

引用格式：

黄佟, 曲艺, 舒帮荣, 黄鹏锦. 耕地利用规模对耕地生态效率的影响研究——以黄淮海地区为例 [J]. 农业现代化研究, 2023, 44(6): 1070-1081.

Huang T, Qu Y, Shu B R, Huang P J. The impacts of farmland operational scale on farmland ecological efficiency: A case study of the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(6): 1070-1081.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2023.0102



耕地利用规模对耕地生态效率的影响研究 ——以黄淮海地区为例

黄佟, 曲艺*, 舒帮荣, 黄鹏锦

(江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 探究耕地利用规模与耕地生态效率的关系, 为黄淮海地区农业现代化和耕地可持续利用提供科学依据。本研究基于 2007—2020 年黄淮海地区地级以上城市面板数据, 采用超效率 SBM-Undesirable 模型测算了耕地生态效率, 并借助 Tobit 模型、门槛模型及中介效应模型, 分析了耕地利用规模对耕地生态效率的影响。研究发现: 1) 黄淮海地区耕地生态效率总体呈“波动变化—缓慢下降—逐渐提升”的发展特征, 空间上发展不平衡, 区域间差异扩大, 呈现“高高聚集, 低低聚集”现象; 2) 耕地利用规模与耕地生态效率呈“U”型关系, 并存在单一门槛效应, 门槛值为 0.38 hm²/人, 当耕地利用规模低于门槛值时, 耕地利用规模的扩大会降低耕地生态效率, 反之则会提升耕地生态效率; 3) 化肥、农药和机械投入强度在耕地利用规模对耕地生态效率的影响中具有中介作用。据此, 需加强土地规模经营的政策支持, 推动农户耕地利用规模跨过门槛值, 构建绿色农业生产经营体系, 促进农业向绿色发展转型, 以促进耕地生态效率的提升, 实现区域耕地可持续利用。

关键词: 耕地利用规模; 耕地生态效率; Tobit 模型; 中介效应; 门槛模型

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275 (2023) 06-1070-12

The impacts of farmland operational scale on farmland ecological efficiency: A case study of the Huang-Huai-Hai plain

HUANG Tong, QU Yi, SHU Bang-rong, HUANG Peng-jin

(School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

Abstract : Exploring the relationship between farmland operational scale and farmland ecological efficiency can provide a scientific basis for agricultural modernization and sustainable use of farmland in Huang-Huai-Hai plain. Based on a panel data of cities at prefecture level and above in Huang-Huai-Hai plain from 2007 to 2020, this study evaluated the ecological efficiency of farmland operation by the super-efficiency SBM-Undesirable model and analyzed the impact mechanism of farmland operational scale on the ecological efficiency of farmland by the Tobit model, the threshold model and the mediating effect model. Result shows that: 1) The overall ecological efficiency of farmland in the study area is declining, with uneven spatial development and widening regional differences, presenting a phenomenon of “high-high aggregation and low-low aggregation”; 2) There is a “U-shaped” relationship between the expansion of farmland operational scale and farmland ecological efficiency, and there is a single threshold effect, with a threshold value of 0.38 hm²/person. When the farmland scale is lower than the threshold value, the expansion of farmland operational scale will reduce farmland ecological efficiency, and vice versa, it will improve farmland ecological efficiency; and 3) The input intensity of chemical fertilizer, pesticides and machinery plays an mediating role in the impacts of farmland operational scale on the farmland ecological efficiency. Based on the above results, to promote the improvement of ecological efficiency of farmland and realize the sustainable use of regional farmland, this paper suggests: strengthening the policy support of farmland scale management, promoting farmland operational scale to cross the threshold, building a green agricultural production and management system, and promoting the transformation of

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42001191); 江苏省自然科学基金项目 (BK20191004); 江苏师范大学研究生科研与创新实践计划项目 (2022XKT0107)。

作者简介: 黄佟 (1998—), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地经济与管理, E-mail: 2020211485@jsnu.edu.cn; 通信作者:

曲艺 (1986—), 女, 山东青岛人, 博士, 主要研究方向为乡村发展与土地利用转型, E-mail: quy.13b@igsnr.ac.cn.

收稿日期: 2023-09-27, **接受日期:** 2023-12-18

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (42001191); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20191004); Jiangsu Normal University Postgraduate Research and Innovation Practice Project (2022XKT0107).

Corresponding author: QU Yi, E-mail: quy.13b@igsnr.ac.cn.

Received 27 September, 2023; **Accepted** 18 December, 2023

agriculture to green development.

Key words : farmland operational scale; farmland ecological efficiency; Tobit model; mediating effect; threshold model

党的十八大以来,我国农业生产组织方式发生了深刻变革,新型经营主体大量涌现。农业农村部数据显示,截至2020年底,全国家庭农场超过100万家、农民合作社达225.1万家,家庭承包耕地流转面积超过3547.93万 hm^2 。通过土地流转与农场的合并,单位农业经营主体的耕地面积不断扩大,我国农业将从“低效”的小农经济向以新型农业经营主体的现代化规模经营转变^[1]。耕地利用规模的扩大提高了劳动生产率,但同时也可能造成化肥农药等农业化学品的过度投入,导致土壤污染、水源污染等环境问题。在我国推动农业农村现代化发展,生产生活方式向绿色低碳转型的背景下,研究耕地规模化利用如何影响耕地生态效率已成为急需关注的现实问题。

目前相关研究主要从耕地利用或经营规模与化肥农药使用量、农业面源污染、碳排放、生态环境效率等的关系来讨论耕地利用规模对农业生态环境的影响,并形成了三种主要观点:一是耕地利用规模扩大可促进农业生产方式向集约化、规模化和机械化转变^[2],有助于测土配方施肥技术的推广^[3],降低化肥使用量^[4]及农业碳排放^[5],提高农业生态效率^[6-7],从而改善农业生态环境;二是随着耕地利用规模的扩大,耕地利用规模对化肥、农药或农业环境效率的影响方向会发生改变,相关研究存在不同观点,有研究认为耕地利用规模与农户采用投入减量型生态生产行为呈“U”型关系^[8],也有研究认为耕地利用规模与化肥施用强度存在“U”型关系^[9],与农业生态效率存在倒“U”型关系^[10-11];三是耕地利用规模与农业生态环境之间的关系存在区域异质性,这主要是受农业经营模式与农地区域位置^[12]、金融政策、财政政策、城镇化率^[13]以及城乡市场分割^[14]等多种因素的影响造成。整体而言,现有相关研究开展了丰富的讨论,但因研究区域、研究尺度及耕地利用规模表征指标不同,以及受地区经济发展、资源禀赋与农业现代化水平等的影响,耕地利用规模对农业生态环境的影响究竟如何尚无定论,亟待进一步研究。同时,现有研究多从宏观的全国^[11]、省域^[8]或微观的地块^[15]、农户尺度^[10]开展研究,基于地级市尺度特别是黄淮海地区这类典型传统农区地级市尺度的研究较少,选取粮食主产区城市群进行分析不仅更具代表性,还可以深入了解地区差异,促进区域农业高质量发展。因此,本文以黄淮海地区这一传统农区为研究区域,从地

级市层面进一步厘清耕地利用规模对耕地生态效率的影响。

黄淮海地区是中国重要的农业生产基地,中央对其农业发展给予了充分的关注和支持。同时,该地区人口密集,2020年人口达到3.1亿,其中农村人口占58.06%,正处于快速城镇化发展阶段,虽然这有利于实现规模化农业生产,但其生态环境问题急需关注。鉴于此,本文基于2007—2020年黄淮海地区52个地级以上城市的面板数据,采用非期望产出的超效率SBM-Undesirable模型测算耕地生态效率,借助Tobit模型和门槛模型研究耕地利用规模对耕地生态效率的可能影响,并通过中介模型考察其内在机制,以期为推进农业现代化和耕地可持续利用提供决策支持。

1 理论分析与研究假设

1.1 耕地利用规模对耕地生态效率的影响

在农业生产过程中,农业化学品的低效、过度滥用造成农业环境污染日益严重、资源与环境压力不断增加。小农户的农业经营模式及其带来的耕地细碎化现象是低效、过度使用农业化学品的重要原因^[16]。随着耕地利用规模的扩大,因农业劳动力不足及存在追求短期利润的心理,中规模农户往往会投入更多化肥、农药以实现粮食增产目标^[8],从而降低耕地生态效率。而随着耕地进一步流转,耕地不断向种植大户、家庭农场、合作社等专业化新型农业经营主体集中,上述状况往往会得到改善。一方面,新型经营主体受教育程度更高,且能通过规模化经营降低生产成本,故更愿意采用农业绿色技术减轻环境污染。另一方面,耕地利用规模扩大能降低耕地细碎化程度,减轻耕地细碎化对农业生产技术效率的负面作用,实现机械对劳动力的有效替代,提高农业劳动生产效率^[17]。因此,新型农业经营模式下经营主体能通过降低农业化学品的污染、提高农业生产效率两个方面提高耕地生态效率,减轻兼业化和小农户生产经营模式造成的农业环境污染。基于上述理论分析,提出研究假设:

H1:耕地利用规模扩大对耕地生态效率具有非线性影响,并存在门槛特征,即当耕地利用规模跨过一定门槛值时会提高耕地生态效率。

1.2 耕地利用强度在耕地利用规模对耕地生态效率影响中的中介效应

耕地利用强度是现有文献研究农业生态环境通

常考虑的因素^[18], 化肥、农药和机械是耕地利用过程中最主要的投入要素。随着耕地利用规模的扩大, 耕地利用强度也将受到影响。具体地, 耕地利用规模可通过以下路径影响耕地利用强度: 一是耕地规模扩大将提高机械使用效率, 增加农业机械的投入并减少劳动力投入, 有利于劳动节约型农业的发展, 机械化播种能够显著降低化肥使用量^[19]。二是耕地规模化经营可降低农业生产成本, 也更容易获得农业部门的支持, 有利于环境友好型技术的推广^[12], 减少农药、化肥的使用。因此, 耕地利用规模扩大可能增加农业机械投入, 减少农药及化肥等的施用, 影响农业面源污染及碳排放, 进而改变耕地生态效率。基于上述分析, 提出研究假设:

H2: 化肥、农药、机械投入强度在耕地利用规模对耕地生态效率的影响过程中具有显著的中介效应。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

黄淮海地区位于长江以北、黄河以南, 横跨河南、河北、安徽、山东和江苏五省和北京、天津 2 个直辖市, 共 52 个地级以上城市研究单元 (图 1)。由于地处两大流域之间, 研究区既有黄河的冲积扇平原地形, 也有长江中下游的平原地带, 其地势相

对平坦, 水系发达, 丰富的土地资源为农业提供了有利条件, 是我国重要的粮食生产基地。2019 年黄淮海地区耕地面积占全国耕地面积的 23.17%^[20], 主要种植大豆、小麦、玉米等粮食作物, 是我国三大玉米主产区之一。近几年, 黄淮海地区土地流转不断加快, 农业合作社、家庭农场等新型经营主体不断涌现, 第三次农业普查数据显示黄淮海地区的规模农业经营户达 115.04 万户, 占全国的 28.90%。同时, 日益增长的粮食需求给耕地资源带来巨大的环境压力, 土壤污染、土地退化和水污染等环境问题不断凸显, 在此背景下亟需加强耕地规模化经营与生态环境方面的研究。

2.2 研究方法

2.2.1 非期望产出的 Super-SBM 模型 数据包络分析法 (DEA) 是一种非参数的多指标效率评估方法, 在农业生产效率或农业生态效率评价领域得到广泛应用。但传统 DEA 模型没有考虑研究单元可能存在的松弛变量, 导致效率值存在被低估的问题。2001 年 Tone^[21] 提出 SBM 模型 (Slack-Based Measure Model) 对传统 DEA 模型进行改进, 通过引入松弛变量提高效率评估的准确性。其中超效率 SBM 进一步区分了效率值同为 1 的决策单元, 提高了 SBM 模型的评估精度。因此本文选择超效率

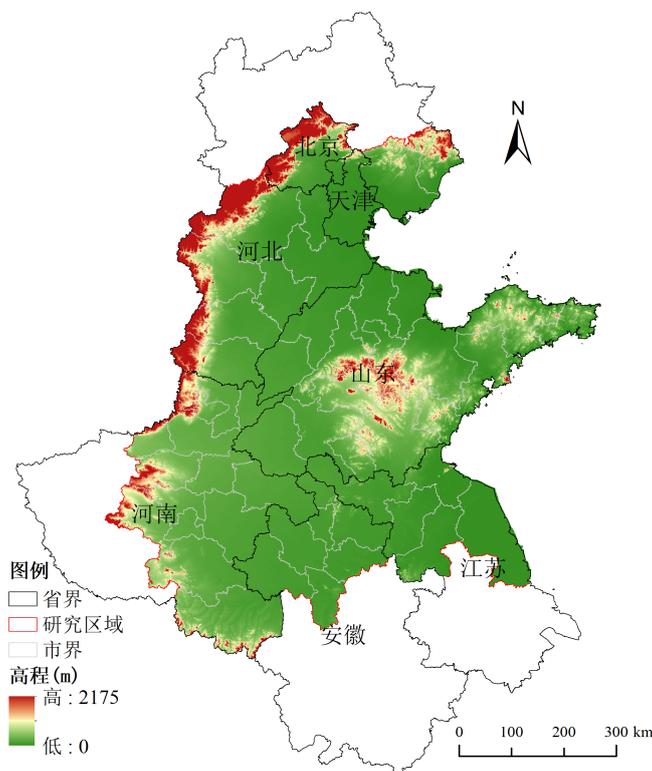


图 1 研究区域示意图

Fig. 1 Study area

SBM 模型测算耕地生态效率,为更全面地评估效率,本文同时考虑了农业碳排放、面源污染等非期望产出。具体公式如下:

$$Min \rho = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{x} / x_{ik})}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{s=1}^{r_1} (\bar{y}^d / y_{sk}^d) + \sum_{q=1}^{r_2} (\bar{y}^u / y_{qk}^u) \right)} \quad (1)$$

$$\bar{x} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j$$

$$\bar{y}^d \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j$$

$$\bar{y}^u \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^u \lambda_j$$

$$\bar{x} \geq x_k; \bar{y}^d \leq y_k^d; \bar{y}^u \geq y_k^u$$

$$\lambda_j \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

$$j \neq 0; s = 1, 2, \dots, r_1; q = 1, 2, \dots, r_2$$

式中:假设有 n 个 DMUs, 每个 DMU 由投入 m 、期望产出 r_1 和非期望产出 r_2 构成; x 、 y^d 、 y^u 为相应的投入矩阵、期望产出矩阵和非期望产出矩阵中的元素; ρ 为生态效率值。

2.2.2 Tobit 模型 为检验耕地利用规模对耕地生态效率是否具有非线性影响,参考陈强^[22]对截断数据的估计方法,选用随机效应面板 Tobit 模型进行估计:

$$\ln E_{it} = a_0 + a_1 \ln C_{it} + a_2 (\ln C_{it})^2 + a_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: i 和 t 分别为某城市和年份。 E_{it} 表示耕地生态效率; C_{it} 表示耕地利用规模; X_{it} 表示系列控制变量(见表 2); a_0 表示截距项, a_1 、 a_2 、 a_3 为各变量系数, ε_{it} 是随机扰动项。

2.2.3 门槛效应 为验证耕地利用规模对耕地生态效率的影响是否存在门槛效应,参考 Hansen^[23] 面板门槛回归模型,将耕地利用规模作为门槛变量和关键解释变量,设置门槛模型:

$$\ln E_{it} = \theta_1 \ln C_{it} \times I(\ln C_{it} \leq \beta) + \theta_2 \ln C_{it} \times I(\ln C_{it} > \beta) + \theta_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中: C_{it} 为门槛变量,变量含义与公式(2)保持一致; θ_1 、 θ_2 分别为不同区间内门槛变量待估计系数; β 为门槛值; θ_3 为控制变量待估系数; 扰动项

$\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma^2 I)$; $I(\cdot)$ 为示性函数,若括号内表达式为真,则 $I=1$, 反之 $I=0$ 。

2.2.4 中介检验 为进一步分析耕地利用规模对耕地生态效率的作用机制,针对逐步回归存在的低统计功效和估计偏误问题,本文借鉴江艇^[24]的研究方法构建中介模型:

$$\ln E_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln D_{it} + \gamma_2 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln D_{it} = \nu_0 + \nu_1 \ln C_{it} + \nu_2 (\ln C_{it})^2 + \nu_3 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中: D_{it} 为中介变量,即耕地利用强度,包括机械投入强度、化肥投入强度和农药投入强度;其余变量含义与公式(2)一致; γ_1 、 γ_2 、 ν_1 、 ν_2 、 ν_3 表示待估系数, ν_2 用于捕捉耕地利用规模对中介变量的非线性影响, γ_1 表示中介变量对耕地生态效率的影响,如果 γ_1 显著, ν_1 、 ν_2 中至少一个显著,且系数符号与预期相符,则说明存在中介变量表征的传导渠道; γ_2 、 ν_3 为控制变量系数; γ_0 、 ν_0 表示截距项。

2.3 变量选择

2.3.1 被解释变量 本研究中被解释变量为耕地生态效率,其主要从投入-产出视角选取指标并采用超效率 SBM-Undesirable 模型进行测算得到(表 1)。参考相关研究^[25-26],投入指标选取农业从业人员数、农作物播种面积、化肥及农药投入量、农膜使用量、农业机械总动力、农用柴油投入量、有效灌溉面积等耕地利用中的要素投入。期望产出采用农业总产值表示,非期望产出用农业产生的碳排放和面源污染指数表示。农业从业人员数参考相关文献^[27],根据农业总产值在农林牧渔业产值中的比重乘以农林牧渔业从业人数计算。农业碳排放参考李波等^[28]的碳排放模型和测算系数。面源污染主要来自化肥、农药和农膜的残留,计算方法参考王宝义和张卫国^[25]的研究成果,其中产污系数和化肥流失率分别参考赖斯芸等^[29]和史常亮等^[30]的研究成果。农药、农膜残留无效利用系数参考《第一次全国污染源普查:农药流失系数手册》。为避免指标过多导致结果失真,将农业面源污染的各项指标加权求和计算为一项污染指数来表征,权重采用熵值法进行赋权。

2.3.2 核心解释变量 本文选择农业从业人员人均耕地面积表征耕地利用规模,为考察耕地利用规模与生态效率之间是否存在非线性关系,耕地利用规模的二次项也作为解释变量。

2.3.3 控制变量 参考相关研究^[31-32],控制变量选取了种植结构、复种指数、人均地区生产总值、农村居民恩格尔系数、产业结构、财政涉农支出、城镇

表 1 耕地生态效率投入产出指标
Table 1 Input-output indicators of farmland ecological efficiency

一级指标	二级指标	变量解释
投入指标	劳动力投入 (万人)	第一产业从业人数 \times (农业总产值 / 农林牧渔业总产值)
	土地投入 (10^3 hm^2)	农作物总播种面积
	农业机械动力投入 (万 kW)	农业机械总动力
	灌溉投入 (10^3 hm^2)	有效灌溉面积
	化肥投入 (t)	化肥施用量
	农膜投入 (t)	农用塑料薄膜使用量
	农用柴油投入 (t)	农用柴油量
	农药投入 (t)	农药施用量
期望产出	农业总产值 (万元)	农业产值
非期望产出	农业碳排放 (t)	农业碳排放量
	污染排放	农业面源污染综合指数

化率和农村劳动力转移等指标 (表 2)。其中种植结构和复种指数表征耕地利用情况及利用程度;人均地区生产总值和农村居民恩格尔系数表征农户的经济水平等状况;产业结构和财政涉农支出体现了地方对农业的重视程度和农业的发展水平。

2.4 数据来源

本文相关数据主要来源于自然资源部国土调查成果共享应用服务平台、江苏省土地调查成果数据,以及 2008—2021 年《中国城市统计年鉴》《江苏农村统计年鉴》《河北农村统计年鉴》和各省(市)的统计年鉴、统计公报等资料,对于个别缺失数据,采用已有研究^[7]的做法,根据时序数据趋势进行插值补充。

3 结果与分析

3.1 耕地利用规模与耕地生态效率的时空演变特征

3.1.1 黄淮海地区耕地利用规模变化 2007—2020 年黄淮海地区整体耕地利用规模逐渐上升 (表 3), 2020 年达到最高值 $1.13 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。从不同区域来看,各省份耕地利用规模也基本呈现波动上升的趋势。

这主要是由于城镇化进程中大量农村劳动力非农化,农地经营权流转明显加快。同时,国家大力推动农业现代化发展,出台了相关改革方案,黄淮海多个地区开展“小田变大田”试点改革,推进高标准农田示范区建设,探索新型利益联结机制,鼓励农户将农地流转给新型经营主体,大大提高了黄淮海地区耕地规模化水平。

3.1.2 黄淮海地区耕地生态效率变化 通过耕地生态效率测算及对各省(市)耕地生态效率均值的对比,结果显示,研究区耕地生态效率具有显著的阶段性和区域性特征 (表 4)。从不同阶段来看,研究区耕地生态效率整体上呈现先波动变化 (2007—2011 年),再缓慢降低 (2011—2017 年),最后逐渐提升 (2017—2020 年)的发展趋势,总体均值从 2007 年的 0.72 降低至 2020 年的 0.66,生态效率整体不高。2017 年以前黄淮海地区处于经济快速发展时期,生态环境保护虽逐渐得到重视,但仍滞后于经济发展,这一时期生态效率呈现下降趋势。从党的十九大开始,我国出台和落实了各类生态环境保护相关政策,加强了对农业农村环境问题的解决与监管力度,减

表 2 变量说明与描述统计
Table 2 Variable description and descriptive statistics

类别	变量选取	变量解释	均值	标准差
因变量	耕地生态效率 E	SBM-Undesirable 模型测算	0.68	0.30
核心自变量	耕地利用规模 C ($\text{hm}^2/\text{人}$)	耕地面积 / 农业从业人员	0.82	0.43
	种植结构 X_1 (%)	粮食作物播种面积 / 经济作物播种面积	73.78	0.09
控制变量	复种指数 X_2 (%)	农作物播种面积 / 耕地面积	115.35	0.32
	恩格尔系数 X_3 (%)	农村居民食物消费支出 / 总消费支出	33.64	0.05
	人均地区生产总值 X_4 (元)	地区生产总值 / 地区常住人口	46 943.80	29 083.22
	产业结构 X_5 (%)	第一产业增加值 / 地区生产总值	11.75	6.31
	财政涉农支出 X_6 (%)	地方农林水事务支出 / 地方财政一般预算支出	11.08	0.03
	城镇化率 X_7 (%)	城镇常住人口 / 总人数	51.74	12.40
	农村劳动力转移 X_8 (%)	(乡村从业人员 - 农业从业人员) / 乡村从业人员	72.83	0.09

轻了这一时期我国的农业污染，黄淮海地区耕地生态效率也不断提高。

从不同区域来看，北京市经济基础、农业现代化水平比其他地区具有明显优势，其耕地生态效率相对较高，且每年都达到超效率水平。而江苏省呈现逐年下降趋势，这主要是由于宿迁市、淮安市、连云港市等地区为高投入高产高排放的农业发展模式，从统计数据来看，宿迁市与淮安市等地区化肥、农药、农膜、柴油等投入量不断上升，导致较高的碳排放与面源污染，使耕地生态效率不断下降；连云港市虽面源污染有所缓解，但柴油及农膜使用量增加，且非期望产出端的碳排放也呈上升趋势，导致耕地生态效率下降。天津市耕地生态效率早期处于较低水平，2010年后开始波动上升，而到2015年天津市深入开展化肥、农药零增长行动，通

过推进生物、物理防治等措施的应用，极大改善了农业生态环境，使耕地生态效率迅速提升至超效率水平。山东、河南、河北等省份生态效率处于中等水平，并呈现波动变化趋势，而安徽省的耕地生态效率一直处于最低水平。

3.1.3 黄淮海地区耕地生态效率空间分布图 研究期内，在2011年和2016年之后黄淮海地区耕地生态效率变化趋势发生改变，分别呈现出下降趋势和上升趋势，为充分刻画研究区耕地生态效率空间格局演变特征，选取2007、2011、2016及2020年作为观察时点，运用自然断点法将其划分为低、较低、中等、较高、高5个等级（图2）。整体上，随时间推移，低效率等级城市数量明显增多，高效率城市数量减少。2007—2020年高效率城市数量占比由15.38%下降至9.62%，较高效率城市数量无明显变

表3 2007—2020年黄淮海地区耕地利用规模变化(hm²/人)

Table 3 Change of farmland operational scale in the Huang-Huai-Hai plain from 2007 to 2020 (hm²/person)

年份	北京市	天津市	山东省	河南省	河北省	安徽省	江苏省	黄淮海地区
2007	0.899	1.180	0.780	0.481	0.787	0.493	0.877	0.785
2008	0.872	1.214	0.728	0.519	0.822	0.518	0.902	0.796
2009	0.819	1.191	0.821	0.503	0.816	0.635	0.922	0.815
2010	0.732	1.249	0.803	0.544	0.777	0.633	0.910	0.807
2011	0.834	1.318	0.838	0.579	0.825	0.676	0.966	0.862
2012	0.917	1.380	0.868	0.571	0.818	0.688	0.997	0.891
2013	0.988	1.486	0.862	0.594	0.831	0.695	1.017	0.925
2014	1.137	1.495	0.864	0.568	0.869	0.693	1.032	0.951
2015	1.039	1.619	0.893	0.570	0.864	0.617	1.042	0.949
2016	1.016	1.734	0.947	0.571	0.888	0.791	1.065	1.002
2017	1.040	1.614	1.180	0.573	0.907	0.798	1.076	1.027
2018	1.213	1.557	1.208	0.575	0.888	0.752	1.093	1.041
2019	0.608	1.565	1.110	0.559	0.850	0.788	1.112	0.942
2020	0.555	1.900	1.162	1.076	0.880	1.165	1.149	1.127

表4 黄淮海地区2007—2020年耕地生态效率

Table 4 Farmland ecological efficiency in Huang-Huai-Hai plain from 2007 to 2020

年份	北京市	天津市	江苏省	山东省	河南省	河北省	安徽省	黄淮海地区
2007	1.117	0.600	0.848	0.697	0.812	0.661	0.472	0.716
2008	1.086	0.564	0.860	0.755	0.834	0.647	0.481	0.739
2009	1.087	0.520	0.983	0.745	0.844	0.668	0.483	0.753
2010	1.050	0.472	0.833	0.728	0.712	0.571	0.554	0.688
2011	1.072	0.516	0.833	0.747	0.760	0.604	0.453	0.702
2012	1.080	0.562	0.845	0.734	0.727	0.664	0.459	0.702
2013	1.087	0.533	0.826	0.720	0.689	0.633	0.427	0.676
2014	1.085	0.546	0.813	0.723	0.644	0.604	0.382	0.654
2015	1.099	0.587	0.776	0.745	0.594	0.577	0.371	0.639
2016	1.099	1.003	0.752	0.767	0.502	0.629	0.442	0.644
2017	1.116	1.017	0.765	0.703	0.531	0.555	0.501	0.618
2018	1.097	1.014	0.760	0.777	0.466	0.573	0.444	0.629
2019	1.090	1.035	0.753	0.707	0.587	0.561	0.457	0.639
2020	1.068	1.080	0.650	0.709	0.702	0.571	0.460	0.663

化,中等效率城市数量由 9.62% 增加至 11.54%, 较低效率城市占比由 26.92% 减少至 21.15%, 而低效率城市由 25.00% 增加到 34.62%。

从空间分布来看,黄淮海耕地生态效率存在明显的空间分异特征。截至 2020 年,黄淮海中部与东北部地区耕地生态效率相对较高,中等效率城市零散分布于研究区,效率较低的城市呈现环形分布特征。其中,高效率及较高效率等级中,北京市与天津市、秦皇岛市、廊坊市等首都邻近地区农业现代化水平较高,相比其他地区耕地生态效率值较高;烟台市、威海市、济南市、济宁市、枣庄市、东营市、淄博市等地区作为山东省粮食生产基地,能够较早应用优质种质和先进设备,同时大力进行耕地生态建设,当地农业绿色发展转型取得突出成效;信阳市、商丘市、焦作市、鹤壁市等城市大力发展特色农业,该地区的耕地生态效率显著提升;徐州市与淮北市经济发展较好,十三五期间推动绿色农

业发展,化肥、农药使用量得到了极大的削减,农业污染问题有所改善。其余城市耕地生态效率属于中等及以下效率等级,这类城市占黄淮海大部分地区,主要分布在冀南、鲁中、河南大部、苏北、安徽等地区。

3.1.4 黄淮海地区耕地生态效率的核密度估计 为进一步探索研究区耕地生态效率的分布动态演进特征,本文绘制了耕地生态效率三维核密度图(图 3)。从波峰形态来看,2007—2020 年研究区耕地生态效率存在明显的极化现象,分布曲线维持双峰形态。具体而言,第一波峰效率值在 0.57 左右聚集,第二波峰在 1.00 左右聚集。前波峰与峰谷差距增大,表明地区差异存在且两极分化增强的趋势。主峰一直保持尖峰形态,高度逐渐升高,说明耕地生态效率整体呈下降趋势,低值区域分布较多且越来越集中。随着时间的变化,侧峰高度无明显变化,有小幅度右移趋势,说明虽然研究区整体生态效率呈小幅度

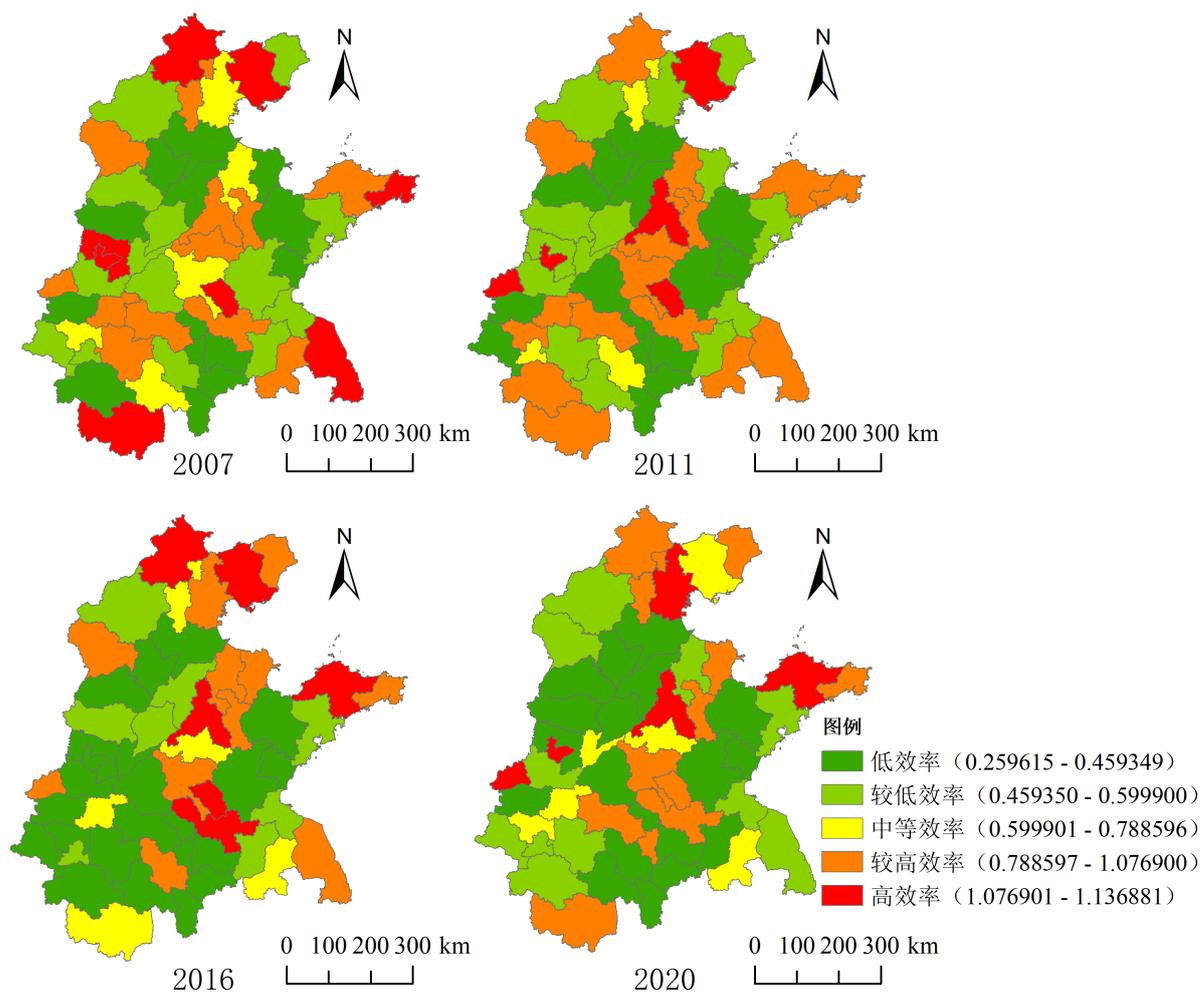


图 2 2007—2020 年黄淮海地区耕地生态效率空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of farmland ecological efficiency in Huang-Huai-Hai plain from 2007 to 2020

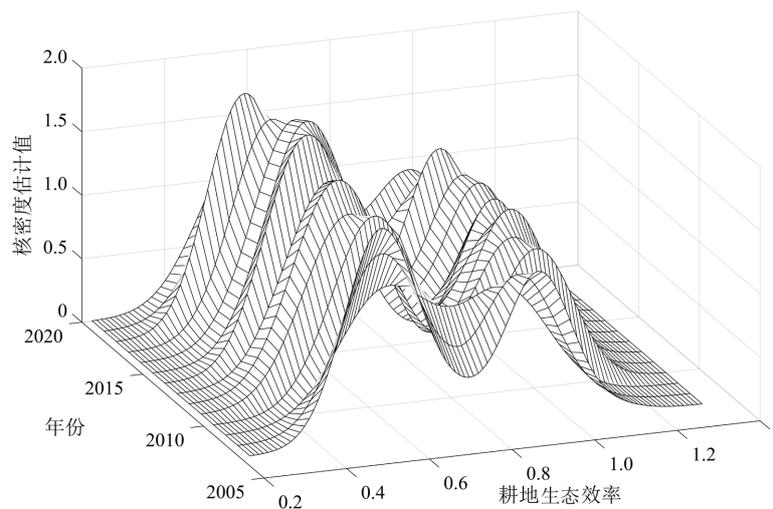


图 3 黄淮海地区耕地生态效率的核密度估计

Fig. 3 Kernel density estimation of farmland ecological efficiency in Huang-Huai-Hai plain

下降趋势，但高效率地区生态效率仍在提高。耕地生态效率在研究时段内表现出“高高聚集、低低聚集”的演变格局，空间非均衡分布仍较明显。

3.2 耕地利用规模对耕地生态效率的影响机制

3.2.1 耕地利用规模与耕地生态效率间的非线性关系
表 5 展示了耕地利用规模对耕地生态效率影响的 Tobit 回归结果。分析时，为避免多重共线性引起的估计结果偏差，首先计算解释变量的方差膨胀因子 (VIF)，结果显示解释变量的 VIF 均小于 10，说明不存在多重共线性，可进行回归分析。

从表 5 可知，耕地利用规模及其二次项在 1% 的水平下显著且系数为正，说明耕地利用规模与耕地生态效率呈 U 型关系而非简单线性关系，即随着耕地利用规模扩大，耕地的生态效率先降低后提高。这一结果不同于相关研究^[11]得到的耕地利用规模

与农业环境效率呈倒 U 型关系，这可能是由于研究区域、研究时段与尺度等的不同所造成的。呈现 U 型关系可能是由于在耕地利用规模达到一定水平以前，耕地利用规模扩大使农户参与市场交易的程度提升，在农村劳动力非农化趋势及我国绿色农产品市场规模较小、绿色农产品产业发展水平较低的双重作用下，耕地利用规模较大的中规模农户会倾向于增加化肥、农药的投入实现增产^[8]，导致耕地生态效率下降。但这种负中介效应不会一直存在，当耕地规模化经营进一步提升时，集约化、机械化、规模化生产使得农业资源利用效率提高，同时规模经营主体也更愿意发展绿色农业以获得高附加值农产品，从而提高耕地生态效率，改善农业环境。

控制变量中，产业结构与耕地生态效率呈显著正相关，表明第一产业比重的增加会提升耕地生态

表 5 Tobit 回归分析结果

Table 5 Regression results of the Tobit model

变量	系数	标准差	显著性水平	置信区间
耕地利用规模	0.249	0.063 0	***	[0.1253, 0.3723]
耕地利用规模的平方	0.239	0.055 5	***	[0.1300, 0.3477]
城镇化率	-0.238	0.163 1	—	[-0.5578, 0.0815]
产业结构	0.326	0.074 9	***	[0.1793, 0.4729]
种植结构	0.002	0.041 5	—	[0.7911, 0.0837]
人均地区生产总值	0.073	0.056 4	—	[-0.0373, 0.1839]
农村劳动力转移	-0.170	0.106 6	—	[-0.3790, 0.0390]
财政涉农支出	-0.092	0.033 6	***	[-0.1580, -0.0264]
复种指数	-0.489	0.090 5	***	[-0.6663, -0.3116]
恩格尔系数	-0.254	0.114 9	**	[-0.4794, -0.0289]
常数项	-1.552	0.914 2	*	[-3.3435, 0.2400]
Log likelihood				22.443

注：*、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

效率,这是由于第一产业比重增加能够促进新型农业经营主体的增加,促进耕地流转并产生耕地规模效应,有利于减轻农业污染,提高生态效率。而财政涉农支出、复种指数和恩格尔系数会降低耕地生态效率。这可能是由于财政支农资金对化肥、农药、农机的补贴力度较大,农户获得补贴后会增加化肥、农药的投入,过度使用农业机械,进而降低耕地生态效率^[33]。复种指数增大,耕地利用程度增加,同年多季种植容易造成耕地生态效率的下降。恩格尔系数越高,农民的经济水平相对越低,为了追求经济效益的最大化,农户更倾向于通过增加化肥、农药、农机提高产量而忽视了对生态环境的保护。

3.2.2 耕地利用规模对耕地生态效率的门槛效应 为便于与前文 U 型曲线关系对比,将核心解释变量(耕地利用规模)作为门槛变量,建立耕地利用规模对耕地生态效率影响的面板门槛回归模型。首先对门槛效应的存在性进行考察,分别对双门槛效应和单门槛效应进行检验,结果表明(表 6),双门槛模型的 p 值大于 10%,证明不存在双门槛效应。单一门槛模型对应的 P 值在 1% 的水平下拒绝原假设,表明耕地利用规模对耕地生态效率的影响存在单一门槛效应。

面板门槛回归结果显示(表 7),耕地利用规模的系数均通过了显著性检验,门槛值为 -0.97,相应的耕地规模为 0.38 hm²/人。当耕地利用规模低于门槛值 0.38 hm²/人时,耕地利用规模对耕地生态效率产生抑制作用,耕地利用规模每提高 1%,耕

地生态效率会降低 0.23%;而当耕地利用规模高于 0.38 hm²/人时,耕地利用规模每提高 1%,耕地生态效率则会提高 0.19%。因此,在不同耕地利用规模水平下耕地利用规模对耕地生态效率的影响方向存在差异,且具有显著的门槛特征,假说 H1 得到验证。目前,黄淮海大部分城市耕地利用规模已跨过门槛值,其耕地利用规模提高对耕地生态效率具有正向促进作用,这与梁耀文和王宝海^[34]、闫明涛等^[6]类似区域的研究结果一致。

3.2.3 耕地利用规模对耕地生态效率的中介效应 如前所述,耕地利用规模可能通过影响机械、农药和化肥的投入强度而影响耕地生态效率。为检验这一机制,需先证明耕地利用规模对中介变量的影响,再证明中介变量对耕地生态效率的影响。表 8 列(1)-(3)展示了耕地利用规模对中介变量影响的估计结果。结果显示,耕地利用规模对机械、化肥和农药投入强度存在显著的非线性关系。随着耕地利用规模的增大,化肥和农药投入强度均呈倒 U 型变化,即化肥农药的投入先增加后减少,这与陈雪婷等^[8]的研究结论一致,这也进一步解释了耕地利用规模与生态效率的 U 型关系。但机械投入强度与耕地利用规模呈 U 型关系,即先减少后增加。可能的解释是,机械投入属于固定资产投资,只有当耕地利用规模较大时才更容易实现规模经济效益。耕地规模较小时,耕地的细碎化严重,机械使用效率损失较大,农户往往不会增加机械投入。可见耕地利用规模对中介变量(耕地利用强度)存在显著影

表 6 门槛效应检验结果

Table 6 Threshold effect test results

门槛变量	假设检验	F 值 (P 值)	门槛值	95% 置信区间
耕地利用规模	H0: 无门槛值; H1: 有 1 个门槛值	58.31 (0.00)	-0.97	[-1.0523, -0.9310]
	H0: 有 1 个门槛值; H1: 有 2 个门槛值	8.75 (0.50)	0.41	[0.2989, 0.4817]

表 7 面板门槛模型回归结果

Table 7 Panel threshold regression results

变量	相关系数	标准误差	T 值
城镇化率	-0.547*	0.281	-1.95
产业结构	0.544***	0.141	3.86
种植结构	-0.052	0.119	-0.44
人均地区生产总值	0.129*	0.067	1.93
财政涉农支出	-0.040	0.035	-1.13
农村劳动力转移	-0.085	0.124	0.69
复种指数	-0.582***	0.194	-2.99
恩格尔系数	-0.188	0.167	-1.12
耕地利用规模 (耕地利用规模 ≤ -0.97)	-0.229**	0.108	-2.11
耕地利用规模 (耕地利用规模 > -0.97)	0.194***	0.070	2.79
常数项	-1.234	1.203	-1.03

注: *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

表 8 中介效应检验结果
Table 8 Test results of the mediation effect

变量	(1) 化肥投入强度	(2) 农药投入强度	(3) 机械投入强度	(4) 耕地生态效率	(5) 耕地生态效率	(6) 耕地生态效率
耕地利用规模	-0.060***(-2.58)	-0.061*(-1.75)	0.024(0.61)			
耕地利用规模的平方	-0.059***(-2.95)	-0.104***(-3.48)	0.119***(-3.51)			
化肥投入强度				-0.573***(-5.62)		
农药投入强度					-0.273***(-4.08)	
机械投入强度						-0.196***(-3.25)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项	-1.212***(-3.68)	-4.634***(-9.30)	-0.805(-1.44)	-2.352***(-2.64)	-3.137***(-3.28)	-1.869**(-2.08)

注：*、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著，括号中的数值为 Z 统计量。

响。表 8 列 (4) - (6) 展示了中介变量对耕地生态效率的影响。结果显示，机械、化肥和农药投入强度的估计系数均在 1% 的水平下显著为负，表明机械投入的增加将增加碳排放，化肥和农药使用量的增加也会加重面源污染，从而降低耕地生态效率。因此，耕地利用规模可通过改变机械投入影响碳排放非期望产出，通过改变化肥和农药的投入影响面源污染非期望产出，进而影响耕地生态效率，假说 H2 得到验证。

4 结论与政策启示

4.1 结论

本研究基于 2007—2020 年黄淮海地区 52 个地级以上城市的面板数据，借助超效率 SBM-Undesirable 模型对耕地生态效率进行了测度，采用 Tobit 模型和门槛模型对耕地利用规模与耕地生态效率间的非线性影响关系进行了实证检验，并采用中介效应模型对其影响机制进行了分析，得到以下结论：

1) 黄淮海地区耕地利用规模不断上升，耕地生态效率总体上经历了“波动变化—缓慢下降—逐渐提升”的过程，具有阶段性和区域性特征。空间上，黄淮海地区耕地生态效率空间分异明显，高效率与较高效率城市分布在黄淮海中部与东北部地区，低效率与较低效率城市呈环形分布特征，而中等效率城市分布较零散。同时，不同地区耕地生态效率两极分化趋势增强，呈现“高高聚集，低低聚集”的现象。

2) 耕地利用规模与耕地生态效率呈“U”型关系，且存在单一门槛效应，当耕地利用规模超过门槛值 0.38 hm²/人后能促进耕地生态效率的提高，且黄淮海大部分地区已跨过门槛值，其耕地利用规模扩大能够改善耕地生态效率。

3) 化肥、农药与农业机械使用强度在耕地利用规模对耕地生态效率的影响中存在显著的中介效

应，耕地利用规模的扩大对化肥和农药投入强度具有先促进后抑制的作用，而对机械投入强度具有先抑制后促进的作用。耕地利用规模可通过改变化肥、农药和机械投入强度来影响耕地生态效率。

4.2 政策启示

基于以上分析，可以得到以下政策启示：

1) 加强对耕地规模经营的政策支持，推动耕地利用规模跨过门槛值。特别是对于黄淮海地区耕地利用规模未跨过门槛值的城市，应因地制宜出台促进耕地流转及耕地规模经营的政策，鼓励兼业农户将农地流转给种粮大户等专业化经营主体，并加强对规模经营主体的政策扶持，增加新型农业经营主体数量，鼓励其采用现代化农业生产技术进行农业生产，以提升区域耕地利用规模水平并使其尽快跨过门槛值，从而避免耕地利用规模水平较低时耕地利用规模扩大对耕地生态效率的负面作用，改善农业生态环境。

2) 构建绿色农业生产经营体系，促进农业向绿色发展转型。黄淮海大部分地区农业生产严重依赖化肥等农业化学品，其中山东省 2020 年化肥施用总量全国排名第二，农业环境问题频发，因此急需推动黄淮海地区生态农业与有机农业的发展。黄淮海各城市应抓住农业农村部开展的农业生产“三品一标”提升行动，进行绿色农业发展改革，加强绿色农田建设与监测，准确掌握耕地质量变化情况，并及时进行预警，进而提高耕地生态效率。

参考文献：

- [1] Rogers S, Wilmsen B, Han X, et al. Scaling up agriculture? The dynamics of land transfer in inland China[J]. World Development, 2021, 146: 105563.
- [2] 马聪, 刘黎明. 不同经济发展水平地区耕地利用集约度比较[J]. 资源科学, 2019, 41(12): 2296-2306.
Ma C, Liu L M. Cultivated land use intensity in regions with different economic development levels[J]. Resources Science, 2019, 41(12): 2296-2306.
- [3] 夏雯雯, 杜志雄, 郜亮亮. 土地经营规模对测土配方施肥技术应用的影响研究——基于家庭农场监测数据的观察[J]. 中国

- 土地科学, 2019, 33(11): 70-78.
- Xia W W, Du Z X, Gao L L. Study on the impact of land operational scale on the application of formula fertilization technology by soil testing: Based on the observation from family farm monitoring data[J]. China Land Science, 2019, 33(11): 70-78.
- [4] Ju X T, Gu B J, Wu Y Y, et al. Reducing China's fertilizer use by increasing farm size[J]. Global Environmental Change, 2016, 41: 26-32.
- [5] 魏梦升, 颜廷武, 罗斯炫. 规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响——基于设立粮食主产区的准自然实验[J]. 中国农村经济, 2023(2): 41-65.
- Wei M S, Yan T W, Luo S X. The impacts of scale management and technological progress on green and low-carbon development of agriculture: A quasi-natural experiment based on the establishment of major grain-producing areas[J]. Chinese Rural Economy, 2023(2): 41-65.
- [6] 闫明涛, 乔家君, 瞿萌, 等. 河南省农业生态效率测度、空间溢出与影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(11): 1396-1405.
- Yan M T, Qiao J J, Qu M, et al. Measurements, spatial spillover and influencing factors of agricultural eco-efficiency in Henan Province[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(11): 1396-1405.
- [7] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素——基于1996—2015年31个省份的面板数据分析[J]. 中国农村经济, 2018(1): 46-62.
- Wang B Y, Zhang W G. Cross-provincial differences in determinants of agricultural eco-efficiency in China: An analysis based on panel data from 31 provinces in 1996-2015[J]. Chinese Rural Economy, 2018(1): 46-62.
- [8] 陈雪婷, 冯中朝, 黄炜虹, 等. 经营规模对农户异质性生态生产行为的影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(5): 1252-1263.
- Chen X T, Feng Z C, Huang W H, et al. Study on the impact of operation scale on farmers' heterogeneous ecological production behavior[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(5): 1252-1263.
- [9] 刘桂英, 成雪宇, 张双庆, 等. 耕地经营规模与化肥减施效应——来自江西省水稻种植户的的证据[J]. 农业现代化研究, 2023, 44(1): 97-107.
- Liu G Y, Cheng X Y, Zhang S Q, et al. Farmland management scale and the effect of chemical fertilizer reduction: Evidence from rice farmers in Jiangxi Province[J]. Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(1): 97-107.
- [10] 胡贤辉, 蔺思琪, 何庆, 等. 耕地细碎化、耕地经营规模对农户耕地利用生态效率的影响——以常德市为例[J]. 中国土地科学, 2023, 37(4): 95-106.
- Hu X H, Lin S Q, He Q, et al. Effects of cultivated land fragmentation and cultivated land operation scale on ecological efficiency of famers' cultivated land use: A case study of Changde city[J]. China Land Science, 2023, 37(4): 95-106.
- [11] 马贤磊, 车序超, 李娜, 等. 耕地流转与规模经营改善了农业环境吗?——基于耕地利用行为对农业环境效率的影响检验[J]. 中国土地科学, 2019, 33(6): 62-70.
- Ma X L, Che X C, Li N, et al. Has cultivated land transfer and scale operation improved the agricultural environment? An empirical test on impact of cultivated land use on agricultural environment efficiency[J]. China Land Science, 2019, 33(6): 62-70.
- [12] 李宾, 王婷婷, 马九杰. 农业规模经营对农户化肥投入水平的影响——基于河南省H县的农户调查[J]. 农林经济管理学报, 2017, 16(4): 430-440.
- Li B, Wang T T, Ma J J. Impact of agricultural scale operation on farmers' input in chemical fertilizers: Based on a survey of rural households in H county, Henan province[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2017, 16(4): 430-440.
- [13] 姜松, 周洁, 邱爽. 适度规模经营是否能抑制农业面源污染——基于动态门槛面板模型的实证[J]. 农业技术经济, 2021(7): 33-48.
- Jiang S, Zhou J, Qiu S. Can appropriate scale operation restrain agricultural non-point source pollution? Empirical study based on dynamic threshold panel model[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2021(7): 33-48.
- [14] 潘明明. 土地规模化经营对农业生态效率影响及城乡市场分割调节作用探析[J]. 北方园艺, 2021(7): 154-161.
- Pan M M. Analysis impact of land scale management on agricultural eco-efficiency and regulation of urban and rural market segmentation[J]. Northern Horticulture, 2021(7): 154-161.
- [15] 马永喜, 马钰婷. 农业经营规模化发展对环境效率的影响——基于地块层面的实证分析[J]. 中国环境科学, 2020, 40(10): 4631-4640.
- Ma Y X, Ma Y T. Impacts of agricultural scale operation on the environmental efficiency: An analysis based on land plots data[J]. China Environmental Science, 2020, 40(10): 4631-4640.
- [16] 张超正, 陈丹玲, 张旭鹏. 耕地细碎化和劳动力老龄化对水稻化肥施用强度的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2023, 39(3): 344-352.
- Zhang C Z, Chen D L, Zhang X P. Impact of cultivated land fragmentation and labor force aging on rice fertilizers application intensity[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2023, 39(3): 344-352.
- [17] 杨继军, 王鑫. 耕地经营权流转对农业生产效率的影响: 规模效应抑或选择效应[J]. 农业技术经济, 2022(12): 43-55.
- Yang J J, Wang X. The impact of cultivated land transfer on agricultural production efficiency: Scale effect or selection effect?[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022(12): 43-55.
- [18] Duflo R, San-Cristobal M, Andrieu E, et al. Farming intensity indirectly reduces crop yield through negative effects on agrobiodiversity and key ecological functions[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2022, 326: 107810.
- [19] 万凌霄, 杨果. 农业机械对化肥施用影响的路径及效果研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(4): 643-653.
- Wan L X, Yang G. Influence pathways and effects of agricultural mechanization on the application of chemical fertilizers[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(4): 643-653.
- [20] 廖柳文, 马恩朴. 耕地经营规模对农业生产效率及环境压力的影响研究——以黄淮海地区为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(5): 37-47.
- Liao L W, Ma E P. The impact of farmland scale on agricultural

- production efficiency and environmental pressure: A case study of the Huang Huai Hai Plain[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(5): 37-47.
- [21] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32-41.
- [22] 陈强. 高级计量经济学及 Stata 应用 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2014: 325-327.
Chen Q. Advanced Econometrics and Stata Application[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2014: 325-327.
- [23] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference[J]. Journal of Econometrics, 1999, 93(2): 345-368.
- [24] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应 [J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics, 2022(5): 100-120.
- [25] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 11-19.
Wang B Y, Zhang W G. A research of agricultural eco-efficiency measure in China and space-time differences[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(6): 11-19.
- [26] 吴欣, 刘仕鑫, 赵立燕, 等. 黄河流域耕地利用效率评估及其提升路径研究 [J]. 农业现代化研究, 2022, 43(4): 702-714.
Wu X, Liu S X, Zhao L Y, et al. Study on the improvement of farmland use efficiency in the Yellow River Basin from the perspective of high-quality development[J]. Research of Agricultural Modernization, 2022, 43(4): 702-714.
- [27] 常新锋, 张雨祥. 农旅融合对中国农业生态效率的作用机制与影响效应 [J]. 农林经济管理学报, 2022, 21(3): 310-319.
Chang X F, Zhang Y X. Mechanism and effect of agriculture-tourism integration on agricultural eco-efficiency in China[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2022, 21(3): 310-319.
- [28] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80-86.
Li B, Zhang J B, Li H P. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(8): 80-86.
- [29] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2004, (9): 1184-1187.
Lai S Y, Du P F, Chen J N. Evaluation of non-point source pollution based on unit analysis[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2004(9): 1184-1187.
- [30] 史常亮, 李赟, 朱俊峰. 劳动力转移、化肥过度使用与面源污染 [J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(5): 169-180.
Shi C L, Li E, Zhu J F. Rural labor transfer, excessive fertilizer use and agricultural non-point source pollution[J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(5): 169-180.
- [31] 王帅, 王亚静. 城镇化与粮食生态效率——基于异质性城镇化的理论视角与实证检验 [J]. 农业现代化研究, 2023, 44(3): 469-479.
Wang S, Wang Y J. Urbanization and grain eco-efficiency: Theoretical perspective and empirical test based on heterogeneous urbanization[J]. Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(3): 469-479.
- [32] 邹秀清, 谢美辉, 于少康, 等. 农村劳动力转移对耕地利用生态效率的空间溢出效应 [J]. 中国土地科学, 2023, 37(1): 59-69.
Zou X Q, Xie M H, Yu S K, et al. The spatial spillover effect of rural labor transfer on ecological efficiency of cultivated land use[J]. China Land Science, 2023, 37(1): 59-69.
- [33] 黄志斌, 杨建州. 财政支农资金对农业生态效率的影响——基于系统动态广义矩估计和门槛效应检验 [J]. 林业经济, 2022, 44(10): 5-24.
Huang Z B, Yang J Z. Influence of financial fund for agriculture on agricultural eco-efficiency: Based on system dynamic generalized method of moments estimation and threshold effect test[J]. Forestry Economics, 2022, 44(10): 5-24.
- [34] 梁耀文, 王宝海. 环渤海地区农业生态效率时空演化及影响因素研究 [J]. 生态经济, 2021, 37(6): 109-116.
Liang Y W, Wang B H. Spatial evolution and influencing factors of the agricultural eco-efficiency in Bohai rim region[J]. Ecological Economy, 2021, 37(6): 109-116.

(责任编辑: 王育花)