



耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响

文高辉, 黄丹妮, 谢依林, 胡贤辉

Impact of cultivated land operating scale on the ecological efficiency of farmers' rice production: a case of Changde City

WEN Gaohui, HUANG Danni, XIE Yilin, and HU Xianhui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12357/cjea.20230294>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

水稻优生区农户资本禀赋对其耕地保护决策行为的影响——基于双栏模型的实证研究

Effect of capital endowment on farmers' decision-making in protecting cultivated land in a rice-growing area: An empirical study based on a double-hurdle model

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(6): 959-970

基于随机前沿的灌溉用水效率及影响因素研究——以陕西关中地区小麦为例

Irrigation water efficiency based on stochastic production frontier and influencing factors: An empirical study of wheat in Guanzhong Region, Shaanxi

中国生态农业学报(中英文). 2018, 26(9): 1407-1414

都市休闲农业适度规模经营实现路径研究

Realization path of moderate expansion of management scale of urban leisure agriculture

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(10): 1742-1751

基于空间统计的重庆市水稻生产地理集聚时空演变

Spatiotemporal evolution of rice production geographical agglomeration in Chongqing based on spatial statistics

中国生态农业学报(中英文). 2018, 26(7): 958-970

农户采纳稻虾共作模式意愿的影响因素及其异质性

Influencing factors of farmers' willingness to adopt rice-crayfish co-culture and their heterogeneity

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(10): 1752-1761

环境规制与村规民约对农户绿色生产意愿的影响——以规模养猪户养殖废弃物资源化利用为例

Effect of environmental regulations and village regulations on farmers' green production willingness: Taking the resource use of livestock and poultry waste of large-scale pig farmers as an example

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(12): 1925-1936



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12357/cjea.20230294

文高辉, 黄丹妮, 谢依林, 胡贤辉. 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响——以常德市为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(2): 330–343

WEN G H, HUANG D N, XIE Y L, HU X H. Impact of cultivated land operating scale on the ecological efficiency of farmers' rice production: a case of Changde City[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(2): 330–343

耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响^{*} ——以常德市为例

文高辉^{1,2}, 黄丹妮¹, 谢依林¹, 胡贤辉^{1**}

(1. 湖南师范大学地理科学学院 长沙 410081; 2. 地理空间大数据挖掘与应用湖南省重点实验室 长沙 410081)

摘 要: 提高水稻生产生态效率是协同实现保障粮食产量稳增长与减少粮食生产环境损耗双目标的关键路径, 耕地作为农业生产活动最基本的生产资料之一, 探索耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响对促进农业适度规模化经营和耕地可持续利用具有重要意义。本文基于粮食生产微观主体——农户的视角, 从理论上揭示耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响, 并利用常德市 416 份农户问卷调查数据, 运用随机前沿分析法构建效率测算模型和影响模型进行实证检验。研究表明: 农户耕地规模化水平和水稻生产生态效率均有待提升, 样本农户中较小规模农户数量最多, 占总样本的 94.95%, 较小规模农户仍是农业生产的主力; 农户水稻生产生态效率均值为 0.830, 还存在 0.170 的提升空间。耕地经营规模对农户水稻生产生态效率有显著影响, 二者并非简单线性关系而是呈“倒 U 型”关系, 且拐点所在区间为 1.2~1.4 hm²; 农户水稻生产生态效率还受到户主受教育程度、抚养比、农业收入占比的显著正向影响和户主年龄的显著负向影响。因此, 应在尊重较小规模农户将长期存在这一现实的基础上, 进一步推进耕地适度规模经营并培育新型农户, 以促进水稻生产生态效率提高。

关键词: 水稻生产; 耕地规模经营; 生态效率; 随机前沿模型; 农户

中图分类号: F323.2

Impact of cultivated land operating scale on the ecological efficiency of farmers' rice production: a case of Changde City^{*}

WEN Gaohui^{1,2}, HUANG Danni¹, XIE Yilin¹, HU Xianhui^{1**}

(1. School of Geographical Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2. Hunan Key Laboratory of Geospatial Big Data Mining and Application, Changsha 410081, China)

Abstract: Improving the ecological efficiency of rice production is key to achieving the dual goals of guaranteeing the stable growth of grain production and reducing the environmental loss of cultivated land use. Cultivated land is the basic source of agricultural production. Therefore, exploring the impact of cultivated land operating scale on the ecological efficiency of rice production by farmers is of great importance in promoting moderate-scale agricultural operations and the sustainable utilization of cultivated land. Unlike other studies that have mostly focused on the medium and macro dimensions of cities and provinces, this study was based on the mi-

* 国家自然科学基金项目(41801190)、湖南省教育厅重点项目(22A0066)、湖南省自然科学基金项目(2023JJ30407)、广东省哲学社会科学规划项目(GD21YGL05)和湖南省自然资源科研项目(2022-33)资助

** 通信作者: 胡贤辉, 主要从事土地经济与管理研究。E-mail: hxx66698@hunnu.edu.cn

文高辉, 主要从事土地经济与管理研究。E-mail: wengaothui360101@sina.com

收稿日期: 2023-05-25 接受日期: 2023-09-11

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (41801190), the Key Project of Hunan Provincial Department of Education (22A0066), the Natural Science Foundation of Hunan Province (2023JJ30407), the Philosophy and Social Sciences Planning Project of Guangdong Province (GD21YGL05), and the Natural Resources Research Project of Hunan Province (2022-33).

** Corresponding author, E-mail: hxx66698@hunnu.edu.cn

Received May 25, 2023; accepted Sep. 11, 2023

cro dimension of grain production—farmers' perspectives. Moreover, the conclusions obtained from this study can compensate for the lack in previous studies in terms of targeted exploration on the impact mechanism of cultivated land operating scale on farmers' rice production (ecological) efficiency and the existence of a nonlinear relationship between them. Using data from 416 questionnaire surveys from farmers in Changde City, a random frontier analysis method was used to construct an efficiency calculation model and an impact model to empirically test the relationship between cultivated land operating scale and the farmers' ecological efficiency of rice production. The results were: 1) Farmer scale levels and the rice production ecological efficiency need to be improved. Among the sample farmers, the number of smaller operating scale farmers was the highest, accounting for 94.95% of the total sample, indicating that small-scale farmers remain the main forces of agricultural production. The average farmers' ecological efficiency of rice production was 0.830, with a room for improvement of 0.170. 2) Cultivated land operating scale had a significant impact on the farmers' ecological efficiency of rice production. The ecological efficiency of rice production by farmers tended to increase and then decrease with the expansion of the cultivated land operating scale. Their relationship was non-simple linear but exhibited an "inverted U" with an inflection point located in the range of 1.2–1.4 hm². It is not necessarily true that the larger the cultivated land operating scale, the higher the ecological efficiency of rice production by farmers. The blind expansion of the cultivated land operating scale could lead to a decrease in the farmers' ecological efficiency of rice production. Therefore, it is necessary to promote moderate-scale cultivation of cultivated land. 3) The farmers' ecological efficiency of rice production was also significantly positively affected by the education level of the household head, dependency ratio, and the proportion of agricultural income. It was significantly negatively affected by the age of the household head. The aforementioned information indicates that we must recognize that small-scale farmers will continue to exist for a long time. Based on this, we should further increase plot sizes to promote moderate-scale cultivation of cultivated land and promote cultivated land concentration to reduce the degree of cultivated land fragmentation. Furthermore, the government should not only continuously promote fertilizer reduction and efficiency improvement to accelerate the development of low-carbon agriculture, but also develop new farmers and increase their support to promote the ecological transformation of rice production.

Keywords: Rice production; Cultivated land scale operation; Ecological efficiency; Stochastic frontier model; Peasant household

改革开放后家庭联产承包责任制的实施,促进了中国农业的迅速发展,使粮食安全得到了有效保障,但农业快速发展背后也潜藏着利用效率低下、化肥农药施用过度、农业碳排放过量、耕地“逆生态化”等一系列问题,农业生态可持续发展面临前所未有的挑战。据《中国农业绿色发展报告 2020》显示,2020 年中国农业化肥利用率为 40.2%,农药利用率为 40.6%,与发达国家相比仍有较大差距(欧美国家化肥利用率约为 50%~65%,农药利用率约为 50%~60%)。中国农村统计年鉴数据显示,2020 年中国化肥施用强度为 313.50 kg·hm⁻²,约为国际安全上限 (225 kg·hm⁻²)^[1] 的 1.39 倍,农药施用强度为 7.84 kg·hm⁻²,也超过了国际警戒线 (7 kg·hm⁻²)^[1]。仅纳入产量等指标的生产效率不再适应综合考虑水稻 (*Oryza sativa*) 生产环境成本的现实需要,当前为保证农业产量、减少农业生产环境损耗和实现耕地可持续利用,应着力提高水稻生产生态效率。耕地是农业生产活动的基本生产资料,是农户赖以生存和生产的重要自然资本,耕地经营规模大小直接关系到农户水稻生产产出和效率高低。改革开放初期,中国农村实行的家庭联产承包责任制充分发挥了小农经济的优势,助推了我国农业增产和农户增收,但农户承包地面积普遍偏小,随着城镇化、工业化的快速推进和农业技术的快速发展,较小的耕地经营规

模不利于资源合理配置,限制了农业机械化、专业化水平的提高,使中国农业生产发展进入了瓶颈期^[2]。耕地经营规模作为影响效率的重要因素之一,从农户层面考察耕地经营规模对水稻生产生态效率的影响对于推进农业适度规模化经营以及实现耕地可持续利用具有重要的现实意义。

围绕耕地经营规模与粮食生产效率的关系,学术界开展了较多研究,但尚存在观点分歧。有学者认为耕地经营规模与粮食生产效率为正向关系^[3-4],也有学者认为耕地经营规模与粮食生产效率为负向关系^[5],还有学者指出耕地经营规模与粮食生产效率之间并非简单线性关系而是呈“正 U 型”^[6-7]或“倒 U 型”^[8-9]。尽管观点不一,但耕地经营规模对农户粮食生产效率存在影响已成为学界共识。同时,在全球暖化背景下,碳排放作为粮食生产活动主要环境损耗越来越引起学界重视,有学者提出将碳排放作为非期望产出纳入效率评价体系衍生出粮食生产生态效率^[10-11]。粮食生产生态效率又称粮食生产环境效率,反映现有产出和投入不变情况下“非期望产出”的降低程度^[12],现有研究主要包括粮食生产生态效率的测算及特征^[10,13]、空间异质性分析^[11,14-15]、影响因素^[12,15]等方面。目前对粮食生产生态效率的测算主要采用以数据包络模型 (DEA) 为代表的非参数法^[10-11,14-15]和以随机前沿模型 (SFA) 为代表的参数法^[12-13]这 2

大类方法,其评价单元主要基于市域、省域尺度的研究区域^[13]或全国尺度的研究区域^[10-12,14-15]。一些学者在研究粮食生产生态效率的影响因素时将耕地经营规模纳入其中:田旭等^[12]采用 SFA 模型基于地区尺度开展研究并发现耕地经营规模对粮食生产生态效率有显著正向影响;鲁庆尧等^[15]则采用空间计量模型(SEM),基于省域尺度研究并发现耕地经营规模对粮食生产生态效率有显著负向影响。尽管当前针对耕地经营规模与粮食生产生态效率已开展了较多研究,但还存在一些不足之处:1)许多学者在研究粮食生产(生态)效率的影响因素时,发现耕地经营规模对其有显著影响,但现阶段少有学者专门针对这一点进行深入探讨,在将耕地经营规模作为粮食生产生态效率影响因素之一考察时也仅停留在简单线性层面而缺少对二者是否存在非线性关系的进一步研究;2)目前对粮食生产生态效率的测度多基于市域、省域的中宏观尺度,鲜有基于农户微观尺度开展的相关研究;3)目前大多数研究多采用非参数法测算粮食生产生态效率,但无论是传统数据包络分

析(DEA)模型还是其改进后的 SEM 模型都存在着无法排除随机误差的影响、无法同时测算效率及其影响因素的缺点,而 SFA 模型则克服了这些缺点^[13],且对数据的敏感程度较小,适合于分析充满噪声的农户问卷调查数据,故应采用 SFA 模型对农户粮食生产生态效率进行分析。

基于此,本文从粮食生产微观主体——农户视角出发,首先从理论上分析耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响机理,然后利用农户问卷调查数据,采用随机前沿分析模型进行实证分析,以期对耕地可持续利用和农业适度规模化经营提供参考依据。

1 理论分析

农户农业生产决策行为通过影响生产资源的合理利用与配置,影响农业可持续发展^[16]。农户开展水稻生产活动的过程实际上是对各项生产要素进行配置的过程,耕地作为最重要的农业生产要素之一,其经营规模对农户水稻生产生态效率的影响可以从以下渠道实现(图 1)。

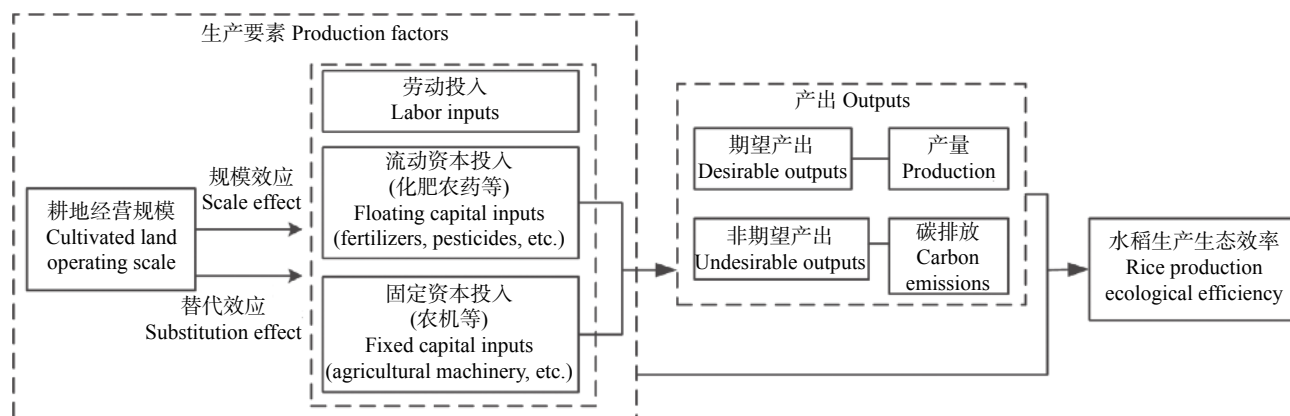


图 1 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响机理

Fig. 1 Influence mechanism of cultivated land operating scale on farmers' rice production ecological efficiency

1.1 规模效应

传统规模经济理论指出随着规模扩大,规模报酬会依次经历递增、不变和递减 3 个阶段^[17],在达到临界点前规模扩大将降低单位成本即处于规模经济阶段^[18],农业经营同样存在规模经济的问题。1)分工专业化所产生的规模效应。专业化分工可以优化生产经营方式,提高单位成本所带来的产出。随着耕地经营规模的扩大,农户可以对资金投入能力与资源的配置效率等进行全面考虑以更加合理地配置各项生产要素^[19],更可能在单位面积耕地上使用更少的农药化肥等农用化学品,降低水稻生产碳排放强度,促进水稻生产生态效率提高。但当耕地经营规

模过大时,又有可能导致耕地生产的组织成本和监督成本等增加,易造成耕地管理的疏忽^[8-9],从而导致单位面积耕地农药和化肥等农用化学品过量投入或者粮食产量降低,阻碍水稻生产生态效率提高。2)生产要素的不可分性所产生的规模效应。对劳动投入而言,目前农户耕地经营规模较小导致家庭劳动力没有得到充分利用,农业劳动生产率过低,耕地经营规模的适度扩大有利于家庭劳动力的高效利用^[20],进而提高水稻生产生态效率。相对流动资本,固定资本投入的不可分性突出。一般来说,在其生产能力允许的范围内,随着农业经营规模的扩大,不可分性要素(如耕牛、农机等)才能得到有效充分的利用,

分配在单位产出的成本才会更低^[21], 减少因应用不充分而带来的非必要碳排放, 并间接推动化肥农药减量化^[22], 促进水稻生产生态效率的提高。

1.2 替代效应

根据微观经济学生产理论, 要素自身的价格和其他要素的价格会共同影响人们对某种生产要素的需求, 要素间存在着“替代效应”^[23]。水稻生产过程中, 农业生产要素之间的替代效应会受到耕地经营规模的影响。1) 耕地经营规模会影响化肥农药等要素对土地的替代效应。一方面, 当农户耕地经营规模过小时, 农户从耕地中获取的经济效益有限, 其生产模式基本为自给自足, 生产目标大多是满足家庭内部成员粮食需求, 基于对自身身体健康以及食品安全的考虑, 部分农户可能会自觉减施化肥农药^[24]; 另一方面, 耕地经营规模过小的农户大多处于兼业状态, 对农业的依赖程度小, 对新型且环保的施肥施药技术知之甚少, 生产决策主要取决于传统经验, 一般认为投入生产要素越多, 其产出也会越多, 加之管理耕地精力有限, 小规模农户更有可能发挥化肥农药等生产要素对土地的替代作用, 加大化肥和农药的投入, 增加水稻生产碳排放, 造成水稻生产生态效率偏低^[22,25]。2) 耕地经营规模会影响农业机械、化肥和农药等要素对劳动力的替代效应。农业机械的能源消耗也是水稻生产碳排放的重要来源, 随着耕地经营规模扩大, 机械等生产要素对劳动力的替代效应越来越明显^[9]。小规模农户家庭内部劳动力大多能有效应对农业生产, 而大规模农户大多面临劳动力尤其是农业劳动力短缺的问题, 加之农业劳动力价格较高, 为了减少人力和时间成本, 其会更倾向于加大农业机械投入以及增施相对廉价的化肥和农药来代替劳动力进行生产^[16], 造成水稻生产碳排放强度提高和水稻生产生态效率降低。

综上所述, 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率有重要影响, 但其影响方向尚不明确, 有待进一步实证研究。

2 模型设定、变量说明与数据来源

2.1 模型设定

2.1.1 农户水稻生产生态效率测算模型

1) 基于随机前沿基本理论模型, 借鉴 Korhonen 等^[26] 对非期望产出的处理方法之一, 选择劳动投入、资本投入 (包括流动资本投入和固定资本投入) 和非期望产出作为投入要素, 并取对数。在模型估计前对生产函数形式和模型适用性进行检验, 生产

函数主要有柯布道格拉斯 (Cobb-Douglas) 函数和超越对数 (Translog) 函数两种形式。

Cobb-Douglas 生产函数具体形式为:

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln L_i + \beta_2 \ln K_i + \beta_3 \ln C_i + V_i - U_i \quad (1)$$

式中: Y_i 、 L_i 、 K_i 和 C_i 分别表示年内第 i 个农户水稻生产期望产出、单位播种面积的劳动投入、资本投入和非期望产出 (表 1); β_0 为常数项, β_1 、 β_2 和 β_3 分别表示各投入项对应的待估系数; V_i 和 U_i 相互独立, V_i 表示随机误差项, 服从正态分布 $N(0, \sigma_v^2)$; U_i 表示技术非效率项, 服从截断正态分布 $N(m_i, \sigma_u^2)$, 其中 m_i 表示第 i 个农户水稻生产非效率程度, 通过计算耕地经营规模对农户水稻生产非效率程度的影响可得其对农户水稻生产生态效率的影响。

将式 (1) 左右两边减去 $\ln C_i$ 可得:

$$\ln \frac{Y_i}{C_i} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_i + \beta_2 \ln K_i + (\beta_3 - 1) \ln C_i + V_i - U_i \quad (2)$$

同理得到超越对数生产函数:

$$\ln \frac{Y_i}{C_i} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_i + \beta_2 \ln K_i + (\beta_3 - 1) \ln C_i + \frac{1}{2} \times \beta_{11} (\ln L_i)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{22} (\ln K_i)^2 + \frac{1}{2} \times \beta_{33} (\ln C_i)^2 + \beta_{12} \ln L_i \ln K_i + \beta_{13} \ln L_i \ln C_i + \beta_{23} \ln K_i \ln C_i + V_i - U_i \quad (3)$$

式中: β_{11} 、 β_{22} 、 β_{33} 、 β_{12} 、 β_{13} 和 β_{23} 分别表示各项对应的待估系数。

2) 每个样本农户水稻生产生态效率计算公式如下:

$$\text{RPEE}_i = \frac{Y_i}{f(L_i, K_i, C_i; \beta_1, \beta_2, \beta_3) \exp(V_i)} = \exp(-U_i) \quad (4)$$

式中: RPEE_i 表示第 i 个农户水稻生产生态效率, 当 $0 < \text{RPEE}_i < 1$ 时, 农户水稻生产生态效率存在效率损失。

2.1.2 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响模型

1) 随机前沿非效率影响因素模型表达式为:

$$m_i = \delta_0 + \delta_1 \text{SCA} + \delta_2 \text{SCA}^2 + \delta_3 \text{age} + \delta_4 \text{edu} + \delta_5 \text{dep} + \delta_6 \text{pro} + \delta_7 \text{fra} + \delta_8 \text{mar} + \varepsilon_i \quad (5)$$

$$m'_i = \delta'_0 + \delta'_1 \text{SCA} + \delta'_2 \text{age} + \delta'_3 \text{edu} + \delta'_4 \text{dep} + \delta'_5 \text{pro} + \delta'_6 \text{fra} + \delta'_7 \text{mar} + \varepsilon'_i \quad (6)$$

式中: m_i 和 m'_i 分别表示纳入耕地经营规模一次项及二次项和只纳入耕地经营规模一次项的第 i 个农户水稻生产非效率程度; δ_0 和 δ'_0 表示常数项; $\delta_1 \sim \delta_8$ 和 $\delta'_1 \sim \delta'_7$ 表示各项影响因素指标的待估系数; ε_i 和 ε'_i 表

表 1 水稻生产生态效率评价指标体系
Table 1 Index system of rice production ecological efficiency evaluation

类别 Type	变量 Variable	符号 Symbol	指标 Index	指标内涵 Indicator connotation
投入 Input	劳动投入 Labor input	L_i	劳动力投入 Labor input ($\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位播种面积水稻生产过程中投入的劳动时间 Labor time input per unit sown area during rice production
	资本投入 Capital input	K_i	固定资本投入 Fixed capital input	单位播种面积水稻生产过程中灌溉所需费用 Cost of irrigation per unit sown area during rice production
			灌溉投入 Irrigation input ($\text{¥}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位播种面积水稻生产过程中自用和租赁农用运输车、插秧机、耕田机、收割机等农机的费用 Cost of personal or rental farm-transporters, transplanters, cultivators, harvesters and other agricultural machineries per unit sown area during rice production
			农机投入 Agricultural machinery input ($\text{¥}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位播种面积水稻生产过程中购买氮肥、磷肥、钾肥、复合肥等化肥的费用 Cost of purchasing nitrogen fertilizers, phosphate fertilizers, potassium fertilizers, compound fertilizers and other fertilizers per unit sown area during rice production
		流动资本投入 Floating capital input	化肥投入 Fertilizer input ($\text{¥}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位播种面积水稻生产过程中购买农药的费用 Cost of purchasing pesticides per unit sown area during rice production
			农药投入 Pesticide input ($\text{¥}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位播种面积水稻生产过程中购买种子的费用 Cost of purchasing seed per unit sown area during rice production
			种子投入 Seed input ($\text{¥}\cdot\text{hm}^{-2}$)	产量 Production ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
			产量 Production ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	单位播种面积水稻产量 Rice production per unit sown area
			碳排放量 Carbon emission [$\text{kg}(\text{CO}_2\text{eq})\cdot\text{hm}^{-2}$]	单位播种面积碳排放量 Carbon emissions per unit sown area
产出 Output	期望产出 Desirable output	Y_i		
	非期望产出 Undesirable output	C_i		

示随机扰动项。其他符号含义见表 2。

2) 农户水稻生产生态效率的值均大于 0, 属于左截断的受限因变量, 若经检验得到随机前沿模型不适用的结论, 则可采用 Tobit 模型对其进行分析。Tobit 基本模型设定如下:

$$\text{RPEE}_i = \rho_0 + \rho_1 \text{SCA} + \rho_2 \text{age} + \rho_3 \text{edu} + \rho_4 \text{dep} + \rho_5 \text{pro} + \rho_6 \text{fra} + \rho_7 \text{mar} + \mu_i \quad (7)$$

式中: ρ_0 表示常数项; $\rho_1 \sim \rho_7$ 表示各项影响因素指标的待估系数; μ_i 表示随机扰动项。其他符号含义见表 2。

表 2 水稻生产生态效率评价的变量指标及内涵
Table 2 Indexes and connotations of the variables for evaluating rice production ecological efficiency

类别 Type	变量 Variable	符号 Symbol	指标内涵 Indicator connotation
被解释变量 Explained variable	水稻生产生态效率 Rice production ecological efficiency	RPEE_i	经过随机前沿生产函数模型计算得到的农户水稻生产生态效率值 Farmers' rice production ecological efficiency value calculated through a random frontier production function model
核心解释变量 Core explanatory variable	耕地经营规模 Cultivated land operating scale	SCA	2020 年单季稻播种面积 Sown area of single season rice in 2020 (hm^2)
控制变量 Control variable	个人特征 Personal characteristics	age	户主年龄 Age of the head of household
	户主受教育程度 Education level of head of household	edu	小学及以下=1; 初中=2; 高中或中专=3; 大专及以上=4 Primary school or below=1; junior middle school=2; high school or special (or technical) secondary school=3; junior college or above=4
	家庭特征 Family characteristics	dep	2020 年家庭非劳动力数量/家庭劳动力数量 Number of non-agricultural labor force / number of labor force in peasant households in 2020
	农业收入占比 Proportion of agricultural income	pro	2020 年农业纯收入/家庭总收入 Net agricultural income / gross household income of peasant households in 2020
	经营特征 Operating characteristics	fra	地块数量/水稻播种面积 Number of plots / rice sown area ($\text{plots}\cdot\text{hm}^{-2}$)
	耕地细碎化程度 Degree of cultivated land fragmentation		
	集镇距离 Distance to market or town	mar	农户住址与中心镇/集镇的 Distance from the farmer's address to the central town or market town (km)

2.2 变量选择

2.2.1 被解释变量

被解释变量为农户水稻生产生态效率。根据生态效率的基本内涵, 农户水稻生产生态效率应考虑投入和产出两个方面。根据已有研究, 投入方面, 学者们通常将土地投入、劳动力投入、农机投入、化肥和农药投入等列入指标体系^[11-12,14-16], 本研究将其进一步归纳为土地投入、劳动力投入和资本投入, 采用相应指标即农户在水稻生产过程中单位播种面积的劳动投入、固定资本投入和流动资本投入; 产出方面, 水稻生产活动具有生产农产品、增加农业总产值等积极作用, 同时为避免农产品市场价格波动的影响, 本研究将农业产值、粮食产量等^[11-12,14-16]作为主要期望产出指标。此外, 从经济学角度来看, 水稻生产过程中导致的碳排放可以看作是一种产

出^[10], 也被作为主要的环境损耗、非期望产出纳入指标体系^[10-11,14-15], 因此本研究以水稻生产碳排放量为非期望产出。

根据研究区碳排放实际, 确定水稻生产碳源为化肥、农药、翻耕、灌溉、机械和种子6个方面, 考虑测算方法的可行性和可操作性, 结合1991年Grossman和Krueger提出的环境分析公式^[27], 确定水稻生产碳排放的计算公式为:

$$C_i = \sum_{k=1}^6 Q_{ik} \theta_k \quad (8)$$

式中: C_i 表示第*i*个农户水稻生产碳排放总量; Q_{ik} 表示第*i*个农户所用的第*k*类碳源的量; θ_k 表示第*k*类碳源的碳排放系数。水稻生产碳排放系数如表3所示, 其中化肥和水稻种子碳排放参数主要源于中国生命周期数据库 (CLCD) 和生命周期清单数据库 (Ecoinvent 2.2)。

表3 水稻生产碳源的碳排放系数

Table 3 Carbon emission coefficients of different carbon sources from rice production

碳源 Carbon source	排放系数 Emission coefficient	数据来源 Data source
氮肥 Nitrogen fertilizer	2.39 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	CLCD 0.7
磷肥 Phosphate fertilizer	0.66 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	CLCD 0.7
钾肥 Potassium fertilizer	0.57 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	CLCD 0.7
复合肥 Compound fertilizer	1.77 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	CLCD 0.7
农药 Pesticide	4.9341 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	[28]
柴油 Diesel oil	0.5927 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	[29]
翻耕 Ploughing	312.6 kg (CO ₂ eq)·hm ⁻²	[30]
灌溉 Irrigation	14.537 kg (CO ₂ eq)·hm ⁻²	[31]
水稻种子 Rice seed	1.84 kg(CO ₂ eq)·kg ⁻¹	Ecoinvent 2.2

农户单位面积单季稻柴油使用量采用常德市各县(区)单位面积农作物柴油使用量近似值。根据《中国电力统计年鉴》2016—2020年地区统计数据, 计算得到湖南省近年平均火电系数为0.5815。因此, 将灌溉实际碳排放系数[Dubey研究值25 kg(CO₂eq)·hm⁻² [31]与火电系数的乘积]修正为14.537 kg(CO₂eq)·kg⁻¹。In the present study, diesel consumption per unit area of single season rice is represented by an approximate value of the diesel consumption per unit area of each county (district) in Changde City. According to the regional statistical data from “China Electricity Statistical Yearbook” from 2016 to 2020, the average thermal power coefficient in Hunan Province in recent years has been calculated to be 0.5815. Therefore, the actual carbon emission coefficient for irrigation, the product of value of 25 kg(CO₂eq)·hm⁻² from Dubey’s research and thermal power coefficient, has been revised to 14.537 kg(CO₂eq)·kg⁻¹.

2.2.2 解释变量

解释变量为耕地经营规模。目前界定耕地经营规模主要采用实际耕地面积^[32]、农作物播种面积^[12,33]、家庭人均耕地面积^[15,34]等指标。农户实际农作物播种面积反映了农户在水稻生产过程中实际投入劳动、资本等要素进行生产的耕地面积, 直接影响到农户水稻生产产出, 本文针对耕地经营规模对水稻生产生态效率的影响展开研究, 选取农户实际农作物播种面积为耕地经营规模指标更为客观准确。通过理论分析可知, 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率有重要影响, 但影响方向尚不明确, 耕地经营规模与农户水稻生产生态效率可能并非简单线性关系, 因此引入二次项来研究耕地经营规模与水稻生产生态效率是否存在非线性关系。

2.2.3 控制变量

除耕地经营规模外, 农户水稻生产生态效率还受一些内外部因素的影响, 根据上文分析以及前人研究成果^[24,35], 从农户个人特征、家庭特征和经营特征3个方面选取指标作为控制变量(表2)。

2.3 数据来源

数据源于2020年11月份课题组在湖南省常德市开展的农户问卷调查。综合考虑地理区位、区域经济发展水平、农业生产经营情况等因素, 选取常德市鼎城区、桃源县、汉寿县、安乡县和临澧县5个农产品主产区为调查区域。采取分层随机抽样的调查方式, 根据距离县城的远近, 每个县(区)选取2个镇(街道); 根据距离中心镇的远近, 每个镇(街道)选取4个行政村; 每个行政村随机抽样调查

约 15 户农户, 共计抽查 10 个镇(街道) 40 个行政村。调查采取面对面访谈形式, 调查对象均为常年从事农业生产的户主或家庭其他农业劳动力, 共获得 623 份农户问卷, 剔除部分无效问卷后共获得 600 份有效问卷, 有效率为 96.3%。考虑到 2020 年上半年常德市大部分地区经历了长期的极端雨水天气, 早稻大量减产, 而单季稻和晚稻生产未受影响, 为保证研究结果的合理性和可靠性, 文章仅利用稻农单季稻数据进行计量实证分析, 剔除个别极端异常数据问卷后, 最终以 416 份单季稻种植户调查数据作为研究样本。

样本农户特征如表 4 所示: 1) 从农户户主特征来看, 样本农户户主年龄普遍偏大, 平均年龄达到 61.72 岁, 60 岁以上的户主最多, 有 239 户, 占比 57.45%; 样本农户户主受教育程度多为小学及以下, 占比 59.13%; 仅有 36 户样本农户的户主担任过村干部, 占比 8.65%。2) 从家庭特征来看, 样本农户家庭劳动力数量平均不足 4 人, 拥有 3~4 个劳动力的农户家庭最多, 有 269 户, 占比 64.67%; 样本农户家庭农业纯收入平均为 13 759.86 元, 家庭农业纯收入少于 10 000 元的农户最多, 有 306 户, 占比 73.55%; 样本农户多为 II 兼农户, 占比 96.15%, 兼业现象普遍。

表 4 常德市受访农户基本特征
Table 4 Basic characteristics of interviewed farmers in Changde City

个人特征 Personal characteristic	类别 Type	频数 Frequency (households)	比例 Ratio (%)	家庭特征 Family characteristic	类别 Type	频数 Frequency (households)	比例 Ratio (%)
年龄 Age	≤50	74	17.79	家庭劳动力数量 Number of household labor	≤2	92	22.12
	51~60	103	24.76		3~4	269	64.67
	>60	239	57.45		≥5	55	13.22
受教育程度 Education level	小学及以下 Primary school and below	246	59.13	家庭农业纯收入 Household agricultural income (¥)	≤5000	140	33.65
	初中 Junior top school	131	31.49		5001~10 000	166	39.90
	高中或中专 High school or special (or technical) secondary school	33	7.93		>10 000	110	26.44
	大专及以上 Junior college or above	6	1.44	兼业情况 Concurrent employment	纯农户 Pure farmer	1	0.24
社会身份 Social identity	当过村干部 Served as a village official	36	8.65		I 兼农户 One-part-time farmer	15	3.61
	没有当过村干部 Never served as a village official	380	91.35		II 兼农户 Two-part-time farmer	400	96.15

I 兼农户和 II 兼农户分别表示从事农业的同时从事 1 种非农业活动和 2 种非农业活动的农户。One- and two-part-time farmers refer to farmers who are engaged in one and two non-agricultural activities, respectively, at the same time.

3 实证结果及分析

3.1 耕地经营规模与农户水稻生产生态效率关系

在不加入非效率项对总样本农户水稻生产生态效率进行估计前, 利用 Frontier 4.1 对生产函数和随机前沿模型进行检验, 结果显示总样本农户水稻生产生态效率适用随机前沿模型且应采用 Cobb-Douglas (C-D) 生产函数形式。估计结果如表 5 所示, 模型估计结果良好, γ 值为 0.956, 且在 $P<0.01$ 水平显著, 说明随机扰动项的变异有 95.6% 来源于非效率项, 4.4% 来源于随机干扰项。

不考虑影响因素的情况下, 从总体上来看样本农户水稻生产生态效率有较大提升空间(表 5), 均值为 0.830, 在现有状态和投入产出不变的情况下, 若消除非效率项则有 0.170 的提升空间。农户间水稻生产生态效率差别较大, 最小值为 0.218, 最大值为 0.980。

表 5 总样本农户水稻生产生态效率(不加入技术非效率项)

Table 5 Rice production ecological efficiency for overall sample farmers (without technical inefficiency)

变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 Standard error	T 值 T value
Constant	9.034***	0.247	36.579
lnL	-0.065***	0.016	-3.943
lnK	0.004	0.024	0.172
lnC	-0.962***	0.020	-48.021
σ^2	0.326***	0.061	5.312
γ	0.956***	0.013	75.665
模型对数似然函数值 Log likelihood function value		56.652	
单边似然比检验统计量 LR test		87.941	
最大值 Maximum value		0.980	
最小值 Minimum value		0.218	
平均值 Mean value		0.830	

表示 $P<0.01$ 。L、K 和 C 的含义见表 1。 represents significant effects at $P<1\%$ level. Meanings of L, K and C can be seen in Table 1.

水稻生产生态效率为0.8~0.9的农户最多,占比43.03%;其次是0.9以上,占比29.57%(图2)。

采用线性回归法对耕地经营规模与农户水稻生产生态效率进行拟合(图3)发现,在不考虑影响因素的情况下,农户水稻生产生态效率随耕地经营规模扩大有提高趋势,即耕地经营规模与农户水稻生产生态效率呈正相关关系。但线性回归的 R^2 并不理想,进一步采用二次回归、三次回归、对数回归、倒数回归、Logistic回归等模型进行曲线拟合估计,发现二次回归的拟合优度最佳。二次回归结果显示,农户水稻生产生态效率与耕地经营规模可能并非是简单线性关系而是呈“倒U型”关系,在1.2~1.4 hm^2 的区间可能存在使农户水稻生产生态效率由增到减的耕地经营规模“拐点”。通过计算,0~1.2 hm^2 区间农户水稻生产生态效率均值为0.828,1.2~1.4 hm^2 区间农户水稻生产生态效率均值为0.875,>1.4 hm^2 区

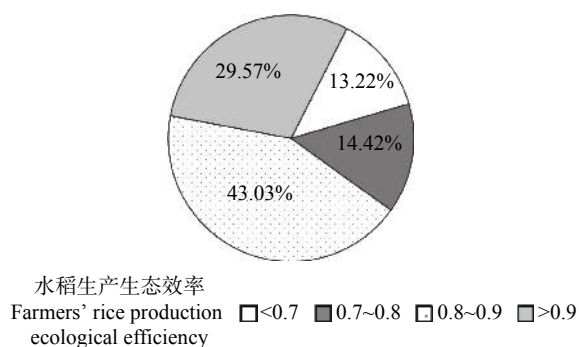


图2 总样本农户水稻生产生态效率占比分布图

Fig. 2 Distribution of proportions of rice production ecological efficiency for overall sample farmers

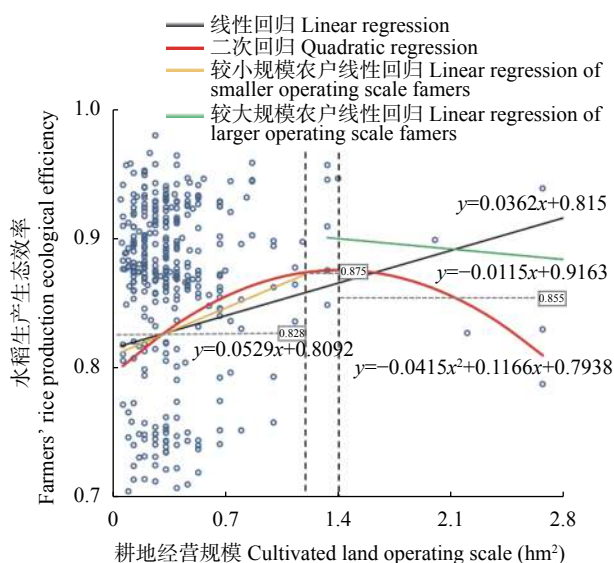


图3 耕地经营规模与农户水稻生产生态效率的关系

Fig. 3 Relationship between cultivated land operating scale and farmers' rice production ecological efficiency

间农户水稻生产生态效率均值为0.855,进一步验证了农户水稻生产生态效率在1.2~1.4 hm^2 区间内达到最高。因此,以1.3 hm^2 为分界点对样本农户进行划分并分别进行线性回归,对比拟合线走向可以发现,0~1.3 hm^2 区间内耕地经营规模与农户水稻生产生态效率呈正相关关系,而>1.3 hm^2 区间内则为负相关关系,说明二次回归结果可信,耕地经营规模与农户水稻生产生态效率为“倒U型”关系。为验证考虑其他影响因素的情况下此结论是否依然成立,下一步将耕地经营规模及其二次项纳入农户水稻生产生态效率影响因素估计模型中。

3.2 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响

3.2.1 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率影响的总样本分析

根据上文的理论分析和指标选取,借助Frontier 4.1对加入非效率项的C-D生产函数随机前沿模型进行极大似然估计,分析耕地经营规模对总样本农户水稻生产生态效率的影响,模型1纳入核心解释变量耕地经营规模的一次项和二次项,模型2纳入控制变量,模型3纳入全部影响因素变量,结果如表6所示。模型总体估计良好, γ 值依次为0.973、0.965和0.955,均通过1%显著性水平检验,说明误差项中的变异主要来自技术非效率项。对比模型1、模型2和模型3可知,解释变量系数正负项未发生改变,控制变量的选取对核心变量的回归结果没有明显影响,模型稳健性较好。耕地经营规模的一次项对水稻生产生态效率有显著的正向影响,而其二次项对水稻生产生态效率有显著负向影响,两者之间的关系不是简单的线性关系,水稻生产生态效率会随着耕地经营规模扩大而先提高后降低,即呈“倒U型”关系。这说明耕地经营规模适当扩大,有利于农户对各项农业生产要素进行科学配比,同时耕地经营规模扩大,规模效应增强,各生产要素利用率也会随之提高,从而提高农户水稻生产生态效率;而当耕地经营规模过大时,农户可能面临自身能力和耕地经营规模不匹配等问题,对耕地疏于管理,从而增加了耕地的经营管理成本,产生了规模不经济,造成水稻生产生态效率降低。

控制变量中,个人特征、家庭特征和经营特征对农户水稻生产生态效率均有显著影响:1)户主年龄对农户水稻生产生态效率有显著负向影响,年龄较大的农户农业生产观念可能较为守旧,且随着身体素质的下降,为了保证农业产量,更倾向于增加化肥农药等的投入,从而阻碍水稻生产生态效率提高;

表 6 耕地经营规模对总样本农户水稻生产生态效率的影响估计结果(加入技术非效率项)

Table 6 Estimated results of the impact of cultivated land operating scales on rice production ecological efficiency for all sample farmers (with technical inefficiency)

变量 Variable	模型1 Model 1			模型2 Model 2			模型3 Model 3		
	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value
常数项 Constant	-1.729	1.349	-1.28	-2.240*	1.314	-1.705	-0.843	0.710	-1.186
SCA	-2.199***	0.164	-13.37				-1.268***	0.490	-2.588
SCA ²	0.276***	0.025	11.18				0.169**	0.063	2.682
age				0.026**	0.013	1.988	0.014*	0.008	1.828
edu				-0.351**	0.161	-2.185	-0.241**	0.101	-2.386
dep				-0.422**	0.212	-1.989	-0.253*	0.134	-1.885
pro				-3.930**	2.000	-1.965	-2.132***	0.725	-2.941
fra				0.017**	0.009	1.876	0.005	0.007	0.699
mar				0.006	0.012	0.528	0.008	0.012	0.683
σ^2	0.568**	0.272	2.09	0.438**	0.182	2.403	0.312***	0.076	4.112
γ	0.973***	0.016	60.13	0.965***	0.015	63.855	0.955***	0.014	68.958
模型对数似然函数值 Log likelihood function value		65.024			68.636			70.745	
单边似然比检验统计量 LR test		104.684			111.908			116.126	

*, **和***分别表示 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。各符号含义见表2。在随机前沿非效率影响因素模型中,若影响因素变量的估计系数为负数,表示该变量对技术非效率的影响是负向的,对农户水稻生产生态效率的影响是正向的;若影响因素变量的估计系数为正数,表示该变量对技术非效率的影响是正向的,对农户水稻生产生态效率的影响是负向的。*, ** and *** represent significant effects at $P<10\%$, $P<5\%$ and $P<1\%$ levels, respectively. Meaning of the symbols can be seen in Table 2. In the stochastic frontier non-efficiency influencing factor model, if the estimated coefficient of an influencing factor variable is negative, it means that the variable negatively impacts the technical inefficiency and positively impacts the farmers' rice production ecological efficiency. If the estimated coefficient of an influencing factor variable is positive, it means that the variable positively impacts the technical inefficiency and negatively impact the farmers' rice production ecological efficiency.

2) 户主受教育程度对农户水稻生产生态效率有显著正向影响,受教育程度越高的农户对高碳生产的危害认识越深,越有可能进行低碳生产,提高水稻生产生态效率;3) 抚养比对农户水稻生产生态效率有显著正向影响,一方面家庭抚养比大的农户更加注重粮食的绿色健康问题,另一方面其更重视农业收入的长期稳定性问题,更不会过量投入化肥农药等农用化学品;4) 农业收入占比也对农户水稻生产生态效率有显著正向影响,农业收入占比高的农户,其耕地经营规模一般较大,其学习的先进农业生产相关知识可能更多,更加倾向于适度投入化肥农药;5) 耕地细碎化程度负向影响农户水稻生产生态效率,耕地细碎化程度越高,越不利于大型农业机械作业,容易造成效率损失,且其需要更多劳动力资源,而大部分农户存在农业劳动力不足的问题,更可能在水稻生产过程中增施化肥和农药,进而导致水稻生产生态效率降低;6) 集镇距离负向影响农户水稻生产生态效率,农户住址距集镇越近,与外界连接越频繁,对食品安全质量越重视,越有可能减少化肥农药的施用,从而减少水稻生产碳排放,提高水稻生产碳生产率。

3.2.2 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率影响的分组验证

为进一步验证耕地经营规模对农户水稻生产生

态效率的影响,参考已有研究成果^[36-38]并根据上文对二者关系拟合得出,农户水稻生产生态效率发生变化的“拐点”所在区间为1.2~1.4 hm²,结合研究区域实际,以1.333 hm²为划分节点,将样本农户划分为较小规模和较大规模农户2类。具体划分情况如表7所示,416户样本农户中,较小规模农户数量较多,有395户,占比94.95%;较大规模农户仅有21户,占比5.05%。这说明较小规模农户仍是农业生产的主力军,水稻生产规模化水平还有待提高。分别利用Frontier 4.1对较小和较大规模农户的生产函数和随机前沿模型进行检验,结果显示较小规模农户适用随机前沿模型且应采用C-D生产函数形式,较大规模农户不适用但满足回归分析最小样本量要求,应采用Tobit模型。模型1纳入核心解释变量(耕地经营规模),模型2纳入控制变量,模型3纳入全部影响因素变量,结果如表8和表9所示。随机前沿模型 γ 值依次为0.973、0.970、0.955且均通过1%显著性水平检验,说明误差项中的变异主要来自技术非效率项,Tobit模型中显著性卡方检验结果(Prob> χ^2)依次为0.039、0.291、0.035,模型总体估计良好。对比模型1、模型2和模型3可知,解释变量系数正负项未发生改变,控制变量的选取对核心变量的回归结果没有明显影响,模型稳健性较好。

表 7 农户耕地经营规模的划分
Table 7 Division of farmers' cultivated land operating scale

类型 Type	划分标准 Division criteria (hm ²)	频数 Frequency (households)	占比 Proportion (%)
较小规模 Small scale	≤1.333	395	94.95
较大规模 Large scale	>1.333	21	5.05

表 8 耕地经营规模对较小规模农户水稻生产生态效率的影响
Table 8 Impact of cultivated land operating scales on rice production ecological efficiency of small scale farmers

变量 Variable	模型1 Model 1			模型2 Model 2			模型3 Model 3		
	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value
常数项 Constant	-1.427*	0.827	-1.726	-2.669	1.199	-2.226	-0.753	0.823	-0.914
SCA	-3.568**	1.661	-2.148				-1.602***	0.649	-2.469
age				0.028**	0.011	2.520	0.014	0.009	1.624
edu				-0.374***	0.143	-2.619	-0.289**	0.127	-2.279
dep				-0.427**	0.186	-2.299	-0.254*	0.149	-1.709
pro				-4.074**	1.583	-2.574	-2.300**	0.951	-2.418
fra				0.021**	0.009	2.318	0.004	0.007	0.560
mar				0.006	0.013	0.504	0.007	0.013	0.534
σ^2	0.584**	0.241	2.425	0.498***	0.162	3.071	0.344***	0.109	3.163
γ	0.973***	0.011	84.799	0.970***	0.010	92.452	0.955***	0.013	75.097
模型对数似然函数值 Log likelihood function value		55.076			58.459			60.077	
单边似然比检验统计量 LR test		96.778			103.543			106.779	

*、**和***分别表示 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。各符号含义见表2。模型1纳入核心解释变量(耕地经营规模);模型2纳入控制变量;模型3纳入全部影响因素变量。*, ** and *** represent significant effects at $P<10\%$, $P<5\%$ and $P<1\%$ levels, respectively. Meaning of the symbols can be seen in Table 2. Model 1 includes core explaining variable (land operating scale); model 2 includes control variables; model 3 includes all influencing factor variables.

表 9 耕地经营规模对较大规模农户水稻生产生态效率的影响
Table 9 Impact of cultivated land operating scales on rice production ecological efficiency of large scale farmers

变量 Variable	模型1 Model 1			模型2 Model 2			模型3 Model 3		
	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value	估计系数 Estimated coefficient	标准误 Standard error	T值 T value
SCA	-0.011**	0.005	-2.150				-0.015***	0.005	-3.000
age				-0.001	0.002	-0.390	-0.003	0.001	-0.250
edu				0.044	0.026	1.690	0.031**	0.023	1.350
dep				0.051	0.041	1.240	0.037	0.036	1.030
pro				0.050	0.048	1.050	0.117**	0.047	2.510
fra				0.001	0.003	0.330	0.002	0.003	0.580
mar				-0.001	0.002	-0.360	0.000	0.002	0.050
常数项 Constant	0.956***	0.024	40.31	0.787***	0.136	5.780	0.833***	0.118	7.040
显著性卡方检验 Prob>chi ²		0.039			0.291			0.035	

和*分别表示 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 。各符号含义见表2。模型1纳入核心解释变量(耕地经营规模);模型2纳入控制变量;模型3纳入全部影响因素变量。在Tobit模型中,若影响因素变量的估计系数为负数,表示该变量对农户水稻生产生态效率的影响是负向的;若影响因素变量的估计系数为正数,表示该变量对农户水稻生产生态效率的影响是正向的。** and *** represent significant effects at $P<5\%$ and $P<1\%$ levels, respectively. Meaning of the symbols can be seen in Table 2. Model 1 includes core explaining variable (land operating scale); model 2 includes control variables; model 3 includes all influencing factor variables. In the Tobit model, if the estimated coefficient of an influencing factor variable is negative, it means that the variable shows negative impact on the farmers' rice production ecological efficiency. If the estimated coefficient of an influencing factor variable is positive, it means that the variable shows positive impact on the farmers' rice production ecological efficiency.

结果显示: 1) 耕地经营规模对较小规模农户水稻生产生态效率有显著正向影响, 较小规模农户处于规模报酬递增阶段, 耕地经营规模扩大促进生产资源配置的合理化, 也有利于各类生产要素优势的充分发挥, 从而促进水稻生产生态效率提高; 2) 耕地

经营规模对较大规模农户水稻生产生态效率有显著负向影响, 这可能是因为耕地经营规模过大则需要较高管理费用和劳动力成本, 而农户管理水平有限, 超出了其能力范围, 导致粮食产量降低或农用化学品过量投入, 因此当超过合理区间后, 耕地经营规模

扩大不仅不会促进水稻生产生态效率提高,反而会对其产生负作用,说明在推进耕地规模化经营过程中把握合适的“度”非常关键,不能放任耕地经营规模扩张而应走适度规模化之路。适度的耕地经营规模在促进生产要素配置优化、发挥各要素优势的同时,能有效控制在监督管理和雇佣劳动力等方面所需增加的费用或采用资本投入替代不足的劳动力而增加的环境成本,从而实现水稻生产生态效率最佳。根据耕地经营规模对较小和较大规模 2 类农户水稻生产生态效率的结果对比分析可知:耕地经营规模对较小规模农户水稻生产生态效率有显著正向影响,而对较大规模农户水稻生产生态效率有显著负向影响,进一步验证了“耕地经营规模与农户水稻生产生态效率呈‘倒 U 型’关系”的研究结论,与前文曲线拟合和分组线性拟合的结果一致。

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 耕地适度规模经营对水稻生产活动提质增效的重要作用

耕地适度规模经营与粮食生产效率提升一直是学界关注的重点,许多学者对此展开了研究。如孙艳等^[3]提出扩大耕地经营规模能够提升粮食生产效率,冀县卿等^[9]、栾健等^[19]进一步提出在达到“适度点”前扩大耕地经营规模能够提升水稻和小麦 (*Triticum aestivum*) 等粮食作物的生产效率,二者呈“倒 U 型”关系,说明在粮食生产活动中规模与生产效率的正向强关联和“倒 U 型”关系是普遍存在的。近年来资源环境约束的不断趋紧对水稻生产活动提质增效提出了更高要求,碳排放等非期望产出也被纳入

水稻生产效率的评价体系中,提高水稻生产生态效率成为协同实现保障粮食产量稳增长与减少粮食生产环境损耗双目标的关键路径。本文通过实证研究发现耕地经营规模与农户水稻生产生态效率呈“倒 U 型”关系,说明不论是以提高传统生产效率为目标的过去,还是以提高生态效率为目标的今天,耕地适度规模经营始终发挥着重要的促进作用。但由于耕地是农户最基本的生计保障以及许多农户有深厚的“恋土情结”,户均耕地规模过小仍然是中国农业发展的现状^[39],多种耕地经营规模并存的状态会长期持续,仍需就耕地适度规模经营的实现路径展开进一步研究。

4.1.2 地块规模对水稻生产生态效率的影响

本文重点研究了耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响,但现实中农户在不同规模地块上的生产要素投入量也会存在差异,并最终影响水稻生产生态效率。本文对地块规模进行了一定考虑,在控制变量中加入了耕地细碎化指标,结果显示(表 10)样本区域农户耕地细碎化程度(地块数量/播种面积)均值为 11.028 plots·hm⁻²,总体地块规模较小、地块较分散,较小规模农户耕地细碎化程度(12.953 plots·hm⁻²)大于较大规模农户耕地细碎化程度(10.925 plots·hm⁻²),对应较小规模农户水稻生产生态效率(0.828)小于较大规模农户水稻生产生态效率(0.855),说明地块规模对农户水稻生产生态效率存在重要的负向影响。但由于实际调研中难以获得农户在每个地块上具体的生产要素投入量而未能作进一步分析,未来可就农户不同地块规模上的生产要素投入和生态效率展开有益探索。

表 10 样本农户耕地细碎化程度
Table 10 Degree of cultivated land fragmentation for sample farmers

类型 Type	频数 Frequency (households)	耕地细碎化程度 Degree of cultivated land fragmentation (plots·hm ⁻²)	水稻生产生态效率 Rice production ecological efficiency
总体样本 Overall samples	416	11.028	0.830
较小规模农户 Small scale farmers	395	12.953	0.828
较大规模农户 Large scale farmers	21	10.925	0.855

4.2 结论

基于湖南常德市农户微观调查数据,构建随机前沿模型和 Tobit 模型分析了耕地经营规模对农户水稻生产生态效率的影响。分析结果表明:1) 农户耕地经营规模化水平和水稻生产生态效率均有待提升,样本农户中较小规模农户数量最多,占总样本比重为 94.95%,较小规模农户仍是农业生产的主力;农

户水稻生产生态效率均值为 0.830,还存在 0.170 的效率损失。2) 耕地经营规模对农户水稻生产生态效率有显著影响,二者并非简单线性关系而是呈“倒 U 型”关系,且“拐点”所在区间为 1.2~1.4 hm²,耕地经营规模并非越大越好,其盲目扩张反而会使水稻生产生态效率下降,推行耕地适度规模经营十分必要。3) 农户水稻生产生态效率还受到户主受教育程度、

抚养比、农业收入占比的显著正向影响和户主年龄的显著负向影响。

基于以上结论,可得到如下政策启示: 1) 进一步推进适度规模经营,促进耕地集中连片。作为影响水稻生产生态效率的重要因素,耕地经营规模适当扩大有利于水稻生产生态效率的提升,在推行适度规模的同时扩大地块规模,降低耕地细碎化程度,促进耕地集中连片是发展低碳农业的必由之路。2) 持续推进化肥减量增效,加快发展低碳农业。化肥在农业增产中起到了较为重要的作用,但其也是水稻生产碳排放最主要的来源,推进化肥减量增效是发展低碳农业的关键,应当大力推广精准施肥技术和积极倡导农户增施有机肥。3) 培育新型农户,加大惠农助农力度。作为水稻生产的主体,农户异质性特征对水稻生产生态效率具有显著影响,只有推动农户的进步才能真正实现农业可持续发展和农业农村现代化。

参考文献 References

- [1] 张谋贵. 三种主粮生产中化肥、农药的经济用量探析[J]. *江淮论坛*, 2019(3): 10-15
ZHANG M G. Analysis on the economic consumption of chemical fertilizer and pesticide in the production of three staple foods[J]. *Jianghuai Tribune*, 2019(3): 10-15
- [2] 许秀文. 新型城镇化进程中城乡社保制度统筹发展的困境及对策[J]. *农业经济*, 2021(2): 111-113
XU X W. Predicaments and countermeasures of coordinated development of urban and rural social security system in the process of new urbanization[J]. *Agricultural Economy*, 2021(2): 111-113
- [3] 孙艳, 石志恒, 孙鹏飞. 规模经营能否提高种植大户的经营效率——以甘肃玉米种植大户为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(3): 78-84
SUN Y, SHI Z H, SUN P F. Can scale management improve the management efficiency of large-scale corn planter — A case study of large-scale corn planters in Gansu[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(3): 78-84
- [4] 沈雪, 张俊飏, 张露, 等. 基于农户经营规模的水稻生产技术效率测度及影响因素分析——来自湖北省的调查数据[J]. *农业现代化研究*, 2017, 38(6): 995-1001
SHEN X, ZHANG J B, ZHANG L, et al. Production technology assessment and influencing factors of rice farmer's operation scales: based on farmers' microdata from Hubei Province[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(6): 995-1001
- [5] 伍国勇, 孙小钧, 于福波, 等. 中国种植业碳生产率空间关联格局及影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(5): 46-57
WU G Y, SUN X J, YU F B, et al. Spatial correlation pattern and influencing factors of China's crop production carbon productivity[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(5): 46-57
- [6] 张志明, 钱文荣. 农户土地经营规模与粮食生产效率关系实证研究[J]. *中国土地科学*, 2010, 24(8): 52-58
ZHANG Z M, QIAN W R. Empirical research on the relationship between farmers' land management scale and food production efficiency[J]. *China Land Science*, 2010, 24(8): 52-58
- [7] 罗光强, 姚旭兵. 粮食生产规模与效率的门槛效应及其区域差异[J]. *农业技术经济*, 2019(10): 92-101
LUO G Q, YAO X B. Study on the threshold effect and regional differences of grain production scale and efficiency[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019(10): 92-101
- [8] 贾琳, 夏英. 农户粮食生产规模效率及其影响因素分析——基于黑、豫、川三省玉米种植户的调查数据[J]. *资源科学*, 2017, 39(5): 924-933
JIA L, XIA Y. Scale efficiency of grain production and influencing factors based on survey data from Heilongjiang, Henan and Sichuan[J]. *Resources Science*, 2017, 39(5): 924-933
- [9] 冀县卿, 钱忠好, 李友艺. 土地经营规模扩张有助于提升水稻生产效率吗?——基于上海市松江区家庭农场的分析[J]. *中国农村经济*, 2019(7): 71-88
JI X Q, QIAN Z H, LI Y Y. The impact of operational farm size on rice production efficiency: an analysis based on the survey data of family farms from Songjiang, Shanghai, China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(7): 71-88
- [10] 刘勇, 张俊飏, 张露. 基于DEA-SBM模型对不同稻作制度下我国水稻生产碳排放效率的分析[J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(6): 177-186
LIU Y, ZHANG J B, ZHANG L. Analysis of carbon emission efficiency of rice in China under different rice planting patterns based on the DEA-SBM model[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(6): 177-186
- [11] 匡兵, 卢新海, 韩璟, 等. 考虑碳排放的粮食主产区耕地利用效率区域差异与变化[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(11): 1-8
KUANG B, LU X H, HAN J, et al. Regional differences and dynamic evolution of cultivated land use efficiency in major grain producing areas in low carbon perspective[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(11): 1-8
- [12] 田旭, 王善高. 中国粮食生产环境效率及其影响因素分析[J]. *资源科学*, 2016, 38(11): 2106-2116
TIAN X, WANG S G. Environmental efficiency and its determinants regarding China's grain production[J]. *Resources Science*, 2016, 38(11): 2106-2116
- [13] 惠婷, 陈晓楠, 宋健峰. 基于水足迹的作物生产生态效率评价——以陕西省为例[J]. *生态学报*, 2021, 41(8): 3078-3091
HUI X, CHEN X N, SONG J F. Assessing crop production eco-efficiency based on water footprints: the case of Shaanxi

- Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(8): 3078–3091
- [14] 史琛, 金涛, 李在军, 等. 我国梗稻生态效率的演变与区域差异研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(5): 93–101
- SHI C, JIN T, LI Z J, et al. The evolution and regional difference of eco-efficiency of China's Japonica rice production[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(5): 93–101
- [15] 鲁庆尧, 张旭青, 孟祥海. 我国粮食种植生态效率的空间相关性及其影响因素研究[J]. *经济问题*, 2021(8): 82–88, 94
- LU Q Y, ZHANG X Q, MENG X H. Empirical analysis of the influence spatial correlation and influencing factors of ecological efficiency of grain planting in China[J]. *On Economic Problems*, 2021(8): 82–88, 94
- [16] 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
- [17] MARSHALL A. *Principles of Economics*[M]. London: Macmillan and Co. Ltd, 1890
- [18] 毛蕴诗. “规模经济”抑或“规模经济性”——对新帕尔格雷夫经济学大辞典中的词条名“Economies and Diseconomies of Scale”汉译的商榷[J]. *学术研究*, 2007(12): 41–45, 159
- MAO Y S. “Economy of Scale” or “Economies of Scale”: a discussion on the Chinese translation of the entry name “Economies and Diseconomies of Scale” in the New Palgrave Dictionary of Economics[J]. *Academic Research Journal*, 2007(12): 41–45, 159
- [19] 栾健, 韩一军. 农地规模经营能否实现农业增效与农民增收的趋同?[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(9): 58–66
- LUAN J, HAN Y J. Does farmland scale operation achieve the convergence of increase of agricultural efficiency and farmers' income?[J]. *China Land Science*, 2020, 34(9): 58–66
- [20] 王亚辉, 李秀彬, 辛良杰, 等. 中国农地经营规模对农业劳动生产率的影响及其区域差异[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(4): 539–552
- WANG Y H, LI X B, XIN L J, et al. The impact of farm land management scale on agricultural labor productivity in China and its regional differentiation[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(4): 539–552
- [21] 许庆, 尹荣梁, 章辉. 规模经济、规模报酬与农业适度规模经营——基于我国粮食生产的实证研究[J]. *经济研究*, 2011, 46(3): 59–71, 94
- XU Q, YIN R L, ZHANG H. Economies of scale, returns to scale and the problem of optimum-scale farm management: an empirical study based on grain production in China[J]. *Economic Research Journal*, 2011, 46(3): 59–71, 94
- [22] 杜丽永, 孟祥海, 沈贵银. 规模经营是否有利于农户化肥减量施用?[J]. *农业现代化研究*, 2022, 43(3): 475–483
- DU L Y, MENG X H, SHEN G Y. Does scale operation reduce farmers' fertilizer application?[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2022, 43(3): 475–483
- [23] MCFADDEN D. Constant elasticity of substitution production functions[J]. *The Review of Economic Studies*, 1963, 30(2): 73–83
- [24] 黄炎忠, 罗小锋, 李兆亮, 等. 农户兼业对粮食生产效率的非线性影响[J]. *资源科学*, 2021, 43(8): 1605–1614
- HUANG Y Z, LUO X F, LI Z L, et al. Nonlinear effect of farmers' off-farm employment on grain production efficiency[J]. *Resources Science*, 2021, 43(8): 1605–1614
- [25] WU Y Y, XI X C, TANG X, et al. Policy distortions, farm size, and the overuse of agricultural chemicals in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(27): 7010–7015
- [26] KORHONEN P J, LUPTACIK M. Eco-efficiency analysis of power plants: an extension of data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 154(2): 437–446
- [27] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement[R]. Cambridge: National Bureau of Economic Research, USA, 1991: No 3914
- [28] WEST T O, MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 91(1/2/3): 217–232
- [29] METZ B. Mitigation of Climate Change: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [30] 田云, 张俊飏, 李波. 基于投入角度的农业碳排放时空特征及因素分解研究——以湖北省为例[J]. *农业现代化研究*, 2011, 32(6): 752–755
- TIAN Y, ZHANG J B, LI B. Research on spatial-temporal characteristics and factor decomposition of agricultural carbon emission based on input angle —Taking Hubei Province for example[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2011, 32(6): 752–755
- [31] DUBEY A, LAL R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab, India, and Ohio, USA[J]. *Journal of Crop Improvement*, 2009, 23(4): 332–350
- [32] 曹慧, 赵凯. 耕地经营规模对农户亲环境行为的影响[J]. *资源科学*, 2019, 41(4): 740–752
- CAO H, ZHAO K. Farmland scale and farmers' pro-environmental behavior: verification of the inverted U hypothesis[J]. *Resources Science*, 2019, 41(4): 740–752
- [33] 薛文田, 周宇, 康健, 等. 不同经营规模农户杂粮生产效率研究——以四川省凉山彝族自治州为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(2): 184–191
- XUE W T, ZHOU Y, KANG J, et al. Technical efficiency of farmers' coarse cereals production in different management

- scales—A case study of Liangshan Yi Autonomous Prefecture in Sichuan Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(2): 184–191
- [34] 毕雪昊, 周佳宁, 邹伟. 家庭劳动力约束下经营规模对农户种植结构选择的影响[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(12): 68–77
- BI X H, ZHOU J N, ZOU W. The effect of operation scale on farmers' planting structure selection under the constraints of family labor[J]. *China Land Science*, 2020, 34(12): 68–77
- [35] 胡逸文, 霍学喜. 农户禀赋对粮食生产技术效率的影响分析——基于河南农户粮食生产数据的实证[J]. *经济经纬*, 2016, 33(2): 42–47
- HU Y W, HUO X X. An empirical analysis of the impact of household endowments on the technical efficiency in food production — Based on the data of Henan farmers in food production[J]. *Economic Survey*, 2016, 33(2): 42–47
- [36] 叶子, 夏显力, 陈哲, 等. 农地确权、农地细碎化与农业生产效率[J]. *干旱区资源与环境*, 2021, 35(12): 30–36
- YE Z, XIA X L, CHEN Z, et al. Farmland right confirmation, farmland fragmentation and agricultural production efficiency — a case study in Loess Plateau[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(12): 30–36
- [37] 刘颖, 金雅, 王嫚嫚. 不同经营规模下稻农生产技术效率分析——以江汉平原为例[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2016(4): 15–21, 127
- LIU Y, JIN Y, WANG M M. Analysis on technical efficiency of rice farmer in different scales — A case study of Jianghan Plain[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2016(4): 15–21, 127
- [38] 袁承程, 刘黎明, 叶津炜, 等. 洞庭湖区不同农户经营规模的农业土地利用综合效应评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2017, 33(8): 688–696
- YUAN C C, LIU L M, YE J W, et al. Comprehensive effects of agricultural land use of household farms in Dongting Lake Region relative to scale in Dongting Lake Region[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(8): 688–696
- [39] 徐振宇, 曹立杰. 小规模农户的前途与经济性文献评述与反思[J]. *商业经济研究*, 2015(23): 34–38
- XU Z Y, CAO L J. Literature review and reflection on the future and economic nature of small-scale farmers[J]. *Journal of Commercial Economics*, 2015(23): 34–38