

城镇化会加剧化肥面源污染吗 ——基于门槛效应与空间溢出的双重视角

栾健 韩一军*

(中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

摘要 为研究城镇化对化肥面源污染的影响,利用中国31省(市、自治区)2000—2016年面板数据(统计数据未含港澳台地区,下同),采用门槛回归模型和空间杜宾模型,探讨了城镇化对化肥面源污染的门槛效应和空间溢出,结果表明:化肥面源污染表现出从东部向中西部转移的动态演进轨迹。城镇化对化肥面源污染的影响具有单一门槛效应:伴随着人均收入跨越各省份的门槛值,城镇化对化肥面源污染的影响由扩张效应主导转变为质量效应主导,即从促进转变为抑制。城镇化对化肥面源污染的影响具有明显的空间溢出,且空间溢出远大于城镇化对本省份造成的直接影响,城镇化的快速推进可能将化肥面源污染“转嫁”给邻近省份。

关键词 城镇化;化肥面源污染;门槛效应;空间溢出

中图分类号 F304.7

文章编号 1007-4333(2020)05-0174-13

文献标志码 A

Does urbanization intensify chemical fertilizer non-point source pollution: Based on threshold effects and spatial spillovers

LUAN Jian, HAN Yijun*

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Threshold model and spatial durbin model were used in this study to explore the threshold effects and spatial spillovers of urbanization on chemical fertilizer non-point source pollution based on a panel data of 31 provinces from 2000 – 2016 (the statistic data of Hongkong, Macao, Taiwan Region are not included, the same below.). The results showed that the chemical fertilizer non-point source pollution showed a dynamic evolution that was transferred from the east to the west. The impacts of urbanization on chemical fertilizer non-point source pollution displayed single threshold effect. When the income per capita was reaching threshold value, the impacts of urbanization on chemical fertilizer non-point source pollution changed from expansion effects to quality effects, namely, from promoting to restraining. The impacts of urbanization on chemical fertilizer non-point source pollution showed great spillover effects, which was larger than the direct effects caused by urbanization to the province itself. The rapid development of urbanization in one province might cause chemical fertilizer non-point source pollution to be passed on to its neighboring provinces.

Keywords urbanization; chemical fertilizer non-point source pollution; threshold effects; spatial spillovers

改革开放以来,中国农业和农村发展取得了举世瞩目的成就^[1],中国已经从根植于土的“乡土中国”转变为城乡互动的“城乡中国”^[2]。城镇化的快速推进不仅推动了城市发展和社会结构的变革,也

使得以土为生的小农出现高度异质化。一方面,非农比较收益的快速提升使得人力资本较高的农民选择进城打工,缓解了农业生产内卷化^[3],促进了农民增收^[4];另一方面,城镇化和工业化的发展为农业机

收稿日期:2019-08-02

基金项目:国家社会科学基金重点项目(17AJY019)

第一作者:栾健,博士研究生,E-mail:luanjian110550@126.com

通讯作者:韩一军,教授,主要从事农业经济理论与政策、农业市场贸易研究,E-mail:hyjcau@126.com

械化提供了内生动力^[5]。伴随着农地市场的发育和工商资本的下乡,农业由劳动过密投入的土地密集型农业向依赖资本投入的劳动集约型农业转变,生产效率得以提高。

然而,城镇化快速发展造成的环境污染和生态恶化问题愈发严重,在资源低廉、监管缺失的农村地区更为突出^[6]。城镇化使得农业生产人工成本不断提升、土地价格快速上涨,导致农村劳动力和耕地非农化趋势日趋严峻。作为劳动力和土地的“廉价”替代品,化肥的过量施用不仅使农产品边际产出逐渐降低,也使得耕地质量不断下降、地下水污染日益严重^[7],对农村生态环境造成了巨大破坏^[8],已经引起社会与政府的高度关注:2015年3月,农业部提出《到2020年化肥使用量零增长行动方案》^①,旨在降低农业生产的环境成本;2019年中央一号文件再次强调“加大农业面源污染治理力度,实现化肥农药使用量负增长”。因此,遏制城镇化背景下化肥面源污染恶化趋势,贯彻“绿水青山就是金山银山”理念,是农业可持续发展进程中的重点问题。

目前为止已有较多学者从不同角度探讨了化肥面源污染的成因及驱动因素,总体来说可分为以下三类。第一类研究基于库兹涅茨假说,旨在验证农业经济增长与化肥面源污染之间的关系^[9-10],多数研究均表明二者间呈现倒U型或N型曲线关系,且EKC曲线的形状和拐点存在明显的省际异质性^[11];第二类研究多基于脱钩理论,探讨农业生产或经济增长与环境污染间的耦合关系^[12-14],注重探讨二者关系的动态变化,缺乏化肥面源污染影响因素的因果推断;第三类研究常基于LMDI分解法^[15-16]或IPAT方程^[17-18],将化肥面源污染分解为若干驱动因素,探讨人口规模、种植结构调整、农村劳动力非农转移和技术进步等因素对化肥面源污染的影响。总体来说,化肥面源污染是制度安排、社会环境变迁和政策因素共同作用的结果。从城镇化角度看,直接探讨城镇化对化肥面源污染影响的研究相对较少,已有研究多从农村劳动力非农转移和农民收入变化两方面间接探讨了城镇化与化肥面源污染的关系。首先,城镇化发展使得非农比较收益不断提升,加剧了农村劳动力非农转移和农民的兼业化经营行为,在农业劳动力成本提升的背景下,农民

更倾向于使用廉价省力的化肥替代劳动力投入^[19-20];另一方面,农村劳动力的非农转移也使得优质劳动力外流,造成农业生产劳动力质量下降,更加促进了化肥的过量施用,对农村生态环境造成不利影响^[17]。其次,城镇化的推进增加了农民收入,缓解了购买化学农资物品的资金约束,在小农生产的风险规避属性下^[21],农民更倾向于过量施用化肥,从而加剧面源污染;城镇化发展又会改善农民收入结构,表现为农民经营性收入占比下降,对农业面源污染具有缓解作用^[22]。此外,Li^[23]基于博赛洛普的人口压力学说,运用河南省县级数据检验了城镇化对化肥施用强度的影响,得出城镇化对化肥施用强度表现为正向影响的结论,但未能考虑城镇化对化肥施用强度影响的异质性。

已有文献为本研究提供了丰富借鉴,但存在以下不足:首先,已有研究多将不同研究区域看作独立个体,忽略了化肥面源污染空间溢出的可能,且农村劳动力的跨省流动使得城镇化对化肥面源污染的影响存在省际交互效应,忽略了省份间的空间关联可能导致偏误;其次,已有研究多从城镇化带来的收入水平变化和劳动力再配置等某一方面进行探讨,缺乏对城镇化对化肥面源污染影响综合效应的评估;第三,已有研究多直接假设城镇化对化肥面源污染存在线性影响,而考虑到中国城镇化正处于由数量扩张型发展向质量提升型发展转型的新阶段,城镇化对化肥面源污染的影响可能存在非线性关系。因此,本研究以2000—2016年中国31省(市、自治区)面板数据为样本(统计数据未含港澳台地区,下同),基于门槛效应与空间溢出的双重视角探讨城镇化对化肥面源污染的影响,以期为实现城镇化与农业环境协调发展提供对策建议。

1 理论分析

通过分析城镇化对化肥面源污染的作用机理,深入认识城镇化对化肥面源污染的影响。城镇化对化肥面源污染的门槛影响路径可分为扩张效应和质量效应(图1)。在此基础上,探讨城镇化对化肥面源污染的空间溢出作用机理。

1.1 门槛效应作用机理

城镇化会通过扩张效应加剧化肥面源污染。首

① 农业农村部2015年2月17日发布。

先,城镇化使城市人口和城镇就业人口规模迅速扩大,农产品刚性需求不断攀升^[24]。在耕地和农业劳动力日益稀缺的背景下,化肥则成为解决困境的重要投入要素。加之农民的风险规避偏好^[21]、施肥技术认知缺乏^[25]以及农资市场信息不对称等问题^[26],化肥过量施用成为常态。伴随着农产品需求变化引发的农业结构调整,化肥面源污染愈发严重^[18]。其次,城镇化通过改变土地利用方式,加剧化肥面源污染。一方面,城市公共建设用地和非农产业建设用

地需求的大幅提升挤占了耕地数量^[27];另一方面,化肥投入的逐年增加又降低了耕地质量^[28],为保障务农收入,农民不得不继续追加化肥,产生恶性循环。第三,城镇化带来农村劳动力非农转移,加剧化肥面源污染^[18]。劳动力非农转移使得农业劳动力机会成本上升,农业要素相对价格的变化驱使农户更多采用耕地集约型和劳动力节约型的技术,在农民收益短期化视角下,化肥以其“低廉”的成本成为了最优选择。

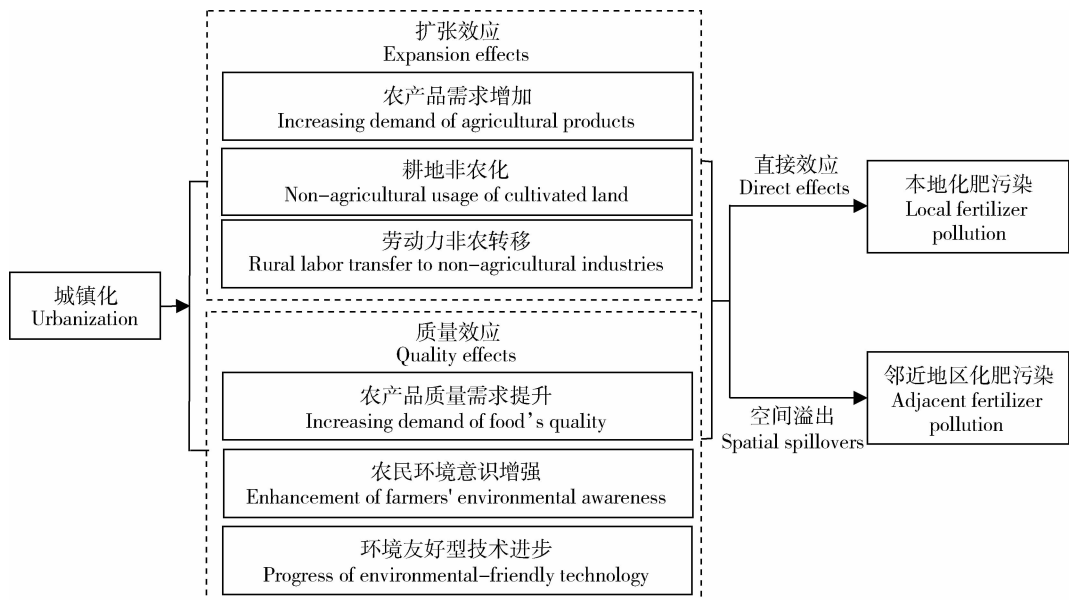


图1 城镇化推进对化肥面源污染影响理论分析

Fig. 1 Theoretical chart of urbanization's impact on chemical fertilizer non-point source pollution

城镇化会通过质量效应抑制化肥面源污染。首先,随着经济发展和城镇化水平提升,消费者对农产品绿色生产方式和消费方式的需求会不断升级。从理论上讲,城镇化的发展可以使农业环境质量被纳入到消费者效用函数中,在 market 需求的约束下,诱使农业生产者和政府关注农业生态环境。其次,城镇化的发展为环境友好型技术如测土配方施肥的研发提供了资金支持,也使得资本密集型的绿色技术推广成为可能;农村劳动力的再配置也推动了农地市场发育^[29],促进了农地经营规模的扩大,使农民更倾向于采纳测土配方施肥等绿色技术^[30],缓解化肥面源污染。第三,城镇化的发展也会提升进城务工农民的受教育水平和收入水平,从而对绿色农业生产意愿产生正向影响^[31]。介于当前中国经济仍处于结构转型与城镇化加速发展阶段,城镇化对化肥面源污染的影响可能存在非线性关系,具体作用方

向取决于扩张效应和质量效应的相对大小。

1.2 空间溢出作用机理

城镇化会通过空间溢出导致化肥面源污染的跨省转移。从自然条件看,化肥面源污染主要以水为载体进行传递,邻近省份间相似的水系、地貌特征和气候条件使得污染“转嫁”成为可能。从环境规制看,不同省份间环境监管力度与能力存在较大差异,这就为化肥面源污染的空间溢出提供了制度条件。从劳动力市场看,各省份间的劳动力市场存在关联性,农村劳动力转移跨省转移逐渐成为普遍现象^[32]。首先,劳动力跨省转移直接增加了转入省份的农产品需求。而转入省份通常为经济发达省份,在农业资源禀赋被不断挤占的背景下,必然增加对邻近省份的农产品需求,加剧化肥面源污染。另一方面,由于邻近地区农业产业存在“黏性”,城镇化进程中的省际劳动力转移会直接改变劳动力转出省份

农业生产的要素配置、技术选择和种植决策,改变农户的化肥施用行为,实现化肥对劳动力的有效替代,造成化肥面源污染的“转嫁”。

2 模型设定、指标选取与数据来源

2.1 模型设定

在环境影响与社会经济发展关系问题的分析上,Dietz等^[33]提出的STIRPAT(Stochastic impacts by regression on population, affluence and technology)模型由于允许在原模型基础上进行拓展而得到广泛应用。其常见形式为:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e \quad (1)$$

式中: I_i 、 P_i 、 A_i 、 T_i 分别代表环境压力、人口规模、富裕程度和技术水平, a 为模型系数, b 、 c 和 d 分别表示各驱动因素的环境弹性, e 为随机误差项。通过对原有模型进行改进,设定基础模型如下:

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 \ln S_{it} + \beta_4 \ln T_{it} + \beta_5 \ln U_{it} + \mu_{it} \quad (2)$$

式中: E_{it} 为第 i 省第 t 年的化肥面源污染程度, P_{it} 、 A_{it} 、 S_{it} 、 T_{it} 和 U_{it} 分别表示第 i 省第 t 年的人口规模、富裕程度、种植业结构、化肥施用技术水平和城镇化率(下同), β_0 至 β_5 分别表示待估计参数, μ_{it} 为随机误差项。

门槛回归模型设定。门槛效应是指当某一变量达到特定的阈值后,引起另一个变量发生方向或数量上的结构突变。门槛模型的优势在于,将结构变化内生于经济系统内部^[34],避免了主观判断阈值导致的估计偏误。考虑到城镇化对化肥面源污染的影响可能受到经济发展水平的调节,选取富裕程度 $\ln A_{it}$ 作为门槛变量建立单一门槛回归模型:

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \gamma_1 \ln U_{it} \cdot I(\ln A_{it} < \lambda_1) + \gamma_2 \ln U_{it} \cdot I(\ln A_{it} \geq \lambda_1) + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 \ln S_{it} + \beta_4 \ln T_{it} + e_{it} \quad (3)$$

式中: γ_1 和 γ_2 为待估计参数,表示不同区间内城镇化对化肥面源污染的影响程度; λ_1 为门槛值,通常采用网格搜索法(Grid research)确定最优门槛值,使得门槛模型的残差平方和最小,即 $\hat{\gamma} = \text{argmin} S(\gamma)$;在得到门槛值后运用LR检验确定门槛效应是否显著; $I(\cdot)$ 为示性函数,满足括号内的条件时为1,否则为0; $\beta_1 \sim \beta_4$ 为待估计参数, e_{it} 为随机扰动项,假定 $e_{it} \sim N(0, \sigma^2)$ 。

空间计量模型设定。在运用空间计量模型前,需要进行空间自相关检验,以确定化肥面源污染存在空间自相关性。采用Moran指数检验化肥面源污染的空间自相关性,具体如式(4)所示:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (4)$$

式中: y_i 、 \bar{y} 和 S^2 分别表示化肥面源污染程度、均值及方差; n 为省份数量。 W 为空间权重矩阵,为确保估计结果的稳健性,分别选取一阶邻接权重矩阵 W_1 和地理距离权重矩阵 W_2 。一阶邻接权重矩阵即0-1矩阵,当省份 i 与省份 j 相邻时为1,否则为0;地理距离权重矩阵则用省份 i 与省份 j 省会间距离倒数的平方表示^①。

确定存在空间自相关性后,参照LeSage等^[35]的研究建立空间面板杜宾模型(SDM):

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \rho W \ln E_{it} + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 \ln S_{it} + \beta_4 \ln T_{it} + \beta_5 \ln U_{it} + \theta_1 W \ln P_{it} + \theta_2 W \ln A_{it} + \theta_3 W \ln S_{it} + \theta_4 W \ln T_{it} + \theta_5 W \ln U_{it} + \epsilon_{it} \quad (5)$$

式中: W 为空间权重矩阵; $W \ln E_{it}$ 表示化肥面源污染程度的空间依赖, $W \ln P_{it}$ 、 $W \ln A_{it}$ 、 $W \ln S_{it}$ 、 $W \ln T_{it}$ 和 $W \ln U_{it}$ 则分别表示各解释变量对化肥面源污染程度影响的空间依赖; ρ 、 $\beta_0 \sim \beta_5$ 、 $\theta_1 \sim \theta_5$ 分别表示待估计参数, ϵ 为随机干扰项。SDM模型可将城镇化对化肥面源污染影响的总效应分解为直接效应和间接溢出。

2.2 指标选取

被解释变量:化肥面源污染程度(E)。化肥对农业生态环境的影响主要通过地表径流、农田排水和地下淋溶等渠道汇入水体实现,因此总污染指标可以用渗入水体中的面源总氮负荷(TN)和总磷负荷(TP)衡量。从化肥种类看,氮肥、磷肥和复合肥均会产生以上两种污染指标。鉴于现有统计数据中没有关于化肥面源污染省际排放的直接数据,采用单元调查评估法^[11]对各省化肥面源污染排放量进行核算,具体计算公式为:

$$\text{EL} = \sum \text{EL}_{ij} = \sum C_{ij} \times \delta_{ij} = \sum T_i \times \omega_{ij} \times \delta_{ij} \quad (6)$$

$$E = \text{EL} / \text{AL}$$

式中:EL表示化肥面源污染总排放量;EL_{ij}为第 i

① 为避免空间权重矩阵自身带来的内生性问题,未选择经济距离权重矩阵。

种化肥产生的进入水体的第 j 种污染物的排放量; C_{ij} 为第 i 种化肥产生的对水环境具有潜在污染影响的第 j 种污染物量; T_i 为第 i 种化肥施用折纯量; ω_{ij} 为第 i 种化肥产生第 j 种污染物的产污系数; δ_{ij} 为第 i 种化肥的流失率; AL 为农作物播种面积, E 为化肥面源污染排放强度。

核心解释变量。城镇化程度(U)。城镇化包含人口、经济、土地和社会等方面内容,但本研究主要关注的是城镇化带来的要素配置对化肥面源污染的影响,而且相关政策的制定和实施多以人口城镇化为参考依据,因此采用常住城镇人口数除以该省的年末常住人口数表示城镇化程度^[36],即城镇化率。

控制变量。人口规模(P),用各省年末常住人口数表示。化肥施用的根本目的在于保障农产品供给,满足由人口增长带来的农产品消费需求,人口规模是推动化肥施用不断增加、导致化肥产生污染的

驱动因素。富裕程度(A),用各省人均 GDP 表示。由于经济发展水平直接决定了农民的生产经营方式、管理能力和环保意识,因此人均 GDP 对化肥面源污染具有重要影响。为消除价格因素带来的衡量偏差,折算成 2000 年不变价格。化肥施用技术水平(T),用各省农业产值除以化肥施用折纯量表示,农业产值折算成 2000 年不变价格。随着化肥施用技术水平的提高,单位化肥施用折纯量带来的农业产值不断增加,化肥面源污染排放量也将下降。此外,种植业结构(S)对化肥面源污染具有重要影响,不同农作物养分需求量的差异导致化肥投入和产污量必然有所分别。一般说来,经济作物的化肥施用量要明显高于粮食作物。因此,用各省粮食作物播种面积在农作物总播种面积的占比表示种植业结构(S)。各变量描述性统计指标如表 1 所示:

表 1 各变量描述性统计指标

Table 1 Descriptive statistical indicators of variables

指标 Index	符号 Symbol	单位 Unit	均值 Mean	标准差 Sd	最小值 Min	最大值 Max
化肥面源污染排放强度 Emission intensity of chemical fertilizer non-point source pollution	E_{it}	kg/hm ²	37.33	25.21	6.50	118.64
城镇化率 Rate of urbanization	U_{it}	%	47.03	15.90	0.48	91.86
人口规模 Population	P_{it}	万人	4 259.73	2 710.48	258.00	11 370.42
人均 GDP GDP per capita	A_{it}	万元/人	0.94	0.53	0.09	2.99
化肥施用技术水平 Technical level of fertilizer application	T_{it}	万元/t	4.72	2.44	1.87	21.43
粮食作物种植比例 Proportions of grain planting area	S_{it}	%	65.50	12.10	32.81	95.70

2.3 数据来源

选择 2000—2016 年全国 31 个省(市、自治区)的面板数据作为研究样本。研究所需的基础数据均来自于 2001—2017 年的《中国统计年鉴》^[37]、《中国农村统计年鉴》^[38] 及各省相应年份的统计年鉴,个别缺失值采用插值法填补。

3 结果分析

3.1 化肥面源污染的动态演进轨迹

通过式(6)计算的 2000 和 2016 年各省化肥面源污染排放强度如表 2。总体来说:1)化肥面源污染排放强度表现为:东部>中部>西部,且存在明显

的空间集聚特征。东南沿海地区的化肥面源污染问题最为严重,如江苏、浙江和广东省,2016 年化肥面源污染排放强度平均值超过 70 kg/hm²,此类省份多为经济较为发达省份,人口密度大、城镇化水平高,农村劳动力和土地非农转移趋势明显,农业集约化程度较高。2)从动态演进轨迹看,化肥面源污染存在由东部省份向中西部省份辐射的演变趋势。

2016 年内蒙古、黑龙江、陕西、河南、云南、广西等中西部省(自治区)化肥面源污染排放强度相比 2000 年有明显提升,其中又以内蒙古自治区最为明显,化肥面源污染排放强度提升了 1.95 倍。而辽宁、江苏和山东等东部省份化肥面源污染排放强度有所下降,表明化肥面源污染可能存在空间“转嫁”。

表 2 中国 31 省份化肥面源污染排放强度(2000 和 2016 年)

Table 2 Emission intensity of chemical fertilizer non-point source pollution in 31 provinces of China in 2000 and 2016

省(市、自治区) Province	2000	2016	省(市、自治区) Province	2000	2016
北京 Beijing	83.51	118.64	河南 Henan	20.58	27.50
天津 Tianjin	61.51	75.63	湖北 Hubei	41.74	46.65
河北 Hebei	38.59	43.58	湖南 Hunan	27.74	29.63
辽宁 Liaoning	42.07	41.78	内蒙古 Inner Mongolia	16.66	32.54
上海 Shanghai	91.02	59.74	广西 Guangxi	12.35	19.24
江苏 Jiangsu	84.30	76.94	重庆 Chongqing	14.38	16.99
浙江 Zhejiang	54.52	70.12	四川 Sichuan	15.10	15.83
福建 Fujian	49.12	54.29	贵州 Guizhou	20.41	22.48
山东 Shandong	46.15	43.54	云南 Yunnan	25.71	39.03
广东 Guangdong	61.73	83.42	西藏 Xizang	6.50	11.83
海南 Hainan	16.89	30.42	陕西 Shaanxi	37.96	60.24
山西 Shanxi	13.22	15.52	甘肃 Gansu	10.32	12.40
吉林 Jilin	33.99	42.12	青海 Qinghai	8.00	9.32
黑龙江 Heilongjiang	7.96	11.02	宁夏 Ningxia	31.95	37.07
安徽 Anhui	16.89	19.41	新疆 Xinjiang	15.41	24.52
江西 Jiangxi	10.58	12.14	全国平均 National average	32.80	38.83

3.2 城镇化对化肥面源污染影响的门槛效应

首先采用经典计量模型考察城镇化对化肥面源污染的影响,具体估计结果如表 3 所示。采用混合 OLS 回归对式(1)进行估计,F 检验和 BP-LM 检验值分别为 369.91 和 2 693.56,均在 1%显著性水平上拒绝原假设,表明采用混合 OLS 是不合理的。随机效应和固定效应模型估计结果如表 3 中列(2)和列(3)所示,Hausman 检验结果为 34.89,在 1%显

著性水平上拒绝原假设,表明固定效应更加合理。针对固定效应模型,分别采用修正 Wald 检验、Wooldridge 检验和 Pesaran CD 检验对面板数据组间异方差、组内自相关和组间自相关问题进行检验,结果均拒绝原假设。在此基础上,采用 FGLS 法进行估计,为确保结果的稳健性,同时采用 Driscoll-Kraay 标准误修正固定效应模型,结果如表 3 中列(4)和(5)所示。表 3 中所有估计结果均表明,城镇

化率对化肥面源污染的影响直接表现为促进作用,某种程度上反映城镇化对化肥面源污染的总体影响中,扩张效应占据主导地位。从其他因素看,各因素对化肥面源污染影响与预期一致,人口规模、

富裕程度对化肥面源污染产生正向影响,而粮食种植占比和化肥施用技术进步抑制了化肥面源污染。为明确城镇化的门槛效应,采用门槛回归分析进行研究。

表3 经典面板回归与门槛回归结果

Table 3 Estimation results of classical panel model and threshold model

解释变量 Explanatory variables	(1) 混合 OLS Pooled OLS	(2) 随机效应 RE	(3) 固定效应 FE	(4) 可行广义 最小二乘法 FGLS	(5) 固定效应 (DK 标准误) FE-DK	(6) 门槛回归 Threshold
城镇化率 $\ln U_{it}$	0.137*** (0.044)	0.050*** (0.012)	0.052*** (0.012)	0.113*** (0.022)	0.050*** (0.015)	
城镇化率(人均收入 < 8 768 元) $\ln U_{it}$ (income per capita < 8 768 元)						0.064*** (0.011)
城镇化率(人均收入 \geq 8 768 元) $\ln U_{it}$ (income per capita \geq 8 768 元)						-0.072*** (0.021)
人口规模 $\ln P_{it}$	0.206*** (0.025)	0.628*** (0.086)	0.442*** (0.066)	0.269*** (0.025)	0.628*** (0.142)	0.666*** (0.082)
人均 GDP $\ln A_{it}$	0.892*** (0.052)	0.125*** (0.020)	0.135*** (0.020)	0.180*** (0.025)	0.125* (0.073)	0.070*** (0.021)
粮食作物种植比例 $\ln S_{it}$	-0.511*** (0.117)	-0.562*** (0.074)	-0.551*** (0.076)	-0.172*** (0.062)	-0.562*** (0.119)	-0.492*** (0.072)
化肥施用技术水平 $\ln T_{it}$	-0.233*** (0.062)	-0.117*** (0.025)	-0.087*** (0.024)	-0.095*** (0.027)	-0.117* (0.062)	-0.095*** (0.024)
常数项 Constant	2.131*** (0.241)	-1.696** (0.679)	-0.226 (0.531)	1.495*** (0.220)	-1.696 (1.104)	-2.031*** (0.650)
地区效应 Region effects	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

注:表中括号内的数值为标准误,***、**、* 分别表示在1%、5%和10%的显著性水平上显著,下同;人均收入门槛值8 768元为2000年不变价格。

Note: Standard error is expressed in parentheses. ***, **, and * represent significances at the levels of 1%, 5% and 10%, respectively. The same below. Income per capita which is 8 768 is the price level of 2000.

根据理论分析,城镇化对化肥面源污染影响可能存在门槛效应,以反映各省经济发展水平的人均收入作为门槛变量,建立城镇化对化肥面源污染影响的面板门槛回归模型。门槛效应检验结

果表明(如表4),单一门槛模型的F值在1%显著性水平下拒绝原假设,但双重门槛模型未能拒绝原假设,可认为城镇化对化肥面源污染存在单一门槛效应。

表4 城镇化对化肥面源污染影响门槛效应检验与门槛值估计结果

Table 4 The results of threshold effect test and threshold evaluation of urbanization on chemical fertilizer non-point source pollution

假设检验 Hypothesis test	F 值(P 值) F value (P value)	门槛值 Threshold value	95%置信区间 95% confidence interval
H_0 : 无门槛值; H_1 : 单一门槛 H_0 : no threshold; H_1 : 1 threshold	50.39*** (0.01)	-0.131 5	[-0.162 7, -0.128 5]
H_0 : 单一门槛; H_1 : 双重门槛 H_0 : 1 threshold; H_1 : 2 thresholds	14.26 (0.36)	-0.131 5; -0.275 3	[-0.156 2, -0.128 5]; [-0.298 3, -0.270 0]

注: P 值采用 Bootstrap 法抽样 500 次得到的结果。

Note: P value is estimated using Bootstrap method of 500 times' samplings.

门槛回归结果表明(表3最后一列),当人均收入低于8768元^①(2000年不变价格)时,城镇化对化肥面源污染影响的估计系数为0.064,且通过1%显著性水平检验,在该阶段,城镇化对化肥面源污染的影响主要表现为扩张效应,城镇化的推进将会加剧化肥面源污染;当人均收入超过8768元(2000年不变价格)时,城镇化对化肥面源污染影响的估计系数为-0.072,且通过1%显著性水平检验,在此阶段,城镇化对化肥面源污染的影响更多表现出质量效应,城镇化的推进将会缓解化肥面源污染。考虑到省份的异质性,根据价格指数计算出各省份的2016年门槛值,依据是否跨越门槛值将31省份划分为两类,可以发现:2016年已实现门槛跨越的省份多为东部省份,此类省份虽然当前化肥面源污染仍较为严重,但城镇化对化肥面源污染的影响已经表现为抑制作用,推进城镇化可以有效缓解化肥面源污染问题;未跨越门槛的省份多为中部和西部省份,城镇化水平相对较低,仍处于扩张效应占据主导地位的阶段,促进此类省份早日跨越门槛、推动城镇化质量效应的发挥至关重要。

3.3 城镇化对化肥面源污染的空间溢出

采用全局Moran指数对化肥面源污染和城镇化率的空间相关性进行检验,检验结果表明,2000—2016年中化肥面源污染的Moran指数均为正(0.298~0.448),城镇化率的Moran指数也同样为正(0.083~0.428),除个别年份外,二者均在1%显著性水平上通过检验^②,表明城镇化与化肥面源污染存在着显著的

空间依赖性,因此有必要采取空间面板模型进一步探究城镇化对化肥面源污染的空间溢出。一阶邻近权重矩阵和地理距离权重矩阵下的Hausman检验分别为38.19和25.7,SDM退化成SLM的LR检验值分别为444.78和569.25,退化成SEM的LR检验值分别为388.35和414.96,均在1%显著性水平拒绝原假设,表明应选择SDM固定效应模型。

SDM固定效应估计结果中,两种权重矩阵的空间自相关系数分别为0.487和0.493,均通过1%显著性水平的检验,表明省域化肥面源污染排放强度存在显著的空间相关性,本省的化肥面源污染会对邻近省份产生影响。各因素的Wx系数多数显著,表明化肥面源污染的影响因素存在显著的空间交互效应^③。为明确各驱动因素对化肥面源污染的影响路径,采用SDM偏微分法将各驱动因素对化肥面源污染影响的总效应分解为直接效应和间接效应。邻接空间权重矩阵估计结果如表5前三列所示。城镇化对化肥面源污染影响的直接影响、间接溢出和总效应均显著为正,且间接溢出远大于直接效应。首先,城镇化对化肥面源污染影响的总效应为正,表明2000—2016年中城镇化的扩张效应仍占据主导地位,城镇化结构转型带来的质量效应尚未充分发挥,与经典面板回归结果具有一致性。其次,间接溢出远大于直接效应,表明城镇化的推进会实现化肥面源污染的跨省“转嫁”。对于经济发达省份,城镇化的推进很大程度上得益于落后省份劳动力的跨地

① 人均收入门槛值8768元由 $e^{-0.1315} \times 10\ 000$ 计算得到。

② 此处的Moran指数使用邻接空间权重矩阵计算得出,空间地理权重矩阵下化肥面源污染和城镇化率的Moran指数仍然显著。

③ 由于篇幅限制,此处省略了SDM固定效应估计结果汇报,有兴趣的读者可以向作者索取。

区优化配置,这使得落后省份农业生产的人工成本不断提升。在利润最大化的驱动下,邻近省份的农民更倾向选择化肥替代劳动,加剧了邻近省份的化肥面源污染。第三,城镇化在省份间也具有示范作用,一方面会提升自身与邻近省份提高城镇化率的

竞争程度,促进化肥面源污染排放,另一方面也会对农产品需求产生竞争。对于东南沿海等农业资源禀赋相对不足的省份,城镇化进程推进加重了其邻近省份的农产品需求,加剧了邻近省份化肥面源污染问题的严峻性。

表5 空间杜宾模型的空间效应分解

Table 5 Decomposition of spatial effects of SDM

解释变量 Explanatory variables	0-1 权重矩阵 0-1 weight matrix			地理权重矩阵 Distance weight matrix		
	直接效应 Direct effect	间接溢出 Spatial spillover	总效应 Total effect	直接效应 Direct effect	间接溢出 Spatial spillover	总效应 Total effect
	城镇化率 $\ln U_{it}$	0.017** (0.007)	0.081** (0.039)	0.098** (0.045)	0.001 (0.006)	0.065*** (0.025)
人口规模 $\ln P_{it}$	-0.013 (0.097)	1.342*** (0.250)	1.329*** (0.248)	-0.400*** (0.091)	1.942*** (0.382)	1.543*** (0.359)
人均GDP $\ln A_{it}$	0.048** (0.022)	0.246*** (0.082)	0.295*** (0.100)	0.040*** (0.011)	0.116 (0.080)	0.155* (0.091)
粮食作物种植比例 $\ln S_{it}$	-0.531*** (0.090)	0.219 (0.148)	-0.312* (0.170)	-0.461*** (0.073)	0.083 (0.262)	-0.378 (0.247)
化肥施用技术水平 $\ln T_{it}$	-0.359*** (0.033)	0.112 (0.102)	-0.247** (0.107)	-0.386*** (0.028)	0.126 (0.078)	-0.260*** (0.092)

控制变量中:

人口规模对化肥面源污染更多的通过间接溢出和总效应表现出来,人口规模增加较快的省份多集中于东部地区,人口规模增加必然提升农产品需求,在本地农产品供给刚性约束下,农产品会通过跨区贸易实现供求均衡,使得邻近省份农产品供给压力增大,导致邻近省份化肥面源污染加剧。

富裕程度对化肥面源污染的直接效应、间接溢出和总效应均显著为正。一个省份富裕程度的提升加剧了自身和邻近省份的化肥面源污染。可能的原因在于:富裕程度越高、经济越发达的省份,农业产值占比越低,越有可能通过增加化肥等投入要素确保粮食安全,这种发展模式也会通过间接溢出促进邻近省份的化肥面源污染。

种植结构对化肥面源污染影响的直接效应为负,总效应为负,间接溢出未通过显著性检验。直接效应为负,表明利润驱动下农户种植结构的调整使

经济作物种植比例上升,由于经济作物的施肥量远高于粮食作物,粮食作物种植比例的降低会加剧本地的化肥面源污染。间接溢出为正但未通过显著性检验,原因可能在于:考虑到省份间农产品贸易供求关系,本地粮食种植比例下降会促进邻近省份粮食种植比例的上升,即本地的种植结构调整会对邻近省份农民种植决策产生反向推动作用,从而缓解邻近省份化肥面源污染问题。然而,由于农产品跨省运输可能存在市场约束和较高的交易成本等问题,间接溢出不显著。

化肥施用技术水平对面源污染影响的直接效应为负,总效应为负,间接溢出未通过显著性检验。化肥施用技术水平的提升对化肥面源污染的直接影响表现在测土配方施肥、水肥一体化技术和新型肥料的应用与推广使得化肥得到有效吸收利用,降低化肥污染排放量,因此本省化肥施用技术进步可以有效降低本地化肥面源污染。间接溢出未通过显著性

检验,表明化肥施用技术进步的扩散效果不明显。化肥施用技术进步的溢出效应受农民吸收和消化能力约束,由于邻近省份对于本省技术进步溢出的接受能力存在差异^[39],在农业技术推广体系不完善的背景下,化肥施用技术进步的间接溢出效果有限。

为检验模型的稳健性,同时构建地理距离空间权重矩阵进行估计(表5后三列),各驱动因素的作用方向和显著性与邻接权重矩阵估计结果大致相同,表明估计结果稳健。

4 结论与政策含义

4.1 结论

基于门槛效应和空间溢出双重视角,以2000—2016年31省面板数据为样本,采用门槛回归和空间计量模型探讨了城镇化对化肥面源污染的影响。通过统计描述与计量经济模型的实证研究,得出结论如下:

1)化肥面源污染排放强度总体表现为:东部>中部>西部,且空间集聚特征明显;从化肥面源污染的动态演进轨迹看,化肥面源污染存在由东部省份向中西部省份转移的演变趋势。

2)从门槛效应看,城镇化对化肥面源污染具有单一门槛效应,当人均收入水平低于8768元(2000年不变价格,下同)时,城镇化的扩张效应占据主导地位,城镇化的推进会加剧化肥面源污染;当人均收入水平高于8768元时,城镇化的质量效应占据主导地位,城镇化的推进会缓解化肥面源污染。

3)从空间溢出看,城镇化对化肥面源污染的影响具有明显的间接溢出,且间接溢出远大于城镇化对本省份化肥面源污染的直接影响,发达省份城镇化的推进可能会实现化肥面源污染的“转嫁”。

4.2 政策含义

揭示了城镇化对化肥面源污染的影响,具有以下政策含义。

1)城镇化推进能否缓解化肥面源污染取决于经济发展水平是否跨越门槛值。在中国经济结构性改革的转型阶段,更应注重城镇化质量效应而非扩张效应的发挥。尽早跨越经济发展水平门槛,严控城镇化的低效扩张、推进城镇化的质量提升,不仅有助于促进经济增长,更有利于实现农业高效、可持续发展。

2)考虑到城镇化对化肥面源污染影响的空间溢出,在制定相关政策时,不仅要考虑到各省内部的驱

动因素,也要关注邻近省份驱动因素的交互作用,对各省间的农业产业政策应进行统筹布局,实现农业资源的合理有序竞争。各省城镇化的推进和化肥面源污染防治更应协调统筹、均衡发展,严防个别省份城镇化发展过快带来的污染“转嫁”,寻求城镇化推进与农业绿色生产之间协调的均衡点,建立完备的省际间农业合作机制、农业环境政策联动机制,加强省际农业生产合作与交流。东部省份多表现为人口的净流入,更应注重与周边人口净流出省份形成农业协同发展共同体,避免化肥面源污染的负向溢出,实现城镇化发展与绿色农业的双赢。

3)考虑到城镇化发展的异质性,不同省份化肥面源污染应因地制宜、综合治理。中西部省份多处于城镇化扩张效应占主导地位的阶段,将是未来化肥面源污染防治的重点,应兼顾城镇化推进和化肥面源污染防治,加强与东部发达省份政府部门的合作与协调,弱化行政壁垒的边界作用,实现城镇化发展与农业生态环境的良性互动,推进农业绿色发展。东部省份城镇化发展相对较快,应利用经济优势设立农业绿色补偿基金,加强绿色有机肥、生物肥的研发与推广,充分挖掘城镇化质量效应的潜力。

此外,本研究仅从城镇化对化肥面源污染的作用效果进行了评估,未能对城镇化扩张效应和质量效应的作用路径进行实证检验,这也是本文的不足之处,该问题有待于后续进一步研究。

参考文献 References

- [1] Lin J Y. Rural reforms and agricultural growth in China[J]. *American Economic Review*, 1992, 82(1): 34-51
- [2] 刘守英, 王一鸽. 从乡土中国到城乡中国: 中国转型的乡村变迁视角[J]. *管理世界*, 2018, 34(10): 128-146, 232
Liu S Y, Wang Y G. From rural China to urban-rural China: The rural transition perspective of China transformation[J]. *Management World*, 2018, 34(10): 128-146, 232 (in Chinese)
- [3] 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. The outflow of rural labor, the regional differences and food production[J]. *Management World*, 2013(11): 67-76 (in Chinese)
- [4] 骆永民, 樊丽明. 中国农村人力资本增收效应的空间特征[J]. *管理世界*, 2014(9): 58-76
Luo Y M, Fan L M. The spatial characteristics of the effect of

- the rural human capital on the income growth in China[J]. *Management World*, 2014(9): 58-76 (in Chinese)
- [5] 焦长权,董磊明.从“过密化”到“机械化”:中国农业机械化革命的历程、动力和影响(1980—2015年)[J].管理世界,2018,34(10):173-190
Jiao C Q, Dong L M. From “over-densification” to “mechanization”: The process, motivation and influence of China’s agricultural mechanization revolution (1980—2015)[J]. *Management World*, 2018, 34(10): 173-190 (in Chinese)
- [6] 马道明.城镇化背景下农村环境持续恶化的内生性探析:基于苏南Q镇的调查[J].学海,2018(4):53-58
Ma D M. Endogenous analysis of the continuous deterioration of rural environment under the background of urbanization: Based on the survey of Q county in southern Jiangsu province [J]. *Academia Bimestrie*, 2018(4): 53-58 (in Chinese)
- [7] Fleming P, Lichtenberg E, Newburn D. Evaluating impacts of agricultural cost sharing on water quality: Additionality, crowding in, and slippage [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 92: 1-19
- [8] 张舰,亚伯拉罕·艾宾斯坦,玛格丽特·麦克米伦,陈志钢.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, Chen Z G. Migration, excessive fertilizer use and environmental consequences [J]. *Comparative Economic & Social Systems*, 2017(3): 149-160 (in Chinese)
- [9] 尚杰,李新,邓雁云.基于EKC的农业经济增长与农业面源污染的关系分析:以黑龙江省为例[J].生态经济,2017,33(6):157-160,166
Shang J, Li X, Deng Y Y. Analysis of the relationship between agricultural economic growth and agricultural non-point source pollution based on EKC: Taking Heilongjiang Province as an example [J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(6): 157-160, 166 (in Chinese)
- [10] 揭昌亮,王金龙,庞一楠.中国农业增长与化肥面源污染:环境库兹涅茨曲线存在吗[J].农村经济,2018(11):110-117
Jie C L, Wang J L, Pang Y N. Agricultural economic growth and chemical fertilizer non-point source pollution in China: Does environmental Kuznets curve exist [J]. *Rural Economy*, 2018(11): 110-117 (in Chinese)
- [11] 侯孟阳,姚顺波.异质性条件下化肥面源污染排放的EKC再检验:基于面板门槛模型的分组[J].农业技术经济,2019(4):104-118
Hou M Y, Yao S B. EKC retest of fertilizer non-point source pollution emission under heterogeneous conditions: Grouping based on panel threshold model [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019(4): 104-118 (in Chinese)
- [12] 于骥,蒲实,周灵.四川省农业面源污染与农业增长的实证分析[J].农村经济,2016(9):56-60
Yu J, Pu S, Zhou L. An empirical analysis of agricultural non-point source pollution and agricultural economic growth in Sichuan Province [J]. *Rural Economy*, 2016(9): 56-60 (in Chinese)
- [13] 张郁,刘洁,杨青山.黑龙江垦区农业生产与面源污染的脱钩分析与调控模拟[J].经济地理,2017,37(6):177-182.
Zhang Y, Liu J, Yang Q S. Decoupling analysis and simulation of agricultural production and nonpoint source pollution in the Heilongjiang land reclamation area [J]. *Economic Geography*, 2017, 37(6): 177-182 (in Chinese)
- [14] 杨建辉.农业化学投入与农业经济增长脱钩关系研究:基于华东6省1市数据[J].自然资源学报,2017,32(9):1517-1527
Yang J H. Research on decoupling relationship between agricultural chemical inputs and agricultural economic growth: Based on the data of six provinces and one city in east China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(9): 1517-1527 (in Chinese)
- [15] 栾江,仇焕广,井月,廖绍攀,韩炜.我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J].自然资源学报,2013,28(11):1869-1878
Luan J, Qiu H G, Jing Y, Liao S P, Han W. Decomposition of factors contributed to the increase of China’s chemical fertilizer use and projections for future fertilizer use in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(11): 1869-1878 (in Chinese)
- [16] 石文香,陈盛伟.中国化肥面源污染排放驱动因素分解与EKC检验[J].干旱区资源与环境,2019,33(5):1-7
Shi W X, Chen S W. The drivers of fertilizer non-point source pollution in China and the environmental Kuznets curve characteristics [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(5): 1-7 (in Chinese)
- [17] 史常亮,李赞,朱俊峰.劳动力转移、化肥过度使用与面源污染[J].中国农业大学学报,2016,21(5):169-180
Shi C L, Li Y, Zhu J F. Rural labor transfer, excessive fertilizer use and agricultural non-point source pollution [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(5): 169-180 (in Chinese)
- [18] 吴义根,冯开文,李谷成.人口增长、结构调整与农业面源污染:基于空间面板STIRPAT模型的实证研究[J].农业技术经济,2017(3):75-87

- Wu Y G, Feng K W, Li G C. Population growth, structural adjustment and agricultural non-point source pollution: An empirical study based on spatial panel STIRPAT model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2017(3): 75-87 (in Chinese)
- [19] 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 (in Chinese)
- [20] 夏秋, 李丹, 周宏. 农户兼业对农业面源污染的影响研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(12): 131-138
- Xia Q, Li D, Zhou H. Study on the influence of farmers' concurrent business behavior on agricultural non-point source pollution[J]. *China Population · Resources and Environment*, 2018, 28(12): 131-138 (in Chinese)
- [21] 仇焕广, 栾昊, 李瑾, 汪阳洁. 风险规避对农户化肥过量施用行为的影响[J]. *中国农村经济*, 2014(3): 85-96
- Qiu H G, Luan H, Li J, Wang Y J. The impacts of risk aversion on farmer's households' behavior of overusing chemical fertilizers[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014(3): 85-96 (in Chinese)
- [22] 张平淡, 袁赛. 决胜全面小康视野的农民收入结构与农业面源污染治理[J]. *改革*, 2017(9): 98-107
- Zhang P D, Yuan S. Farmers' income structure and agricultural non-point source pollution control from the perspective of determining the victory overall well-off society [J]. *Reform*, 2017(9): 98-107 (in Chinese)
- [23] Li J, Li Z H. Urbanization and the change of fertilizer use intensity for agricultural production in Henan Province[J]. *Sustainability*, 2016, 8(2): 186
- [24] 张雯丽, 沈贵银, 曹慧, 徐雪高, 王慧敏. “十三五”时期我国重要农产品消费趋势、影响与对策[J]. *农业经济问题*, 2016, 37(3): 11-17, 110
- Zhang W L, Shen G Y, Cao H, Xu X G, Wang H M. Major agricultural products consumption trend, influence and policy: During the 13th five-year period[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2016, 37(3): 11-17, 110 (in Chinese)
- [25] 张复宏, 宋晓丽, 霍明. 果农对过量施肥的认知与测土配方施肥技术采纳行为的影响因素分析: 基于山东省9个县(区、市)苹果种植户的调查[J]. *中国农村观察*, 2017(3): 117-130
- Zhang F H, Song X L, Huo M. Testing for fertilizer formulation and their determinants: An empirical analysis based on survey data from apple growers in 9 counties of Shandong Province[J]. *China Rural Survey*, 2017(3): 117-130 (in Chinese)
- [26] 纪月清, 张惠, 陆五一, 刘华. 差异化、信息不完全与农户化肥过量施用[J]. *农业技术经济*, 2016(2): 14-22
- Ji Y Q, Zhang H, Lu W Y, Liu H. Differences, incomplete information and farmer's excessive application of fertilizer[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016(2): 14-22 (in Chinese)
- [27] 陈琼, 蔡运龙, 刘峰贵, 魏晓燕, 周强, 张海峰. 农户的耕地非农转换价值及态度模型: 基于西宁市的实证研究[J]. *地理研究*, 2018, 37(12): 2447-2458
- Chen Q, Cai Y L, Liu F G, Wei X Y, Zhou Q, Zhang H F. Farmer's value and attitude model of farmland non-agriculture conversion: A questionnaire from farmers in Xining City[J]. *Geographical Research*, 2018, 37(12): 2447-2458 (in Chinese)
- [28] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 182-187
- Zhang B Y, Chen T L, Wang B. Effects of long-term uses of chemical fertilizers on soil quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11): 182-187 (in Chinese)
- [29] 许庆, 陆钰凤. 非农就业、土地的社会保障功能与农地流转[J]. *中国人口科学*, 2018(5): 30-41, 126-127
- Xu Q, Lu Y F. Off-farm employment, social security function of land, and land transfer[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2018(5): 30-41, 126-127 (in Chinese)
- [30] 冯晓龙, 仇焕广, 刘明月. 不同规模视角下产出风险对农户技术采用的影响: 以苹果种植户测土配方施肥技术为例[J]. *农业技术经济*, 2018(11): 120-131
- Feng X L, Qiu H G, Liu M Y. Technology adoption of farmers in different farm sizes under production risk: A case study of apple farmers' formula fertilization technology by soil testing[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018(11): 120-131 (in Chinese)
- [31] 黄炎忠, 罗小锋, 李容容, 张俊飏. 农户认知、外部环境与绿色农业生产意愿: 基于湖北省632个农户调研数据[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(3): 680-687
- Huang Y Z, Luo X F, Li R R, Zhang J B. Farmer cognition, external environment and willingness of green agriculture production: Based on the survey data of 632 farmers in Hubei Province [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3): 680-687 (in Chinese)
- [32] 彭长生, 杨国才. 区际产业转移背景下中部地区劳动力跨省流动趋势及代际差异: 基于安徽省的调查数据[J]. *农业经济问*

- 题, 2014, 35(3): 48-55, 111
- Peng C S, Yang G C. Inter-provincial flow trend of rural labor force in the central region and its intergenerational differences under industry transferring: Based on the data of investigations in Anhui Province [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 35(3): 48-55, 111 (in Chinese)
- [33] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology [J]. *Human Ecology Review*, 1994(1): 277-300
- [34] 余东华, 张明志. “异质性难题”化解与碳排放 EKC 再检验: 基于门限回归的国别分组研究 [J]. *中国工业经济*, 2016(7): 57-73
- Yu D H, Zhang M Z. Resolution of “the heterogeneity difficulty” and re-verification of the carbon emission EKC: Based on the country grouping test under the threshold regression [J]. *China Industrial Economics*, 2016(7): 57-73 (in Chinese)
- [35] LeSage J P, Pace R K. *Introduction to Spatial Econometrics* [M]. Boca Raton: the Chemical Rubber Company Press, 2009
- [36] 严翔, 成长春, 易高峰, 柏建成. 长江经济带城镇化对能源消费的经济门槛效应 [J]. *经济地理*, 2019, 39(1): 73-81
- Yan X, Cheng C C, Yi G F, Bai J C. Economic threshold effect of urbanization on energy consumption: Take the Yangtze river economic zone as an example [J]. *Economic Geography*, 2019, 39(1): 73-81 (in Chinese)
- [37] 中国国家统计局. 中国统计年鉴, 2001—2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2017
- National Bureau of Statistics of the People’s Republic of China. *China Statistical Yearbook, 2001—2017* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2017
- [38] 中国国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴, 2001—2017 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001—2017
- Department of Rural Social and Economic Investigation of National Bureau of Statistics of the People’s Republic of China. *China Rural Statistical Yearbook, 2001—2017* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2017
- [39] 魏锴, 杨礼胜, 张昭. 对我国农业技术引进问题的政策思考: 兼论农业技术进步的路径选择 [J]. *农业经济问题*, 2013, 34(4): 35-41
- Wei K, Yang L S, Zhang Z. Reflect on the policy of agricultural technology import: Also on path selection of technological advances in agriculture [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2013, 34(4): 35-41 (in Chinese)

责任编辑: 王岩