

引用格式：

王帅, 王亚静. 城镇化与粮食生态效率——基于异质性城镇化的理论视角与实证检验 [J]. 农业现代化研究, 2023, 44(3): 469-479.

Wang S, Wang Y J. Urbanization and grain eco-efficiency: Theoretical perspective and empirical test based on heterogeneous urbanization[J]. Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(3): 469-479.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2023.0053



城镇化与粮食生态效率 ——基于异质性城镇化的理论视角与实证检验

王帅, 王亚静*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 破解粮食生产的资源环境约束、提升粮食生态效率是新形势下全面提高我国粮食安全保障水平的必然选择。根据“城镇化—要素配置—粮食绿色生产”之间的逻辑关系提出理论框架, 基于 2006—2019 年中国 31 个省(区、市)的面板数据实证分析了城镇化对粮食生态效率的影响, 并基于异质性城镇化理论进行分析和检验。结果表明: 1) 我国粮食生态效率总体水平较低, 存在明显的时间波动和区域差异; 2) 人口城镇化阻碍了粮食生态效率的提高, 就地城镇化促进了粮食生态效率的提高, 且人口城镇化的影响程度高于就地城镇化; 3) 在主销区和产销平衡区, 人口城镇化对粮食生态效率产生显著的负向影响, 而在主产区则表现为显著的正向影响。人口城镇化在主销区对粮食生态效率的负向作用更强, 就地城镇化在产销平衡区对粮食生态效率的正向作用更强。因此, 应关注城镇化发展路径的差异对粮食生态效率的不同影响, 综合考虑不同粮食生产功能区的现实情况采取不同的城镇化推进路径。

关键词: 人口城镇化; 就地城镇化; 粮食生产; 粮食生态效率; 工具变量; 两阶段最小二乘法

中图分类号: F323

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275(2023)03-0469-11

Urbanization and grain eco-efficiency: Theoretical perspective and empirical test based on heterogeneous urbanization

WANG Shuai, WANG Ya-jing

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: It is an inevitable choice to comprehensively improve China's grain security under the new background to break the resource and environmental constraints of food production and improve the grain eco-efficiency. According to the logical relationship of "urbanization - factor distribution - grain eco-production", based on a panel data from 31 provinces in China from 2006 to 2019 and from the theoretical perspective of heterogeneous urbanization, this paper seeks to build a theoretical framework to empirically analyze the impacts of urbanization on green grain production efficiency. Results show: 1) the overall level of green production efficiency of grain in China is low, with pronounced time fluctuations and regional differences; 2) population urbanization hinders the improvement of the green production efficiency of grain, while in-situ urbanization promotes the improvement of the green production efficiency of grain with lower influences; and 3) in the primary marketing area and the balanced production and marketing area, population urbanization has a significant negative impact on the green production efficiency of grain in the secondary grain-producing areas, while it has a significant positive impact in the primary grain-producing areas. Population urbanization's negative effect on grain's green production efficiency is stronger in the primary marketing area. However, the positive effect of in-situ urbanization on the green production efficiency of grain is stronger in the balanced production and marketing area. In summary, this study suggests: paying attention to the different impacts of different urbanization development paths on the green production efficiency of grain and considering different urbanization promotion paths based on the reality of different grain production functional areas.

Key words: population urbanization; in-situ urbanization; grain production; grain eco-efficiency; instrumental variable; two-stage least square method

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771569)。

作者简介: 王帅(2000—), 男(蒙古族), 河北承德人, 硕士研究生, 主要研究方向为农业经济管理, E-mail: 15830916193@163.com;

通信作者: 王亚静(1979—), 女, 河南驻马店人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农业经济管理, E-mail: wangyajing@caas.cn。

收稿日期: 2022-08-22; 接受日期: 2023-06-12

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (41771569).

Corresponding author: WANG Ya-jing, E-mail: wangyajing@caas.cn.

Received 22 August, 2022; Accepted 12 June, 2023

“十三五”期间,我国粮食产量持续稳定在6.65亿t以上,粮食数量安全得到基本保障。然而,粮食生产对化肥和农药的依赖程度较高,生态环境压力不断加大^[1],推进绿色发展已成为普遍共识。与此同时,我国正在经历快速的城镇化过程,城镇常住人口占总人口的比重以年均1.04个百分点的速度快速增长,从1978年的17.92%提高到2021年的64.72%,人口城镇化主导了中国城镇化发展方向。尤其是自改革开放以来,农村人口不断流向城市,农村劳动力结构性短缺等问题日趋严重,威胁着粮食安全。在此背景下,我国开始探索以县城为核心的中国特色城镇化道路。就地城镇化以中心村或小城镇为依托,通过发展农村二三产业实现农村居民的就地非农就业和市民化。相较于人口城镇化下人口的单向流动,就地城镇化一方面吸引进城务工人员返乡创业就业,另一方面带动当地人口的就地就业,淡化了城乡二元结构的同时加快了乡村产业振兴。人口城镇化和就地城镇化通过人口的不同流动影响着其他生产要素的配置,对粮食生产要素的绿色化利用水平产生异质性影响。因此,本文以城镇化对粮食生态效率的异质性影响为核心问题,通过对这一问题的尝试性解释为城镇化和粮食安全的协调发展提供参考。

粮食生态效率从生态效率延伸而来,通过将粮食生产的环境代价纳入分析框架,反映了更真实的效率水平^[2]。关于粮食生态效率测算的研究主要集中在两方面。一是测算边界。已有研究关于粮食生产投入要素的界定基本相差无几,但对产出的界定则有所不同。期望产出有粮食产量和粮食产值两种界定方法;非期望产出主要包含碳排放和面源污染两种^[3],亦或兼而有之^[4]。二是测算方法。早期测算方法主要基于“索洛余值”法,随着生产前沿面分析方法的发展,逐渐过渡到随机前沿生产函数^[5]和数据包络分析法^[6],但这两种方法因需要提前假定生产函数形式和技术非效率项分布而受到质疑。直到方向性距离函数演化到非径向、非角度的松弛形式才从技术上解决了松弛量对效率评价的影响,此时纳入了环境成本的生产效率被称为绿色全要素生产率或生态效率^[7]。粮食生产过程也会带来一定的碳排放和面源污染,将二者进行计量并纳入到非期望产出中以反映粮食生产的环境负外部性,所测得的生产效率被称为粮食生态效率。

已有研究对城镇化与粮食生产之间的关系进行了深入探讨,但观点尚不统一。部分学者认为“城镇化阻碍粮食生产”。即城镇化的要素配置效应使

粮食生产投入要素减少,影响粮食生产。从劳动力角度看,城镇化造成了农业生产部门劳动力数量性和结构性短缺^[8];从耕地角度看,工商资本下乡投资农村二三产业,使得农地利用趋于“非粮化”^[9]。而城镇化失衡发展导致建设用地无序扩张,更是直接造成了耕地数量减少和质量损害^[10]。还有学者通过论证城镇化所导致的水资源短缺^[11]、种植结构变动^[12]、政策空间外部性^[13]来证明城镇化对粮食生产的阻碍作用。与此相反,部分学者认为“城镇化促进粮食生产”,即城镇化与粮食安全目标是可以相容的^[14],城镇化带来的农业技术进步、农地规模化经营、经营方式转变等效应也不容忽视。城镇化对粮食生产的资本投入与技术进步效应能有效替代要素利用效应,从长期看对粮食生产能力提高具有积极作用^[15]。甚至单就城镇化导致农村劳动力短缺而影响粮食生产这一观点也有学者提出批驳,如王跃梅等^[16]认为城镇化引导了农村剩余劳动力向城镇流动,缓解了粮食生产的内卷化现象,提高了劳动效率,促进了粮食生产。

综上,已有研究为本文提供了理论参考,但仍存在以下两点不足。第一,对关键概念理解不够深入,导致模型估计可能存在偏误。事实上,当前的粮食生产效率会受到前期影响,仅构建静态模型可能会造成估计的非一致性。第二,缺乏对城镇化类型的考察,造成研究结论存在较大分歧。既有研究多从人口城镇化视角审视城镇化与粮食生产的关系,鲜有文献关注城镇化发展类型的差异。本文基于“城镇化—要素配置—粮食绿色生产”之间的关系构建理论分析框架,在利用超效率SBM模型测算粮食生态效率的基础上,运用双向固定效应模型剖析城镇化对粮食生态效率的影响机制。

1 理论分析与研究假设

1.1 人口城镇化与粮食生态效率

传统的人口城镇化以农村人口向城镇的单向流动为主要路径,通过对劳动力资源的重新配置对其他要素配置产生影响。人口城镇化下大量农村青壮年进城转为非农就业,直接导致种粮劳动力结构性短缺。这种情况对粮食生态效率的负向影响主要表现在以下几个方面。第一,为了缓解劳动力短缺约束,农户会加大化肥、农药等替代性要素的投入强度,造成投入要素的不合理配置和浪费,提高粮食生产碳排放和面源污染强度的同时降低生产效率,进而降低粮食生态效率。第二,从农业技术角度来看,农村青壮年劳动力不足,“老人农业”成为粮

食生产的常态，其直接后果是降低生产效率，同时还制约了绿色生产技术的采纳和应用，阻碍粮食生态效率提高。第三，从农地角度来看，人口城镇化的无序发展侵占耕地、耕地占优补劣等投机行为对农地数量和质量的的双重影响，不仅会直接减少期望产出，同时还可能导致农地面源污染，增加农地非期望产出，降低粮食生态效率。基于此提出假说1：

H1：人口城镇化对粮食生态效率具有显著的负向影响。

1.2 就地城镇化与粮食生态效率

就地城镇化以中心镇或村为依托，以相关现代产业体系吸纳农民的就地就近就业，通过人口回流带来的系列效应对粮食生态效率产生积极影响。在此情境下农户的农业经营存在两种选择，分别是兼业经营和流转土地。首先，两种情况都能够实现农村劳动力数量上的补充，一定程度上减少了劳动替代性要素的投入，促进农机、化肥、农药等要素合理使用，提升要素配置效率同时减少粮食生产碳排放和面源污染，提高了粮食生态效率；其次，两种方式也都能够促进农村劳动力质量上的提升，返乡就业创业人员具有更高的人力资本水平、更强的环保意识和生态自觉性，能够加快粮食绿色生产的新知识、新技术和新模式的普及应用，提高生产效率同时减少非期望产出，提升粮食生态效率。而从收入效应上看，就地城镇化对兼业农户与流转农户的影响则不同。对于兼业农户而言，就地城镇化增加了其工资性收入，缓解了粮食生产资金约束，促进

其绿色生产技术投资，提高粮食生态效率；选择土地流转则促进了粮食规模化经营，发挥规模优势降低绿色技术投资成本，促进新技术、新模式的应用，减少分散农户不合理施肥用药等行为带来的污染，提高粮食生态效率。基于此提出假说2：

H2：就地城镇化对粮食生态效率具有显著的正向影响。

1.3 异质性城镇化对粮食生态效率的影响

城镇化的本质是人口在城乡之间流动，无论以何种经济现象或指标所表征的城镇化，都不可避免地通过人口在城乡之间的流动所引发的生产要素重新配置而对粮食生态效率产生影响。人口城镇化下农村人口向城镇单向转移，影响了粮食生产劳动力、技术、农地等要素的合理配置，降低效率的同时增加了碳排放和面源污染等非期望产出，降低了粮食生态效率。就地城镇化通过开发当地资源发展乡村二三产业，引导转移人口返乡就业创业和未转移人口就地就近就业，激发了乡村生产要素内生活力。通过改善劳动力、技术、农地、资金等要素的配置方式，降低了碳排放和面源污染水平，提高了粮食生态效率（图1）。基于此提出假说3：

H3：城镇化对粮食生态效率具有显著影响，且因城镇化发展路径的异质性而有所差异。

2 研究方法

2.1 模型设计

2.1.1 超效率SBM-Undesirable模型 超效率SBM-

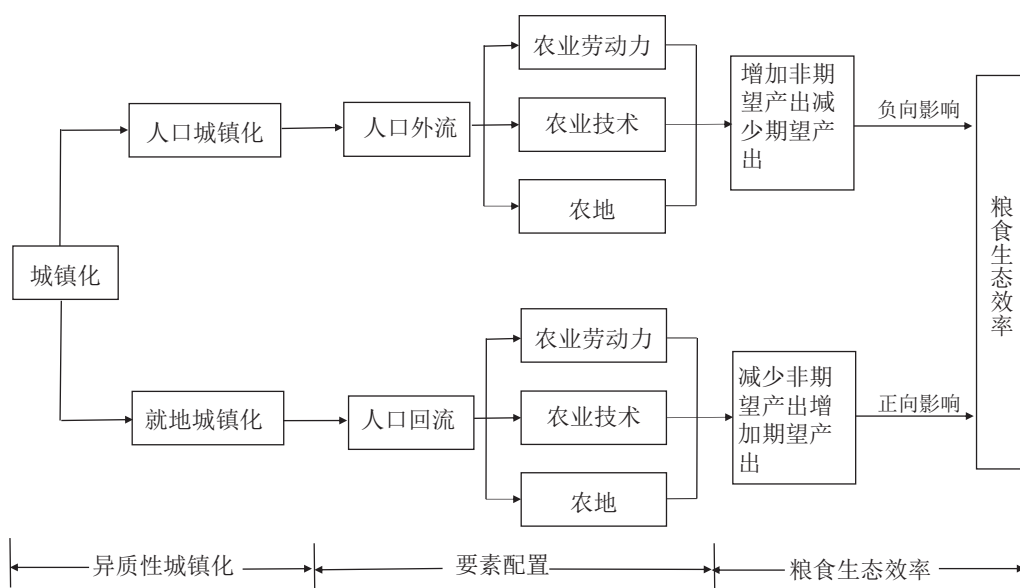


图1 城镇化影响粮食生态效率的理论框架

Fig. 1 Theoretical framework of the impacts of urbanization on grain eco-efficiency

Undesirable 模型既克服了传统 DEA 模型预设生产函数和关键技术变量分布形式的不足又提高了普通 SBM 模型的解释力,还能够将非期望产出引入到模型当中对绿色生产效率进行测度^[17],因此本文选择包含非期望产出的超效率 SBM 模型测算粮食生态效率。粮食生产投入采用广义权重系数法计算。超效率 SBM- Undesirable 模型可设置为:

$$\pi = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{c_1 + c_2} \left[\sum_{\alpha=1}^{c_1} \frac{s_{\alpha}^+}{y_{\alpha k}} + \sum_{\beta=1}^{c_2} \frac{s_{\beta}^+}{b_{\alpha k}} \right]} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} x_{ik} &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \\ y_{\alpha k} &\leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{\alpha j} \lambda_j - s_{\alpha}^+ \\ b_{\beta k} &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n b_{\beta j} \lambda_j - s_{\beta}^- \\ 1 - \frac{1}{c_1 + c_2} \left[\sum_{\alpha=1}^{c_1} \frac{s_{\alpha}^+}{y_{\alpha k}} + \sum_{\beta=1}^{c_2} \frac{s_{\beta}^+}{b_{\alpha k}} \right] &> 0 \\ \lambda_j &> 0; j = 1, 2, \dots, n, j \neq k; s_i^- \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ s_{\alpha}^+ \geq 0, \alpha = 1, 2, \dots, c_1; s_{\beta}^- \geq 0, \beta = 1, 2, \dots, c_2 \end{aligned} \quad (2)$$

式(1)表示效率测算模型,式(2)是效率测算模型的系列约束条件的集合。其中, π 表示粮食生态效率;决策单元 DUM 由投入要素、期望产出和非期望产出组成,分别由 m 、 c_1 、 c_2 表示; n 表示决策单元数, $n=30$; x_{ik} 、 $y_{\alpha k}$ 、 $b_{\beta k}$ 分别表示投入矩阵、期望产出矩阵、非期望产出矩阵的元素。

2.1.2 双向固定效应模型 为进一步研究不同城镇化类型对粮食生态效率的影响,避免遗漏变量问题,采用双向固定效应模型进行检验,形式如下:

$$Y_{it} = \rho_1 + \rho_1 X_{it} + \sum \rho_i C_{it} + p_i + y_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$Y_{it} = \rho_2 + \rho_2 X'_{it} + \sum \rho_j C_{it} + p_i + y_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式(3)、(4)中 i 表示省份, t 表示年份, Y 表示粮食生态效率, X 表示传统城镇化, X' 表示就地城镇化, C 表示系列控制变量, p_i 表示地区固定效应项, y_t 表示时间固定效应, ρ 表示待估参数, ε 表示随机扰动项。

2.2 变量选择

粮食生态效率测算变量的选取及解释如表 1 所示;城镇化对粮食生态效率影响机制的变量选取及解释如表 2 所示。中国保障粮食安全的基本目标是“口粮绝对安全”,其基础仍是提高粮食自给率。因此粮食生态效率测算中所用到的产量数据指的是三大主粮(稻谷、小麦和玉米)的产量。

2.3 数据来源与说明

2006—2019 年中国 31 个省(区、市)(不包括港澳台)的面板数据来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国水利统计年鉴》《中国农业机械工业年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》以及各省市统计年鉴。样本时间间隔的选取基于三个原因:第一,2006 年以前部分省份的相关指标数据缺失较为严重,且统计口径差异大,而 2019 年后的数据受国际局势等的干扰,用于模型分析可能会产生难以消除的数据噪音干扰,影响估计结果的可靠性;第二,2006 年以后就地城镇化快速发展并逐渐

表 1 粮食生态效率测算相关指标选取与解释

Table 1 Selection and interpretation of relevant indicators for grain eco-efficiency measurement

变量分类	变量	变量解释
投入要素	土地要素投入 (hm ²)	将粮食作物播种总面积作为土地要素投入
	劳动要素投入 (人)	将农林牧渔从业人员乘以权重系数 N 换算得到种粮劳动力人数
	机械要素投入 (万 kW)	农用机械总动力乘以权重系数 M
	化学要素投入 (万 t)	化肥折纯量乘以权重系数 M
		农药施用量乘以权重系数 M
灌溉投入 (hm ²)	有效灌溉面积乘以权重系数 M	
期望产出	粮食产量 (万 t)	各省粮食当年总产量
非期望产出	面源污染	借鉴陆杉和熊妍 ^[18] 的方法,化肥、农药、农膜的使用量分别乘以其面源污染系数,求和得到粮食生产面源污染总量
	碳排放	借鉴美国橡树岭国家实验室以及李波和张俊彪 ^[19] 的方法,粮食生产碳排放主要源于化学要素投入(化肥、农药、农膜)、机械要素作业(柴油)、技术要素欠缺(翻耕、灌溉),分别乘以其碳排放系数,求和得到粮食生产碳排放总量

注:①权重系数 $M = \text{粮食播种面积} / \text{农作物播种总面积}$, $N = (\text{粮食作物播种面积} / \text{农作物播种总面积}) \times (\text{农业产值} / \text{农林牧渔业总产值})$;②化肥、农药、农膜的面源污染系数分别为 50%、75% 和 10%;③化肥、农药、农膜、柴油、翻耕、灌溉的碳排放测算系数分别为 4.934 1 kg/kg、0.895 6 kg/kg、0.592 7 kg/kg、5.18 kg/kg、312.6 kg/hm²、20.476 kg/hm²。

表 2 回归模型变量选择与解释
Table 2 Regression model variable selection and interpretation

变量分类	变量名称	变量定义	均值	方差	最小值	最大值
被解释变量	粮食生态效率	上一节中测算的粮食生态效率	0.744	0.221	0.359	1.989
核心解释变量	人口城镇化率 (%)	城镇常住人口占总人口的比重	0.537	0.143	0.211	0.896
	就地城镇化率 (%)	乡村私营企业就业人数与个体就业人数之和占乡村人口的比重	0.189	0.329	0.016	0.665
控制变量	生产特征	农地经营规模 (hm ² /人)	16.858	28.286	4.856	249.337
		粮食播种面积除以种粮劳动力人数				
		农业机械化水平 (%)	6.427	3.401	2.341	24.626
		农业机械总动力占农作物播种面积的比重				
		种植结构 (%)	0.653	0.130	0.328	0.971
		粮食播种面积占农作物播种总面积的比重				
	经济特征	农村人力资本 (年)	7.612	0.794	4.304	9.838
	6 岁及以上相应文化程度农村人口平均受教育年限					
	产业结构 (%)	0.894	0.055	0.673	0.997	
	第二三产业占地区生产总值的比重					
政策环境	财政支农水平 (%)	0.109	0.034	0.023	0.203	
	财政农林水事务支出占财政总支出的比重					
自然因素	受灾情况 (%)	0.195	0.144	0.006	0.689	
	受灾面积占农作物播种总面积的比重					

注：农村人力资本测算方法是将受教育程度按“未上过学”“小学”“初中”“高中或中专”“大专及以上”分别赋值为 1、6、9、12、16，与相应文化程度的人口数相乘后再比上 6 岁以上农村总人口数的值。

成为独立于人口城镇化的新型城镇化发展路径，并进入政策视野和学术研究；第三，2006 年以后国家粮食供求开始出现紧平衡状态，使用该节点后的数据可更为深入地考察不同城镇化路径对粮食生态效率的影响。为便于比较分析和稳健性检验，本文对各粮食生产功能区进行细分考察。根据《国家粮食安全中长期规划纲要（2008—2020）》的标准划分为粮食主产区、主销区和产销平衡区，粮食主产区包括辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古、河北、山东、安徽、江苏、江西、河南、湖南、四川和湖北 13 个省（区）；主销区包括：北京、上海、天津、浙江、海南、广东和福建 7 个省（市）；产销平衡区包括：山西、广西、重庆、云南、贵州、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆 11 个省（区、市）。

3 结果与分析

3.1 粮食生态效率的时空差异分析

3.1.1 全国层面 2006—2019 年间，我国粮食生态效

率总体呈“U”型波动变化。2006—2012 年先下降后提高，波动范围较大，总体水平较低；2013 年以后，经历了缓慢的爬坡期，至 2019 年达到近 14 年来的最高水平（图 2）。总体上，我国粮食生态效率的变化趋势为“波动中略有提升”，效率值从 2006 年的 0.803 提升到 2019 年的 0.908。随着粮食生产的资源环境约束趋紧，国家至各级地方政府都制定了农业绿色发展规划及相关政策措施，加大力度推广水肥一体化、保护性耕作、秸秆综合利用等绿色技术，推动了粮食生态效率的提升。

3.1.2 分区层面 三大粮食生产功能区粮食生态效率的变动同全国层面的波动基本一致（图 2）。从“十一五”到“十三五”期间，三大粮食生产功能区的粮食生态效率均有所提升，但呈现出明显的地区差异性。从均值来看，主产区的粮食生态效率最高，产销平衡区、主销区次之。三大区域的粮食生态效率自 2010 年降至最低值之后开始了缓慢发展态势，经历了近 7 年的爬坡期后才有了显著提高。

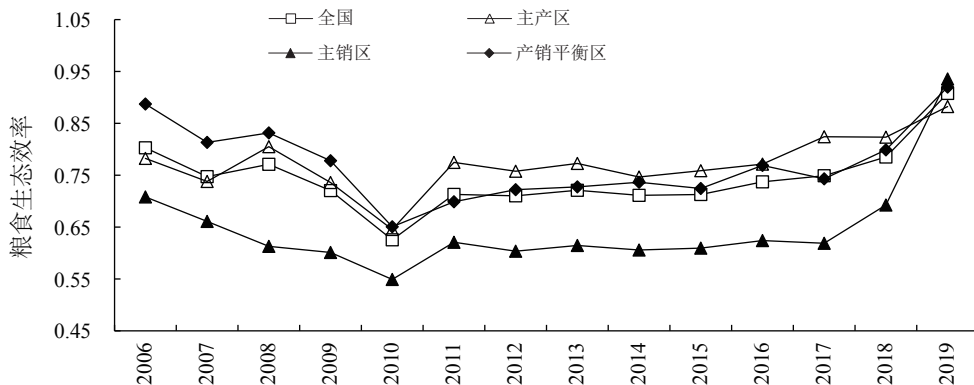


图 2 2006—2019 年我国粮食生态效率变化趋势
Fig. 2 Trend of grain eco-efficiency in China from 2006 to 2019

到 2017 年以后才开始有显著的提高。总体来看, 各区域的粮食生态效率水平都得到了稳步推进。

3.2 城镇化对粮食生态效率的影响机制

模型 1~4 基于双向固定效应模型 (表 3)。从模型 1 和模型 2 的结果来看, 在未引入其他控制变量的情况下, 人口城镇化对粮食生态效率具有显著的负向影响, 就地城镇化对粮食生态效率具有显著的正向影响。模型 3 和模型 4 的估计结果则表明, 引入关键控制变量以后, 这种影响关系依然显著, 且影响程度有所提升。模型 3~4 的拟合优度与模型 1~2 相比也有明显提升。模型 5~8 首先对人口城镇化和就地城镇化进行一阶差分处理, 将一阶滞后

项作为工具变量进行两阶段最小二乘回归 (表 4)。IV-2SLS 的回归结果与双向固定效应模型回归结果基本一致。尤其是引入控制变量后, 运用工具变量法得到的城镇化水平估计系数显著上升, 表明忽视内生性问题将出现明显的估计偏差。因此, 本文以工具变量 - 两阶段最小二乘法的回归结果作为基准回归结果对其进行解释。

3.2.1 基准回归结果分析 1) 人口城镇化对粮食生态效率的影响。表 4 中模型 7 结果表明, 人口城镇化对粮食生态效率的影响弹性为 1.071。我们可从人口城镇化对农户生产决策的影响对此做出解释。人口城镇化导致农村劳动力减少, 劳动力市场供求

表 3 双向固定效应模型回归结果

Table 3 Two-way fixed effect model regression results

变量名称	双向固定效应模型			
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
人口城镇化	-0.917***(0.253)	—	-0.767***(0.263)	—
就地城镇化	—	0.187***(0.042)	—	0.192***(0.042)
农地经营规模	—	—	0.001***(0.000)	0.001***(0.000)
农业机械化	—	—	-0.019***(0.005)	-0.018***(0.005)
种植结构	—	—	-0.048(0.158)	0.057(0.156)
农村人力资本	—	—	0.021(0.016)	0.031(0.013)
产业结构	—	—	-0.040(0.030)	-0.106(0.327)
财政支农	—	—	0.140***(0.026)	0.030(0.034)
受灾情况	—	—	-0.389***(0.071)	-0.142**(0.046)
常数项	1.233***(0.118)	0.788***(0.017)	2.376(2.890)	2.001(1.431)
双向固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
组内 R ²	0.318	0.330	0.402	0.412
Hansen 检验 p 值	0.173	0.098	0.000	0.000
样本量	434	434	434	434

注: ① *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 水平上显著; ② 括号内为稳健标准误。下同。

表 4 工具变量 - 两阶段最小二乘法回归结果

Table 4 Instrumental variables-two-stage least squares regression results

变量名称	IV-2SLS			
	模型 5	模型 6	模型 7	模型 8
人口城镇化	-1.172***(0.256)	—	-1.071***(0.268)	—
就地城镇化	—	0.187***(0.040)	—	0.195***(0.091)
农地经营规模	—	—	0.017***(2.730)	0.009*(1.961)
农业机械化	—	—	-0.077***(0.022)	-0.028*(0.015)
种植结构	—	—	-0.124(0.160)	-0.011(0.158)
农村人力资本	—	—	0.014(0.030)	0.013(0.030)
产业结构	—	—	-0.661(0.393)	-0.891*(0.372)
财政支农	—	—	1.077***(0.393)	1.244***(0.390)
受灾情况	—	—	-0.114*(0.046)	-0.117***(0.045)
常数项	1.303***(0.122)	0.728***(0.017)	1.845***(0.431)	1.420***(0.429)
双向固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
组内 R ²	0.364	0.366	0.422	0.433
弱工具变量 F 检验值	58.94***	57.28***	51.61***	47.45***
样本量	416	416	416	416

注: ① *、** 和 *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 水平上显著; ② 括号内为稳健标准误。下同。

关系的改变使得农业雇工价格居高不下，粮食生产面临劳动力和雇工成本的双重压力^[20]，理性农户将从两个环节对此压力做出响应：首先调整种植结构，进而通过替代性生产资料投入以最大限度地减少劳动投入。当雇工成本过高时，农户会更倾向于种植耗费人力劳动更少的粮食作物，减少经济作物种植^[21]，同时提高各生产环节的机械化水平以减少人力劳动。例如，在整地、播种、收割等环节提高机械作业比例，在田间管理中大量施用农药以减少人工除草成本^[22]、提高化肥施用强度以降低施肥频率，其结果一方面导致了粮食生产碳排放和面源污染程度增加^[23]，另一方面还可能因不合理的施肥施药降低粮食产量，降低粮食生产生态效率。此外，城镇化的就业筛选机制只给人力资本水平较高者流入城市的机会^[24]，年龄较大、受教育水平较低者只能继续留守农村，这也将制约绿色生产技术在粮食生产中的应用，阻碍粮食生态效率的提高。

2) 就地城镇化对粮食生态效率的影响。表4中模型8的结果表明，就地城镇化对粮食生态效率的影响弹性为0.195。可以从城镇化对农民投资决策和农村人力资本水平的影响做出解释。两种城镇化的发展能够增加农民收入，但在人口城镇化路径作用下，进城农民已经脱离或半脱离农业生产，收入增加对农户的农业投资决策影响较小，对教育、医疗等其他生活投资影响更为明显^[25]。就地城镇化通过发展乡村工业、旅游业、康养业等二、三产业实现农民就地就业，提高了农民非农收入^[26]，对农户农业生产投资的促进作用更为明显，能有效促进农户绿色技术投资，加快节水、节肥、节药等节约型生产技术和测土配方施肥、水肥一体化等增效型生产技术的应用^[27]，提高了要素使用效率同时降低了污染水平，提高了粮食生态效率。此外，人力资本水平较高、富有创新精神的农户返乡将改善农村人力资本的整体水平，能够直接提高要素配置效率，促进农户绿色技术采纳，推动粮食生产生态效率前沿面外移。

无论是否引入控制变量，人口城镇化对粮食生态效率的影响都要远高于就地城镇化。究其原因，我国自改革开放以来，城镇化的推进路径长期以传统的人口城镇化为主导，存在明显的路径依赖现象，就地城镇化虽然在党的十八大以后逐渐为政策所倡导，但仅在近几年推进新型城镇化过程中才逐渐发展起来，其发展程度远低于人口城镇化。描述性统计结果可以作为验证，2019年人口城镇化发展水平的均值为53.67%，而就地城镇化仅有18.91%。因此，

人口城镇化与就地城镇化对粮食生态效率影响程度存在明显差异，这与其发展程度是吻合的。

3) 控制变量对粮食生态效率的影响。控制变量的回归结果符合一般性的经济预期，与已有研究成果基本一致。农地经营规模对粮食生态效率有显著的正向影响，即农地经营规模的扩大能显著提高粮食生态效率。财政支农水平对粮食生态效率也具有显著正向影响，随着农业绿色发展战略的提出以及国家对粮食生态安全重视程度的提高，财政支持农业绿色发展的资金投入逐年提高，有利于粮食生态效率的提升。农业机械化水平对粮食生态效率的提升有显著的负向影响，农业机械化水平的提升导致农业生产中化石能源消耗增加，对粮食生态效率产生负向影响。受灾情况带来了粮食生态效率的显著降低，自然灾害会给粮食的生产造成破坏性影响，阻碍了粮食生态效率的提高。农村人力资本水平对粮食生态效率的影响虽然不显著，但其符号方向仍具有参考意义。相对较高的农村人力资本水平会增强农户对绿色生产的认知，提高绿色生产技术的采纳和应用水平，对粮食生态效率产生正向影响。

3.2.2 分粮食生产功能区的考察 现实中，不同粮食生产功能区在城镇化水平、种植结构、产业结构、自然地理条件以及资源禀赋等诸多方面都存在明显的系统性差异，其对粮食生态效率的影响路径也可能存在区域性差异，因此有必要对城镇化影响粮食生态效率的区域异质性进行重新估计（表5）。

1) 主产区。通过对粮食主产区进行分样本回归可以发现，人口城镇化在主产区对粮食生态效率表现出显著的正向影响，这一结果与全国样本中的影响效应不一致。由于粮食作物的种植比例本身就较高，“趋粮化”结构调整策略在应对劳动力短缺时弹性不足^[28]。与此同时，雇工成本居高不下时农户分散经营的比较收益下降，刺激了农户土地流转，加速了耕地规模化、集约化经营^[29]，提高了要素配置效率和绿色生产水平，促进了粮食生态效率的提高。另外，粮食主产区是中国粮食生产的核心区域，承担着70%以上的粮食产量和80%左右的商品粮供给，国家实行了最严格的耕地保护政策，并出台了粮食主产区利益补偿、产粮大县奖励、新增农业补贴向粮食主产区和优势产区集中等多项政策，一定程度上也纾解了城镇化发展对主产区农地、技术、资金的负向影响。

2) 非主产区。粮食非主产区的回归结果与全国层面基本一致。在主销区，人口城镇化对粮食生态效率的负向作用更强。从现实来看，我国粮食

表 5 区域异质性分析
Table 5 Regional heterogeneity analysis

变量	粮食主产区		粮食主销区		粮食产销平衡区	
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4	模型 5	模型 6
人口城镇化	0.697**(0.206)	—	-4.498**(2.164)	—	-0.943***(0.253)	—
就地城镇化	—	0.045(0.209)	—	0.201***(4.051)	—	0.093**(0.417)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项	0.530(0.453)	0.009(0.007)	0.062**(0.021)	0.029(0.018)	0.010(0.025)	-0.016(0.011)
双向固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
Sargan-Hansen 检验 <i>P</i> 值	0.054	0.017	0.886	0.072	0.438	0.641
样本量	156	156	84	84	132	132

主销区多集中在东部经济较为发达的省份，其粮食播种面积和粮食产量均占到全国水平的 10% 左右。但 2006 年主销区内各省人口城镇化平均水平为 66.39%，到 2019 年达到 75.07%，年均增速 0.67%，城镇化发展水平和速度都明显高于另外两区。快速的城镇化进程使得耕地面积不断下降，农业人口短缺也更为严重，劳动力短缺导致相关生产要素配置效率低、面源污染和碳排放严重，对粮食生态效率的负向影响更为显著。

在产销平衡区，人口城镇化、就地城镇化对粮食生态效率的作用方向与全国层面均保持一致，但程度都略低。从现实来看，产销平衡区主要集中在我国中西部省份，粮食产量约占全国总产量的 20% 左右，主要目标是“保持应有的自给率”，其粮食安全形势颇具特殊性。产销平衡区多为我国边疆地区以及丘陵地区等生态环境脆弱区，粮食生产的自然条件恶劣与经济发展薄弱相叠加，乡村二、三产业发展落后，两种类型的城镇化发展水平都较低，城镇化发展对粮食生态效率的影响程度较小。

3.3 稳健性检验

本文进行稳健性检验主要有两个思路。一是从样本角度，通过缩尾处理剔除掉离群值，避免样本

异常值导致的回归曲线与实际的偏离。另外，对样本进行分组并重新回归也是一种从样本角度检验稳健性的有效方法，这在上一节对各粮食生产功能区的考察中已经完成，在此不再赘述。二是从模型角度，通过更换计量经济模型对样本进行重新回归。由于受自然因素的影响以及农业技术进步和生产方式变迁的“路径依赖”特征，粮食生态效率的变化是一个持续调整的动态过程。因此，通过将粮食生态效率的滞后项纳入模型中进行控制，同时为了避免内生性问题的干扰，采用系统广义矩估计（GMM）的方法以被解释变量滞后两期及以上作为工具变量进行回归。

3.3.1 剔除奇异样本：非删失缩尾处理 由于粮食生态效率的值域较小，回归结果容易受到异常值的影响，有必要对离群值进行检验和处理。为避免人为剔除样本可能导致的选择偏误问题，通过绘制箱线图来检验样本异常值，并将超出箱体边界线的观测值视为异常值。根据箱线图的指示，对样本进行非删失双边 1% 缩尾处理后重新进行回归。从表 6 模型 1~2 的结果可以看出，在缩尾处理后影响关系与基准回归基本一致，表明基准模型的估计结果是稳健可靠的。

表 6 稳健性检验
Table 6 Robustness test

变量名称	缩尾处理		系统广义矩估计	
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
人口城镇化	-0.224***(0.041)	—	-0.526***(0.087)	—
就地城镇化	—	0.245***(0.091)	—	0.412***(0.084)
粮食生态效率的一阶滞后项	—	—	0.141***(0.017)	0.098***(0.013)
AR(1)	—	—	0.007	0.001
AR(2)	—	—	0.188	0.281
Hansen 检验 <i>p</i> 值	0.396	0.125	1.000	1.000
Wald 检验 <i>p</i> 值	0.000	0.000	0.000	0.000
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量	434	434	352	352

3.3.2 更换计量模型：系统广义矩估计 考虑粮食生态效率的动态特征，采用系统广义矩估计（GMM）作为新的计量模型，以被解释变量滞后两期及以上作为工具变量重新回归。模型3~4的AR（1）和AR（2）检验均表明模型残差项存在一阶序列相关，二阶序列不相关。Sargan-Hansen 检验表明工具变量是有效的，证明GMM方法较好地处理了模型内生性问题。粮食生态效率的时间滞后项系数显著为正，表明粮食生态效率的变化存在明显的路径依赖性，表明其增长受到历史因素影响，进一步验证了前文的理论分析结果，检验了基准模型和研究结论的稳健性。

4 结论与对策建议

4.1 研究结论

本文通过超效率SBM模型测算我国31个省（区、市）（不包括港澳台）的粮食生态效率，在此基础上运用双向固定效应模型等方法对不同城镇化类型影响粮食生态效率的作用机制进行分析和检验，得出如下结论：

1) 从粮食生态效率测算结果来看，中国粮食生态效率水平较低，存在明显的时间波动和区域差异。从时间角度看，粮食生态效率总体呈“W”型波动，各粮食生产功能区总体呈“V”型波动；从空间角度看，三大粮食生产功能区粮食绿色生产水平存在一定差距，由高到低依次是产销平衡区、主产区、主销区。

2) 基于异质性城镇化路径的视角，人口城镇化阻碍了粮食生态效率的提高，就地城镇化促进了粮食生态效率的提高。人口城镇化的影响程度高于就地城镇化，这可能与中国长期以来城镇化路径以人口城镇化为主导有关，城镇化发展存在一定的路径依赖。

3) 基于粮食生产功能分区的视角，在主销区和产销平衡区，人口城镇化对粮食生态效率均表现出显著的负向影响，而在主产区则表现为显著的正向影响，这可能与粮食主产区粮食种植面积较大、粮食种植结构调整弹性不足有关；在主销区，人口城镇化对粮食生态效率的负向作用更强，这可能与主销区耕地面积少，粮食生产吸纳就业能力有限，人口城镇化进程早、程度高，对粮食绿色生产要素吸纳作用更强有关。

4.2 对策建议

本文的研究结论对理解城镇化影响粮食生态效率的作用机制具有参考意义，同时也为提升粮食绿

色生产水平、保障国家粮食生态安全提供了新思路。因地制宜推进城镇化，引导城镇化与粮食绿色生产能力协调发展是城镇化快速发展背景下保障我国粮食安全的基本思路。具体对策建议如下：

1) 主产区承担着粮食保供压力，而大多省份又是经济发展滞后区，人口城镇化发展水平较低，城镇吸纳农村剩余劳动力转移的能力不足。因此，主产区可以通过引导农民就地创业就业、扶持乡村产业，推动就地城镇化发展，以提高乡村承载力和内在发展动能。同时，还必须要警惕就地城镇化无序发展占用土地引起的风险，严格落实土地用途管制、基本农田保护以及土地利用总体规划等措施，严守耕地红线。

2) 主销区经济发展水平较高，人口城镇化发展已不可避免，需要通过发展社会化服务补齐农村劳动力短板。同时增加社会化服务中绿色技术的供给，推广节约增效型农业技术和装备，提高生产要素的合理利用水平，减少粮食生产过程中的污染物排放，在保证粮食产出增长的同时降低污染水平。

3) 产销平衡区多为生态脆弱的边远省份，城镇化发展水平低，粮食生产能力有限。产销平衡区应通过加强高标准农田建设、提升技术服务水平、提高粮食品种适宜性等途径确保粮食自给能力。同时，还要关注农村留守劳动力的人力资本水平，通过新型职业农民教育培训提升劳动力质量以提高农户绿色生产参与程度和生态自觉性，保障城镇化发展与粮食生态效率的协调平衡。

参考文献：

- [1] 陈宏伟, 穆月英. 节水灌溉设施的粮食生产增效机制[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2021, 20(4): 76-89.
Chen H W, Mu Y Y. Research on the grain production productivity increasing mechanism of water-saving irrigation infrastructure[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2021, 20(4): 76-89.
- [2] 崔许锋, 王雨菲, 张光宏. 面向低碳发展的农业生态效率测度与时空演变分析——基于SBM-ESDA模型[J]. 农业经济问题, 2022, 43(9): 47-61.
Cui X F, Wang Y F, Zhang G H. Low-carbon oriented measurement and spatiotemporal evolution of agricultural eco-efficiency in China: Based on SBM-ESDA model[J]. Issues in Agricultural Economy, 2022, 43(9): 47-61.
- [3] 陈菁泉, 信猛, 马晓君, 等. 中国农业生态效率测度与驱动因素[J]. 中国环境科学, 2020, 40(7): 3216-3227.
Chen J Q, Xin M, Ma X J, et al. Chinese agricultural eco-efficiency measurement and driving factors[J]. China Environmental Science, 2020, 40(7): 3216-3227.
- [4] 崔叶辰, 韩亚丽, 吕宁, 等. 基于超效率SBM模型的农业生态效率测度[J]. 统计与决策, 2020, 36(21): 87-90.

- Cui Y C, Han Y L, Lü N, et al. Measurement of agricultural ecological efficiency based on super-efficiency SBM model[J]. *Statistics & Decision*, 2020, 36(21): 87-90.
- [5] 曾福生, 刘俊辉. 区域异质性下中国农业生态效率评价与空间差异实证——基于组合DEA与空间自相关分析[J]. *生态经济*, 2019, 35(3): 107-114.
- Zeng F S, Liu J H. Regional heterogeneity in China agricultural eco-efficiency evaluation and spatial differences: Based on combined DEA and spatial autocorrelation analysis[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(3): 107-114.
- [6] 聂弯, 于法稳. 农业生态效率研究进展分析[J]. *中国生态农业学报*, 2017, 25(9): 1371-1380.
- Nie W, Yu F W. Review of methodology and application of agricultural eco-efficiency[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(9): 1371-1380.
- [7] 侯孟阳, 姚顺波. 1978—2016年中国农业生态效率时空演变及趋势预测[J]. *地理学报*, 2018, 73(11): 2168-2183.
- Hou M Y, Yao S B. Spatial-temporal evolution and trend prediction of agricultural eco-efficiency in China: 1978-2016[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2168-2183.
- [8] 高延雷, 王志刚, 郭晨旭. 城镇化与农民增收效应——基于异质性城镇化的理论分析与实证检验[J]. *农村经济*, 2019(10): 38-46.
- Gao Y L, Wang Z G, Guo C X. Urbanization and the effect of farmers' income increase[J]. *Rural Economy*, 2019(10): 38-46.
- [9] Deng J S, Qiu L F, Wang K, et al. An integrated analysis of urbanization-triggered cropland loss trajectory and implications for sustainable land management[J]. *Cities*, 2011, 28(2): 127-137.
- [10] 冷智花, 付畅俭. 城镇化失衡发展对粮食安全的影响[J]. *经济学家*, 2014(11): 58-65.
- Leng Z H, Fu C J. The influence of the disequilibrium development of urbanization on foods security[J]. *Economist*, 2014(11): 58-65.
- [11] Bren d'Amour C, Reitsma F, Baiocchi G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(34): 8939-8944.
- [12] 罗翔, 曾菊新, 朱媛媛, 等. 谁来养活中国: 耕地压力在粮食安全中的作用及解释[J]. *地理研究*, 2016, 35(12): 2216-2226.
- Luo X, Zeng J X, Zhu Y Y, et al. Who will feed China: The role and explanation of China's farmland pressure in food security[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(12): 2216-2226.
- [13] Beddington J R, Crute I R, et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people[J]. *Science*, 2010, 327(5967): 812-818.
- [14] 侯孟阳, 邓元杰, 姚顺波. 城镇化、耕地集约利用与粮食生产——气候条件下有调节的中介效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(10): 160-171.
- Hou M Y, Deng Y J, Yao S B. Urbanization, intensive cropland use, and grain production: A moderated mediating effect test under climate conditions[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(10): 160-171.
- [15] 王跃梅, 姚先国, 周明海. 农村劳动力外流、区域差异与粮食生产[J]. *管理世界*, 2013(11): 67-76.
- Wang Y M, Yao X G, Zhou M H. Rural labor outflow, regional differences and grain production[J]. *Journal of Management World*, 2013(11): 67-76.
- [16] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命: 1978—2008年[J]. *经济学(季刊)*, 2014, 13(2): 537-558.
- Li G C. The green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008[J]. *China Economic Quarterly*, 2014, 13(2): 537-558.
- [17] 刘传福, 王云霞, 曹建民. 城镇化对粮食产区耕地利用效率的影响[J]. *农业现代化研究*, 2022, 43(5): 803-813.
- Liu C F, Wang Y X, Cao J M. The Effects of urbanization on the farmland use efficiency in grain-producing areas[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2022, 43(5): 803-813.
- [18] 陆杉, 熊娇. 农村金融、农地规模经营与农业绿色效率[J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2021, 20(4): 63-75.
- Lu S, Xiong J. Rural finance, agricultural land scale management and agricultural green efficiency[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2021, 20(4): 63-75.
- [19] 李波, 张俊飏. 基于我国农地利用方式变化的碳效应特征与空间差异研究[J]. *经济地理*, 2012, 32(7): 135-140.
- Li B, Zhang J B. Study on carbon effects and spatial differences based on changes in China's agricultural land use[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(7): 135-140.
- [20] 金书秦, 林煜, 牛坤玉. 以低碳带动农业绿色转型: 中国农业碳排放特征及其减排路径[J]. *改革*, 2021(5): 29-37.
- Jin S Q, Lin Y, Niu K Y. Driving green transformation of agriculture with low carbon: Characteristics of agricultural carbon emissions and its emission reduction path in China[J]. *Reform*, 2021(5): 29-37.
- [21] 史常亮, 张益, 郭焱, 等. 耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(12): 2687-2700.
- Shi C L, Zhang Y, Guo Y, et al. The impact of land fragmentation on farmer's chemical fertilizer use efficiency[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2687-2700.
- [22] 侯孟阳, 邓元杰, 姚顺波. 农村劳动力转移、化肥施用强度与农业生态效率: 交互影响与空间溢出[J]. *农业技术经济*, 2021(10): 79-94.
- Hou M Y, Deng Y J, Yao S B. Rural labor transfer, fertilizer use intensity and agro-ecological efficiency: Interaction effects and spatial spillover[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021(10): 79-94.
- [23] 高延雷, 王志刚. 城镇化是否带来了耕地压力的增加——来自中国的经验证据[J]. *中国农村经济*, 2020(9): 65-85.
- Gao Y L, Wang Z G. Does urbanization increase the pressure of cultivated land? Evidence based on interprovincial panel data in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2020(9): 65-85.
- [24] 罗必良, 张露, 仇童伟. 小农的种粮逻辑——40年来中国农业种植结构的转变与未来策略[J]. *南方经济*, 2018(8): 1-28.
- Luo B L, Zhang L, Qiu T W. Logics of small households' grain production[J]. *South China Journal of Economics*, 2018(8): 1-28.
- [25] 钟甫宁, 陆五一, 徐志刚. 农村劳动力外出务工不利于粮食生产吗?——对农户要素替代与种植结构调整行为及约束条件的解析[J]. *中国农村经济*, 2016(7): 36-47.
- Zhong F N, Lu W Y, Xu Z G. Is it not conducive to food production for rural labor to go out to work? Analysis on the

- behavior and constraints of farmers' factor substitution and planting structure adjustment[J]. Chinese Rural Economy, 2016(7): 36-47.
- [26] 庞新军, 冉光和. 传统城镇化与就地城镇化对农民收入的影响研究: 基于时变分析的视角 [J]. 中国软科学, 2017(9): 91-98.
Pang X J, Ran G H. Study on the effect of traditional urbanization and local urbanization on farmers' income: The perspective of time varying analysis[J]. China Soft Science, 2017(9): 91-98.
- [27] 檀竹平, 洪炜杰, 罗必良. 农业劳动力转移与种植结构“趋粮化” [J]. 改革, 2019(7): 111-118.
Tan Z P, Hong W J, Luo B L. The transfer effect of agricultural labor force and grain-oriented planting structure[J]. Reform, 2019(7): 111-118.
- [28] 王善高, 田旭. 中国粮食生产成本上升原因探究——基于稻谷、小麦、玉米的实证分析 [J]. 农业现代化研究, 2017, 38(4): 571-580.
Wang S G, Tian X. Causes of the rising grain production cost in China: An empirical analysis of rice, wheat and corn[J]. Research of Agricultural Modernization, 2017, 38(4): 571-580.
- [29] 仇童伟, 罗必良. 流转“差序格局”撕裂与农地“非粮化”: 基于中国29省调查的证据 [J]. 管理世界, 2022, 38(9): 96-113.
Qiu T W, Luo B L. The laceration of “orderly-diversity pattern” of land transfers and non-grain production: Evidence from 29 provinces in China[J]. Journal of Management World, 2022, 38(9): 96-113.

(责任编辑: 王育花)