

“双碳”目标下黄河下游耕地绿色利用效率、收敛性与影响因素

刘涛¹, 尚晓菲¹, 苏原原², 霍静娟³

(1.河南理工大学 财经学院, 河南 焦作 454000; 2.河南大学

中原发展研究院, 河南 开封 475001; 3.河南理工大学 物理与电子信息学院, 河南 焦作 454000)

摘要: [目的] 分析黄河下游耕地绿色利用效率及其收敛性与影响因素, 为黄河下游地区耕地生态保护与高质量发展提供参考。[方法] 将耕地资源利用过程中产生的耕地面源污染和碳排放等非期望产出和总碳汇同时纳入评价指标体系, 利用 EBM 模型、收敛模型、面板 Tobit 模型系统分析了 2007—2020 年黄河下游 34 个地市耕地绿色利用效率、收敛性与影响因素。[结果] ①黄河下游耕地绿色利用效率整体呈上升趋势, 但 2020 年末仍未达到最优状态。黄河下游地区耕地绿色利用效率存在空间非均衡性, 豫南及鲁北耕地绿色利用效率值较高, 而郑州、威海等地市的效率值一直偏低。②从效率分解看, 黄河下游地区耕地绿色利用效率提升的主要动力源于规模效率, 阻力来自纯技术效率。③从收敛检验看, 黄河下游耕地绿色利用效率均存在 σ 收敛和 β 收敛, 河南省耕地绿色利用效率的地市间差距明显低于山东省, 但山东省的收敛速度较之更快。④从影响因素看, 农作物种植结构与政府财政支农对黄河下游地区耕地绿色利用效率起促进作用, 而城乡收入差距、经济发展水平和耕地机械投入强度起抑制作用。[结论] 未来黄河下游不但要提高耕地绿色利用的综合管理水平, 加强地市间交流合作, 更要在推进耕地绿色利用发展的同时, 重点关注各地区耕地绿色利用效率的收敛速度与发展差距之间的协调。

关键词: “双碳”目标; 耕地绿色利用效率; EBM 模型; 黄河下游

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)01-0291-09

中图分类号: F301.24

文献参数: 刘涛, 尚晓菲, 苏原原, 等.“双碳”目标下黄河下游耕地绿色利用效率、收敛性与影响因素[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1):291-299. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20230220.004; Liu Tao, Shang Xiaofei, Su Yuanyuan, et al. Green utilization efficiency, convergence, and influencing factors of cultivated land in lower Yellow River under “double carbon” target [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1):291-299.

Green Utilization Efficiency, Convergence, and Influencing Factors of Cultivated Land in Lower Yellow River Under “Double Carbon” Target

Liu Tao¹, Shang Xiaofei¹, Su Yuanyuan², Huo Jingjuan³

(1.School of Finance and Economics, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China;

2.Academy of Hinterland Development, Henan University, Kaifeng, Henan 475001, China; 3.School of

Physics and Electronic Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

Abstract: [Objective] Green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River and its convergence and influencing factors were analyzed in order to provide a reference for ecological protection and high-quality development of cultivated land in the lower Yellow River. [Methods] Undesirable outputs such as surface pollution and carbon emissions from cultivated land, and the carbon sequestration and sink capacity of cultivated land resources were simultaneously incorporated into the evaluation index system. The green utilization efficiency, convergence, and influencing factors of cultivated land in 34 municipalities in the

收稿日期:2022-06-07

修回日期:2022-10-11

资助项目:国家社科基金青年项目“乡村振兴背景下中国农村闲置资源协同激活问题研究(18CJY030)”(18CJY030); 教育部人文社会科学青年基金项目(18YJJCZH061)”; 河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2021GGJS053); 河南理工大学“研究和阐释党的十九大精神”专项立项项目(SJDZXZD-01); 河南省社会科学规划专项(2022ZT08)

第一作者:刘涛(1983—),男(汉族),山东省沂水县人,博士,副教授,主要从事农业农村经济研究。Email:liutao2511001@126.com。

通信作者:霍静娟(1981—),女(汉族),河北省邯郸市人,硕士,讲师,主要从事土地资源管理研究。Email:huojingjuan2022@126.com。

lower Yellow River from 2007 to 2020 were systematically analyzed using the EBM model, the convergence model, and the panel random effects Tobit model. [Results] ① The green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River showed an overall upward trend, but still did not reach the optimal state by the end of 2020. The green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River was spatially unbalanced. The green utilization efficiency of cultivated land in Southern He'nan and Northern Shandong provinces was high, while that in Zhengzhou, Weihai, and other cities was always low. ② From the perspective of efficiency decomposition, the main driving force for the improvement of green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River was scale efficiency, while the resistance came from pure technical efficiency. ③ From the convergence test, both σ convergence and β convergence existed in the green utilization efficiency of farmland in the lower Yellow River. The inter-city gap of cultivated land green utilization efficiency in He'nan Province was obviously lower than in Shandong Province, but the convergence rate in Shandong Province was faster. ④ In terms of influencing factors, crop planting structure and government financial support to agriculture increased green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River, while the urban-rural income gap, economic development level, and farmland machinery input intensity decreased green utilization efficiency. [Conclusion] In the future, the lower Yellow River should not only improve the comprehensive management level of the green utilization of cultivated land and strengthen inter-city exchanges and cooperation, but should also focus on the coordination between the convergence rate of green utilization efficiency of cultivated land and the development gap in each region while promoting development of the green utilization of cultivated land.

Keywords: “double carbon” target; green utilization efficiency of cultivated land; EBM model; the lower Yellow River

处于黄河下游的河南省和山东省,是中国重要的粮食生产基地,粮食产量居于全国前列,但高强度的耕地利用活动不仅释放出大量 CO_2 ,还会污染耕地周边生态环境^[1-2]。根据学者们对黄河流域面源污染的研究可知,河南省与山东省耕地面源污染对流域内水污染的贡献值排名居前两位^[3]。此外,黄河流域下游地区耕地非农化速度正在逐步加快,引发耕地数量减少、质量退化和生态功能下降等一系列问题^[4],耕地利用急需加快向绿色化转型。为此,《黄河流域生态保护与高质量发展规划纲要》强调下游地区要推进面源污染控制、减少环境污染,给黄河下游地区保障粮食安全、做好耕地保护提供了方向。

近年来,国家提出“碳达峰、碳中和”的战略目标,给黄河下游耕地利用带来新的要求。一方面,耕地是中国重要的碳排放来源,另一方面,耕地资源是增加碳汇的重要途径,耕地资源固碳增汇能力的提升对实现“双碳”目标具有重大影响。在“双碳”目标的现实要求下,如何实现黄河下游耕地“绿色化”“低碳化”利用、提高耕地绿色利用效率已成为亟待解决的重要课题。基于此,将耕地资源利用过程中产生的耕地面源污染和碳排放作为非期望产出、总碳汇作为期望产出纳入评价指标体系,科学测度黄河下游耕地绿色利用效率,研究各地市耕地绿色利用效率的演变规律、收敛性及其影响因素,对推动黄河下游耕地生态保护与

高质量发展、实现“双碳”目标具有重要意义。

近年来,国内外学者围绕耕地绿色利用效率的指标设定^[5-10]、测算方法^[11-12]、研究区域等^[13-15]方面进行了广泛的研究。首先,在指标设定上,大多学者将耕地利用看成“投入—产出”的过程,并在此基础上建立指标体系。有些学者^[5-6]选择农业劳动力、化肥、农药等作为投入指标,选用粮食产量、农业总产值作为产出指标,对珠三角、东部沿海的耕地效率进行测算。随着研究不断成熟,有些学者^[7-8]尝试用碳排放代表环境因素纳入效率测算指标,且部分学者^[9-10]考虑到农药、化肥等投入将造成环境恶化,在不考虑环境因素的前提下,耕地利用效率会被高估。综上所述,虽然目前相关研究在测算耕地利用效率时逐渐考虑环境因素的影响,但少有文献将耕地“总碳汇”纳入指标体系。随着 2021 年中国“双碳”目标的提出,耕地作为固碳增汇重要资源,其固碳能力不能忽视。其次,在测算方法上,大多数文献采用传统径向 DEA 或者非径向的 SBM 模型测算耕地利用效率,鲜有文献采用兼顾径向与非径向的 EBM 模型进行测量。最后,在研究区域上,大多数文献集中在全国^[13]、某省^[14]或者长江经济带^[15]等地区,鲜有学者探讨黄河下游耕地绿色利用效率。

基于此,本文尝试性地将耕地资源利用过程中产生的面源污染和碳排放等非期望产出以及耕地资源固碳增汇能力同时纳入评价指标体系,利用 EBM 模

型、收敛模型和面板 Tobit 模型系统分析黄河下游耕地绿色利用效率及其收敛性与影响因素, 以期为黄河下游地区耕地生态保护与高质量发展提供参考。

1 研究方法

1.1 EBM 模型

现有研究在测算耕地利用效率时大多采用非径向 SBM 模型, 但是该模型以损失效率前沿投影值的原始比例信息为代价, 而耕地绿色利用效率的投入与产出指标的数据具有多重性, 这决定了变量之间很难完全按径向变动或非径向变动。基于此, Tone 等^[16]提出了兼顾径向与非径向的 EBM 模型, 可以弥补传统径向 DEA 模型与非径向 SBM 模型的不足。因此, 本文利用 EBM 模型对耕地利用效率进行测算。

本文构建产出导向、规模可变的 EBM 模型, 具体表达式为:

$$\theta = \min \frac{1}{\varphi + \epsilon + \frac{1}{\sum_{r=1}^q \omega_r^+ s_r^+} \sum_{k=1}^q \omega_k^+ y_k} \quad (1)$$

s.t. $X\lambda \leq x_k, Y\lambda - \varphi y_k - s^+ = 0,$
 $(\lambda \geq 0, s^+ \geq 0, \sum \lambda = 1)$

式中: θ 为测算的最佳效率值; λ 为 DMU 的线性组合系数; q 为产出指标的个数; s^+ 为产出指标的松弛变量; ω 为产出指标的相对重要程度; ϵ 为非径向部分的权重, $0 \leq \epsilon \leq 1$, 当 $\epsilon = 0$ 时为径向模型, 当 $\epsilon = 1$ 时为 SBM 模型。

1.2 收敛模型^[17]

(1) 收敛模型。收敛模型旨在评价黄河下游各地市耕地绿色利用效率差异是否会随时间推移逐渐减小, 通常用变异系数衡量, 具体表达式为:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (3)$$

式中: CV 表示变异系数; σ 表示标准差; μ 为算数平均值; n 为样本个数; x_i 为样本值。当较多年份出现 $CV_{t-1} > CV_t$, 则表明各地市间耕地绿色利用效率随时间推移逐渐减小, 即存在 σ 收敛。

(2) 绝对 β 收敛模型。绝对 β 收敛旨在分析黄河下游耕地绿色利用效率较低的地市效率增长率是否大于耕地效率较高的地市, 即随着时间的推移, 效率低的地区是否会追赶上效率高的地区, 最终达到同一稳态。具体表达式为:

$$\ln \frac{y_{it}}{y_{i0}} / T = \alpha + \beta_1 \times \ln y_{i0} + \mu_{it} \quad (4)$$

式中: y_{it}, y_{i0} 分别为黄河下游 i 地市报告期与基期的耕地绿色利用效率; T 为基期与报告期时间跨度,

$\ln \frac{y_{it}}{y_{i0}} / T$ 表示地市 i 的耕地绿色利用效率年均增长率,

且 $T \neq 0$, 故文中 t 的起始年份为基期的下一年; β_1 为待估参数, 若 $\beta_1 < 0$, 且通过显著性检验, 则表明黄河下游各地市间耕地绿色利用效率存在绝对 β 收敛。

(3) 条件 β 收敛模型。条件 β 收敛旨在分析黄河下游各地市耕地绿色利用效率是否会随时间推移趋于各自的稳态水平。目前关于条件 β 收敛检验有两种方法: 一是在绝对 β 收敛模型基础上加入相关控制变量进行检验。二是采用面板固定效应估计^[18]。前者在选择控制变量时存在主观性, 无法有效避免遗漏变量问题, 后者则可通过双固定效应减少因耕地绿色利用效率以外的其他因素产生的影响。因此, 本文采用面板双固定效应模型进行估计。具体表达式为:

$$\ln \frac{y_{it}}{y_{i,t-1}} = \alpha + \beta_2 \times \ln y_{i,t-1} + \mu_{it} \quad (5)$$

移项合并同类项, 整理得:

$$\begin{aligned} \ln y_{it} &= \alpha + (\beta_2 + 1) \ln y_{i,t-1} + \mu_{it} \\ &= \alpha + \beta_3 \ln y_{i,t-1} + \mu_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

式中: y_{it} 为黄河下游 i 地市 t 期的耕地绿色利用效率; β_3 为待估参数, 若 $\beta_3 \leq 1$ 且通过显著性检验, 则表明黄河下游各地市耕地绿色利用效率存在条件 β 收敛。

1.3 面板 Tobit 模型

以 2007—2020 年黄河下游各地市耕地绿色利用效率作为因变量, 各影响因素作为自变量, 分析黄河下游耕地绿色利用效率的影响机制。由于 EBM 测算的耕地绿色利用效率为受限变量, 若采用 OLS 回归会导致参数估计出现偏差, 而 Tobit 模型可以克服此缺陷^[19]。鉴于此, 本文采用面板 Tobit 模型分析黄河下游地区耕地绿色利用效率的影响因素。具体模型为:

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_{it} X_{it} + \epsilon_{it} \quad (7)$$

式中: E_{it} 为黄河下游 i 市在 t 年的耕地绿色利用效率; X_{it} 为各影响因素; β_{it} 为待估参数; ϵ_{it} 为随机误差项。

2 指标选取与数据来源

2.1 投入产出指标

借鉴已有研究^[20-21], 从“投入—产出”角度构建耕地绿色利用效率评价指标体系, 具体见表 1。需要说明的是, 耕地不仅是碳排放的来源之一, 而且具有强大的碳汇能力, 因此在产出指标设定时不仅考虑了

“耕地面源污染”与“碳排放”两种非期望产出,同时在期望产出中创新性地引入“总碳汇”指标,代表耕地利用过程中产生的生态效益,从而使效率评价体系更加科学、全面。

表 1 耕地绿色利用效率投入产出指标体系
Table 1 Input-output index system of green utilization efficiency of cultivated land

一级指标	二级指标	变量及说明	
投入	农业劳动力投入	农业从业人员/ 10^4 人	
	耕地投入	农作物播种面积/ hm^2	
	农用物资投入		化肥使用折纯量/t
			农药使用量/t
			农用薄膜使用量/t
	机械投入	农业机械总动力/ 10^3 w	
灌溉投入	有效灌溉面积/ 10^3 hm^2		
期望产出	耕地产出效益	粮食作物产量/t	
	耕地生态效益	总碳汇/t	
非期望产出	耕地面源污染	耕地面源污染综合指数	
	碳排放	碳排放总量/t	

耕地利用过程中产生的非期望产出主要是面源污染与碳排放。耕地面源污染主要来源于化肥中氮磷的流失、农药损失以及农膜残留,采用熵值法测算耕地面源污染综合指数,以此作为耕地面源污染的代理变量。其中,氮磷流失量=化肥使用折纯量×氮磷在化肥中所占比例×化肥流失系数,氮磷比例分别为 0.42, 0.18, 化肥流失系数为 0.65, 对于农药损失与农膜残留,分别设定为 50% 与 10%^[22-23]。并选取化肥、农药、农用塑料薄膜、翻耕、灌溉以及农机使用消耗的化石燃料(主要为柴油)作为耕地利用过程中的碳源,碳排放量的计算公式为^[24]:

$$F = \sum F_m = \sum C_m \times \sigma_m \quad (8)$$

式中: m 为碳源种类; C_m 为碳源具体量; σ_m 为各类碳源的碳排放系数。

耕地利用过程中产生的总碳汇是指对一些主要农作物在生产周期内通过光合等一系列化学反应吸收的二氧化碳量。根据已有研究^[25],总碳汇计算公式为:

$$C_e = \sum_k C_k Y_k (1 - w_k) / H_k \quad (9)$$

式中: k 为农作物种类; C_k 为碳吸收率; Y_k 为农作物经济产量; w_k 为农作物含水率; H_k 为农作物经济系数。

2.2 影响因素指标

参考已有研究^[26],从自然条件、经济社会发展与农业科技水平角度选取了耕地利用效率的影响因素。

(1) 自然条件。受地形、气候等因素影响,各地

区农作物种植结构存在差异,因此用农作物种植结构表示各地市自然条件差异,具体用粮食播种面积占农作物播种面积比重计算。

(2) 经济社会发展水平。选取以下代表性的指标:人均 GDP 表征经济发展水平;城镇人均可支配收入与农村居民人均纯收入的比值表征城乡收入差距;农林水事务支出占财政总支出比重表征政府财政支农。

(3) 农业科技水平。农业科技水平提高直接表现为机械化、自动化程度的提高,因此用单位耕地面积农业机械总动力表征耕地机械投入强度。

2.3 数据来源

本文研究对象为黄河下游,包括河南省、山东省共 34 个地市(由于数据不全,济源市未纳入分析)。各指标数据来源于《河南省统计年鉴(2008—2021)》《山东省统计年鉴(2008—2021)》《EPS 数据库》以及各地市对应年份统计公报。为消除价格因素影响,对有关名义变量进行平减处理。由于经济发展水平与农业科技投入指标与其他指标量纲不同,故对两个指标取对数后再进行回归。部分缺失值依据数据特征采用插值法、趋势法补齐。

3 结果与分析

3.1 黄河下游耕地绿色利用效率测度:3 类方法比较

图 1 呈现了 3 种方法测算的黄河下游耕地绿色利用效率。①方法 1。评价体系中不包含总碳汇和非期望产出,计算不考虑“双碳”目标的黄河下游耕地利用效率;②方法 2。考虑“双碳”目标,加入非期望产出计算黄河下游耕地绿色利用效率;③方法 3。在考虑非期望产出的同时,引入耕地利用过程中产生的生态效益“总碳汇”,计算黄河下游耕地绿色利用效率。

对比 3 种测算方法发现,方法 1 测算的黄河下游耕地利用效率在 0.823~0.852 之间波动,总体上较高,但由于未考虑碳排放等非期望产出的影响,因此不能反映黄河下游耕地绿色利用效率的真实水平。方法 2 中增加碳排放等非期望产出指标后,黄河下游耕地绿色利用效率在 0.782~0.828 之间波动,整体低于不考虑碳排放等非期望产出的效率值。由此可以看出,碳排放会产生明显的负面影响,降低了黄河下游耕地绿色利用效率。方法 3 不仅考虑到耕地生产过程中会产生碳排放的负面效应,同时认为耕地也具有强大的碳汇能力,在同时引入“碳排放”等非期望产出和“总碳汇”指标后,发现观测期内黄河下游耕地绿色利用效率整体高于方法 1 和方法 2 的测算结果。其中 2020 年效率值明显增加,可能源于 2019 年 9 月

1 日起实施的《中华人民共和国耕地占用税法实施办法》，有效地约束了纳税人占用耕地的行为，促进黄河流域下游耕地产生的总碳汇增加，从而使得黄河流域下游耕地绿色利用效率显著增加。此外，仅含碳排放等非期望产出的耕地绿色利用效率在 2020 年下降，正好印证上述观点。由此可见，在计算黄河下游地区耕地绿色利用效率时，仅考虑碳排放等非期望产出往往会低估耕地绿色利用效率。同时考虑碳排放等非期望产出以及总碳汇更能符合耕地生产的实际情况。

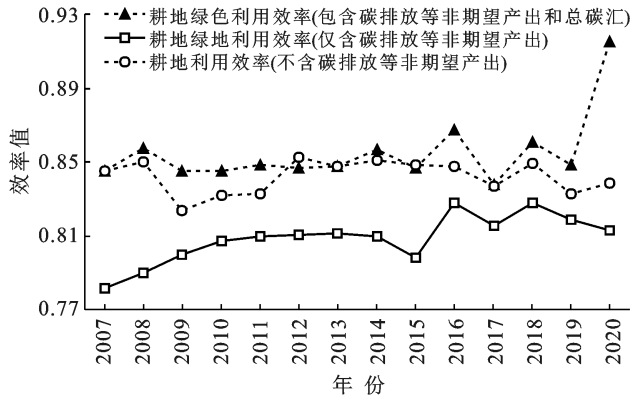


图 1 黄河下游耕地绿色利用效率测度:3 类方法比较

Fig.1 Measurement of green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River: Comparison of 3 types of methods

3.2 “双碳”目标下黄河下游耕地绿色利用效率综合评价

3.2.1 耕地绿色利用效率分析 从总体变化看，2007—2020 年黄河下游地区耕地绿色利用效率整体表现为上升趋势，在 2020 年末达到最高水平，但是仍未达到最优状态。如图 2 所示，2008—2009 黄河下游地区耕地绿色利用效率呈下降趋势，可能是 2008 年雪灾的发生导致既定的投入要素未能充分利用，直接表现为期望产出下降，效率降低。2009—2014 年期间处于缓慢上升阶段，可能是由于自 2006 年取消农业税之后，又相继逐年加强农资综合补贴投入和农机购置补贴投入，促使其期望产出增加。2014—2019 年开始则呈现出波动变化，说明虽然加大农用物资投入使粮食产量增加、碳吸收量随之增加，但同时过高的农药、农膜等化学物资以及过高密度的机械化投入，不仅不能充分利用，反而会带来严重面源污染与碳排放量的增加，最终导致耕地绿色利用效率表现为不稳定态势。在《中华人民共和国耕地占用税法实施办法》、环境保护等国家各种政策的推动下，2020 年黄河下游耕地绿色利用效率有了较大幅度的提升。

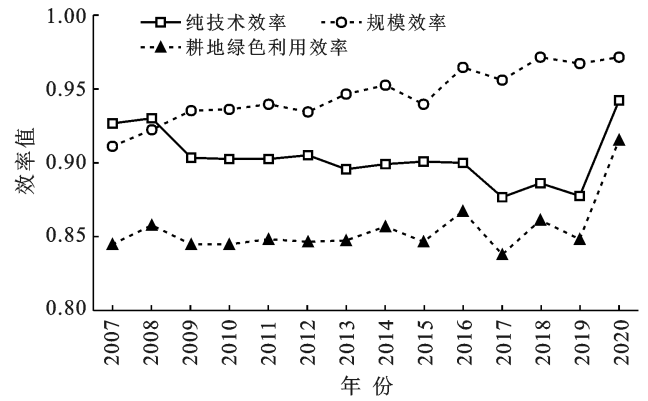


图 2 2007—2020 年黄河下游地区耕地绿色利用效率及其分解

Fig.2 Green utilization efficiency of cultivated land and its decomposition in the lower Yellow River from 2007 to 2020

3.2.2 耕地绿色利用效率分解 从绿色利用效率的分解看，2007—2020 年规模效率总体上高于纯技术效率，说明黄河下游地区耕地绿色利用效率提升的主要动力源于规模效率，阻力主要来自纯技术效率。具体来看，规模效率从 2007 年的 0.912 提高到 2020 年的 0.972，提高了 6.6%，成为了黄河下游耕地绿色利用效率的主要推动力量。与此同时，纯技术效率从 2007 年的 0.927 下降到 2019 年的 0.877，下降了 5.4%。2020 年纯技术效率回转上升可能是因为黄河下游地区耕地利用过程中长期靠生产要素的大规模投入来提高期望产出，持续性化肥、农药和机械化投入产生了严重的资源冗余和环境污染，致使耕地肥沃程度不断下降。虽然当时颁布了降低农药、农膜等使用量的相关政策，但这些政策实施的效果均具有时间滞后性，各地区为短时间内持续保持粮食产量，依旧会维持既有的资源投入模式，致使出现大量的资源冗余和“初步污染—稳产量—再污染”的不良局面。黄河下游现阶段耕地利用的综合管理水平不足以提高这些资源利用率，导致纯技术效率呈现相对下降状态。由此可见，黄河下游地区耕地绿色利用效率的发展主要依靠扩大耕地规模，利用规模经济效应，而综合管理水平相对偏低在一定程度上抑制了耕地绿色利用效率的提升。因此，黄河下游地区要想从根本上提高耕地绿色利用效率，关键是要提高耕地绿色利用的纯技术效率，推进耕地综合管理水平的提升。

3.3 黄河下游耕地绿色利用效率空间特征分析

将黄河下游各地市耕地绿色利用效率分为高效率(0.9~1.0)，较高效率(0.8~0.9)，中等效率(0.7~0.8)与低效率(0.0~0.7)4 个等级，并利用 ArcGIS 10.5 对效率值进行可视化(图 3)。

黄河下游各地市耕地绿色利用效率存在空间非

均衡性。2007 年黄河下游地区耕地绿色利用效率处于高效率水平的地市集中分布在豫南以及鲁北地区。2013 年,豫北的焦作和新乡也上升为高效率地区,但滨州、南阳和枣庄等地的效率值均有所下降。2020 年,滨州、枣庄和南阳市恢复高效率,开封、商丘和濮阳市也上升为高效率,黄河下游各地市耕地绿色利用

效率多大于 0.8,空间非均衡性有所缓解。值得注意的是,从 2007—2020 年期间,郑州、烟台、威海等地市的效率值一直偏低,可见这些地市在追求经济发展的同时,会加大对化肥、农药以及机械的使用,这会产生较多碳排放与耕地面源污染,最终表现为耕地绿色利用效率处于低水平状态。

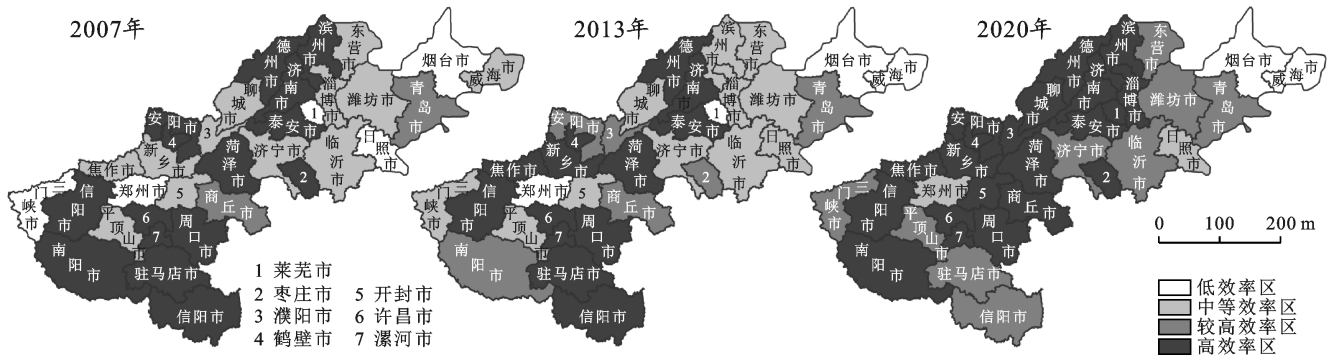


图 3 2007—2020 年黄河下游地区耕地绿色利用效率的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River from 2007 to 2020

3.4 黄河下游耕地绿色利用效率收敛性分析

通过上文分析发现,黄河下游各地市耕地绿色利用效率存在显著差异,为探究这种差异是否存在某种具体的演变趋势,本文运用收敛模型探索黄河下游各地市耕地绿色利用效率差异的演变规律。其中, σ 收敛主要测算离散程度,绝对 β 收敛主要侧重于比较不同地区间是否存在“追赶效应”,而条件 β 收敛主要针对不同地区差异化特征而言,着重分析是否收敛于各自的稳定水平。

3.4.1 σ 收敛检验 黄河下游整体、山东省以及河南省耕地绿色利用效率值的 σ 指数整体均表现为下降趋势,这表明黄河下游地区耕地绿色利用效率存在 σ 收敛(图 4)。具体来看,山东省的 σ 指数呈“下降—上升—下降”趋势,整体表现为下降,表明山东省各地市耕地绿色利用效率的差距随着时间的推移在不断减小,但其 σ 指数整体偏大,均值为 0.153,说明山东省各地市之间的耕地绿色利用效率差异仍然较大。与之不同,河南省的 σ 指数经历“下降—振荡—下降”的变化,均值为 0.121,明显低于山东省,表明河南省各地市耕地绿色利用效率虽存在差距,但其差距明显低于山东省。

3.4.2 绝对 β 收敛检验 表 2 检验结果显示,黄河下游整体、河南省与山东省的绝对 β 收敛回归系数均为负,且分别在 1%,5%和 1%的水平上显著,即黄河下游、河南省与山东省的耕地绿色利用效率存在绝对 β 收敛,说明黄河下游整体、河南省和山东省耕地绿色利用低效率地市存在追赶高效率地市的趋势。但各

区域的收敛速度、收敛周期均有所不同,山东省的收敛速度高于黄河下游整体水平、收敛周期小于黄河下游水平,而河南省的收敛速度则相对较低、收敛周期也相对较长。

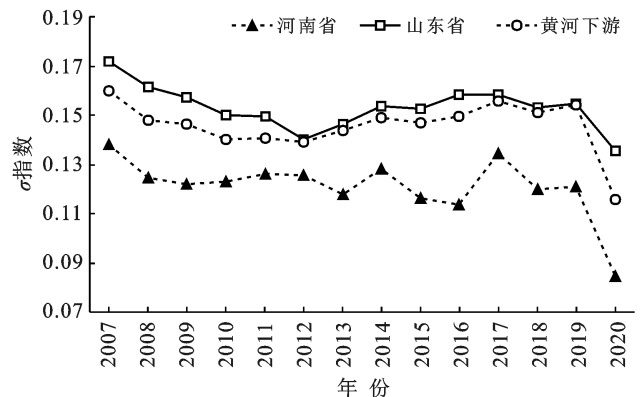


图 4 2007—2020 年黄河下游区域耕地绿色利用效率 σ 的收敛趋势

Fig.4 Trend of σ convergence of green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River from 2007 to 2020

3.4.3 条件 β 收敛检验 黄河下游耕地绿色利用效率存在绝对 β 收敛,但不能由此推出黄河下游地区是否存在条件 β 收敛,因此本文对黄河下游各地市间的耕地绿色利用效率值进行条件 β 收敛检验,进一步深入分析其效率变动的潜在规律,检验结果见表 3。

表 3 结果显示,2007—2020 年黄河下游区域整体、河南省以及山东省耕地绿色利用效率的回归系数

均小于 1,且在 1%的水平上显著,说明黄河下游各地市之间耕地绿色利用效率存在显著条件 β 收敛,即黄河下游地区各地市耕地绿色利用效率在各自的稳态水平处收敛。

表 2 2007—2020 年黄河下游耕地绿色利用效率绝对 β 收敛分析结果

Table 2 Absolute β convergence analysis for green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River from 2007 to 2020

项目	黄河下游	河南省	山东省
β_1	-0.001 9*** (-3.11)	-0.001 1** (-1.02)	-0.003 1*** (-4.53)
_cons	0.002 7** (2.40)	0.003 5* (1.81)	0.001 8* (1.58)
N	442	221	221
R ²	0.021 6	0.004 8	0.085 7

注:①括号内为标准误;②***,**, * 分别表示在 1%,5%,10%的水平上显著。下同。

表 3 2007—2020 年黄河下游区域耕地绿色利用效率条件 β 收敛分析结果

Table 3 Results of conditional β convergence analysis for green utilization efficiency of cultivated land in the lower Yellow River from 2007 to 2020

项目	黄河下游	河南省	山东省
β	0.515*** (5.14)	0.521*** (3.59)	0.514*** (3.49)
Constant	-0.066 5*** (-3.46)	-0.046* (-2.06)	-0.086** (-2.81)
Observations	442	221	221
Number of id	34	17	17
R-squared	0.334	0.355	0.393
个体固定效应	YES	YES	YES
时间固定效应	YES	YES	YES

注:括号内为 t 统计量。

3.5 黄河下游耕地绿色利用效率影响因素分析

为了进一步识别黄河下游耕地绿色利用效率的各种影响因素,采用面板 Tobit 模型分析了农作物种

植结构、经济发展水平、城乡收入差距、政府财政支农、耕地的机械投入强度等因素的影响,分析结果详见表 4。

表 4 黄河下游耕地绿色利用效率影响因素的面板 Tobit 回归

Table 4 Panel Tobit regression of influencing factors of green use efficiency of cultivated land in the lower Yellow River

项目	黄河下游	河南省	山东省
农作物种植结构	0.005 2*** (5.15)	0.016 6*** (3.80)	0.003 9*** (4.57)
经济发展水平	-0.010 7*** (-3.63)	-0.106 9* (-1.41)	-0.087 2*** (-3.42)
城乡收入差距	-0.084 3*** (-3.2)	-0.109 7(-1.53)	-0.044 5* (-1.67)
政府财政支农	0.002 1* (1.78)	0.003 8(0.17)	0.001 6(0.56)
耕地机械投入强度	-0.014 7*** (-5.20)	-0.021 1*** (-3.60)	-0.010 6*** (-3.51)
_cons	0.977 8*** (8.05)	0.387 3(1.01)	0.918 2*** (8.04)
sigma_u	0.151 0*** (7.04)	0.156 3*** (4.92)	0.145 8*** (5.05)
sigma_e	0.080 5*** (21.09)	0.104 6*** (12.64)	0.062 4*** (17.09)
N	476	238	238
Rho	0.778 7	0.690 7	0.845

(1) 农作物种植结构。提高粮食作物播种面积比重对黄河下游及各省份耕地绿色利用效率的提升具有促进作用,且促进作用均在 1%的水平下显著,与王良健等研究结果一致^[27]。究其原因,可能是粮食作物播种面积比重的提升有利于推进农业现代化发展^[28],提高化肥、农药等生产要素的利用效率,降低耗损,进而促进耕地绿色利用效率的提升。此外,部分粮食作物的固碳增汇能力较强,增加了总碳汇量。因此,扩大粮食种植比重,促进耕地的规模化经

营,有利于提升耕地绿色利用效率。

(2) 经济发展水平。人均 GDP 提高对黄河下游及各省份耕地绿色利用效率提升起到抑制作用,与罗冲等^[29]研究结果一致。这可能是源于过度追逐经济利益而忽视生态效益的增长方式,一方面导致耕地总量下降,另一方面会带来严重的面源污染,导致耕地质量下降,降低了耕地的绿色利用效率。基于此,一方面要严格实施耕地占用税法,并提高农户种植粮食作物的福利保障,以保证耕地总量。另一方面要在经

济发展水平提高的同时,尽可能地注重保护耕地质量,提高耕地绿色利用效率。

(3) 城乡收入差距。城乡收入差距扩大对黄河下游及山东省耕地绿色利用效率提升起到抑制作用。城乡收入差距的扩大,会使低收入农户更注重提高自身收益,进而忽视资源过度消耗对耕地环境产生的负面影响,与曾龙等^[30]研究结果一致。因此,加快乡村振兴战略实施、减小城乡差距是提高黄河下游耕地绿色利用效率的重要举措。

(4) 政府财政支农。加强财政支农力度对黄河下游耕地绿色利用效率提升起促进作用,且通过了显著性检验,与姜晗等^[6]研究结果一致。可能原因是,通过加大农村、农民补贴,推动了农业生产条件升级,同时支农支出中针对耕地环境治理的投资,提高耕地生态质量,进而提高了耕地绿色利用效率。

(5) 耕地机械投入强度。耕地机械投入强度的增加对耕地绿色利用效率提升起抑制作用,原因可能在于过多的农机投入,虽可节约劳动成本,提高农户收入,但也会使柴油等石化资源过量投入产生耕地环境污染,进而抑制耕地绿色利用效率提升。

4 结论与政策建议

4.1 结论

当前对耕地绿色利用效率的测算研究中考虑了耕地生产中的碳排放效应,但忽视了耕地的碳汇功能。基于“双碳”目标,将碳汇、碳排放与耕地面源污染同时纳入指标体系,测算分析了 2007—2020 年黄河下游 34 个地市耕地绿色利用效率,使得测算结果更加符合实践。

(1) 从总体变化看,2007—2020 年黄河下游地区耕地绿色利用效率整体表现为上升趋势,但 2020 年末仍未达到最优的状态。从效率分解来看,规模效率总体上高于纯技术效率,黄河下游地区耕地绿色利用效率提升的主要动力源于规模效率,阻力来自纯技术效率。黄河下游地区要想进一步提高耕地绿色利用效率,关键还是要提高纯技术效率,推进耕地综合管理水平的提升。

(2) 从空间差异看,黄河下游地区耕地绿色利用效率存在空间非均衡性,耕地绿色利用高效率地市数量增加,低效率地市趋于减少。其中,豫南区域以及鲁北区域整体的耕地绿色利用效率一直处于较高效率水平,而郑州、烟台、威海等地市的效率值处于偏低状态。

(3) 从收敛性看,黄河下游地区耕地绿色利用效率均存 σ 收敛、绝对 β 收敛和条件 β 收敛,且低效率

地市存在追赶高效率地市的趋势,各地市耕地绿色利用效率差距会随着时间的推移而逐渐缩小,并在各自的稳态水平处收敛。此外,河南省耕地绿色利用效率的地市差距明显低于山东省,但山东省的收敛速度较快,收敛周期较短。

(4) 从影响因素看,农作物种植结构与政府财政支农对黄河下游地区耕地绿色利用效率起促进作用,而城乡收入差距、经济发展水平和耕地机械投入强度起抑制作用。

4.2 政策建议

(1) 培育低碳农业发展意识,提高耕地绿色利用的综合管理水平。随着黄河下游耕地绿色利用规模效率提升,粮食产量和总碳汇虽然有了较大幅度的提升,但农药、化肥、柴油等要素过度投入,部分抵消了耕地绿色利用的产出增长。为此应普及低碳农业知识,减少农药、柴油等要素的不合理使用,探索低碳耕地利用效率,转换以“化学”促农业的发展模式,提高耕地绿色利用的综合管理水平,进而促进黄河下游耕地利用“绿色化”“低碳化”发展。

(2) 加强地市间耕地绿色利用技术与先进管理理念方面的沟通与交流,努力创建高、低效率地市之间的联动机制,以实现各地市间耕地利用的协调发展。此外,效率较低的郑州、烟台、威海等地市在追求经济高速发展的同时,要注重耕地利用过程中产生的碳排放、面源污染等负外部性效应,提高耕地绿色利用的综合管理水平。

(3) 因地制宜,注重黄河下游各地区耕地绿色利用效率的收敛速度与发展差距之间的协调。河南省各地市耕地绿色利用效率存在的差距明显低于山东省,但河南省的收敛速度较慢,因此,要因地制宜,根据其收敛态势和发展水平分别施策。对于高效率地市,要重点关注耕地绿色利用的协调发展,并充分发挥其示范与带动作用。而低效率地市则应优化耕地利用要素的投入结构,积极引进低碳耕地利用技术,将耕地利用与“碳减排”相结合,在不断缩小黄河下游耕地绿色利用效率市间差距的同时,实现“碳达峰、碳中和”目标。

(4) 根据耕地绿色利用效率各种影响因素的作用机理,有针对性采取地措施。①黄河下游各地市要优化农作物种植结构,提高粮食作物播种比重,提高化肥、农药等生产要素的利用效率,适度增加碳汇量较多的作物种植量,增加碳吸收量,助力实现“双碳”目标。其次,黄河下游各地市政府需加大财政支农力度,提高耕地治理质量与利用效率;②合理控制耕地机械投入强度,避免造成资源浪费与环境污染,同时

加大农业环保机械的研发力度；③在推动经济高速增长的同时要加强黄河下游的生态保护，推进黄河下游地区经济高质量发展。同时要大力推进乡村振兴，不断提高农村居民人均收入增长速度，进而缩小城乡收入差距，推动城乡融合发展，最终提升黄河下游地区耕地绿色利用效率。

[参 考 文 献]

- [1] Han Haibin, Zhang Xiaoyu. Static and dynamic cultivated land use efficiency in China: A minimum distance to strong efficient frontier approach [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 246(10): 1-15.
- [2] Hou Xianhui, Liu Jingming, Zhang Daojun, et al. Impact of urbanization on the eco-efficiency of cultivated land utilization: A case study on the Yangtze River Economic Belt, China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 238(20): 1-9.
- [3] 陶园, 徐静, 任贺靖, 等. 黄河流域农业面源污染时空变化及因素分析[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(4): 257-264.
- [4] 盖兆雪, 孙萍, 张景奇. 环境约束下的粮食主产区耕地利用效率时空演变特征[J]. *经济地理*, 2017, 37(12): 163-171.
- [5] 秦钟, 王璐, 张春霞, 等. 基于 Malmquist 指数法的珠三角耕地生产效率研究[J]. *生态科学*, 2019, 38(6): 125-130.
- [6] 姜晗, 杨皓然, 吴群. 东部沿海经济区耕地利用效率的时空格局分异及影响因素研究[J]. *农业现代化研究*, 2020, 41(2): 321-330.
- [7] 崔宁波, 王欣媛, 于尊. 东北粮食主产区耕地生态效率评价及影响因素分析[J]. *生态经济*, 2021, 37(7): 104-110.
- [8] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率时空格局与演变趋势[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(2): 50-60.
- [9] 黄祥芳. 面源污染视角下江西省耕地利用效率研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(12): 177-183.
- [10] Xie Hualin, Chen Qianru, Wang Wei, et al. Analyzing the green efficiency of arable land use in China [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 133(8): 15-28.
- [11] Lin H C, Hülsbergen K J. A new method for analyzing agricultural land-use efficiency, and its application in organic and conventional farming systems in southern Germany [J]. *European Journal of Agronomy*, 2017, 83(2): 15-27.
- [12] Kühling I, Broll G, Trautz D. Spatio-temporal analysis of agricultural land-use intensity across the Western Siberian grain belt [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 544(3): 271-280.
- [13] 匡兵, 范翔宇, 卢新海. 中国耕地利用绿色转型效率的时空分异特征及其影响因素[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(21): 269-277.
- [14] 孙嘉阳, 张惠中, 张文信, 等. 山东省耕地利用效率时空差异及其影响因素分析[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 52(5): 853-859.
- [15] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率区域差异与空间收敛[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(2): 477-493.
- [16] Tone K, Tsutsui M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA: A third pole of technical efficiency [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 207(3): 1554-1563.
- [17] 王许亮, 王恕立. 服务业能源生产率变迁及收敛性分析: 基于全球 40 个经济体细分行业数据的经验研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(1): 42-59.
- [18] Miller S M, Upadhyay M P. Total factor productivity and the convergence hypothesis [J]. *Journal of Macroeconomics*, 2002, 24(2): 267-286.
- [19] Tobin J. Estimation of relationships for limited dependent variables [J]. *Econometrica*, 1958, 26(1): 24-36.
- [20] 刘蒙罢, 胡贤辉, 文高辉. 环境约束下的洞庭湖平原耕地利用效率动态演变特征分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(4): 108-118.
- [21] 马林燕, 张仁慧, 潘子纯, 等. 中国省际耕地利用生态效率时空格局演变及影响因素分析: 基于 2000—2019 年面板数据[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(3): 74-85.
- [22] 张利国, 鲍丙飞, 潘丹. 鄱阳湖生态经济区粮食生产效率时空演变及环境协调性探究[J]. *经济地理*, 2016, 36(11): 116-123.
- [23] 方永丽, 曾小龙. 中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析[J]. *农业资源与环境学报*, 2021, 38(1): 135-142.
- [24] 柯楠, 卢新海, 匡兵, 等. 碳中和目标下中国耕地绿色低碳利用的区域差异与影响因素[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(8): 67-76.
- [25] 杨果, 陈瑶. 中国农业源碳汇估算及其与农业经济发展的耦合分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(12): 171-176.
- [26] 汪亚琴, 姚顺波, 侯孟阳, 等. 基于地理探测器的中国农业生态效率时空分异及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(11): 4039-4049.
- [27] 王良健, 李辉. 中国耕地利用效率及其影响因素的区域差异: 基于 281 个市的面板数据与随机前沿生产函数方法[J]. *地理研究*, 2014, 33(11): 1995-2004.
- [28] 辛岭, 刘衡, 胡志全. 我国农业农村现代化的区域差异及影响因素分析[J]. *经济纵横*, 2021(12): 101-114.
- [29] 罗冲, 姜博, 张文琦, 等. 东北地区耕地利用效率时空差异及其影响因素分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(10): 38-44.
- [30] 曾龙, 付振奇. 中国城乡收入差距对农业生产率的影响: 基于农村劳动力转移与农村居民收入的双重视角[J]. *江汉论坛*, 2021(11): 15-24.