

中国城镇化对农业生态效率的影响——基于中国13个粮食主产区2009—2018年面板数据

尚杰, 吉雪强, 陈玺名

引用本文:

尚杰, 吉雪强, 陈玺名. 中国城镇化对农业生态效率的影响——基于中国13个粮食主产区2009—2018年面板数据[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(8): 1265–1276.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200135>

(向下翻页, 阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中国农业能源消耗碳排放变化驱动因素及其贡献研究*—基于Kaya恒等扩展与LMDI指数分解方法

Driving factors and their contributions to agricultural CO₂ emission due to energy consumption in China: Based on an expended Kaya identity and LMDI decomposition method

中国生态农业学报. 2015(11): 1445–1454 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.150500>

农业生态效率研究进展分析

Review of methodology and application of agricultural eco-efficiency

中国生态农业学报. 2017, 25(9): 1371–1380 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170163>

四川省环境友好型农业生产效率测算及影响因素研究——基于超效率DEA模型和空间面板STIRPAT模型

Measurements and influencing factors of the efficiency of environmentally-friendly agricultural production in Sichuan Province based on SE-DEA and spatial panel STIRPAT models

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(7): 1134–1146 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180857>

科技部“十三五”农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发重点专项“农业面源和重金属污染监测技术与监管平台研发”项目正式启动

中国生态农业学报. 2016, 24(11): 1579–1580 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160894>

农业土地资源利用效率评价及改善路径研究——以江西省11个设区市为例

Evaluation and improvement of agricultural land resource utilization efficiency: A case study of Jiangxi Province

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(5): 803–814 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180992>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200135

尚杰, 吉雪强, 陈玺名. 中国城镇化对农业生态效率的影响——基于中国 13 个粮食主产区 2009—2018 年面板数据[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(8): 1265-1276

SHANG J, JI X Q, CHEN X M. Study on the impact of China's urbanization on agricultural ecological efficiency: Based on panel data of 13 major grain-producing regions in China from 2009 to 2018[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(8): 1265-1276

中国城镇化对农业生态效率的影响*

——基于中国 13 个粮食主产区 2009—2018 年面板数据

尚 杰, 吉雪强, 陈玺名

(东北林业大学经济管理学院 哈尔滨 150040)

摘 要: 城镇化对农业生态效率会产生重要影响。为更全面和准确分析城镇化对农业生态效率的影响, 本文基于中国 13 个粮食主产区 2009—2018 年面板数据, 利用 3 阶段非期望产出 SBM-DEA 模型、熵值法、Tobit 回归等多种模型和方法, 在理论分析基础上从多个角度就城镇化对农业生态效率的影响进行研究。结果表明: 1) 外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度会产生显著影响, 并进一步作用于城镇化对农业生态效率的影响。2) 中国 13 个粮食主产区 2009—2018 年间农业生态效率呈现持续增长趋势, 剔除外生环境影响和随机干扰后, 年度效率均值由 2009 年的 0.53 提升至 2018 年的 0.80; 但不同地区间存在较大差距, 2018 年河北等地区农业生态效率达到前沿面, 但是内蒙古农业生态效率只有 0.45。3) 城镇化发展整体上能够促进农业生态效率的提高, 城镇化综合指数在 1% 的水平上显著正向影响农业生态效率, 影响系数为 0.60。4) 城镇化各指标对农业生态效率的影响存在差异, 从各指标情况来看, 人口城镇化率负向影响农业生态效率, 但不显著; 城镇居民人均可支配收入、城镇经济密度正向影响农业生态效率; 二三产业产值占 GDP 比重、建成区面积比重、人均建成区面积等指标负向影响农业生态效率。为进一步发挥城镇化对农业生态效率的促进作用, 本文根据研究结果从人口、经济、土地城镇化 3 个方面提出了政策建议。

关键词: 城镇化; 农业生态效率; 粮食主产区; DEA; Tobit

中图分类号: F323.22

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Study on the impact of China's urbanization on agricultural ecological efficiency: Based on panel data of 13 major grain-producing regions in China from 2009 to 2018*

SHANG Jie, JI Xueqiang, CHEN Ximing

(School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: Urbanization is an important factor to impact agricultural ecological efficiency. However, most of the existing studies have discussed the impact of urbanization on agricultural ecological efficiency from a single perspective. Further, these studies are often affected by the impact of exogenous environment or other random factors during the measurement of agricultural ecological efficiency. To analyze the impact of urbanization on agricultural ecological efficiency more comprehensively and accurately, the present study used the three-stage SBM-DEA model, which provides simultaneously evaluation of

* 国家自然科学基金项目(71573036)资助

尚杰, 主要从事农业经济、环境科学与资源利用研究。E-mail: 13576274061@163.com

收稿日期: 2020-02-27 接受日期: 2020-05-26

* This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (71573036).

Corresponding author, SHANG Jie, E-mail: 13576274061@163.com

Received Feb. 27, 2020; accepted May 26, 2020

both the undesirable and desirable outputs, entropy value method, and Tobit model, based on panel data obtained from 13 major grain-producing regions in China from 2009 to 2018. Various models and methods were used to study the impact of urbanization on agricultural ecological efficiency from multiple perspectives based on theoretical analysis. Our results showed that: 1) the impact of exogenous environment and random interference significantly impacted the agricultural ecological efficiency. After excluding these impacts, the agricultural ecological efficiency of the 13 major grain-producing regions in China changed significantly. Additionally, unlike the existing studies, the impact of urbanization on agricultural ecological efficiency too changed, after the effects of exogenous environment and random interference were removed. 2) The agricultural ecological efficiency of China's 13 major grain-producing regions showed a continuous growth trend from 2009 to 2018. The average annual efficiency, after excluding the impact of exogenous environment and random interference, increased from 0.53 in 2009 to 0.80 in 2018. However, there was a big gap in the agricultural ecological efficiency among different regions. For example, in 2018, the agricultural ecological efficiency of Hebei and other regions reached the frontier (1.00), but that of Inner Mongolia was only 0.45. 3) Urbanization as a whole improved the agricultural ecological efficiency. The comprehensive index of urbanization significantly affected agricultural ecological efficiency (at a level of 1%, impact coefficient: 0.60). 4) Various indicators of urbanization differently impacted the agricultural ecological efficiency. The population urbanization rate showed an insignificant negative impact on the agricultural ecological efficiency. The per capita disposable income of urban residents and urban economic density significantly positively affected the agricultural ecological efficiency. The output value of the secondary and tertiary industries, proportion of built-up area and per capita built-up area had significantly negative effect on the agricultural ecological efficiency. To further elucidate the role of urbanization in promoting agricultural eco-efficiency, this article proposed suggestions to modify the relevant policies, based on the research results from three aspects of population, economy, and land urbanization.

Keywords: Urbanization; Agro-ecological efficiency; Main grain production areas; DEA; Tobit

城镇化问题是国家发展中的重要问题,《2019年国务院政府工作报告》《2019年新型城镇化建设重点任务》等多份政府文件都体现了对城镇化的关注,强调城乡协调发展的新型城镇化是中国城镇化的主要方向。城镇化离不开乡村的支持,在中国城镇化速度加快的同时,农村空心化、农村生态环境恶化等问题逐渐突显^[1-2]。农业生态环境改善是乡村振兴的重要内容,更是生态文明理念贯彻落实的重要实践。如何推动新型城镇化与农业生态环境改善相协调是中国农村发展过程中的重要问题。通过研究城镇化对农业生态效率的影响,可以更有针对性地为农业生态环境改善提出建议,从而为城乡生态环境协调发展提供理论支撑。

从现有研究来看,城镇化是世界范围的研究热点,而农业生态效率作为农业生态环境状况的重要反映得到了诸多学者的认可。城镇化对农业农村发展的重要影响受到了学者们的关注,Westlund^[3]、Deng等^[4]和Zhang等^[5]就城镇化对农村农业发展的负面影响进行了探讨;Andersen^[6]、Zhou等^[7]就城镇化对农业生产和农民生活水平的促进作用进行了分析。农业生态效率是农业可持续发展能力的重要指标,诸多学者利用农业生态效率这一指标对农业生态环境问题进行了探讨。在农业生态效率的测度方面,大部分学者选择了无需预设函数关系、能够减

少研究主观争议性的数据包络分析模型,现有研究中学者们分别使用偏好锥的DEA模型^[8]、SBM-DEA模型^[9]、SBM-Undesirable扩展模型^[10]、超效率DEA模型^[11]等DEA模型对农业生态效率进行了测度,取得了一定成果,但是这些DEA模型却未能考虑外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度所产生的影响。

在农业生态效率影响因素研究方面,大多数研究立足于农业生产环境或者农村发展状况,较少探讨对农业农村发展有着重要影响的城镇化对农业生态效率的影响。侯孟阳等^[12]分析了农村劳动力转移对农业生态效率的影响;王宝义等^[13]探讨了人均农业增加值、农业规模化水平、农业受灾率、农业机械密度、农民家庭经营收入比等因素与农业生态效率之间的关系;胡平波等^[11]研究了农旅融合对农业生态效率的影响;曹俊文等^[14]分析了农业经济水平、农业公共投资、农业劳动力教育程度、农业机械化、政府规制和技术进步等因素对农业生态效率的影响。

就城镇化对农业生态效率产生的影响进行研究,可以为中国农业生态环境改善提供有效建议。然而从现有研究来看,农业生态效率影响因素的研究有所局限,较少有研究就城镇化对农业生态效率的影响进行深入探讨。即使少部分研究涉及到城镇化对

农业生态效率的影响, 也多从单一人口城镇化角度进行分析, 忽略了经济城镇化及土地城镇化对农业生态效率的影响^[15]。通过对现有研究的梳理, 笔者发现以下特征: 1) 在农业生态效率测度上大多数研究采取了 DEA 方法, 但是少有研究考虑外生环境影响和随机干扰; 2) 专门就城镇化对农业生态效率影响的研究较为稀少, 尤其缺乏全方位深入探讨城镇化对农业生态效率影响的研究, 且现有研究涉及的农业生态效率测度较多受到外生环境影响, 难以真实反映城镇化对农业生态效率的影响情况。因此, 本文在现有研究基础上, 首先对城镇化、农业生态效率、城镇化对农业生态效率的影响进行初步理论分析, 其次对相关模型和方法、变量设定及数据来源进行介绍, 然后结合 2009—2018 年中国 13 个粮食主产区实际数据进行农业生态效率、城镇化综合指数测度, 并就城镇化对农业生态效率的影响进行回归分析, 最后就相关结论进行总结并提出建议。相对现有研究本文具有以下创新: 1) 使用 3 阶段非期望产出 SBM-DEA 模型测度农业生态效率, 在测度过程中减少外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度的影响, 提高研究准确性; 2) 从人口、经济、土地城镇化 3 个方面展开城镇化对农业生态效率影

响研究, 较现有研究更为深入且更为全面, 由于本文所探讨的农业生态效率是剔除外生环境影响及随机干扰后的效率值, 其结果更能真实反映城镇化对农业生态效率的作用。

1 理论分析

1.1 城镇化及城镇化指标

城镇化, 也可以称为城市化, 大多数学者从人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化 3 个方面进行城镇化研究^[16-22]。本文同样从人口、经济、土地城镇化对城镇化进行研究, 以便于更具体地研究城镇化对农业生态效率的影响。本文在参考现有研究基础上以人口城镇化率、城镇居民人均可支配收入作为人口城镇化状况的替代指标来反映农村人口流入城市情况以及城镇居民生活水平, 以城镇经济密度、第二三产业占 GDP 比重作为经济城镇化的替代指标反映城市产业集中情况以及地区产业结构, 以建成区面积比重、人均建成区面积作为土地城镇化的替代指标反映城市土地的扩张情况, 具体指标设置如表 1 所示。并且利用熵值法对 6 个指标进行计算以得到城镇化综合指数, 从而更全面地反映城镇化整体发展情况。

表 1 城镇化综合指数评价指标体系
Table 1 Evaluation indicator system of comprehensive index of urbanization

目标层 Target level	系统层指标 System-level indicator	评价指标 Evaluating indicator	计算方法 Computational method
城镇化 Urbanization	人口城镇化 Population urbanization	人口城镇化率 Population urbanization rate	统计年鉴查询 Statistical Yearbook queries
		城镇居民人均可支配收入 Per capita disposable income of urban residents	统计年鉴查询 Statistical Yearbook queries
	经济城镇化 Economic urbanization	城镇经济密度 Urban economic density	第二三产业产值/土地面积 Output value of secondary and tertiary industries/land area
		第二三产业占 GDP 的比重 Proportion of secondary and tertiary industries in GDP	第二三产业产值/GDP Output value of secondary and tertiary industries/GDP
	土地城镇化 Land urbanization	建成区面积比重 Proportion of built-up area	建成区面积/土地面积 Built-up area/total area
		人均建成区面积 Per capita built-up area	辖区建成区面积/辖区总人口 Built-up area/total population

1.2 农业生态效率及其指标体系

农业生态效率是指在一定的农业投入要素组合下, 以尽可能小的资源消耗和环境污染, 得到尽可能多的农业产出^[23]。考虑到农业劳动力是农业生产的主要力量, 土地资源是农业活动开展的重要基础, 而化肥、农药、农膜、农业机械动力是农业实践中重要生产资料, 且农业生产离不开对

水资源的利用, 为此本文选取劳动力、化肥、农药、农膜、农业机械动力、灌溉 6 项指标作为农业生态效率的投入指标。考虑农业总产值是农业生产成果的重要反映, 而农业生产过程碳排放和化肥、农药、农膜等生产资料流失是造成农业生态环境恶化的重要因素, 在结合王宝义等^[10,13]、侯孟阳等^[12]学者的基础上, 选择农业总产值作为农业生态效

率期望产出指标,选择碳排放和污染排放作为农业生态效率非期望产出指标,构建考虑非期望产出的农业生态效率投入-产出指标体系,见表 2。由于农业生态环境建设会受到地区宏观经济水平、政府政策支持情况、地区科技发展情况等宏观外

部环境的干扰,而 Fried 认为利用 3 阶段 DEA 模型可以很好地解决效率值测度中外部环境干扰的问题^[24]。为此本文使用 3 阶段非期望产出 SBM-DEA 模型进行农业生态效率测度,以提升农业生态效率测度准确性。

表 2 农业生态效率投入-产出指标体系
Table 2 Agricultural eco-efficiency input-output index system

指标类型 Index type	分类指标 Sub index	变量及说明 Variables and descriptions
投入指标 Input index	劳动力 Labour force	农业从业人员 Number of employees in farm ($\times 10^4$ person)
	土地 Land	农作物总播种面积 Planting area of crops (km^2)
	化肥 Chemical fertilizer	化肥施用量 Fertilizers consumption ($\times 10^4$ t)
	农药 Pesticide	农药使用量 Pesticides usage (t)
	农膜 Agricultural film	农膜使用量 Agricultural film consumption (t)
	农业机械动力 Agricultural machinery power	农业机械总动力 Total power of agricultural machinery ($\times 10^4$ kW)
	灌溉 Irrigation	有效灌溉面积 Effective irrigation area (km^2)
期望产出指标 Output index	农业总产值 Total output value of farm	农业总产值 Total output value of farm ($\times 10^8$ ¥)
非期望产出指标 Undesirable output index	碳排放 Carbon emission	化肥、农药、农膜、农用柴油、灌溉、播耕碳排放总和 Total carbon emissions from fertilizers, pesticides, agricultural films, agricultural diesel, irrigation and sowing ($\times 10^4$ t)
	污染排放 Pollution emissions	化肥污染量、农药污染量、农膜残留量总和 Total quantity of chemical fertilizer and pesticide pollutions, and total residues of agricultural film ($\times 10^4$ t)

1.3 城镇化对农业生态效率影响理论分析

城镇化对农业农村发展会产生重要的影响,同样也会对农业生态效率产生重要影响,下面结合现有研究成果与社会实际就城镇化各方面对农业生态效率的影响进行初步理论分析。

1)人口城镇化对农业生态效率产生的影响。随着人口城镇化水平的提高,大量劳动力离开农村,留在农村的劳动力不得不使用较多的农业机械以弥补劳动力的减少^[25],而农业机械使用数量的增多将造成农业生态环境恶化;而另一方面城镇化对于促进农民环保行为改善具有积极效应^[26],这种环保观念有可能通过入城农民与留守农民之间的联系而影响留守农民在农业生产中的行为选择,从而减少农业生产中化学制品的应用。当城镇居民人均可支配收入提升时会推动居民消费水平升级,而居民消费水平升级可能增加对绿色农产品的需求,绿色消费增加可以为绿色农业产业化发展提供巨大的市场空间^[27],从而使得农民生产时重视农业生态环境保护,减少化肥、农药等化学制品的使用。

2)经济城镇化对农业生态效率产生的影响。乡镇企业向城镇的聚集将出现大量财富向城镇的直接

转移^[28],而城镇经济聚集也将进一步促使农村生产要素加速向城市流动,农业生产要素流出会影响到农业生产,如城市周边农业用地的变更对农业生产会产生负外溢效应^[29]。二三产业的发展对农业生态环境的影响也是多方面的,工业发展能够丰富农业生产资料,在一定程度上会降低化肥等产品使用成本,使得农户在农业生产中使用更多化肥、农药,从而对农业生态环境造成不良影响;但是工业发展也能提高农业机械动力投入,从而提升农业生产效率,但是农业机械投入的增多又会增加柴油等能源消耗^[13],从而加大农业生产碳排放;此外信息产业的发展可以推动农业信息化建设以提高农业生产能力,农业信息化水平可以提高农业绿色全要素生产率^[30]。

3)土地城镇化对农业生态效率产生的影响。土地城镇化对耕地可持续利用会产生严重的负面影响^[31],城市建成区面积的扩大将减少农业用地,可能对农业产出产生不良影响;但是建成区面积的增多能够为绿色农产品的销售创造更好的交通和储存条件,从而推动绿色农业的发展。人均建成区面积作为个人所能享受到城市服务的重要反映,当人均建成区面积越大时,个人越有可能享受到更多的城市服务,

更易受到城市公益环保宣传的影响形成绿色消费习惯, 使得其有更多意愿购买绿色农产品。

从以上分析中可以看出城镇化发展对农业生态效率的影响是复杂的、多方面的, 仅依靠经验分析很难把握城镇化与农业生态效率之间的关系, 为了更准确了解城镇化对农业生态效率的影响, 需要进行进一步的量化分析。

2 方法介绍、变量选择与数据来源

2.1 方法介绍

本文利用 SBM-DEA 模型对农业生态效率进行定量测度; 利用熵值法得到城镇化综合指数; 利用 Tobit 回归方法就城镇化对农业生态效率的影响进行分析。

Tone 在提出 SBM 模型之后, 又提出非期望产出 SBM 模型^[32-33], 如下式所示:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{s}_i}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

subject to $x_0 = X\lambda + S^-$

$$y_0^g = Y^g\lambda - S^g \quad (1)$$

$$y_0^b = Y^b\lambda + S^b$$

$$S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0$$

式中: $x = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$, $Y = (y_{ij}) \in R^{s \times n}$, n 个部门, m 个投入, s 个产出, 其中 s_1 个期望产出, s_2 个非期望产出。 S^- 和 S^b 表示投入和非期望产出过剩(冗余), 而 S^g 代表期望产出不足; ρ 为生态效率值。

在非期望产出 SBM 模型基础上, 构建 3 阶段非期望产出 SBM-DEA 模型。

第 1 阶段, 采用非期望产出 SBM 模型, 计算初始效率和松弛;

第 2 阶段, 类似 Fried 等^[24]构建 SFA 模型找出环境变量并根据结果调整投入产出量。回归方程如下:

$$s_{ij}^- = f^i(z_j; \beta_i^-) + v_{ij}^- + \mu_{ij}^- \quad (2)$$

$$s_{ij}^g = f^i(z_j; \beta_i^g) + v_{ij}^g + \mu_{ij}^g \quad (3)$$

$$s_{ij}^b = f^i(z_j; \beta_i^b) + v_{ij}^b + \mu_{ij}^b \quad (4)$$

式中: s_{ij}^- 表示第 j 个省市在第 i 年农业生态效率投入指标松弛量, s_{ij}^g 、 s_{ij}^b 表示第 j 个省市在第 i 年其农业生态效率期望产出和非期望产出松弛量, 假定农业生态效率受到 k 个环境因素的影响, 那么

$z_j = [z_{1j}, z_{2j}, \dots, z_{kj}]$, $j = 1, 2, \dots, n$, β_i 为待估参数。在 (2) 式中 $v_{ij} + \mu_{ij}$ 则为农业生态效率测度之中的综合误差项, 其中 $v_{ij} \sim iidN(0, \sigma_v^2)$ 反映了对农业生态效率产生影响的统计噪音, 而 $\mu_{ij} \sim iidN^+(\mu^i, \sigma_\mu^2)$ 则反映出在农业生态效率测度中管理无效率的作用。假定 v_{ij} 和 μ_{ij} 相互独立, 且与环境变量也相互独立。定义 $\gamma = \sigma_\mu^2 / \sigma_\mu^2 + \sigma_v^2$ 。采用极大似然估计未知参数, 对投入产出数据调整, 公式如下:

$$x_{ij}^A = x_{ij} \left[\max_j \left\{ z_j \hat{\beta}_{ij}^- \right\} - z_j \hat{\beta}_{ij}^- \right] + \left[\max_j \left\{ \hat{v}_{ij}^- \right\} - \hat{v}_{ij}^- \right] \quad (5)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

$$y_{ij}^{gA} = y_{ij}^g + \left[\max_j \left\{ z_j \hat{\beta}_{ij}^g \right\} - z_j \hat{\beta}_{ij}^g \right] + \left[\max_j \left\{ \hat{v}_{ij}^g \right\} - \hat{v}_{ij}^g \right] \quad (6)$$

$$(i = 1, 2, \dots, s_1; j = 1, 2, \dots, n)$$

$$y_{ij}^{bA} = x_{ij}^b + \left[\max_j \left\{ z_j \hat{\beta}_{ij}^b \right\} - z_j \hat{\beta}_{ij}^b \right] + \left[\max_j \left\{ \hat{v}_{ij}^b \right\} - \hat{v}_{ij}^b \right] \quad (7)$$

$$(i = 1, 2, \dots, s_2; j = 1, 2, \dots, n)$$

x_{ij}^A 、 y_{ij}^{gA} 和 y_{ij}^{bA} 3 项分别表示经过调整之后的农业生态效率投入指标、期望产出指标和非期望产出指标。第 1 个中括号表示将农业生态效率测度中的所有决策单元调整在相同外部环境, 第 2 个中括号表示去除农业生态效率测度中的统计噪音。在进行第 2 阶段的分析时, 本文采用罗登跃^[34]和陈巍巍等^[35]学者所推演的公式:

$$E(\mu | \varepsilon) = \sigma_* \left[\frac{\phi(\lambda \frac{\varepsilon}{\sigma})}{\phi(\frac{\lambda \varepsilon}{\sigma})} + \frac{\lambda \varepsilon}{\sigma} \right] \quad (8)$$

式中: $\sigma_* = (\sigma_\mu \sigma_v) / \sigma$, $\sigma = \sqrt{\sigma_\mu^2 + \sigma_v^2}$, $\lambda = \sigma_\mu / \sigma_v$; ϕ 和 ϕ 分别是标准正太分布的密度函数和分布函数。

第 3 阶段: 使用调整后投入产出数据运用非期望 SBM-DEA 模型进行效率测算。

2.2 变量选择

1) 被解释变量: 以农业生态效率作为被解释变量, 其投入产出指标体系的构建如表 2 所示。

在农业生态效率的投入产出指标体系中包括 7 项投入指标、3 项产出指标, 各项指标所使用替代变量如表 2 所示。需要特别说明的是劳动力投入, 本文用农业从业人员来表征, 结合前人的做法^[13], 用下式计算农业从业人员: 农业从业人员 = 农林牧渔业从业人员(以第一产业从业人员作为替代指标) × 农业总产值 / 农林牧渔业总产值, 参考李宁等^[36]、黄玛兰等^[37]的做法将第一产业从业人员作为农林牧渔业

从业人员的替代指标计算农业劳动力投入。产出指标之中的农业期望产出指标用农业总产值(可比价格)来表征。在对非期望产出中的农业面源污染量化计算中,参考吴小庆等^[8]的做法采用化肥污染量、农药污染量及农膜残留量估算农业面源污染水平。化肥污染量根据历年化肥施用量与化肥利用率数据计算得到,即化肥污染量=化肥施用量×化肥流失率,农药污染量和农膜残留率的算法类似;其中根据赖斯芸等^[38]、吴小庆等^[8]学者的做法设置化肥流失率为 65%、农药污染率 50%、地膜残留率为 10%。本文选取化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、农业耕作 6 项指标估算农业碳排放量,采取的方法是相应指标乘以排放系数。参考已有研究^[13],设置排放源排放系数:化肥 0.90、农药 4.93、农膜 5.18、柴油 0.59、农业灌溉 20.48、农业耕作 312.60。

在利用 3 阶段非期望产出 SBM-DEA 对农业生态效率进行测度时需要对环境变量进行选择。结合中国农业发展特点,选择宏观经济发展情况、政府政策支持、技术支撑 3 个方面作为环境因素。在宏观经济发展方面,选择能反映农业繁荣程度的地区第一产业产值作为代理变量。在政府对产业政策支持方面,选择地方财政支农支出作为政府对农业发展政策方面的代理变量。在产业技术支撑方面,考虑到农业建设受到农业、生物、信息等诸多技术影响,选择研究与发展内部经费作为技术投入代理变量。

2)解释变量:本文选择两组变量作为城镇化对农业生态效率回归分析的解释变量,以实现从城镇化整体到各指标对农业生态效率影响的研究。第一组为城镇化综合指数,该指数是基于熵值法对表 1 中人口城镇化率、城镇居民人均可支配收入、城镇经济密度、第二三产业占 GDP 的比重、建成区面积比重、人均建成区面积等 6 项城镇化指标进行综合运算后获得,以此来反映城镇化的整体情况。第二组则为城镇化 6 项指标,即上述人口城镇化率等 6 项指标。

2.3 数据来源

本文以中国 13 个粮食主产区(河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖北、湖南、四川)为研究对象,主要是考虑到北京等直辖市农业功能退化,而西藏等地则以牧业为主,为此选择我国主要粮食产区进行研究,可以更好地反映城镇化对农业生态效率的影响。本文基础数据来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年

鉴》《中国人口和就业统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国科技统计年鉴》。

3 结果与分析

3.1 农业生态效率测度

1)第 1 阶段农业生态效率测度。本文以 DEA . SOLVER PRO5.0 为农业生态效率测度平台。Battese 等^[39]认为,规模报酬可变假设适用于微观的研究对象。根据本文研究对象较为宏观的特点,选择规模报酬不变的非期望产出 SBM-DEA 模型进行农业生态效率测度,按照默认设置,设定期望产出和非期望产出总权重均为 1,测度结果如表 3 所示。从第 1 阶段测度的农业生态效率情况来看,我国主要粮食产区农业生态效率值不断提升,反映出我国农业生态环境改善,这与现有大部分研究成果所测度的结果较为相似,显示第 1 阶段测度结果较为准确。在 2018 年多数粮食主产区农业生态效率达到前沿,显示出较高的效率水平。

2)第 2 阶段指标数据调整。本阶段以第 1 阶段测度获得的关于农业生态效率各投入产出指标冗余变量为被解释变量,以 2009—2018 年各粮食主产区第一产业产值、财政支农支出、研究经费支出 3 个环境变量为解释变量,利用 Coelli 等^[40]给出的随机前沿分析软件 Frontier 4.1,计算环境变量对农业生态效率的各投入产出指标变量冗余的影响,得表 4 结果。

从表 4 可知,所选主要环境变量大部分通过 5% 水平显著性检验,同时,大部分分析结果的 t 值在显著的情况下趋近于 1,表明环境因素和随机误差对农业生态效率冗余有显著影响。从表中系数可知第一产业产值提升,化肥投入冗余、农药投入冗余、农业机械动力投入冗余、碳排放产出冗余、面源污染产出冗余显著增加;财政支农支出增加时农药投入冗余与农膜投入冗余显著增加;科技研究经费增多时灌溉投入冗余显著增加。

3)第 3 阶段农业生态效率测度。将经过调整的投入产出数据再次进行测度,得第 3 阶段农业生态效率,见表 3。第 3 阶段的农业生态效率与第 1 阶段未剔除外生环境影响和随机干扰的农业生态效率相比有较大变动,这表明外生环境影响和随机干扰对农业生态效率测度有明显影响,如果不剔除外生环境影响和随机干扰,农业生态效率值将受到宏观环境等因素干扰,无法呈现真实情况,最终影响研究的准确性,因此在农业生态效率测度中只有剔除外

表 3 2009—2018 年第 1、3 阶段中国主要粮食产区农业生态效率
Table 3 Agricultural ecological efficiencies in the main grain-producing regions of China in the first and third stages from 2009 to 2018

省份 Province	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	阶段 Stage																			
	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3
河北 Hebei	0.46	0.63	0.49	0.66	0.50	0.71	0.51	0.72	0.53	0.74	0.56	0.75	0.59	0.75	0.61	0.81	0.76	0.89	1.00	1.00
内蒙古 Inner Mongolia	0.40	0.35	0.42	0.36	0.44	0.39	0.44	0.40	0.47	0.42	0.46	0.41	0.48	0.42	0.49	0.42	0.50	0.43	0.55	0.45
辽宁 Liaoning	0.59	0.43	0.60	0.43	0.65	0.47	0.68	0.49	0.77	0.51	0.75	0.52	1.00	0.55	0.81	0.54	0.95	0.55	1.00	0.56
吉林 Jilin	0.46	0.38	0.48	0.40	0.50	0.42	0.51	0.43	0.55	0.45	0.57	0.47	0.58	0.48	0.59	0.48	0.85	0.51	1.00	0.52
黑龙江 Heilongjiang	0.46	0.50	0.48	0.51	0.52	0.55	0.52	0.56	0.54	0.60	0.54	0.63	0.59	0.66	0.65	0.72	0.68	0.78	1.00	1.00
江苏 Jiangsu	0.62	0.65	0.68	0.67	0.70	0.68	0.71	0.65	0.75	0.65	0.79	0.67	0.85	0.76	0.88	0.81	0.81	0.93	1.00	1.00
安徽 Anhui	0.35	0.43	0.36	0.44	0.36	0.44	0.36	0.43	0.36	0.44	0.38	0.46	0.40	0.48	0.42	0.50	0.46	0.53	0.47	0.55
江西 Jiangxi	0.37	0.34	0.37	0.34	0.38	0.35	0.39	0.36	0.46	0.40	0.48	0.41	0.50	0.42	0.53	0.45	0.59	0.47	0.66	0.50
山东 Shandong	0.52	0.72	0.54	0.73	0.57	0.75	0.60	0.76	0.65	0.79	0.71	0.84	0.78	0.87	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
河南 Henan	0.44	0.68	0.46	0.72	0.47	0.73	0.48	0.74	0.49	0.76	0.51	0.80	0.54	0.85	0.58	0.94	0.67	1.00	1.00	1.00
湖北 Hubei	0.51	0.54	0.52	0.55	0.54	0.58	0.57	0.61	0.60	0.64	0.62	0.67	0.67	0.71	0.78	0.83	0.87	0.92	1.00	1.00
湖南 Hunan	0.52	0.62	0.55	0.65	0.58	0.68	0.57	0.70	0.57	0.71	0.61	0.73	0.66	0.75	0.70	0.77	0.78	0.81	0.85	0.86
四川 Sichuan	0.57	0.68	0.60	0.71	0.62	0.74	0.65	0.77	0.67	0.79	0.70	0.81	0.72	0.82	0.84	0.94	0.90	1.00	1.00	1.00
均值 Mean	0.48	0.53	0.50	0.55	0.53	0.58	0.54	0.59	0.57	0.61	0.59	0.63	0.64	0.66	0.67	0.71	0.76	0.76	0.89	0.80

生环境影响和随机干扰, 才能真实反映农业生态效率情况, 从而更准确地为城镇化对农业生态效率影响的研究提供有效数据支撑。

整体上看, 2009—2018 年间第 1 阶段与第 3 阶段测度的农业生态效率整体趋势表现为上升, 反映出中国粮食主产区农业生态环境的改善, 这与大多数学者研究结果是一致的。大部分粮食主产区第 3 阶段测度的农业生态效率高于第 1 阶段, 表明这些粮食主产区农业生态效率受到外部环境制约。其中, 内蒙古、辽宁、吉林、江西 4 地区第 3 阶段农业生态效率低于第 1 阶段, 表明其原来较高的农业生态效率是得益于外部环境, 而非效率值真实体现。就不同地区效率来看, 地区之间存在较大差距, 2018 年河北、黑龙江、江苏、山东、河南、湖北、四川等粮食主产区第 3 阶段效率达到效率前沿, 而内蒙古农业生态效率只有 0.45。在以下分析中将使用剔除了外生环境影响和随机干扰的第 3 阶段农业生态效率数据作为研究基础。

3.2 城镇化综合指数测度

使用 Excel 软件, 利用熵值法结合人口城镇化率、城镇居民人均可支配收入、城镇经济密度、第二三产业占 GDP 的比重、建成区面积比重、人均建成区面积等城镇化指标进行城镇化综合指数测度以全面反

映城镇化状况。首先利用极差法对 2009—2018 年粮食主产区域城镇化指标数据进行标准化, 而后利用 Excel 软件结合熵值法对城镇化 6 个指标的权重进行测度, 分别为 0.11、0.17、0.27、0.07、0.21、0.16。利用各指标权重对标准化后指标数据进行调整, 得到城镇化综合指数(表 5)。2009—2018 年中国粮食主产区域城镇化综合指数均值由 2009 年 0.24 提升至 2018 年 0.51, 反映出中国城镇化水平不断提升, 且整体提升速度较快, 这与中国实际发展相符合。从不同地区情况来看, 城镇化综合指数最高为江苏, 其 2018 年城镇化综合指数为 0.90, 远超过其他省市。

3.3 城镇化对农业生态效率影响分析

利用 Stata 15 软件, 结合上文第 3 阶段测度获得的 2009—2018 年各粮食主产区农业生态效率与上文测度获得的城镇化综合指数进行 Tobit 回归。为了更好地了解城镇化从整体到各指标对农业生态效率的影响, 以第 3 阶段农业生态效率为被解释变量, 进行两次 Tobit 回归, 第 1 次回归解释变量为城镇化综合指数, 第 2 次回归解释变量为城镇化 6 项指标。为了验证估计结果的稳定性, 在 Tobit 回归基础上进行 Ols 估计, 被解释变量与解释变量设置与 Tobit 回归一致。模型估计结果见表 6, 可知 Tobit 估计和 Ols 估计整体保持一致, 可见估计结果具有稳健性。

表 4 第 2 阶段环境变量对农业生态效率冗余变量影响分析结果

Table 4 Analysis of effects of environmental variables on redundant variables of agricultural ecological efficiency in the phase 2

冗余来源 Redundant source	变量 Variable	估计系数 Estimated coefficient	标准误差 Standard error	冗余来源 Redundant source	变量 Variable	估计系数 Estimated coefficient	标准误差 Standard error	
劳动投入 Labour input	β_0	-1.65E+01	-2.23E+01	农膜投入 Agricultural film input	β_3	-1.64E-03***	4.80E-04	
	β_1	1.92E-02	1.18E-02		σ^2	1.89E+09***	1.00E+00	
	β_2	-8.22E-06**	-3.70E-06		γ	9.11E-01***	1.18E-02	
	β_3	-9.45E-07	-1.72E-06		农业机械 动力投入 Power input for agricultural machinery	β_0	-1.12E+03*	6.23E+02
	σ^2	2.20E+04***	2.37E+00			β_1	9.20E-01***	2.95E-01
	γ	9.16E-01***	1.11E-02			β_2	-1.52E-04*	9.08E-05
	土地投入 Land input	β_0	1.78E+03***			5.23E+02	β_3	-1.30E-04***
β_1		-2.40E-01	2.53E-01	σ^2	6.10E+06***	1.09E+00		
β_2		-1.60E-04*	8.47E-05	γ	8.56E-01***	1.89E-02		
β_3		-1.78E-07	4.33E-05	灌溉投入 Irrigation input	β_0	1.49E+03***	6.83E+00	
σ^2		6.15E+06***	1.00E+00		β_1	-2.77E-01	4.79E-01	
γ		8.95E-01***	1.37E-02		β_2	-1.78E-04	2.11E-04	
化肥投入 Fertilizer input		β_0	3.52E+01		2.23E+01	β_3	2.56E-04***	9.26E-05
	β_1	3.93E-02***	1.35E-02	σ^2	1.03E+07***	1.00E+00		
	β_2	-1.42E-05***	3.75E-06	γ	7.51E-02	1.21E-01		
	β_3	-9.43E-06***	2.07E-06	碳排放 Carbon emission	β_0	1.55E+02***	3.87E+01	
	σ^2	1.59E+04***	1.03E+00		β_1	4.93E-02*	2.49E-02	
	γ	9.16E-01***	1.09E-02		β_2	-2.68E-05***	7.96E-06	
	农药投入 Pesticide input	β_0	2.90E+04***		2.55E+00	β_3	-1.30E-05***	3.34E-06
β_1		7.75E+00**	3.45E+00	σ^2	3.01E+04***	1.00E+00		
β_2		-4.91E-03***	1.05E-03	γ	8.63E-01***	1.79E-02		
β_3		-2.67E-03***	5.89E-04	面源污染排放 Non-point source pollution emission	β_0	2.52E+01*	1.49E+01	
σ^2		1.41E+09***	1.00E+00		β_1	2.61E-02***	8.95E-03	
γ		9.10E-01***	1.18E-02		β_2	-9.51E-06***	2.51E-06	
农膜投入 Agricultural film input		β_0	-8.59E+03***		1.01E+00	β_3	-6.33E-06***	1.37E-06
	β_1	-1.95E+00	2.83E+00	σ^2	6.81E+03***	1.04E+00		
	β_2	2.95E-03***	1.03E-03	γ	9.14E-01***	1.16E-02		

*、**和***表示在 10%、5%和 1%水平显著; β_0 为模型截距项, β_1 是第一产业产值参数估计值, β_2 是财政支农支出参数估计值, β_3 是研究经费支出参数估计值, σ^2 是模型中由随机噪声和无效效应符合作用造成的偏差, γ 是无效影响因素对个体效率差异的解释程度。*, ** and *** represent significant difference at levels of 10%, 5%, 1%, respectively. β_0 is the model intercept term; β_1 is the first industry output value parameter estimate; β_2 is the financial expenditure parameter estimate; β_3 is the research expenditure parameter estimate. σ^2 is the deviation caused by the coincidence of random noise and invalid effect in the model, and γ is the explanation degree of invalid influence factors to individual efficiency difference.

从表 6 可知, 城镇化综合指数在 1%水平显著正向影响农业生态效率, 即随着城镇化综合指数的提升, 粮食主产区农业生态效率将有所提高。虽然从各指标情况来看, 城镇化对农业生态效率的影响较为复杂, 但是城镇化发展整体上有利于促进农业生态效率的提升。其中城镇化对农业生态效率的正向

影响主要得益于城镇居民人均可支配收入及城镇经济密度对农业生态效率的正向影响。

人口城镇化率负向影响农业生态效率, 但不显著。这与现有人口城镇化对农业生态效率影响的研究结果有所不同, 主要是由于现有研究在农业生态效率测度时未能剔除外生环境影响及随机因素干扰,

表 5 2009—2018 年中国粮食主产区城镇化综合指数
Table 5 Comprehensive indexes of urbanization of main grain-producing regions of China in 2009–2018

省份 Province	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
河北 Hebei	0.34	0.38	0.43	0.46	0.49	0.52	0.51	0.50	0.50	0.52
内蒙古 Inner Mongolia	0.26	0.28	0.32	0.34	0.36	0.37	0.39	0.41	0.42	0.43
辽宁 Liaoning	0.31	0.36	0.40	0.43	0.46	0.49	0.51	0.52	0.50	0.52
吉林 Jilin	0.15	0.17	0.19	0.19	0.22	0.24	0.25	0.28	0.31	0.33
黑龙江 Heilongjiang	0.15	0.17	0.19	0.20	0.20	0.21	0.22	0.23	0.23	0.24
江苏 Jiangsu	0.46	0.54	0.61	0.66	0.69	0.74	0.77	0.81	0.87	0.90
安徽 Anhui	0.23	0.28	0.33	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.56	0.58
江西 Jiangxi	0.17	0.22	0.28	0.31	0.35	0.39	0.40	0.41	0.45	0.48
山东 Shandong	0.34	0.39	0.43	0.48	0.53	0.56	0.59	0.62	0.67	0.70
河南 Henan	0.27	0.30	0.36	0.40	0.44	0.47	0.49	0.52	0.58	0.63
湖北 Hubei	0.12	0.16	0.19	0.23	0.26	0.30	0.32	0.35	0.38	0.42
湖南 Hunan	0.18	0.21	0.26	0.29	0.33	0.37	0.39	0.43	0.49	0.49
四川 Sichuan	0.14	0.19	0.23	0.27	0.30	0.34	0.31	0.36	0.40	0.43
均值 Mean	0.24	0.28	0.33	0.36	0.39	0.42	0.43	0.46	0.49	0.51

农业生态效率测度准确性不足,难以有效反映农业生态效率真实情况。在未剔除外生环境影响及随机干扰前,人口城镇化率提升促进了各地区宏观环境的改善,如推动地区整体经济增长,故人口城镇化率对农业生态效率产生了正向影响。在剔除外生环境影响和随机干扰后,人口城镇化率对农业生态效率的真实影响显现,由于农村劳动力向城市流动,使得农业劳动力减少,为了减轻劳动力不足对农业生产的影响,农业机械将获得更多使用,而机械设备使用所排放的废弃物将加剧农业生态环境污染。

城镇居民人均可支配收入在 1%水平显著正向影响农业生态效率,即随着城镇居民人均可支配收入的提高,农业生态效率将随之增长。其原因可能是当市民收入提升时,消费水平也将随之提高,对农产品质量的要求也将更高,有机食品、绿色食品等生态农产品将更加获得市场青睐,在市场利益引导下农业生产部门将随之调整,更加重视农业生产绿色化以迎合市场绿色消费需求。

城镇经济密度在 1%的水平显著正向影响农业生态效率,即随着二三产业向城镇集中,农业生态效率将有所提升,其原因可能是二三产业聚集于城市而减少了对农业用地的侵占,从而提升了农业产出,此外由于二三产业集中城镇,其生产过程中所排放的废弃物对农业生态环境的污染减轻。

二三产业产值占 GDP 比重在 1%的水平上显著负向影响农业生态效率,即随着二三产业比重提升,农业生态效率将有所下降,其原因可能是二三产业

比重提升加剧了环境污染,显示出中国二三产业清洁生产能力仍然有待提升。

建成区城镇面积在 5%的水平显著负向影响农业生态效率,人均建成区面积在 1%水平显著负向影响农业生态效率,即随着建成区城镇面积和人均建成区面积扩大,农业生态效率将下降。其原因可能是城市用地扩大将侵占农业用地,而随着农业用地减少,农业生产受到影响,一方面农业用地不足直接造成农业产出下降,另一方面也可能造成更多化学制品使用,从而加剧农业生态环境污染。

4 结论与建议

4.1 研究结论

本文在剔除外生环境影响和随机干扰基础上从多个角度探讨城镇化对农业生态效率的影响,主要研究结论如下:

1)外生环境影响和随机干扰对于农业生态效率测度会产生显著影响,并进一步影响城镇化对农业生态效率的作用。第 1 阶段农业生态效率与第 3 阶段农业生态效率存在较大差距,剔除外生环境影响和随机干扰后粮食主产区农业生态效率出现明显变化。此外,在与现有研究对比中,部分城镇化指标对剔除外生环境和随机干扰后农业生态效率影响方向与现有研究相比出现变化。

2)中国粮食主产区农业生态效率持续增长,但是地区之间存在差距。根据剔除了外生环境影响和随机干扰的第 3 阶段农业生态效率可以看出,中国

表 6 城镇化对农业生态效率影响的估计结果
Table 6 Effect of urbanization on agricultural ecological efficiency

解释变量 Explanatory variable	第 1 次估计 First estimate				第 2 次估计 Second estimate			
	Tobit		Ols		Tobit		Ols	
	估计系数 Estimated coefficient	标准误差 Standard error						
城镇化综合指数 Comprehensive index of urbanization	0.60***	0.10	0.54***	0.09	—	—	—	—
人口城镇化率 Population urbanization rate					-0.05	0.08	-0.05	0.08
城镇居民人均可支配收入 Per capital disposable income of urban residents					0.51***	0.10	0.48***	0.10
城镇经济密度 Urban economic density					0.72***	0.19	0.65***	0.18
第二三产业占 GDP 的比重 Proportion of secondary and tertiary industries in GDP					-0.33***	0.09	-0.32***	0.09
建成区面积比重 Proportion of built-up area					-0.26**	0.13	-0.23**	0.12
人均建成区面积 Per capital built-up area					-0.28***	0.07	-0.28***	0.07
cons	0.42***	0.04	0.43***	0.03	0.67***	0.04	0.67***	0.04
sigma	0.18	0.01			0.13	0.01		
Log likelihood	20.74				60.74			
LR chi2	30.23(Prod>chi2=0.00)		Prod>F=0.00		110.22(Prod>chi2=0.00)		Prod>F=0.00	

*、**、***表示在 10%、5%、1%水平显著。*、**、*** represent significant effects at levels of 10%, 5%, 1%, respectively.

粮食主产区农业生态效率呈现持续增长趋势,但是不同地区间农业生态效率存在差距,部分粮食主产区农业生态效率达到效率前沿,但仍有部分地区农业生态效率处于较低水平。

3)城镇化整体上能够促进农业生态效率的提升,具体城镇化指标对农业生态效率的影响复杂,因此探讨城镇化对农业生态效率的影响不能仅仅从单方面进行考虑,因当多角度进行分析。根据分析可知,城镇化综合指数显著正向影响农业生态效率;从各指标来看,人口城镇化率负向影响农业生态效率,但不显著;城镇居民人均可支配收入、城镇经济密度正向影响农业生态效率;二三产业产值占 GDP 比重、建成区面积比重、人均建成区面积负向影响农业生态效率。

4.2 政策建议

根据研究可知城镇化整体上能够提升农业生态效率,为此应当进一步推进城镇化,并不断提升城镇化质量,下面从人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化 3 个方面提出建议。

1)人口城镇化稳定推进,切实提升居民收入水平。人口城镇化是城镇化基础,虽然人口城镇化对农业生态效率会产生一定负向影响,但是过剩的农业人口进入城市可以减少人类活动对农业生态环境的直接污染,可为城市发展提供动力,而城市发展又能为农业生态环境改善提供更多资金。为此,需要逐步引导农村过剩劳动力向城市转

移,在此过程中应当重视农业劳动力流失对农业发展的影响,积极推动先进耕种技术推广及绿色肥料应用,降低农业劳动力减少对农业生产的负面影响。此外,从研究中可以看出居民可支配收入的提升能够有效提高农业生态效率,为此应通过稳定就业、降低税负、拓宽居民投资渠道、加强社会保障等途径提升居民可支配收入,提高居民生活水平。

2)经济城镇化清洁发展,有效降低产业聚集污染。从研究中可以看出城镇经济密度的提高能够促进农业生态效率提升,为此应当在提升城镇产业清洁生产水平和加强产区环保体系建设基础上促进二三产业向城镇地区集聚,减少二三产业生产对农业生态环境的影响。促进二三产业向城镇集聚应当充分考虑产业园区环境承载力等因素,避免产业于单一区域的过度聚集,综合考量产业特点和城镇空间分布,通过提升产业园区清洁生产技术和强化废弃物回收利用、优化产业园区位置选择等方式减轻经济城镇化带来的城市环境问题。

3)土地城镇化适度实现,推动大小城市与小城镇协调发展。从研究中可以看出土地城镇化会制约农业生态效率提升,为此应当推动土地城镇化适度发展,在充分考虑地区发展实际和产业发展特征基础上,因地制宜推进卫星城、小城镇建设,避免对城市规模的片面追求,避免形成畸大畸小城镇格局,以实现地区城镇协调发展,减少土地城镇化过程对农业用地的过度挤压。

参考文献 References

- [1] 项继权, 周长友. “新三农”问题的演变与政策选择[J]. 中国农村经济, 2017, (10): 13–25
XIANG J Q, ZHOU C Y. Evolution and policy choices of new three rural issues[J]. China Rural Economy, 2017, (10): 13–25
- [2] 张贵友. 乡村振兴背景下“空心村”治理对策研究——基于安徽省的调查[J]. 江淮论坛, 2019, (5): 37–42
ZHANG G Y. Study on the countermeasures of “Hollow Village” governance under the background of vitalization of rural areas — Investigation based on Anhui Province[J]. Jianghuai Tribune, 2019, (5): 37–42
- [3] WESTLUND H. Urban futures in planning, policy and regional science: Are we entering a post-urban world?[J]. Built Environment, 2014, 40(4): 447–457
- [4] DENG X Z, HUANG J K, ROZELLE S, et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China[J]. Land Use Policy, 2015, 45: 1–7
- [5] ZHANG R J, JIANG G H, ZHANG Q. Does urbanization always lead to rural hollowing? Assessing the spatio-temporal variations in this relationship at the county level in China 2000–2015[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 220: 9–22
- [6] ANDERSEN H T. Planning on the edge: The context for planning at the rural-urban fringe by Nick Gallent; Johan Andersson; Marco Bianconi[J]. The Town Planning Review, 2007, 78(4): 539–540
- [7] ZHOU Y, LIU Y S, WU W X. Disaster risk: Strengthen China’s flood control[J]. Nature, 2016, 536(7617): 396
- [8] 吴小庆, 王亚平, 何丽梅, 等. 基于 AHP 和 DEA 模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6): 714–719
WU X Q, WANG Y P, HE L M, et al. Agricultural eco-efficiency evaluation based on AHP and DEA model — A case of Wuxi City[J]. Resources and Environment in the Yangtza Basin, 2012, 21(6): 714–719
- [9] 张杨, 陈娟娟. 农业生态效率的国际比较及中国的定位研究[J]. 中国软科学, 2019, (10): 165–172
ZHANG Y, CHEN J J. International comparison of agroecological efficiency and China’s positioning study[J]. China Soft Science, 2019, (10): 165–172
- [10] 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
- [11] 胡平波, 钟漪萍. 政府支持下的农旅融合促进农业生态效率提升机理与实证分析——以全国休闲农业与乡村旅游示范县为例[J]. 中国农村经济, 2019, (12): 85–104
HU P B, ZHANG Y P. The mechanism of improving agricultural eco-efficiency by the integration of agriculture and tourism supported by the government: Taking the national leisure agriculture and rural tourism demonstration counties as an example[J]. China’s Rural Economy, 2019, (12): 85–104
- [12] 侯孟阳, 姚顺波. 中国农村劳动力转移对农业生态效率影响的空间溢出效应与门槛特征[J]. 资源科学, 2018, 40(12): 2475–2486
HOU M Y, YAO S B. Spatial spillover effects and threshold characteristics of rural labor transfer on agricultural eco-efficiency in China[J]. Resources Science, 2018, 40(12): 2475–2486
- [13] 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
- [14] 曹俊文, 曾康. 低碳视角下长江经济带农业生态效率及影响因素研究[J]. 生态经济, 2019, 35(8): 115–119
CAO J W, ZENG K. Study on agricultural eco-efficiency and its influencing factors in the Yangtze River economic belt from the perspective of low carbon[J]. Ecological Economy, 2019, 35(8): 115–119
- [15] 郑雨楠, 洪名勇. 中国农业生态效率的时空特征及驱动因素[J]. 江西财经大学学报, 2019, (5): 46–56
ZHENG L N, HONG M Y. Spatial and temporal characteristics and driving factors of agricultural ecological efficiency in China[J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2019, (5): 46–56
- [16] 薛俊菲, 陈雯, 张蕾. 中国市域综合城市化水平测度与空间格局研究[J]. 经济地理, 2010, 30(12): 2005–2011
XUE J F, CHEN W, ZHANG L. Comprehensive measurement and spatial pattern of urbanization level of China’s cities[J]. Economic Geography, 2010, 30(12): 2005–2011
- [17] 范虹珏, 刘祖云. 中国城镇化空间发展态势研究——基于人口、土地、经济城镇化协调发展的视角[J]. 内蒙古社会科学: 汉文版, 2014, 35(1): 95–100
FAN H Y, LIU Z Y. A study on the spatial development of urbanization in China-based on the perspective of coordinated development of population, land and economic urbanization[J]. Inner Mongolia Social Sciences: Han Version, 2014, 35(1): 95–100
- [18] 刘旭晔. 城镇化对耕地可持续利用的影响研究——基于湖北省县级面板数据分析[J]. 中南财经政法大学学报, 2015, (2): 20–27
LIU X Y. Study of the influence of urbanization on sustainable utilization of cultivated land: Based on the analysis of the county level data in Hubei Province[J]. Journal of Zhongnan University of Economics and Law, 2015, (2): 20–27
- [19] 贺三维, 邵玺. 京津冀地区人口-土地-经济城镇化空间集聚及耦合协调发展研究[J]. 经济地理, 2018, (1): 95–102
HE S W, SHAO X. Spatial clustering and coupling coordination of population-land-economic urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. Economic Geography, 2018, (1): 95–102
- [20] 李新刚, 孙钰. 人口、土地、经济城镇化动态影响效应研究[J]. 经济问题, 2018, (3): 106–111
LI X G, SUN Y. The dynamic effect of population, land, eco-

- conomic urbanization[J]. *On Economic Problems*, 2018, (3): 106–111
- [21] 卢新海, 柯楠, 匡兵, 等. 中部地区土地城镇化水平差异的时空特征及影响因素[J]. *经济地理*, 2019, 39(4): 192–198
LU X H, KE N, KUANG B, et al. Spatial-temporal features and influencing factors of difference in land urbanization level of central China[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 192–198
- [22] 蔡之兵, 邓仲良. 中国空间城镇化水平测度及其影响因素分析——基于省级地理加权回归模型的证据[J]. *郑州大学学报: 哲学社会科学版*, 2020, 53(266): 48–54
CAI Z B, DENG Z L. An analysis of China's spatial urbanization level and its influencing factors: Based on geographically weighted regression model of Chinese provinces[J]. *Journal of Zhengzhou University: Philosophy and Social Sciences Edition*, 2020, 53(266): 48–54
- [23] STIGSON B. *Eco-efficiency: Creating More Value with Less Impact*[R]. North Yorkshire, UK: WBCSD, 2000: 5–36
- [24] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1): 157–174
- [25] 张舰, 亚伯拉罕·艾宾斯坦, 玛格丽特·麦克米伦, 等. 农村劳动力转移、化肥过度使用与环境污染[J]. *经济社会体制比较*, 2017, (3): 149–160
ZHANG J, EBENSTEIN A, MCMILLAN M, et al. Migration, excessive fertilizer use and environmental consequences[J]. *Comparative Economic and Social Systems*, 2017, (3): 149–160
- [26] 何兴邦, 周葵. 城镇化对进城农民环保行为影响研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(8): 70–78
HE X B, ZHOU K. Effects of urbanization on the environmental behaviors of peasants in cities[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(8): 70–78
- [27] 刘洪波. 以绿色消费助推社会主义新农村建设[J]. *行政论坛*, 2009, 16(5): 87–89
LIU H B. Promote the construction of new socialist countryside with green consumption[J]. *Administrative Tribune*, 2009, 16(5): 87–89
- [28] 韩纪江, 孔祥智. 城镇化进程对农村经济的负面效应浅议[J]. *农业经济问题*, 2001, (7): 26–30
HAN J J, KONG X Z. Discussions on the negative impacts of urbanization on rural economy[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2001, (7): 26–30
- [29] 课题组. 农地城市流转对周边区域农业生产的负外溢效应研究[J]. *农业经济问题*, 2010, (12): 98–101
Discussion Group. Study on the negative spillover effects on local agricultural production arising from the rural-urban land conversion process[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2010, (12): 98–101
- [30] 高杨, 牛子恒. 农业信息化、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于 SBM-ML 指数法和空间杜宾模型[J]. *统计与信息论坛*, 2018, 33(10): 66–75
GAO Y, NIU Z H. Agricultural informatization, spatial spillover effect and agricultural green total factor productivity: Based on the method of SBM-ML index and spatial Durbin model[J]. *Statistics & Information Forum*, 2018, 33(10): 66–75
- [31] 刘旭晔, 张开华, 王颖. 城镇化快速发展背景下耕地可持续利用动态评价——基于湖北省 2003~2012 年县级层面数据分析[J]. *农村经济与科技*, 2015, 26(5): 15–19
LIU X Y, ZHANG K H, WANG Y. Dynamic evaluation of sustainable use of cultivated land under the background of rapid development of urbanization — Based on the county level data analysis of Hubei Province from 2003 to 2012[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2015, 26(5): 15–19
- [32] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498–509
- [33] TONE K. *Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-based Measure (SBM) Approach*[M]. Toronto: North American Productivity Workshop, 2004.
- [34] 罗登跃. 三阶段 DEA 模型管理无效率估计注记[J]. *统计研究*, 2012, 29(4): 104–107
LUO D Y. A note on estimating managerial inefficiency of three-stage DEA model[J]. *Statistical Research*, 2012, 29(4): 104–107
- [35] 陈巍巍, 张雷, 马铁虎, 等. 关于三阶段 DEA 模型的几点研究[J]. *系统工程*, 2014, 32(9): 144–149
CHEN W W, ZHANG L, MA T H, et al. Research on three-stage DEA model[J]. *Systems Engineering*, 2014, 32(9): 144–149
- [36] 李宁, 何文剑, 仇童伟, 等. 农地产权结构、生产要素效率与农业绩效[J]. *管理世界*, 2017, (3): 44–62
LI N, HE W J, QIU T W, et al. Farmland property rights structure, production factor efficiency and agricultural performance[J]. *Management World*, 2017, (3): 44–62
- [37] 黄玛兰, 李晓云, 游良志. 农业机械与农业劳动力投入对粮食产出的影响及其替代弹性[J]. *华中农业大学学报: 社会科学版*, 2018, (2): 37–45
HUANG M L, LI X Y, YOU L Z. The influence of agricultural machinery and agricultural labor input on grain output and its substitution elasticity[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2018, (2): 37–45
- [38] 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, 44(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, 44(9): 1184–1187
- [39] BATTESE G E, COELLI T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India[J]. *The Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1/2): 153–169
- [40] COELLI T J, RAO D S P. Total factor productivity growth in agriculture: A malmquist index analysis of 93 countries, 1980–2000[J]. *Agricultural Economics*, 2005, 32(S1): 115–134