern through functional zoning and ecological compensation, realizing a fundamental shift in resource allocation from human intervention to natural endowment. Efficiency optimization can be achieved through precise input, high-efficiency output and coordinated optimization to enhance ecological and economic benefits. With the goal of resolving misallocation risks, a mutually reinforcing positive cycle of spatial adaptation and efficiency improvement for the benign allocation of “cultivated and forest land” resources can be constructed. The research results can provide a scientific basis for the formulation of policies on farmland protection and ecological restoration in Anhui Province, and it had reference value for the construction of a high-quality territorial space pattern.

Key words: “cultivated and forest land” resources; mismatch measurement; spatial adaptation; efficiency improvement; two-dimensional interaction; Anhui Province

0　引言

耕地是粮食生产的物质基础，林业是生态文明建设的重要抓手。我国“耕地资源-粮食供给-生态安全”始终处于“弱平衡”状态，受过去耕地保护意识薄弱以及经济利益驱使等影响，存在耕地上山、林地下山等现象[1]，导致山林中耕地因耕作不便而抛荒，平坦开阔的土地树木成林，耕地、林地空间和功能错配问题较为突出，极大影响了粮食安全和生态安全[2]，国家“十五五”规划建议提出“健全耕地数量、质量、生态‘三位一体’保护制度体系”。将数量稳定优化、质量稳步提升、生态持续保护统筹纳入耕地保护核心制度。耕地关乎粮食安全，林地关系生态安全，“耕林”错配不仅会导致高坡度耕地生产边际化，降低农业全要素生产率，更会引发水土资源分布与利用不均衡，影响生态安全格局[3]。因此，有必要开展“耕林”错配研究，探究问题成因和测度特征，提出优化路径，支撑和健全耕地农用、良田粮用制度，促进耕地可持续利用，提升生态安全质量。

近年来，受农业结构调整、劳动力大规模离乡务工的影响，大量耕地向林地转型[4]。如何充分发挥“耕林”系统在生态保护、资源节约、经济增长与生态服务供给等方面的综合功能，从而实现农业现代化与生态保护协同发展，已成为当今国内外关注的热点问题之一。早期研究多围绕“耕林”系统协同发展、农林用地优化布局展开，随着耕地与生态保护双重约束的收紧，学界逐步将研究焦点转向“耕林”资源利用中的错配问题[5]。目前研究“耕林”错配测度及其特征相关问题时，主要基于研究尺度、分析方法和研究内容 3 个维度展开探讨。在研究尺度层面，对“耕林”错配的探索可划分为宏观、中观和微观 3 个层级。在国家宏观层面，研究多聚焦于生态补偿政策框架构建，通过生态足迹法等模型评估全国林地资源利用效率[6-7]；在省域中观层面，学者运用空间计量方法揭示长三角、珠三角等经济发达地区的耕地-林地转化机制[8-10]；在微观层面，研究重点转向农户行为决策分析，运用 Tobit 模型探讨林农经营行为对生态效率的影响[11-13]。在分析方法上，现有测度方法可归纳为 3 类：单一比值法、指标体系法和模型法。具体而言，常见方法包括经济生态比值法、层次分析法、因子分析法、生态足迹法以及参数与非参数分析等[14-17]。研究内容也从效率测度转向机理认知。早期的错配研究集中于定义概念、完善测量方法和分析区域差异[18-20]。随着研究的进一步发展，更多研究者开始基于时间和空间变化，对错配背后的深层机制进行更细致和全面的分析[21-23]。目前关于“耕林”资源错配的研究对象呈现多层次特点，涵盖国家、区域等中宏观层面及林农

个体的微观视角,但这些研究多集中于单一土地利用类型,侧重于耕地或林地各自的利用效率与配置问题,缺乏对二者之间结构性错配的关注,因而开展更加全面深入的“耕林”资源错配研究具有重要意义。

作为长三角一体化发展的重要组成部分,安徽省近年来经济社会发展迅速,常住人口占全国比例约 3.4%,以不足全国 1% 的国土面积贡献了超过全国 3.5% 的经济总量,成为承接产业转移和推动区域协调发展的关键区域。但由于人口密集、开发利用强度大、资源环境风险较高,亟需优化国土空间开发保护格局。鉴于此,本文构建基于“空间-效率”的“耕林”错配分析框架,从空间规模与利用程度 2 个维度识别安徽省耕地与林地资源的错配规模、程度与形成机制,进而提出错配的优化路径,以期为制定科学系统的耕地整合策略、优化农林空间格局提供科学依据,也为区域国土空间协调布局和高质量发展提供科学支撑。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

安徽省位于中国华东长江三角洲地区(29°41′~34°38′N,114°54′~119°37′E),地形地貌丰富多样,地势西南高、东北低,北部多平原,中部以丘陵和平原为主,西部和南部以山地为主。区域地处暖温带与亚热带过渡地区,气候温和、湿润,四季分明,拥有丰富的水资源和肥沃的土壤。安徽省是我国重要的粮食主产区之一,农林资源禀赋优越,生态本底良好。粮食安全与生态保护双重战略目标的协同推进,使安徽省在错配问题识别与优化方面对同类型地区具有重要参照意义。随着森林城市推进和农户耕地利用方式转变,耕地与林地空间布局面临深刻调整,出现了山区耕地撂荒、林地侵占优质农田等现象,反映出“耕林”资源在配置上存在空间结构矛盾与整体效率损失,亟需从空间和效率视角出发,选取安徽省 16 个省辖市作为研究区,系统识别并优化“耕林”资源错配问题,提升农林生态系统的服务功能与可持续利用水平。

1.2 数据来源

数据分类和来源如表 1 所示。社会经济数据来源于安徽省各地级市政府官网、安徽省林业和草原局官网及《安徽省统计年鉴》。对于个别地级市区数据缺失情况,采用趋势内插法补全。使用 2013、2018、2023 年 3 个年份土地利用数据;为避免收获季节耕地归一化植被指数(NDVI)偏低对研究结果的干扰,选取每年 6—8 月作物生长旺盛期的 NDVI 均值用于分析。按照水利部 SL 190—2007《土壤侵蚀分类分级标准》,根据土壤侵蚀模数将安徽省土壤侵蚀等级划分为 5 类。耕地质量等别和林地保护等级数据源于各市自然资源和林业管理部门,行政区划数据源自国家地理信息公共服务平台。所有数据均在 ArcGIS 软件进行处理;坐标系统采用 WGS_1984_UTM。

表 1 数据来源

Tab. 1 Data sources

数据名称	数据特征	数据格式	来源
土地利用数据	2013、2018、2023 年 3 期	30 m 栅格	中国科学院资源环境科学与数据中心平台(https://www.resdc.cn)
遥感数据	归一化植被指数(NDVI)	30 m 栅格	中国科学院资源环境科学与数据中心平台(https://www.resdc.cn)
交通河湖数据	道路、水域	shp 矢量	中国科学院资源环境科学与数据中心平台(https://www.resdc.cn)
地形数据	高程、坡度、海拔、坡向	30 m 栅格	地理空间数据云(https://www.gscloud.cn)
土壤数据	土壤有机质含量、土壤侵蚀强度	1 km 栅格	国家青藏高原科学数据中心平台(https://data.tpdc.ac.cn)
	水土保持数据	1 km 栅格	国家地球系统科学数据中心(http://www.geodata.cn)

2 理论框架

2.1 “耕林”资源错配理论演进

资源错配指要素配置在空间维度的结构性失衡与效率维度的利用损耗,引致全要素生产率与系统整体效能减损的现象[24]。“耕林”资源错配是指耕地与林地在生产功能、生态功能及社会功能协同演进过程,因用地配置与区域资源环境本底、功能定位不相匹配,形成空间布局与利用效能双重失衡,进而对土地利用系统的整体功能完整性与运行效率产生显著负向影响的区域现象[25]。土地适宜性理论与资源配置理论指出,区域土地利用系统的稳定性与功能发挥,高度依赖于空间格局与资源本底的适配性、要素配置的合理性,空间与效率的协同配置,是实现土地多功能协同与区域生态安全的关键基础。

“耕林”资源配置的核心逻辑,始终围绕空间规模与利用效率 2 个核心维度展开。空间布局的合理性,直接引导利用效率的提升方向,倒逼低效用地优化调整,为耕地与林地功能发挥筑牢空间边界;利用效率决定用地主体对空间布局的选择倾向,同时也

反向优化空间配置的科学合理性，为空间格局的长期稳定提供内生支撑。在此过程，政府管控与市场调节的协同适配，是打通空间与效率良性互动的关键支撑，既要通过刚性约束守住资源配置的核心底线，也要通过正向引导激活资源利用的内生动力，最终实现空间布局与利用效率的双向协同。

破解“耕林”资源错配问题，核心在于重构空间与效率的良性互动关系，完善政府与市场的协同调控体系，实现资源优化配置。从空间规模与利用效率双维度构建分析框架，识别错配的时空演化规律，为耕地与林地协同治理提供理论支撑和决策依据（图 1a）。

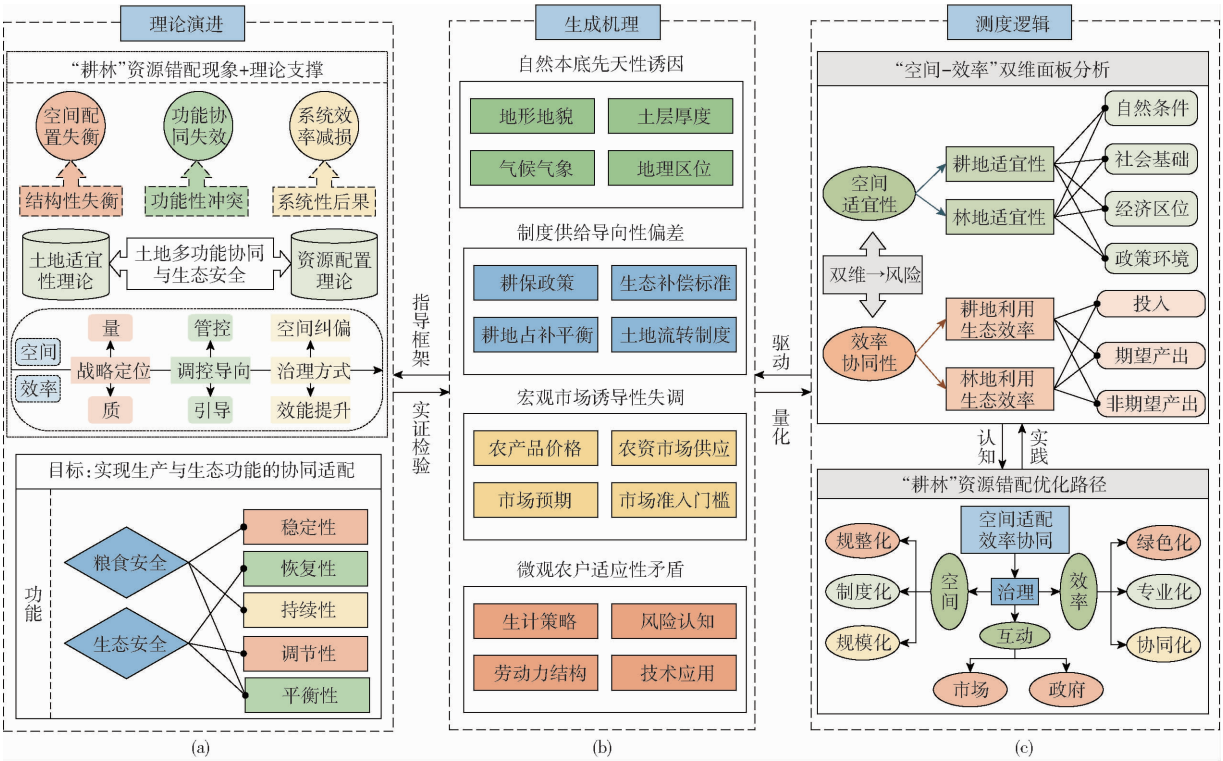

图 1　理论框架

Fig. 1　Theoretical framework

2.2　“耕林”资源错配生成机理

“耕林”资源错配主要表现为正向配置失衡与逆向空间错位 2 类。正向配置失衡侧重耕林利用效率不协同、功能发挥不匹配；逆向空间错位是与土地适宜性相悖的布局偏差。2 类错配相互交织，由自然本底、制度供给、市场驱动与农户生计多重因素共同作用形成。

自然本底先天性诱因。立地条件优越的土地普遍具备显著多宜性特征，其地形地貌、土层厚度、气候适配性及地理区位，决定了土地既适宜耕作又具备林地发展潜力，为农业用地资源配置偏离最优状态提供客观前提[26]。自然禀赋多宜性的本质，是不同用地类型对自然条件的需求存在差异，耕地对地形平缓度、土层厚度、灌溉条件等自然要素的要求更为严苛，林地对自然条件的适应性更强、约束更宽松。这种自然条件约束的天然差异，使得部分兼具耕林适宜性的土地，在缺乏明确引导时，易出现与自然适宜性相悖的利用选择，进而诱发“耕林”错配。

制度供给导向性偏差。耕保政策、生态补偿标准、耕地占补平衡及土地流转制度共同构成资源配置的核心约束[27]。一方面，生态补偿林建设的政策导向与补偿机制，使林地经营获得稳定政策支持，预期收益稳定性显著优于粮食生产，尤其在边际耕地领域，政策激励进一步推动耕地向林地转化；另一方面，农户在劳动力外流、无力开展规模化耕作背景下，为规避土地撂荒违规风险，多将边际耕地转化为管护成本更低的林地，这种微观主体的适应性调整，直接反映了制度供给偏差对错配的诱导作用。

宏观市场诱导性失调。农产品价格、农资市场供应、市场预期及市场准入门槛共同驱动资源配置重构[28-29]：①粮食种植受农产品价格低迷、农资成本高、小规模经营效率衰减影响，净收益长期低位运行，而经济林果栽培、速生用材林经营的市场预期收益更优，且林业市场准入门槛随技术进步逐步降低，形成对耕地经营的替代效应。②城镇化与工业化进程推动农村劳动力市场系统性重构，非农就业渠道持续拓宽，农村劳动力的机会成本整体抬升，传统劳动密集型粮食种植的比较优势持续弱化，而管护成

本低、劳动投入少的林业经营,相对比较优势被持续放大。上述宏观市场环境的系统性变化,从根本上改变了耕地与林地利用的相对收益结构,为错配形成提供了持续的市场诱导动力。

微观农户适应性矛盾。农户基于生计策略、风险认知、劳动力结构和技术应用能力作出的用地选择,往往与耕地保护、生态协同的宏观优化目标发生适应性错配[30]。农村青壮年劳动力大规模转移导致人口结构老龄化与女性化,留守群体因体力与知识局限难以承担传统农业的高强度劳作,因而更倾向选择劳动力需求较低的林地经营模式。同时,新生代农民务农意愿弱化、农耕技能缺失,对土地的依附性降低,决策逻辑更侧重于维持产权状态、规避撂荒风险,而非土地的生产功能。这种以生计适应为导向的行为模式,进一步推动了耕地向林地的转换,深化了土地资源配置的错配格局(图 1b)。

2.3 “耕林”资源错配测度逻辑

在国土空间治理现代化和自然资源高质量配置的政策语境下,耕地与林地作为关键生态-生产型用地,其资源配置不仅关乎粮食安全与生态安全的双重底线,更深刻影响区域协调发展格局。传统研究多聚焦于单一指标或静态效率评价,难以全面揭示资源错配的结构性矛盾。错配的本质是空间布局失衡与利用效能低下的耦合体现,须通过空间错配与效率错配 2 个相互嵌套、互为因果的维度协同测度,厘清双维度间的双向互动机制与错配形成逻辑,从而实现对错配问题的系统诊断。科学测算空间和效率错配程度,需系统性识别、量化并剥离自然地理条件、主体功能定位与政策约束、生态敏感性需求以及农业生产比较优势等关键区域异质性因素对“耕林”合理规模与空间布局的基础性影响。由这些因素导致的耕地集中度差异、林地覆盖率高低或特定地类空间分布格局,是区域资源环境本底和功能目标决定的适配结果,而非资源配置失效的表现。针对耕地与林地存在的“空间错配、功能错配”现象,违背生态保护原则和土地适宜性利用规律的问题,将此类区域定义为错配区。具体研究思路如下(图 1c):

首先,进行资源错配空间分析。空间错配主要从地理空间和规模结构视角,审视“耕林”资源“量”的分布是否与区域的自然本底、功能定位和发展战略相匹配,测度核心是“合理性”。空间错配分析的基础是适宜性,以适宜性表征空间错配特征,识别二者之间的空间错配规模。基于自然条件、社会经济条件、生态条件、政策条件 4 个维度选取评价指标,构建土地适宜性评价体系,采用层次分析法和熵权法组合确定各指标权重,分别对耕地和林地进行综合评价,通过叠加分析耕地与林地适宜性评价结果,识别出耕地与林地 2 类空间错配区域,揭示错配的空间分异规律。从地形梯度、区位条件、政策导向等方面解析错配的空间规模。

其次,开展资源错配效率分析。基于效率协调性识别错配程度。效率错配则从经济学和管理学视角,审视既定空间单元内“耕林”资源“质”的利用水平,即资源配置的投入产出效益和功能实现程度,测度核心是“有效性”。效率错配不是非理性行为,而是现有制度下各主体理性选择导致的系统低效均衡。效率错配不仅体现为单一用地类型的低效,更关键在于 2 类资源利用效率之间的结构性失衡。基于耦合协调度模型,将耕地与林地视为一个相互作用的有机整体,考察二者效率之间的匹配程度与协同状态,构建效率错配指数,若耕地与林地利用效率之间高度协同,即对应的错配指数较低,则说明区域在保障粮食安全与生态安全之间实现了有效权衡,资源配置趋于帕累托改进;反之,若错配指数较高,则表明存在“重耕轻林”或“重林轻耕”的偏向性资源配置,导致系统整体效能损失。

最后,确定资源错配风险区域。空间维度与效率维度,是理解“耕林”资源错配一体两面的双重视角,二者存在强耦合的动态互动关系,直接决定错配风险的形成、演化与最终状态。空间维度是错配的表现形式与空间载体,通过耕地与林地的空间分布格局、区位关系、边界形态等直观展示错配的静态地理特征。效率维度是错配的内在动因与绩效结果,揭示了在不同空间配置下,耕地与林地系统各自及整体的经济效益、生态效益及综合效率,解释了错配现象何以持续。初始空间错配会导致生态效率损失,如水土保持功能下降、农业生产可持续性降低,决定错配风险的形成、演化与最终状态。反之,对单一效率目标的盲目追逐,会驱动新的空间侵占行为,加剧空间错配。由此,空间布局失衡会引致系统效率损失,而这种效率困境又会反向驱动新一轮的空间侵占行为,致使耕地与林地系统陷入相互掣肘、风险持续恶化的反馈循环。由此,空间维度的错配程度是风险的显性表征,效率维度的错配水平是风险的内生动力,二者共同构成了确定“耕林”资源错配风险区域的核心依据。

“耕林”错配优化核心是打破二者的负向循环,构建正向互促的良性机制:①空间维度优化,通过适宜性导向的布局调整和政策协同,实现资源向“规整化、制度化、规模化”转型。②效率维度优化,通过技术创新与系统耦合,提升耕地与林地的生态经济协调性,实现资源向“绿色化、专业化、协同化”转

型。③互动维度优化，以双向互促为核心抓手，构建空间布局优化与利用效率提升的联动调控机制，以空间适配性提升为效率协同创造基础条件，以效率效能提升巩固空间优化的长效性，破解单维度优化难以持续的痛点。最终形成空间适配、效率协同的优化体系，为区域国土空间优化和生态保护提供科学依据。

3　研究方法

3.1　“耕林”空间错配测度

3.1.1　指标权重确定

（1）层次分析法

层次分析法（AHP）是将复杂问题看成多重因素耦合影响的综合系统，并针对这些因素进行定性和定量分析方法[31]。该方法适用于影响因素繁杂、决策准则较多且不断变化的问题，通过两两比较减少主观偏见，利用矩阵运算确保权重客观性，一致性检验机制增强结果可信度。为科学确定指标权重，采用层次分析法进行赋权。

（2）熵权法

熵权法基本原理是基于各指标变异程度确定客观权重。指标变异性越大，说明信息量越丰富，对适宜性评价的区分作用越强，因而赋予的权重越高；反之，变异性越小的信息贡献也较弱，权重相应较低[32]。

（3）组合权重法

为综合考虑层次分析法和熵权法所计算的权重，运用线性组合法计算组合权重。为去除较大数据干扰影响，引入距离函数，计算权重分配系数 α 与 β，得出各评价指标组合权重[33]。

3.1.2　适宜性指标选取

“耕林”空间错配本质是土地利用功能与土地自然属性之间的失衡。因此，以适宜性表征空间错配情况，将耕地和林地作为评价对象，分别开展适宜性评价。

（1）耕地适宜性评价。构建包含自然条件、社会经济条件、生态条件、政策条件 4 个维度的耕地适宜性评价体系（表 2）[34]。自然条件是决定耕地本底适宜性的关键因素。坡度直接影响机械化作业的可行性与耕作成本，坡度越大，越不利于大规模耕作与水土保持，适宜性越低；土壤有机质含量是衡量土壤肥力的核心指标，直接反映耕地的养分供给能力，有机质含量越高，耕地生产潜力越大，适宜性越强。

表 2　耕地适宜性评价体系

Tab. 2　Cultivated land suitability evaluation system

准则层	指标层	效应	指标释义	层次分析法权重	熵权法权重	组合权重
自然条件	坡度（°）	−	所属地表单元陡缓程度	0.258 2	0.155 7	0.213 2
	土壤有机质含量（g/kg）	+	单位体积土壤中所含有机物质质量	0.129 1	0.069 3	0.102 8
社会经济条件	与道路距离（km）	−	地块与最近的可通行道路之间的直线长度，反映交通可达性与利用便利性	0.066 0	0.164 5	0.109 3
	与河流距离（km）	−	地块与最近常年性河流的直线距离，反映灌溉水源的可达性与农业用水便利程度	0.132 2	0.159 1	0.144 0
生态条件	NDVI	+	归一化植被指数，表征地表植被覆盖的茂密程度和生长状况	0.091 6	0.128 5	0.107 8
	土壤质地	/	耕层土壤中不同直径矿物颗粒组合状况	0.183 2	0.141 7	0.165 0
政策条件	与永久基本农田距离（m）	−	地块与永久基本农田保护区最近距离，反映其作为优质耕地的潜在适宜性	0.139 7	0.181 2	0.157 9

注：+ 表示正效应，− 表示负效应；/ 表示指标为适度指标，即存在某一最优值使得适宜性等级达到最高，下同。

社会经济条件反映耕地利用的便捷性与投入成本，以与道路距离和与河流距离作为量化指标。距道路越近，农机具、农资和农产品运输越便利，生产组织成本越低，适宜性越高；距河流越近，越有利于农业灌溉取水和生态用水保障，水资源可及性优势越明显，耕地适宜性越强。

生态条件体现耕地利用的生态本底与可持续性，采用归一化植被指数（NDVI）作为生态质量代理指标。NDVI 越高，表明区域植被覆盖状况越好，生态系统稳定性较强，水土保持能力较优，更有利于维持耕地的长期生产力，适宜性越高。土壤质地是影响土壤结构与生态功能的关键属性，质地适中的壤土保水保肥能力强、通气透水性好，有利于作物根系发育与生态平衡维持，耕地适宜性较高，而过沙或过黏的质地易导致水肥流失或通透性差，制约耕地生态功能的稳定发挥，适宜性相对降低。

政策条件是耕地空间布局的刚性约束，以与永久基本农田距离作为政策管控指标。位于永久基本

农田范围内的图斑,受到国家最严格的保护,是优先保障的耕地核心区域,适宜性等级应予以优先认定和保护。

(2)林地适宜性评价。参照林地质量和分等规程标准,建立涵盖自然、经济社会、生态、政策的林地适宜性评价体系(表 3)[35]。自然条件是决定林木生长潜力与分布格局的根本因素。坡度是影响水土保持能力与造林施工难度的关键地形因子,坡度对林地表现为正向指标,虽过陡不利于林木抚育管理,但与耕地相比,陡坡地更宜林不宜耕。全省坡度总体呈西高东低、南高北低格局,西部和南部山区因坡度相对较大,在比较意义上更具林地适宜优势。海拔同样为正向指标,海拔升高对农业生产限制增强,但对林木适应范围更广。坡向通过水热再分配影响适宜性,东或偏东向最为适宜、北或偏北向为较适宜、南或偏南向为较不适宜、西或偏西向为不适宜。

表 3 林地适宜性评价体系

Tab. 3 Forest land suitability evaluation system

准则层	指标层	效应	指标释义	层次分析法权重	熵权法权重	组合权重
自然条件	坡度(°)	+	所属地表单元陡缓程度	0.190 0	0.222 6	0.203 4
	海拔(m)	+	地表某点相对于海平面的垂直高度,通过温度、降水等水热条件的垂直分异,直接影响林木物种分布、生长节律与生理活动	0.120 8	0.263 3	0.179 4
	坡向	/	坡面法线在水平面上的投影方向,是影响局地小气候的关键地形因子	0.076 5	0.205 5	0.129 6
社会经济条件	人口密度(人/km^2)	−	单位土地面积人口数量,间接反映人类活动对林地的干扰强度与潜在冲突	0.198 1	0.120 9	0.166 4
生态条件	土壤侵蚀风险(cm)	+	区域土壤发生水土流失的潜在概率,综合反映立地土壤受水力、风力等外营力破坏的可能性	0.091 6	0.031 8	0.067 0
	水土保持能力	−	区域抵抗土壤侵蚀和保持水分能力的综合评价,等级越高表示立地条件越稳定	0.183 3	0.074 7	0.138 6
政策条件	林地保护等级	+	依据省级林地保护利用规划划定的林地管理强度分级,反映法定保护优先序与开发利用的政策约束强度	0.139 7	0.081 2	0.115 6

社会经济条件影响林地利用的人为干扰强度与管护可行性,以人口密度作为量化指标。人口密度较低的区域,人类活动干扰相对较小,更有利于森林生态系统的自然演替与生物多样性保护,林地生态功能得以更好维持,适宜性相对较高。

生态条件反映林地立地质量与生态功能潜力。土壤侵蚀风险对耕地表现为强烈的负向指标,但对林地则为正向指标,因为在侵蚀较强区域,林木的根系固土、涵养水源功能相比耕地更能发挥生态防护作用,符合“宜耕则耕、宜林则林”的利用原则。水土保持能力则综合反映林地生态系统涵养水源、固土护坡的功能强弱,水土保持能力越强,越有利于维持林地生产力与生态系统的长期稳定性,适宜性也越高。

政策条件是林地保护与管理的刚性约束,以林地保护等级作为政策识别标志。依据省级林地保护利用规划划定的保护等级,直接反映了法定保护优先序与开发利用的政策约束强度。保护等级越高的林地,承担的生态功能越重要,受到法律法规的保护也越严格,是林地保护与质量提升的优先区域,适宜性等级应予以重点保障。

3.1.3 空间错配分析

基于现状用途与最优适宜功能不匹配的核心逻辑,构建“耕林”空间错配识别模型。以栅格为基本分析单元,通过叠加耕地与林地适宜性分级结果,依据“宜耕则耕、宜林则林”且“耕地优先”原则,若某区域在耕地现状适宜性评价中被判定为“不适宜”,同时在林地潜在适宜性评价中表现为“适宜”,则该区域属于耕地空间错配;若某区域在林地现状适宜性评价中被判定为“不适宜”,同时在耕地潜在适宜性评价中表现为“适宜”,则该区域属于林地空间错配。2 类错配区域取并集,形成空间错配的总体格局图谱,揭示土地利用现状与潜在适宜功能的空间偏离程度,有效识别资源配置中的结构性矛盾。

基于指标赋分和权重,逐一计算全部耕地和林地评价单元适宜度,并将适宜度按标准划分为适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜、不适宜 5 个等级(表 4),其中,一般及以上适宜度认为适宜“耕林”生长[36]。

3.2 “耕林”效率错配测度

3.2.1 非期望产出超效率 SBM 模型

利用非期望产出超效率 SBM 模型测算耕地与林地利用生态效率,分析安徽省 16 个市的效率格局及其成因[37]。与传统 DEA 模型相比,超效率 SBM 模型具有 2 大优势:①能够解决传统 DEA 模型中多个决策单元(DMU)效率值相同的问题,允许有效

表 4　耕地与林地适宜性分级

Tab. 4　Suitability grading of cultivated land and forest land

适宜性等级	分界值
适宜	75 ~ 100
较适宜	65 ~ 75
一般适宜	55 ~ 65
较不适宜	40 ~ 55
不适宜	0 ~ 40

DMU 超效率值超过 1，从而实现更精确的效率比较和排序。②考虑了非期望产出指标以及投入产出松弛变量的影响，适用于多投入多产出的效率测度。因此，选用超效率 SBM 模型对安徽耕地利用生态效率进行测度。

3.2.2　效率指标选取

（1）耕地利用生态效率指标

基于耕地生态效率内涵及其可持续发展要求，参考已有研究并充分考虑到安徽耕地利用实际情况，从投入、期望产出和非期望产出 3 个维度构建安徽省耕地利用生态效率评价指标体系[38]。各类指标如表 5 所示。

表 5　耕地利用生态效率评价指标体系

Tab. 5　Evaluation index system of cultivated land use eco-efficiency

一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	土地投入	粮食播种面积
		有效灌溉面积
	劳动力投入	农业从业人员
	资本投入	化肥施用量（折纯量）
		农用塑料薄膜施用量
		农药施用量
		农业机械总动力
产出指标	期望产出指标	农业总产值
	非期望产出指标	农业碳排放

在具体指标选取中，充分考虑农业农村部门的实际特征与数据可获得性。土地投入以粮食播种面积和有效灌溉面积表征，反映农业用地规模与基础条件；劳动力投入选用农业从业人员，体现人力资源配置；资本投入包括化肥折纯施用量、农用塑料薄膜使用量、农药施用量以及农业机械总动力，指标涵盖了现代农业生产中关键的物资与装备投入要素。产出方面，以农业总产值作为期望产出，衡量农业的经济与食物供给功能；同时，将农业生产过程的环境压力纳入非期望产出，通过农业碳排放予以量化，以体现农业生态效率的绿色低碳导向。

（2）林地利用生态效率指标

基于林业生态效率内涵与多维目标，并借鉴现有研究中对效率的测算框架，构建包含投入、期望产出与非期望产出的综合评价体系[39]。具体指标选取兼顾林业生产特殊性、生态服务功能及数据可得性：在投入方面，选用林业用地面积表征土地要素投入，林业从业人员反映劳动力规模，这 2 类指标共同覆盖了林业生产中的核心资源要素。在产出方面，期望产出以林业总产值表征直接经济产出，并纳入林业系统在岗职工平均工资以反映行业发展的社会效益；非期望产出则通过林业有害生物发生面积，全面刻画林业生产过程的环境负外部性与生态风险（表 6）。

表 6　林地利用生态效率评价指标体系

Tab. 6　Evaluation index system of ecological efficiency of forest land use

一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	土地投入	林业用地面积
	劳动力投入	林业从业人员
产出指标	期望产出指标	林业总产值
		林业系统在岗职工平均工资
	非期望产出指标	林业有害生物发生面积

3.2.3　耦合协调度模型

耦合协调度模型是一种用于衡量 2 个或多个系统之间相互作用、协同发展水平的定量模型[40]。将“耕地利用生态效率”与“林地利用生态效率”2 个系统视为相互关联的整体，通过分析二者之间的耦合协调度 D 衡量“耕林”效率的协同发展水平。协调度越低，表明耕地与林地系统之间良性互动的耦合关系越弱，资源竞争与功能冲突更为突出，系统整体处于无序失序的高错配状态；反之，协调度越高，则意味着两系统间实现了协同共生的高质量发展，错配程度越低。

3.2.4　效率错配指数

耦合协调度越高表示错配程度越轻、协调性越高。定义当 $D = 1$ 时，耕林效率处于完全协同的理想状态，不存在结构性效率损失。因此，现实协调度与理想状态（$D = 1$）的差值，即为效率错配量化表征。由此，构建效率错配指数 M_e 为

$$M_e = 1 - D$$

M_e 取值范围为 $[0,1]$，值越接近 0，表明效率协同度越高，错配程度越低；越接近 1，表明两者效率发展越不协调，结构性效率错配越严重。该指标直接、无偏地度量了因“重耕轻林”或“重林轻耕”导致的整体效能损失。

4　结果与分析

4.1　“耕林”空间错配时空变化特征

由表 7 可知，整体来看，安徽省“耕林”空间错

配程度在2013—2023年总体保持相对稳定，但区域差异显著。全省错配面积由2013年的730.62 km^2增至2023年的773.76 km^2，10年间净增43.14 km^2，整体错配态势趋于平稳。其中，2013—2018年错配面积由730.62 km^2上升至748.14 km^2，2018—2023年错配面积进一步增至773.76 km^2，反映出部分地区在耕地与林地空间布局协调性方面仍面临压力。

表7 安徽省各市“耕林”空间错配结果

Tab.7 Spatial mismatch results of “cultivated forest” in cities of Anhui Province km^2

区域	2013年	2018年	2023年
亳州市	0.07	0.06	0.07
六安市	171.74	156.77	152.70
合肥市	18.47	19.61	22.15
安庆市	120.42	136.49	134.31
宣城市	177.45	181.31	190.11
宿州市	0.16	0.15	0.13
池州市	101.61	107.62	118.34
淮北市	0.04	0.04	0.04
淮南市	1.07	0.49	0.51
滁州市	15.72	17.88	18.17
芜湖市	71.75	75.08	77.60
蚌埠市	0.15	0.13	0.07
铜陵市	7.62	7.93	9.93
阜阳市	0.03	0.02	0.02
马鞍山市	10.62	10.91	12.99
黄山市	33.70	33.65	36.62

2013年，错配面积最高区域为宣城市，为177.45 km^2；最低为阜阳市，仅为0.03 km^2。2018年，错配重心仍保持在宣城市，面积为181.31 km^2，六安市位居第2，阜阳市继续保持全省最低，错配面积为0.03 km^2。2013—2018年，受城镇化发展、农业结构调整等多重因素驱动，部分区域“耕林”空间关系仍处于动态调整过程，错配面积有所增加。至2023年，宣城市仍为错配最突出区域，六安市紧随其后，错配面积为152.70 km^2；阜阳市错配面积维持在极低水平。10年间，宣城市、六安市、安庆市、池州市等南部地区错配面积持续偏高，反映出该区域受地形条件与土地利用功能交织影响，耕地与林地空间配置矛盾较为突出；而阜阳市、亳州市、宿州市、淮北市等地区，受平原地貌与规整的农业生产空间约束，土地利用功能分区清晰、耕地与林地用地边界明确，未出现大规模用地类型转换带来的错配波动。2018—2023年，伴随经济社会发展与土地利用功能的多元化，部分沿江城市及皖南山区在耕地与林地布局中呈现一定的相互影响，错配面积继续增长，其优化协调仍需一个系统、长期过程。

总体来看，安徽省“耕林”错配面积在过去10年间总体呈增加态势，区域差异明显，皖南及部分沿江城市增长相对突出，皖北地区则始终维持在极低水平。

基于空间维度分析安徽省“耕林”错配情况，参照文献[3]并结合研究区实际情况，使用自然断点法划分为5个等级：极低错配区（0～0.16 km^2）、较低错配区（0.16～12.99 km^2）、一般错配区（12.99～36.62 km^2）、较高错配区（36.62～136.49 km^2）、极高错配区（≥136.49 km^2），汇总得到错配空间格局分布（图2）。2013—2023年，安徽省错配面积呈“南高北低”总体特征，高值区集中分布于皖南区域。从错配等级分布来看，极低错配区始终以皖北平原的淮北市、亳州市、蚌埠市、阜阳市为核心，宿州市于2018年后也转入该类别；较低错配区主要包括淮南市、马鞍山市、铜陵市等；较高错配区在芜湖市、池州市、安庆市等地反复出现；而极高错配区长期集中于六安市与宣城市，安庆市在2018年曾进入极高行列，2023年回落至较高等级。综合来看，皖南地区如宣城市、六安市、安庆市、池州市等地，受复杂地形与土地利用功能交织影响，耕地与林地空间配置矛盾较为突出；而阜阳市、亳州市、宿州市、淮北市等皖北平原地区，因土地结构清晰、功能分区明确，错配面积始终维持在较低水平，空间格局整体稳定。

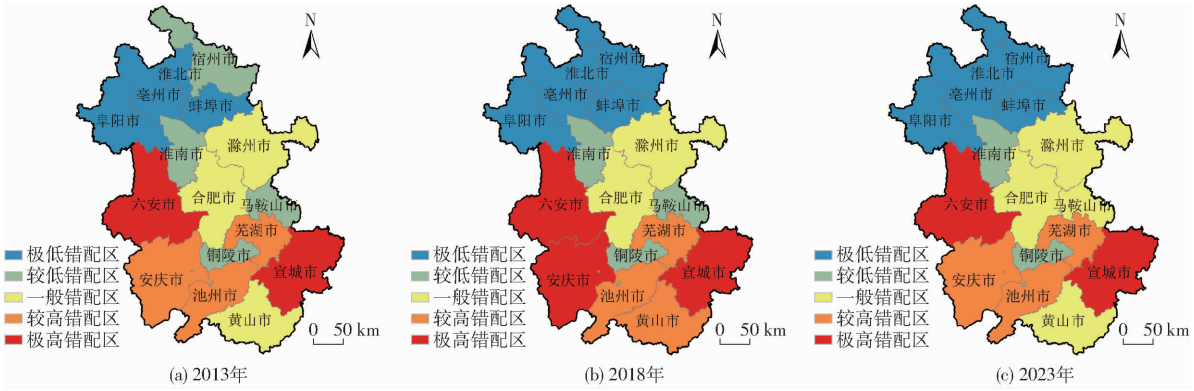

图2 “耕林”空间错配时空演变

Fig.2 Spatio-temporal evolution of spatial mismatch of “cultivated and forest land”

总体而言，空间错配呈现明显的地域分异：皖南区域错配强度高、皖中沿江地区错配趋势上升、皖北平原错配程度极低。未来应加强国土空间规划统筹，划定并严守耕地与生态保护红线，在生态脆弱区和城乡交错带推行“耕林”协同布局机制，优化土地利用结构，提升生态系统服务功能与粮食安全协同保障能力，推动实现耕地保护、生态安全与高质量发展的有机统一。

4.2　“耕林”效率错配时空变化特征

由表 8 可知，整体来看，安徽省各区域效率错配程度在 2013—2023 年间呈显著下降趋势，协调水平持续提高。

表 8　安徽省各市“耕林”效率错配指数

Tab. 8　Mismatch index of “cultivated and forest land” efficiency in cities of Anhui Province

区域	2013 年	2018 年	2023 年
亳州市	0.52	0.47	0.26
六安市	0.86	0.70	0.37
合肥市	0.71	0.39	0.16
安庆市	0.87	0.80	0.64
宣城市	0.78	0.63	0.13
宿州市	0.84	0.64	0.22
池州市	0.65	0.58	0.18
淮北市	0.33	0.49	0.46
淮南市	0.85	0.77	0.56
滁州市	1.00	0.78	0.60
芜湖市	0.54	0.30	0.15
蚌埠市	0.65	0.34	0.17
铜陵市	1.00	0.67	0.18
阜阳市	0.75	0.57	0.27
马鞍山市	0.73	0.63	0.29
黄山市	0.65	0.44	0.44

从区域单元来看，安徽省效率错配程度呈“整体改善、局部波动”空间特征。2013 年，错配程度较高区域主要包括滁州市（1.00）、铜陵市（1.00），高值区还包括安庆市（0.87）、六安市（0.86）、淮南市（0.85）、宿州市（0.84），这些地区多处于皖西南山区与丘陵交错带、传统农区与城市扩张叠加区，土地利用结构复杂，初期“耕林”功能效率冲突较为明显。而淮北市（0.33）、亳州市（0.52）、芜湖市（0.54）等地错配程度相对较低，核心源于这些地区土地利用类型相对单一、开发时序较早、用地布局稳定性较高。

至 2018 年，全省效率错配程度较 2013 年普遍下降，但区域差异依然显著。其中，铜陵市由 1.00 降至 0.67、宿州市由 0.84 降至 0.64、合肥市由 0.71 降至 0.39，降幅最为突出；而安庆市（0.80）、滁州市（0.78）、淮南市（0.77）等地仍维持较高错配水平，表明这些区域在中期阶段“耕林”功能协调压力持续存在。值得注意的是，淮北市错配指数由 0.33 升至 0.49，呈现小幅反弹，与区域局部土地利用结构调整、林地生态建设与耕地保护的短期适配性波动相关。区域改善幅度的差异，核心源于各地生态治理工程与耕地提质增效项目的落地成效不同。

至 2023 年，绝大多数地区效率错配程度显著降低，尤其是宣城市（0.13）、铜陵市（0.18）、合肥市（0.16）、芜湖市（0.15）、蚌埠市（0.17）、池州市（0.18）等地降幅突出，充分显示其国土空间结构调整、“耕林”协同治理与生态功能优化的显著成效。淮北市错配程度呈现小幅波动，由 2013 年的 0.33 升至 2023 年的 0.46，整体仍处于全省较低水平；黄山市错配指数由 2013 年的 0.65 降至 2018 年的 0.44 后保持持平，未出现持续下降趋势。安庆市（0.64）、滁州市（0.60）、淮南市（0.56）三地在 2023 年仍保持全省相对最高错配指数，说明这些区域耕地生产功能与林地生态功能的协同优化仍面临较大压力，是后续错配治理的重点攻坚区域。

总体而言，安徽省土地利用效率在 2013—2023 年向协调方向持续演进，但部分区域仍需在空间布局优化与功能协同上加强调控。

参照文献[39]并结合研究区实际情况，使用自然断点法划分为 5 个等级：极低错配区（0 ~ 0.29）、较低错配区（0.29 ~ 0.49）、一般错配区（0.49 ~ 0.65）、较高错配区（0.65 ~ 0.78）、极高错配区（≥0.78），将效率错配程度可视化（图 3）。整体来看，2013—2023 年安徽省各市效率错配平均水平逐步下降，整体错配程度呈显著减弱趋势。区域间错配水平差异明显，但随着时间推移，这种差异呈缩小态势。

从效率错配空间分布来看，各市错配水平存在一定空间分异。2013 年，效率错配高值区分布较广。极高错配区包括宿州市、淮南市、滁州市、六安市、安庆市、铜陵市；较高错配区为阜阳市、合肥市、马鞍山市、宣城市；较低错配区为淮北市。整体呈高值主导、低值稀缺格局，反映初期资源配置冲突较为普遍。2018 年，错配空间格局出现明显优化，极高错配区仅安庆市；较高错配区缩减为滁州市、淮南市、六安市、铜陵市；较低错配区扩展至淮北市、亳州市、蚌埠市、合肥市、芜湖市、黄山市。表明全省错配水平整体下降，且过半地市已进入较低错配区间，资源配置协调性明显提升。至 2023 年，错配空间格局进一步发生根本性演变，极低错配区大幅扩展，包括宿州市、亳州市、蚌埠市、阜阳市、合肥市、马鞍山市、芜湖市、铜陵市、宣城市、池州市。结果表明，安徽省

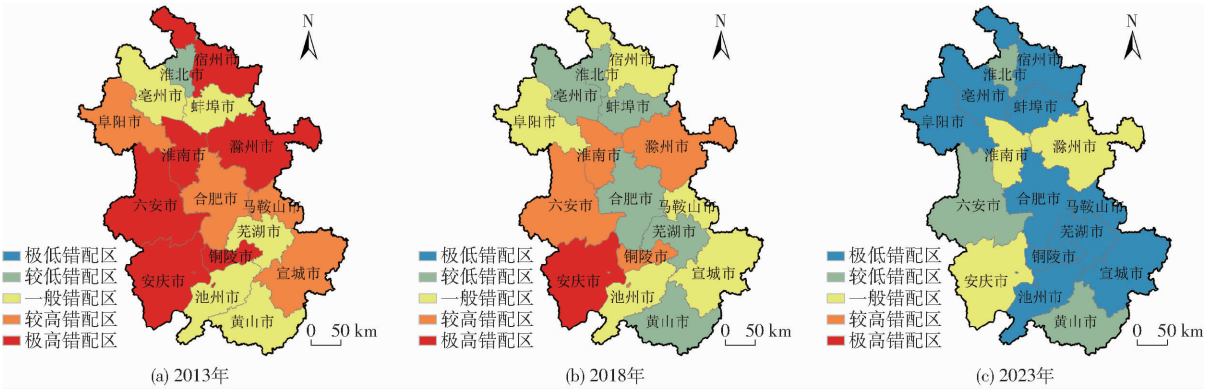

图 3 “耕林”效率错配时空演变

Fig. 3 Spatio-temporal evolution of efficiency mismatch of “cultivated and forest land”

“耕林”资源配置效率在绝大多数地区已达到较高协调水平,错配问题显著缓解。

从错配类型演变来看,2013—2023 年效率错配空间格局经历了由高值广布向低值主导的结构性变化,说明随着国土空间规划的实施与生态保护政策的调整,各地区耕地与林地利用关系的优化进程并不同步,系统整体仍处于动态调整阶段。尽管区域间差异依然存在,但整体错配水平下降与空间格局演变,反映出安徽省在统筹耕地保护与林业发展、促进资源空间适配方面正处于持续优化与深化的关键时期。

4.3 “耕林”空间与效率维度作用解析

以“耕林”空间错配为横轴,效率错配为纵轴,结合双维度高低分级结果划分四大象限,对应高风险区、中低风险区、低风险区、中高风险区 4 类资源配置风险分区。系统解析双维度互动关系、形成动因与内在逻辑,为后续优化策略制定提供核心理论支撑(图 4)。

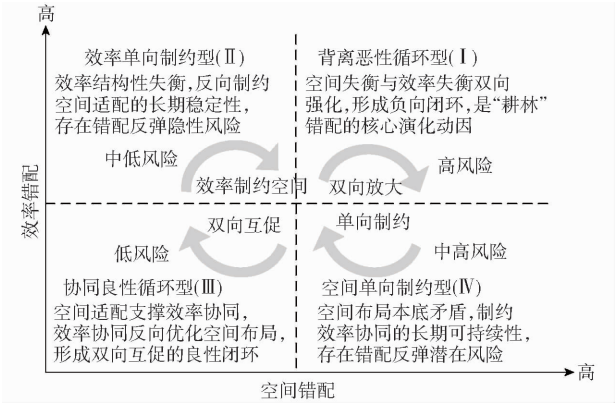

图 4 “耕林”资源错配风险象限模型

Fig. 4 Quadrant model of resource misallocation risk of “cultivated forest”

Ⅰ象限为高风险区,对应高空间错配与高效率错配的双向失衡格局,是错配问题最突出的类型。该区域空间布局与土地适宜性规律偏差显著,利用效率结构性失衡严重。主要集中于皖西南丘陵山地区域,2013 年六安市、安庆市、宣城市均处于该格局内。其形成源于区域复杂地形条件下耕地与林地适宜性边界的天然交错,叠加土地管理政策执行偏差形成双向空间错位。初始的空间失衡引发效率损失,而为弥补效率损失形成的偏向性用地决策,又进一步加剧空间布局的失衡程度,最终形成空间错配引致效率损失、效率损失进一步放大空间错配的负向闭环。因此这类区域首先要破解空间与效率双向强化的负向循环,以空间布局纠偏、核心矛盾化解为先导,再逐步优化利用效率的结构性失衡,阻断效率偏差对空间布局的反向驱动。

Ⅱ象限为中低风险区,表现为低空间错配与高效率错配格局,呈现空间适配但效率失衡的特征。该区域具备稳定的空间布局基底,但受长期发展理念偏差的影响,资源配置出现结构性偏向,导致耕地与林地的功能发挥出现失衡,亟待通过效率结构的优化,巩固空间适配的长期稳定性,避免效率失衡反向引发空间布局的扭曲。该区域核心互动逻辑体现为效率失衡对空间适配的单向制约,长期的效率偏差会引发新的空间错配,打破原有空间适配状态。2013 年阜阳市、宿州市、淮南市等地区处于该格局内,呈现明显的空间适配但效率失衡的特征;2018 年,该格局范围大幅收缩,仅淮北市、淮南市、滁州市仍处于该区间内,其余地市均通过效率优化脱离了失衡状态。2023 年空间适配区域的效率失衡问题已全面缓解。

Ⅲ象限为低风险区,表现为低空间错配与低效率错配格局,实现了空间适配与效率协同的良性发展状态。该区域空间布局的合理适配,能够为耕地生产功能与林地生态功能的稳定发挥提供基础支撑,避免因用地布局交叉冲突引发的功能损耗与效率损失;利用效率的协同提升,能够进一步强化多元用地主体的稳定预期,规避违规侵占、盲目调整等扭

曲用地行为，反向巩固空间布局的合理性与稳定性。两者结合，形成空间适配支撑效率提升、效率协同优化空间布局的良性循环。2013 年仅淮北市处于该区间，2018 年覆盖范围显著扩展，至 2023 年已覆盖亳州市、宿州市、淮北市、蚌埠市、阜阳市、铜陵市、马鞍山市。皖北平原地貌平坦规整，空间错配始终维持在极低水平，用地分区清晰稳定，始终保持空间与效率双向优质适配；铜陵市、马鞍山市依托国土空间整治与农林结构优化，逐步改善前期效率偏高问题，实现空间格局稳定、利用效率同步向好。

Ⅳ象限为中高风险区，对应高空间错配与低效率错配格局，呈现空间失衡但效率协同的发展状态。该区域通过林业生态建设提质、耕地生产条件优化与农林复合经营模式推广，实现了耕地与林地利用效率的同步提升，推动效率错配程度显著下降，但空间布局的根本性矛盾，会制约效率协同的长期稳定性，属于“耕林”错配的潜在风险区域。这类区域适宜选择效率优化巩固与空间布局纠偏同步推进的路径，在维持现有效率协同水平的基础上，逐步化解空间布局的核心矛盾，避免空间失衡引发效率协同的反向崩塌。2023 年，宣城市、六安市、池州市、芜湖市、黄山市处于该格局内，核心逻辑为空间失衡对效率协同的单向制约，经营管理优化带来的阶段性效率提升，难以从根本上破解空间布局的本底矛盾。长期来看，空间错配将持续破坏效率提升的基础条件，存在效率错配反弹、协同发展格局失稳的潜在风险。

4.4　“耕林”资源错配优化路径

摆脱错配困境、构建空间与效率双向互促的良性循环，需从三大核心机制入手精准施策，立足空间对效率的“引导-倒逼”机制，以空间布局优化破除效率提升的刚性约束，构建正向引导逻辑；依托效率对空间的“选择-优化”机制，以利用效率提升为空间格局稳定提供内生支撑，强化反向优化能力；用好市场与政府的“耦合-调控”机制，以双维度协同治理筑牢错配风险全周期防控底线，提供长效制度保障。

4.4.1　锚定效率提升目标的空间布局优化

（1）皖南高值区空间布局精细化管控

针对宣城市、六安市、安庆市、池州市等皖南山区错配面积长期偏高、耕地与林地空间配置矛盾突出的问题，遵循宜耕则耕、宜林则林的基本原则与大稳定、小调整的国土空间优化要求，以资源环境承载能力和国土空间适宜性评价为基础，在县域和乡镇尺度细化国土空间功能分区，依据地形与资源禀赋划定以优质耕地集中保护为主导的农业生产区、以生态保育为核心的山地林区，以及允许适度复合经营的农林交错过渡带，明确各类区域的空间边界与管控要求，严格规范农业开发与建设活动的空间范围，遏制耕地与林地在边缘地带的相互侵蚀，同步推进土地整治工程，促进耕地集约利用与林地连片保护，从空间源头化解系统性错配矛盾。

（2）皖北低值区稳定格局维护与风险防控

针对阜阳市、亳州市、宿州市、淮北市、蚌埠市等皖北平原地区错配程度极低、土地利用结构清晰、空间格局整体稳定的特征，严守耕地保护红线与林地保护目标，维持现有明确的土地利用功能分区，严控耕地非粮化与林地违规转用行为，巩固当前低错配的协调格局。同步推进农田防护林网建设与维护，弥补区域林地资源短板，防范因生态系统退化引发的新增错配风险，实现耕地保护与林地生态建设的协同稳定。

（3）全省空间错配统筹管控与动态调整

针对全省耕林空间错配面积 10 年间稳中有增、区域差异显著的整体特征，健全省级层面国土空间用途管制规则，统筹全省耕地保护与林业生态建设的空间布局，建立覆盖全域的空间错配动态巡查机制，对合肥市、滁州市、铜陵市等错配面积持续增长区域强化源头管控，及时化解土地利用调整过程产生的新增错配问题，遏制全省错配面积持续增长态势，推动耕地与林地空间布局从自然交错、功能冲突向结构清晰、协同共生转型。

4.4.2　支撑空间格局优化的利用效率提升

（1）高位错配区精准调控与效能提升

针对安庆市、滁州市、淮南市等效率错配长期处于较高水平、功能协调压力持续存在的问题，推动生态要素投入从普惠式向精准靶向式转变，将上述区域列为重点调控对象，集中政策与资金支持开展国土空间详细规划与“耕林”适宜性评价，明确生态功能与农业生产空间的管控边界，创新适配区域特征的生态治理模式，强化生态治理全过程的效益监测评估，将土壤改良、污染减排、碳汇增益等指标纳入管理考核，破解高投入低产出的错配循环，提升耕地与林地利用的协同效率。

（2）区域效率差异缩小与分类引导

针对全省效率错配区域差异显著、各地优化进程不同步的特征，实施分类引导的效率提升策略。对宣城市、铜陵市、合肥市、芜湖市等效率错配已降至极低水平区域，系统总结在生态保护、复合经营与资源高效利用方面的成熟经验，形成可推广的管理与技术范式；对皖北平原等效率错配处于中低水平区域，统筹耕地生产能力提升与林地生态功能建设，

挖掘土地资源综合利用潜力,推动耕地与林地功能协同优化,逐步缩小区域间的效率差异。

(3)全省效率长效提升支撑体系构建

针对全省效率错配整体改善但局部问题顽固、协调度长期停滞现状,完善耕地与林地利用效率的常态化评价体系,统一效率测算口径与评价标准,大力推广生态集约型农业与近自然森林经营模式,推动低碳清洁技术集成应用,将减污降碳目标与生态服务价值提升融入资源利用全流程管理。同步强化科技与产业支撑,培育生态增值型产业链,推动区域产业向低碳清洁方向转型,从底层破解效率错配的动因,实现全省耕林资源利用效率持续提升。

4.4.3 破解错配风险治理路径构建

(1)差异化管控化解分区域错配风险

对宣城市、六安市、池州市、芜湖市、黄山市等中高风险区,核心聚焦空间布局结构性纠偏,优先保障全域土地综合整治、农林复合经营的政策与资金支持,严控耕林交错带的双向违规转换,化解空间失衡的本底矛盾,同步巩固效率协同成果,防范效率错配反弹;对亳州市、宿州市、淮北市、蚌埠市、阜阳市、铜陵市、马鞍山市等低风险区,核心聚焦良性格局的长效维护,优先保障高标准农田与农田防护林网建设,严守耕地与林地保护红线,严控用地性质违规转换,持续巩固空间与效率双向适配的稳定状态。

(2)空间效率联动阻断风险循环传导

针对中高风险区空间失衡对效率协同的单向制约问题,建立空间布局优化与利用效率提升的联动机制,通过细化空间功能分区、完善用途管制规则,为资源高效利用与功能协同优化提供空间载体;通过提升耕地与林地资源利用效率、推动产业模式创新,为空间布局优化提供内生动力,打破空间侵占加剧效率损耗、效率低下制约空间优化的恶性循环,实现空间适配与效率提升的双向促进。

(3)跨区域协同与全周期考核筑牢风险防线

建立省级统筹、分类协同的跨市域协作网络,推动宣城市、铜陵市等错配治理成效显著区域,与安庆市、滁州市、淮南市等高位错配攻坚区域建立对口协作关系,精准传导成熟的管控经验与技术模式;推动地理邻近、错配特征相近区域建立协同治理联盟,联合破解共性难题,化解跨区域错配矛盾。同步完善空间与效率双维度动态监测评估体系,统一监测口径与实证测算标准,建立全域常态化监测与重点区域加密监测机制,将双维度治理成效纳入耕地保护责任制与林长制考核,与用地指标、政策资金分配直接挂钩,层层压实治理责任,保障优化路径长效落地。

4.5 稳健性检验

为确保基准结论可靠性,进行稳健性检验:①调整分级阈值。基于调整后阈值测算的错配指数,与正文基准错配指数的 Pearson 相关系数为 0.971,且在 1% 统计水平上显著正相关,二者具有高度一致性;从空间格局来看,调整阈值后错配依然呈南高北低特征,皖南宣城、六安、安庆等市仍为高错配集聚区,皖北淮北、宿州、阜阳等市仍为低错配区域,与基准结果完全吻合;从时序演化来看,安徽省“耕林”错配程度整体呈下降趋势的核心结论未发生变化;16 市错配程度排名与基准结果保持高度稳定。②替换计量模型,将超效率 SBM 模型替换为超效率 EBM 模型,与基准 SBM 模型测算的错配指数 Pearson 相关系数为 0.845,且在 1% 统计水平上显著正相关,二者具有高度的线性一致性。从核心结论的一致性来看,更换模型后,效率错配空间分异格局、全省错配程度整体下降的时序演化趋势、16 市错配程度的相对排名均未发生实质性变化。综合以上检验,本文核心结论在多种不同设定下均得到验证,表明结果具有高度稳健性。

5 讨论

从理论层面深化了“耕林”资源错配的内涵认知,突破传统单一面积变化或转移流量的描述性分析框架,构建了融合空间适宜性与效率协调性的双维测度体系,推动错配研究由现象描述向机制解析转变。基于双维测度所识别的区域分异特征,进一步提出了差异化、协同化的治理路径。研究结果与实际情况较为契合,亦进一步与相关研究成果相互印证[3,25]:①与以往的适宜性评价研究相比,组合运用层次分析法与熵权法进行指标权重测算,实现了主观赋权和客观赋权的有效集成,降低了主观性的影响,提升了结果可信度,使整个评价过程更为系统、科学,评价结果更具解释力。②以往研究多从耕地占用、林果侵占或空间布局失序等单一维度理解资源错配冲突[41],本文扩展了“耕林”错配内涵,立足于资源错配的基本范式,认同要素配置偏离最优状态将引致全要素生产率与系统效率的损失。③空间优化是效率提升的基础前提,效率优化是空间优化的持续保障,二者双向互动是决定“耕林”资源配置状态的核心逻辑。所提出的优化路径突破传统以单要素、分系统为对象的孤立分析范式,转向空间与效率双维度,系统揭示安徽省“耕林”错配的时空演变规律,阐释区域间错配状态的传导与响应机制,为理解人地关系冲突下土地利用结构失衡提供新理论视角。

受现阶段统计资料、数据分类精度等因素制约，本研究部分指标仍沿用传统测度方法。该领域未来研究重点，可能关注以下方面：①结合多源多尺度数据优化双维度量化规则体系，进一步强化其与错配演化机理的内生关联，提升规则的实践适配性。②细化空间与效率双维度协同管控规则，形成可复制、可推广的“耕林”资源错配协同治理规则。

6　结论

（1）空间维度上，安徽省“耕林”错配呈显著的“南高北低”空间格局。安徽省南部山区受复杂地形条件影响，耕地与林地在空间上交错分布，功能交织明显，二者在空间配置上的协调难度较大，错配程度总体偏高；安徽省北部平原地区则依托相对平坦的地形和清晰的土地利用结构，耕地与林地空间布局相对稳定，错配水平整体较低。

（2）效率维度上，安徽省各地市耕地与林地利用生态效率错配程度存在显著区域异质性，整体错配水平呈下降趋势，但空间格局经历了明显的阶段性演变。具体表现为从 2013 年高错配区域分布较广、类型相对集中的格局，逐步演变为 2023 年低错配区主导的态势。

（3）“耕林”空间与效率双维度存在强互动作用，双高错配格局的双向负向闭环是风险持续累积、高位固化的核心症结，双低错配格局的双向互促为最优配置状态，2 类单维度错配格局存在单向制约的潜在风险。

（4）“耕林”错配的系统性治理，需立足空间对效率的引导支撑、效率对空间的巩固优化、政企协同的长效保障逻辑，结合不同格局的互动规律实施差异化治理，打通空间与效率双向互促的良性循环通道。

参　考　文　献

[1] 于昊辰，尹登玉. 新质生产力发展与土地资源配置：历史逻辑、理论逻辑与现实逻辑[J]. 中国土地科学，2024，38(5)：29－37.
Yu Haochen，Yin Dengyu. New quality productive force development and land resource allocation：historical，theoretical and practical logics[J]. China Land Science，2024，38(5)：29－37.（in Chinese）

[2] 林建平，黄坤，邓爱珍，等. 丘陵山区耕地“林果化”空间分异与驱动机制研究[J]. 农业机械学报，2025，56(11)：359－368.
Lin Jianping，Huang Kun，Deng Aizhen，et al. Spatial differentiation and driving mechanism of conversion of cultivated land to orchards in hilly and mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2025，56(11)：359－368.（in Chinese）

[3] 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 Hang，Xiao Wu，Tan Yongzhong，et al. An examination of the layout optimization of forest and farmland and its impact on system resilience：evidence from Yongkang City，Zhejiang Province[J]. China Land Science，2024，38(8)：124－134.（in Chinese）

[4] 袁源，王亚华，徐萍. “非粮化”治理视角下的耕地用途管制：应对逻辑与体系构建[J]. 自然资源学报，2024，39(4)：942－959.
Yuan Yuan，Wang Yahua，Xu Ping. Cultivated land use control from the perspective of “non-grain” governance：response logic and framework construction[J]. Journal of Natural Resources，2024，39(4)：942－959.（in Chinese）

[5] 程开明，于静涵. 中国城市资源空间错配：特征测度与时空演进[J]. 地理科学，2023，43(4)：617－628.
Cheng Kaiming，Yu Jinghan. Resource spatial misallocation of cities in China：characteristic measurement and spatio-temporal evolution[J]. Scientia Geographica Sinica，2023，43(4)：617－628.（in Chinese）

[6] 李灿，孙雨涤，张长江. 林木生态资源价值计量体系重构研究：基于时空特征与溢出效应的双重考虑[J]. 农林经济管理学报，2025，24(3)：430－440.
Li Can，Sun Yudi，Zhang Changjiang. Reconstruction of measurement system of forest ecological resource value：based on dual consideration of space-temporal characteristics and spillover effect[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management，2025，24(3)：430－440.（in Chinese）

[7] He F，Lee D，Borisova T，et al. Farm-scale economic and environmental tradeoffs of land use and land management decisions[J]. Agricultural Water Management，2024，301：108925.

[8] 吴伟伟，包铠璇，张燕华. 江西省农业生产要素错配测度与影响因素的实证研究[J]. 长江流域资源与环境，2020，29(4)：1005－1015.
Wu Weiwei，Bao Kaixuan，Zhang Yanhua. Positive research on the misallocation of agricultural factor and its determinants in Jiangxi Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin，2020，29(4)：1005－1015.（in Chinese）

[9] 彭坤杰，陈丹. 长三角耕地利用绿色转型与旅游发展协调时空评价及驱动因素识别[J]. 水土保持研究，2025，32(4)：227－238.

Peng Kunjie, Chen Dan. Spatiotemporal evaluation and driving factor identification of coordination between green transformation of cultivated land use and tourism development in Yangtze River Delta[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(4): 227 – 238. (in Chinese)

[10] 张茜茜, 谢臻, 林小睿, 等. 南方山区耕地林果化时空演变及影响机理[J]. 农业工程学报, 2024, 40(4): 317 – 328, 345.
Zhang Qianqian, Xie Zhen, Lin Xiaorui, et al. Spatiotemporal evolution and impact mechanisms of cropland conversion to forest or fruit production in southern mountainous regions[J]. Transactions of the CSAE, 2024, 40(4): 317 – 328,345. (in Chinese)

[11] 王梦思, 黄和亮. 农户产权安全认知对林地流转行为的影响研究[J]. 中国林业经济, 2025(4): 63 – 70.
Wang Mengsi, Huang Heliang. Analysis of the impact of farmers' cognition of property rights security on forestland transfer behavior[J]. China Forestry Economics, 2025(4): 63 – 70. (in Chinese)

[12] 谢花林, 曾宏琛, 陈倩茹. 梯田利用效率的农户差异及其影响因素:基于赣湘闽三省 1 107 份农户调查[J]. 地理研究, 2024, 43(8): 2010 – 2024.
Xie Hualin, Zeng Hongchen, Chen Qianru. Study on the differences in terrace utilization efficiency among farmers and its influencing factors: a case study of 1 107 households in Jiangxi, Hunan, and Fujian[J]. Geographical Research, 2024, 43(8): 2010 – 2024. (in Chinese)

[13] Liu Q, Niu J, Wood J D, et al. Spatial optimization of cropping pattern in the upper-middle reaches of the Heihe River basin, Northwest China[J]. Agricultural Water Management, 2022, 264: 107479.

[14] 张博强, 刘昌华, 杨茂伟, 等. 基于分类主成分分析的耕地质量空间异质性分层方法[J]. 农业机械学报, 2026, 57(6): 176 – 186, 310.
Zhang Boqiang, Liu Changhua, Yang Maowei, et al. Spatial heterogeneity stratification method of cropland quality based on categorical principal component analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2026, 57(6): 176 – 186, 310. (in Chinese)

[15] Wang B Y, Ye Q, Li L, et al. Spatial correlation network characteristics and driving mechanisms of non-grain land use in the Yangtze River Economic Belt, China[J]. Land, 2025, 14(11):2149.

[16] 胡江峰, 王钊, 黄庆华. 资源错配与农业全要素生产率:损失和原因[J]. 农业技术经济, 2023(11): 78 – 98.
Hu Jiangfeng, Wang Zhao, Huang Qinghua. Resource misallocation and agricultural total factor productivity: loss and causes [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2023(11): 78 – 98. (in Chinese)

[17] 宋小龙, 米文宝, 李陇堂, 等. 宁夏旅游经济与生态环境系统空间错位研究[J]. 干旱区地理, 2022, 45(2): 593 – 605.
Song Xiaolong, Mi Wenbao, Li Longtang, et al. Spatial mismatch of tourism economy and ecological environment system in Ningxia[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(2): 593 – 605. (in Chinese)

[18] 曹筱杨, 张博胜. 安徽省人口流失县土地资源错配的时空格局与驱动机制[J]. 世界地理研究, 2025, 34(7): 112 – 125.
Cao Xiaoyang, Zhang Bosheng. Spatial-temporal pattern and driving mechanism of land resources mismatch in population loss counties of Anhui Province[J]. World Regional Studies, 2025, 34(7): 112 – 125. (in Chinese)

[19] 吴雪飞, 谭传东. 武汉中心城区生态系统服务额外需求量化评估:缘起绿色基础设施供需错配[J]. 中国园林, 2020, 36(5): 127 – 132.
Wu Xuefei, Tan Chuandong. Evaluation of ecosystem services excess demand in the central area of Wuhan: a discussion based on mismatches between supply and demand of green infrastructure[J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36(5): 127 – 132. (in Chinese)

[20] 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 Lu, Zhang Bin, Xia Qiuyue, et al. Spatial effect of land resource misallocation on carbon emissions efficiency and its influence path: empirical evidence from 108 cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2023, 45(5): 1059 – 1073. (in Chinese)

[21] Kuang W H, Liu J Y, Tian H Q, et al. Cropland redistribution to marginal lands undermines environmental sustainability[J]. National Science Review, 2022, 9(1): 66 – 78.

[22] 杨莉莉, 王健, 吴群. 长三角地区工业用地空间错配对城市创新的影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(6): 1156 – 1167.
Yang Lili, Wang Jian, Wu Qun. Influence of industrial land spatial mismatching on urban innovation in Yangtze River Delta Region[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(6): 1156 – 1167. (in Chinese)

[23] Qiu B W, Hu X, Yang P, et al. A robust approach for large-scale cropping intensity mapping in smallholder farms from vegetation, brownness indices and SAR time series[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2023, 203: 328 – 344.

[24] 李世刚, 黄洪钜, 莫家伟. 资源错配对企业生产函数估计的影响:一种新的估计方法[J]. 中国工业经济, 2023(12): 117 – 134.
Li Shigang, Huang Hongju, Mo Jiawei. Impact of resource misallocation on firm production function estimation: a new method

[J]. China Industrial Economics, 2023(12): 117 – 134. (in Chinese)

[25] 司瑞, 孙军刚, 赵子豪, 等. 基于最小数据集的黄土丘陵区耕地土壤质量评价[J]. 农业机械学报, 2026, 57(2): 354 – 363.
Si Rui, Sun Jungang, Zhao Zihao, et al. Evaluation of soil quality of cropland in loess hilly area based on minimum data set [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2026, 57(2): 354 – 363. (in Chinese)

[26] 王秉义, 刘璐瑶, 刘洪雨. 恢复类耕地潜力影响因子诊断与重点区域识别:以安徽省利辛县为例[J]. 农业资源与环境学报, 2026, 43(2): 322 – 334.
Wang Bingyi, Liu Luyao, Liu Hongyu. Diagnosis of impact factors and identification of key areas for potential recovery of cultivated land: a case study of Lixin County, Anhui Province[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2026, 43(2): 322 – 334. (in Chinese)

[27] Kaminski J D, Poole E K, Harms M T, et al. A Bayesian method for estimating multiscale resource selection using presence-only data: a case study predicting winter distributions for little brown, northern long-eared, and tricolored bats[J]. Landscape Ecology, 2025, 40(4): 70.

[28] Wu J, Wang H, Wang C, et al. Zoning and spatial resilience: land use and food security in the Ili River Valley, China[J]. Land Use Policy, 2025, 157: 107657.

[29] 李屹, 单博文, 杨丽, 等. 近 20 年来肥城市林地时空变化及其驱动因子[J]. 林业科学, 2024, 60(7): 40 – 46.
Li Yi, Shan Bowen, Yang Li, et al. Spatio-temporal change of forest lands of Feicheng City and its driving factors in the past 20 years[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2024, 60(7): 40 – 46. (in Chinese)

[30] 赵素霞, 李珍珍, 肖东洋. 居民膳食结构变迁对耕地资源需求响应与情景模拟[J]. 农业机械学报, 2026, 57(6): 187 – 196.
Zhao Suxia, Li Zhenzhen, Xiao Dongyang. Response of arable land resources demand to changes in residents' dietary structure and scenario simulation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2026, 57(6): 187 – 196. (in Chinese)

[31] 赵慧蓉, 殷海善. 基于 EM – AHP – TOPSIS 的撂荒耕地再利用适宜性评价:以泽州县为例[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 42(1): 66 – 78.
Zhao Huirong, Yin Haishan. Suitability evaluation of abandoned farmland reuse based on EM – AHP – TOPSIS in Zezhou County[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2025, 42(1): 66 – 78. (in Chinese)

[32] 姜海玲, 冯馨慧, 张舒涵, 等. 基于 AHP – CRITIC – TOPSIS 的撂荒耕地复耕适宜性评价[J]. 农业机械学报, 2025, 56(12): 417 – 424.
Jiang Hailing, Feng Xinhui, Zhang Shuhan, et al. Evaluation of suitability of abandoned cultivated land for recultivation based on AHP – CRITIC – TOPSIS[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2025, 56(12): 417 – 424. (in Chinese)

[33] 刘湘君, 刘长河, 徐圣贤, 等. 基于赋权– Topsis 模型组合的梨树县耕地质量评价及障碍因子分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(10): 10 – 24.
Liu Xiangjun, Liu Changhe, Xu Shengxian, et al. Cultivated land quality evaluation and obstacle factor analysis of Lishu County based on the weighting and Topsis model combination[J]. Journal of China Agricultural University, 2025, 30(10): 10 – 24. (in Chinese)

[34] 黄海潮, 温良友, 孔祥斌, 等. 中国耕地空间格局演化对耕地适宜性的影响及政策启示[J]. 中国土地科学, 2021, 35(2): 61 – 70.
Huang Haichao, Wen Liangyou, Kong Xiangbin, et al. The impact of spatial pattern evolution of cultivated land on cultivated land suitability in China and its policy implication[J]. China Land Science, 2021, 35(2): 61 – 70. (in Chinese)

[35] 刘壮壮, 焦鹏, 肖培青, 等. 黄河中游典型流域林草生境适宜性及提质潜力评价[J]. 水土保持学报, 2024, 38(4): 267 – 278.
Liu Zhuangzhuang, Jiao Peng, Xiao Peiqing, et al. Evaluation of forest and grass habitat suitability and quality improvement potential in typical watersheds in the middle reaches of the Yellow River[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(4): 267 – 278. (in Chinese)

[36] 费兵强, 吴波, 殷婕, 等. 1964—2020 年毛乌素沙地新垦耕地和弃耕地空间格局变化及其对荒漠化的影响[J]. 干旱区地理, 2025, 48(4): 661 – 672.
Fei Bingqiang, Wu Bo, Yin Jie, et al. Changes in the spatial pattern of newly cultivated and abandoned farmland in the Mu Us Sandy Land from 1964 to 2020 and their impact on desertification[J]. Arid Land Geography, 2025, 48(4): 661 – 672. (in Chinese)

[37] 王睿, 员学锋, 杨悦, 等. 陕西省生态环境对耕地利用生态效率的响应[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 422 – 430.
Wang Rui, Yuan Xuefeng, Yang Yue, et al. Response of ecological environment to ecological efficiency of cultivated land use in Shaanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 422 – 430. (in Chinese)

[38] 谢柳, 杨芳琴, 孙建伟, 等. 喀斯特山区耕地利用效率时空演变特征及影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2025,

46(4): 753 - 766.
Xie Liu, Yang Fangqin, Sun Jianwei, et al. Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of cultivated land use efficiency in Karst mountainous areas[J]. Research of Agricultural Modernization, 2025, 46(4): 753 - 766. (in Chinese)

[39] 曾予心, 苏建兰, 李伟, 等. 云南碳汇造林投入产出效率分区优化对策[J]. 西部林业科学, 2025, 54(3): 146 - 153.
Zeng Yuxin, Su Jianlan, Li Wei, et al. Input-output efficiency of carbon sequestration in Yunnan mountainous areas[J]. Journal of West China Forestry Science, 2025, 54(3): 146 - 153. (in Chinese)

[40] 王丽双, 傅新红, 蒋浩, 等. 农业新质生产力测度、区域差异及耦合协调研究[J]. 农林经济管理学报, 2025, 24(1): 55 - 64.
Wang Lishuang, Fu Xinhong, Jiang Hao, et al. Development level measurement, regional differences and coupling coordination of agricultural new quality productivity[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2025, 24(1): 55 - 64. (in Chinese)

[41] 党昱裙, 李超, 谢臻, 等. 耕地上山撂荒成因及空间优化路径探究:以江西省万年县为例[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(12): 2756 - 2767.
Dang Yuyan, Li Chao, Xie Zhen, et al. Research on the reasons for farmland uphill abandoned and the path for space optimization under the system of requisition-compensation balance: a case study of Wannian County in Jiangxi Province, China[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(12): 2756 - 2767. (in Chinese)

(上接第 185 页)

[38] Fu D B, Chen Z Y, Yao Z Q, et al. Vision-based trajectory generation and tracking algorithm for maneuvering of a paddy field robot[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2024, 226: 109368.

[39] 苏淼, 郧亚泽, 姚霞, 等. 轮履切换式作物表型信息感知机器人底盘设计与试验[J]. 农业机械学报, 2025, 56(3): 39 - 48.
Su Miao, Yun Yaze, Yao Xia, et al. Design and experiment of wheel-track switchable robot chassis for crop phenotyping information perception[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2025, 56(3): 39 - 48. (in Chinese)

[40] 王红君, 付勇, 岳有军, 等. 基于并行蚁群算法的设施温室机器人多点路径规划的研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(17): 237 - 241.
Wang Hongjun, Fu Yong, Yue Youjun, et al. Research on multi-point path planning of protected greenhouse robots based on parallel ant colony algorithm[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(17): 237 - 241. (in Chinese)

[41] Li D S, Gao F, Li Z M, et al. Design of a leaf-bottom pest control robot with adaptive chassis and adjustable selective nozzle[J]. Agriculture, 2024, 14(8): 1341.

[42] Feng X, Liang W J, Chen H Z, et al. Autonomous localization and navigation for agricultural robots in greenhouse[J]. Wireless Personal Communications, 2023, 131: 2039 - 2053.

[43] 黄薛凯, 施印炎, 汪小旦, 等. 丘陵山地果园纯电驱动除草机器人研制[J]. 农业工程学报, 2025, 41(18): 28 - 41.
Huang Xuekai, Shi Yinyan, Wang Xiaochan, et al. Development of pure electric drive weeding robot for hilly and mountainous orchards[J]. Transactions of the CSAE, 2025, 41(18): 28 - 41. (in Chinese)

[44] 赵智宇. 农业机器人底盘双重转向运动控制系统设计与试验[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2023.