



朱洋洋, 齐振宏, 田卓亚, 汪熙琮. 长江流域主产区农业集聚对农业面源污染的影响——基于面板门槛模型的实证研究[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(03): 228-240.

ZHU Yangyang, QI Zhenhong, TIAN Zhuoya, WANG Xicong. Impact of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution in the main production areas of the Yangtze River basin: An empirical study based on panel threshold modeling[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(03): 228-240.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.03.20

## 长江流域主产区农业集聚对农业面源污染的影响 ——基于面板门槛模型的实证研究

朱洋洋<sup>1,2</sup> 齐振宏<sup>1,2\*</sup> 田卓亚<sup>1,2</sup> 汪熙琮<sup>1,2</sup>

(1. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;

2. 华中农业大学 双水双绿研究院, 武汉 430070)

**摘要** 为探究农业集聚对农业面源污染的影响, 基于2000—2020年社会经济和农业生产数据, 对长江流域主产区总体及各地级市的农业集聚和农业面源污染进行测度, 分析其时空变化趋势; 采用面板门槛模型, 探究农业集聚对农业面源污染的非线性影响效应。结果表明: 上、中、下游农业集聚整体上呈现递减趋势, 表现为下游>中游>上游的特征; 上游和下游农业面源污染未发生较大波动, 但中游呈现先上升后下降的趋势, 表现为中游>下游>上游的特征。农业集聚对农业面源污染的影响存在正向单门槛效应, 农业集聚滞后项的门槛效应值有所下降。分区域看, 上游和中游农业集聚无论小于等于门槛值, 还是大于门槛值, 均会加剧农业面源污染的排放, 但跨越门槛值之后, 上游的促进作用减弱, 中游的促进作用增强, 下游的门槛效应表现为由负向转向正向的特征。此外, 农业生产条件、农业人口规模、畜禽业结构会加剧农业面源污染的排放, 但产业结构升级和环境规制强度增加会降低农业面源污染的排放。建议进一步推广应用现代农业绿色生产技术, 规范畜禽养殖户的生产经营行为, 构建政府、农户、社会组织共同参与的协同治理体系, 以推进区域农业绿色可持续发展。

**关键词** 农业集聚; 农业面源污染; 时空演进; 门槛效应

中图分类号 F326.11

文章编号 1007-4333(2024)03-0228-13

文献标志码 A

## Impact of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution in the main production areas of the Yangtze River basin: An empirical study based on panel threshold modeling

ZHU Yangyang<sup>1,2</sup>, QI Zhenhong<sup>1,2\*</sup>, TIAN Zhuoya<sup>1,2</sup>, WANG Xicong<sup>1,2</sup>

(1. College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Shuangshui Shuanglv Institute, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract** In order to investigate the impact of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution, based on the socio-economic and agricultural production data from 2000 to 2020, the agricultural agglomeration and agricultural non-point source pollution in the main producing areas of the Yangtze River basin as a whole and in each prefectural-level cities were measured and their spatial and temporal trends

收稿日期: 2023-09-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(72273049); 中央高校基本科研业务费项目(2662018YJ019)

第一作者: 朱洋洋(ORCID:0009-0000-5558-4806), 博士研究生, E-mail: 1601404052@qq.com

通讯作者: 齐振宏(ORCID:0009-0002-9610-7680), 教授, 主要从事绿色经济与绿色管理研究, E-mail: qizhh@mail.hzau.edu.cn

were analyzed. A panel threshold model was used to investigate the nonlinear impact effect of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution. The results showed that: The overall trend of agricultural agglomeration in the upper, middle and lower basin was decreasing, which was lower basin > middle basin > upper basin in descending order; The upper basin and lower basin agricultural non-point source pollution did not undergo large fluctuations, but the middle basin showed an upward and then downward trend, which was middle basin > lower basin > upper basin in descending order. There was a positive single-threshold effect of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution, and the value of the threshold effect of the lagged term of agricultural agglomeration has decreased. Subregionally, the upper basin and middle basin agricultural agglomeration exacerbated agricultural non-point source pollution emissions regardless of less than or greater than the threshold value. After crossing the threshold, the facilitating effect of the upper basin weakened and that of the middle basin increased, there was a shift from negative to positive in the threshold effect in the lower basin. In addition, the agricultural production conditions, the size of the agricultural population, and the structure of the livestock and poultry industry exacerbated the emission of agricultural non-point source pollution. However, the upgrading of the industrial structure and the increase in the intensity of environmental regulation reduced the emission of agricultural non-point source pollution. In order to promote the green and sustainable development of regional agriculture, it is recommended to further promote the application of modern agricultural green production technology, regulate the production and management behavior of livestock and poultry farmers, and build a synergistic governance system with the participation of the government, farmers, and social organizations.

**Keywords** agricultural agglomeration; agricultural non-point source pollution; evolution of time and space; threshold effect

近年来,由于粗放的农业生产方式,如化肥和农药的过量施用、水土资源的过度开发、畜禽粪污的随意排放等,导致农业面源污染排放量增加。2020年《第二次全国污染源普查公告》<sup>[1]</sup>显示,农业源化学需氧量、总氮、总磷的排放量分别占水污染物排放总量的49.8%、46.5%、67.2%,农业面源污染排放总量处于高位。与此同时,现代农业正由粗放、无序、分散向规模化、集约化、产业化方向发展,推动农业集聚化发展是提高劳动生产率、土地产出率、资源利用率,推动农业绿色高质量发展的有效选择<sup>[2]</sup>。已有研究表明,产业集聚通过规模效应<sup>[3]</sup>、结构效应<sup>[4]</sup>和技术效应<sup>[5]</sup>所产生的环境正外部性和负外部性,进而对生态环境造成影响,如产业集聚通过提高资源配置效率、优化产业结构、推动绿色技术进步等方式改善生态环境,但也会带来生产和经济活动的拥挤、高污染产业的进入、污染物的累积等问题,造成生态环境的破坏。因此,产业集聚对生态环境的最终效应是其所产生的正负外部性相互博弈的结果。而农业作为一个特殊性产业,其劳动对象是有生命力的动植物,使得农业集聚对生态环境的影响具有一定的独特性和复杂性,因此有必要深入探究农业集聚对农业面源污染的影响效应。

目前学术界较少直接探讨农业集聚对农业面源污染的影响,较多是关于产业集聚与环境污染之间关系的研究,为本研究提供了一定的理论基础;但关于二者之间关系的研究仍存在一定分歧,大体形成3种不同的观点:1)产业集聚会减缓环境污染。产业集聚所带来的规模经济效应会提高企业的生产效率和管理水平,降低单位产出的治污成本。此外,产业集聚所产生的知识和技术的溢出也会减少污染排放量,进而改善区域环境质量<sup>[6-7]</sup>;2)产业集聚会加剧环境污染。产业集聚会通过行业规模的扩张,高污染行业的进入、污染物的累积等方式加剧污染物的排放<sup>[8-9]</sup>;3)产业集聚对环境污染的影响效应不确定。产业集聚与环境污染之间可能存在“N”型、倒“N”型<sup>[10]</sup>、“U”型<sup>[11]</sup>、倒“U”型<sup>[12]</sup>的关系,其原因主要是由于集聚所产生的环境正外部性和环境负外部性在不同的集聚阶段相互博弈、相互抵消的结果。

通过对现有研究进行整理和归纳发现,一方面已有研究较少探讨农业集聚的环境污染效应;另一方面,由于研究对象的不同,已有研究关于产业集聚对环境污染影响效应的结论尚不统一。鉴于此,本研究旨在以农业为切入点,首先对长江流域主产

区农业面源污染的排放和农业集聚水平进行测度和分析,分析其时空变化趋势,然后建立面板门槛模型实证探讨长江流域主产区农业集聚对农业面源污染影响的非线性效应,以期为防控长江流域主产区农业面源污染、协调资源环境与农业经济增长提供可供参考的建议。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 长江流域农业集聚水平测度

本研究采用2种方法测度农业集聚水平:首先采用基尼系数测度长江流域主产区在样本考察期内各年份总的农业集聚水平,以分析其时空变化趋势;然后采用产业平均地理集聚度测度长江流域主产区各地区在样本考察期内各年份的农业集聚水平,以探讨其对农业面源污染的门槛效应。

1)基尼系数。基尼系数常用来衡量变量的不均衡程度,农业集聚本质上是农业产业分布的不均衡现象,本研究基于张爱国的研究<sup>[13]</sup>,采用一种简便易用的基尼系数来测算长江流域主产区总体的农业集聚水平。计算公式为:

$$G_t = 1 - \frac{1}{n} (2 \sum_{i=1}^{n-1} L_{it} + 1) \quad (1)$$

式中: $G_t$ 为采用基尼系数所测算的长江流域主产区第 $t$ 年总的农业集聚水平,取值范围为0~1,数值越大表明农业产业分布越趋于集聚; $n$ 为长江流域主产区地级市的个数; $L_{it}$ 为第 $t$ 年累计前 $i$ 个地级

市的农林牧渔业总产值占长江流域主产区农林牧渔业总产值的比例。

2)产业平均地理集聚度。本研究采用产业平均地理集聚度<sup>[14]</sup>表征长江流域主产区各地区在样本考察期内各年份的农业集聚水平,计算公式为:

$$V_i^t = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{Y_{ij}^t}{Y_j^t} \quad (2)$$

式中: $V_i^t$ 为地级市 $i$ 第 $t$ 年的农业集聚水平,采用各农产品和畜禽产品产值占比的加权平均进行表征, $V_i^t$ 值越大,说明该地级市的农业集聚水平越高,为便于比较,本研究将通过该方法测得的农业集聚水平扩大1000倍; $m$ 为农产品(稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、蔬菜)和畜禽产品(牛、猪、羊、家禽)的种类数; $Y_{ij}^t$ 为地级市 $i$ 第 $t$ 年的农产品或畜禽产品 $j$ 的产量; $Y_j^t$ 为长江流域主产区第 $t$ 年的农产品或畜禽产品 $j$ 的产量。

#### 1.1.2 长江流域农业面源污染核算

农业面源污染核算主要包括4个步骤:1)农业面源污染来源确定。本研究拟选择化肥施用、农田固体废弃物、畜禽养殖作为农业面源污染来源,由此产生14个核算单元(表1),主要污染物指标涉及化学需氧量、氨氮、总氮、总磷4类;2)单元确定和调整。通过对污染源的分析 and 分解来确定评价单元;3)分析产污过程。这一步主要是定量分析各个面源污染流失情况,进而确定各污染核算单元的流失系数;4)农业面源污染核算。具体核算公式为:

表1 农业面源污染核算单元的确定

Table 1 Determination of accounting units for agricultural non-point source pollution

污染源 Source of pollution	污染单元 Pollution unit	计量方法 Measurement methodology
化肥施用 Fertilizer application	氮肥、磷肥、复合肥	总氮排放量=(氮肥折纯量+复合肥折纯量×15%)×氮流失系数 总磷排放量=(磷肥折纯量+复合肥折纯量×15%)×43.66%×氮流失系数
农田固体废弃物 Agricultural solid waste	稻谷、小麦、蔬菜、豆类、油料、薯类、玉米	农田固体废弃物污染排放量=农作物/蔬菜产量×废弃物产出系数×养分含量×利用结构×特定利用结构下的排放率
畜禽养殖 Livestock and poultry farming	猪、牛、羊、家禽	畜禽养殖污染排放量=畜禽养殖量×粪尿日排泄系数×饲养周期×粪尿污染物含量×粪尿流失率

$$E = \sum_i EU_i \rho_i (1 - \eta_i) C_i (EU_i, S) = \sum_i PE_i (1 - \eta_i) C_i (EU_i, S) \quad (3)$$

式中: $E$ 为排放总量; $EU_i$ 为第*i*个核算单元的统计数; $\rho_i$ 为第*i*个核算单元的产污系数; $\eta_i$ 为农业生产过程中资源利用效率的系数; $PE_i$ 为第*i*个核算单元的产污量; $C_i$ 为第*i*个核算单元的排放系数,各污染物的排放系数通过查阅文献获得<sup>[15-16]</sup>。

### 1.1.3 面板门槛模型的建立

本研究建立面板门槛模型探讨农业集聚与农业面源污染之间是否存在非线性关系,即不同的农业集聚水平对农业面源污染的影响是否存在差异。借鉴 Hansen 等<sup>[17]</sup>的研究,以农业集聚作为门槛变量,构建如下模型:

$$\begin{aligned} \ln P_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln A_{it} N(\ln A_{it} \leq \beta_1) + \\ & \alpha_2 \ln A_{it} N(\beta_1 < \ln A_{it} \leq \beta_2) + \\ & \alpha_n \ln A_{it} N(\beta_{n-1} < \ln A_{it} \leq \beta_n) + \\ & \alpha_{n+1} \ln A_{it} N(\beta_n < \ln A_{it} \leq \beta_{n+1}) + \\ & \mu \ln C_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $P_{it}$ 为第*i*个地区第*t*年的农业面源污染排放量; $A_{it}$ 为门槛变量,即第*i*个地区第*t*年的农业集聚水平; $N(\cdot)$ 为指示函数,若满足括号内条件,则 $N=1$ ,否则 $N=0$ ; $C_{it}$ 为控制变量; $\epsilon_{it}$ 为随机干扰项; $\alpha_0$ 为常数项系数; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+1}$ 为不同门槛值下农业集聚对农业面源污染的影响系数,若 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha_{n+1}$ 至少有1个值显著,则表明农业集聚可以作为门槛变量; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \beta_{n+1}$ 为变量农业集聚水平具体的门槛值; $\mu$ 为控制变量的系数。

## 1.2 数据来源及变量定义

### 1.2.1 数据来源

长江流域主产区是我国七大农产品主产区之一,覆盖长江上、中、下游3大区域,是我国最主要的农业生产基地,耕地面积近0.27亿 $\text{hm}^2$ ,占全国25%,每年粮食产量约占全国30%,年畜禽养殖量约占全国30%,农林牧渔业总产值约占全国31%<sup>①</sup>。鉴于此,基于中国农业战略格局中关于“七区二十三带”的划分<sup>[18]</sup>,聚焦于“长江流域主产区”,并依据各类农畜产品在长江流域主产区的分布,本研究拟选择“四川、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏”7个省市为样本区域范围,同时将长江流域主产区划分为上、中、下游3大区域,上游包括四川省和重庆市,

中游包括湖北省、湖南省、江西省,下游包括安徽省和江苏省。本研究原始数据来源于各地级市或直辖市的统计年鉴和统计公报、中国城市统计年鉴、中国农村统计年鉴、国家统计局、EPS数据库等。部分年份的缺失数据采用插值法进行补充,部分地区的缺失指标采用该地区所在省份所涉指标的均值对其进行补充。

### 1.2.2 变量定义

本研究重点探讨长江流域主产区农业集聚对农业面源污染的影响效应,结合所采用的面板门槛模型,将研究变量划分为被解释变量、核心解释变量、控制变量。为了减少异方差的影响,对模型中所涉及的所有变量取自然对数,各变量的赋值、说明及描述性统计见表2。

1)被解释变量:农业面源污染。农业面源污染排放量由清单分析法测得,污染源来自种植业(稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、油料、蔬菜)和畜禽业(猪、牛、羊、家禽),污染物主要包括TN(总氮)、TP(总磷)、 $\text{NH}_3\text{N}$ (氨氮)和COD(化学需氧量)。

2)核心解释变量及门槛变量:农业集聚水平。农业集聚水平采用地区产业平均地理集聚度测得。同时,本研究主要探讨农业集聚与农业面源污染的非线性关系,因此农业集聚水平亦为本研究的门槛变量。

3)控制变量。本研究中控制变量主要包括要素、产业和政策3个层面。要素层面包括农业生产条件和农业人口规模<sup>[19]</sup>,其中农业生产条件参照邵晓梅<sup>[20]</sup>的研究,采用改进熵值法<sup>[21]</sup>从化肥施用量、农药使用量、农用塑料薄膜使用量、农业机械总动力、农村用电量、农用柴油使用量、有效灌溉面积7个方面衡量农业生产条件。产业层面包括畜禽业结构和产业结构。政策层面主要是指政府的环境规制,借鉴翁鸿妹等<sup>[22]</sup>的研究,采用农业面源污染排放强度加权平均后的倒数进行评价。

## 2 实证结果与分析

### 2.1 长江流域主产区农业集聚与农业面源污染的时空变化趋势

首先,下游地区农业集聚水平最高,中游次之,上游最小,而全流域农业集聚水平在2010年以前要低于下游地区的农业集聚水平,2010年以后则大于下游地区的农业集聚水平(图1(a))。中下游地区

①此数据为作者基于公开统计数据测得。

表2 变量的赋值、说明及描述性统计分析

Table 2 Assignment, description, and descriptive statistical analysis of the variables

变量类型 Variable type	变量名称 Variable name	变量说明及赋值 Variable description and assignment	均值 Mean	标准差 Standard error
被解释变量 Explained variable	农业面源污染	COD、NH <sub>3</sub> N、TN和TP的排放量加总,万t	4.691	3.818
解释变量/门槛变量 Explanatory or threshold variables	农业集聚水平	产业平均地理集聚度	14.209	11.978
控制变量 Control variable	农业生产条件	化学化、机械化、水利化、电气化的综合得分	0.138	0.104
	农业人口规模	农林牧渔业从业人员/乡村从业人员	0.518	0.159
	畜禽业结构	畜禽业总产值/农林牧渔业总产值	0.329	0.132
	产业结构	二三产业增加值/一二三产业增加值	0.839	0.089
	环境规制	1/农业面源污染排放强度的加权平均	136.206	71.673

要比上游地区的地势更为平坦,且经济发展水平更高,为农业的规模化经营创造了良好的条件,农业集聚水平较高。此外,除上游外,全流域、中游和下游的农业集聚水平总体上呈现递减的趋势,上游呈现先下降后上升的趋势,可能的原因是随着我国西部大开发和“一带一路”倡议的提出,以重庆和四川为代表的上游地区享受到国家更多的政策红利,促使其农业发展水平不断提高,缩小了其与中下游地区的农业集聚水平。

其次,中游地区农业面源污染排放量最高,下游次之,上游最小;中游地区农业面源污染排放量

呈现先上升后下降的趋势,上游和下游在考察时间段内未发生较大波动(图1(b))。中游地区地势平坦、水网密布、气候优越,更加适宜农作物的生长和畜禽的养殖,农业生产资源不断向该区域聚集使得单位面积农业面源污染排放量升高<sup>[23]</sup>;下游地区主要位于我国东部沿海地区,经济发展水平相对占优,能为发展现代农业提供高质量的农业生产资源和人力资源;上游地区主要位于我国西部地区,受自身地理条件的限制,农业生产以特色农业为主,且规模化经营程度相对较低,使得该区域农业面源污染排放量相对较少。

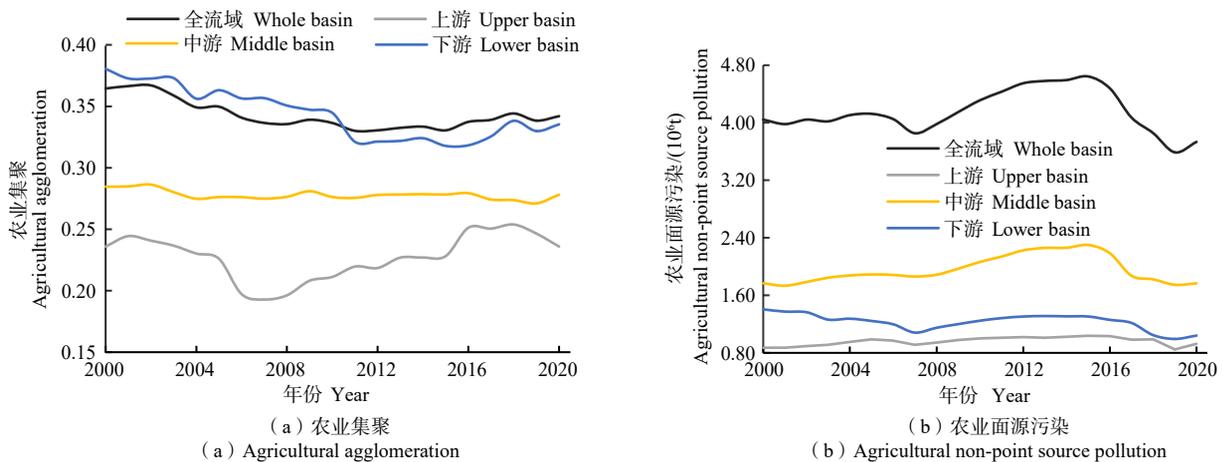


图1 2000—2020年长江流域主产区农业集聚和农业面源污染的时空变化趋势

Fig. 1 Spatial and temporal trends of agricultural agglomeration and agricultural non-point source pollution in the main production areas of the Yangtze River basin from 2000 to 2020

## 2.2 长江流域主产区农业集聚对农业面源污染的影响效应分析

### 2.2.1 门槛效应检验

在进行面板门槛模型回归之前,首先进行门槛效应检验,以确定门槛值的数目,检验结果见表3。全流域、上游、中游和下游的农业集聚在进行单门槛效应检验时,其 $F$ 统计值分别在1%、5%、5%和

10%的水平通过显著性检验,但均未通过双门槛效应和三门槛效应检验,因此,可认为全流域、上游、中游和下游的农业集聚对农业面源污染的影响均存在单门槛效应,门槛值分别为3.388、3.285、1.322、3.833,各门槛值所对应的95%的置信区间分别为[3.369, 3.412]、[3.102, 3.363]、[1.307, 1.329]、[3.840, 3.906]。

表3 门槛值及其95%的置信区间

Table 3 Threshold values and their 95% confidence intervals

区域划分 Regional division	门槛数 Number of thresholds	门槛值 Threshold value	95%置信区间 95% Confidence interval
全流域 Whole basin	1	3.388	[3.369, 3.412]
上游 Upper basin	1	3.285	[3.102, 3.363]
中游 Middle basin	1	1.322	[1.307, 1.329]
下游 Lower basin	1	3.883	[3.840, 3.906]

### 2.2.2 全流域门槛效应分析

本研究基于面板门槛模型实证探讨农业集聚对农业面源污染的影响效应,基于门槛值生成具体的虚拟变量,进行混合效应回归、固定效应回归和随机效应回归分析。在固定效应、随机效应与混合效应模型的选取上,分别采用 $F$ 检验和BP检验以确定选择合适的模型, $F$ 检验值为379.920,且通过1%的显著性检验,因此拒绝“不存在个体固定效应”的原假设;BP检验的值为7347.780,且通过1%的显著性检验,因此拒绝“不存在个体随机效应”的原假设。Hausman检验值在1%的水平下通过显著性检验,因此拒绝“存在随机效应”的原假设,选择固定效应模型。为了防止异方差对回归结果的影响,进一步采用带有稳健标准误的固定效应模型进行分析结果见表4。综上,在有稳健标准误的基础上,固定效应模型的回归结果更优,对比门槛模型回归结果与带有稳健标准误的固定效应模型回归结果,农业集聚和各控制变量回归系数的符号和显著性基本保持一致,这在一定程度上说明了门槛模型回归结果的稳定性。

基于门槛回归结果可知,当农业集聚 $\leq$ 门槛值(3.388)时,农业集聚对农业面源污染影响的回归系数为0.631;当农业集聚 $>$ (3.388)门槛值时,回

归系数为0.520,且均在1%水平显著为正。表明农业集聚水平的提高会加剧农业面源污染的排放,但跨过门槛值之后,农业集聚对农业面源污染的影响有所减弱。具体分析如下:

当农业集聚 $\leq$ 门槛值时,其所带来的环境负外部性占主导地位,导致区域内农业面源污染排放量增加。农业集聚水平的提高意味着农业生产规模的不断扩大,2020年长江流域主产区农用化肥折纯施用量占全国28.02%,畜禽业所涉及的猪、牛、羊、家禽的出栏量分别占全国的34.74%、21.68%、13.64%、32.01%,2000、2010、2020年长江流域主产区畜禽养殖所带来的农业面源污染占种植业和畜禽业农业面源污染排放总量的66.97%、67.84%、66.74%,占比达到2/3<sup>①</sup>。这表明,除了牛和羊的养殖,种植业化肥投入占比和其他畜禽养殖占比均处于较高水平,因而导致污染物排放增加。此外,地区农业集聚会带来各种资本、技术、高素质劳动力的聚集,与农业生产有关的各种知识和信息也会在该区域不断扩散和溢出,使得农业生产结构逐渐趋于高投入、高风险和高污染排放的畜禽养殖业。当农业集聚 $>$ 门槛值时,其所带来的环境正外部性不断抵消负外部性的影响。随着农业集聚水平的不断提高,种植业和畜禽业规模经济效应显

①此数据为作者基于公开统计数据测得。

表4 全流域农业集聚对农业面源污染门槛效应估计结果

Table 4 Estimation results of the threshold effect of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution in the whole basin

农业面源污染 Agricultural non-point source pollution		门槛模型 Threshold model	混合效应 Mixed effect	固定效应 Fixed effect	固定效应 (RSE) <sup>①</sup> Fixed effect (RSE)	随机效应 Random effect	滞后分析 Lag analysis
农业集聚 Agricultural agglomeration	农业集聚 $\leq I$ ( $I=3.388$ )	0.631*** (31.27)	0.800*** (50.96)	0.631*** (31.27)	0.631*** (8.36)	0.705*** (37.56)	
	农业集聚 $> I$ ( $I=3.388$ )	0.520*** (24.06)	0.724*** (49.54)	0.520*** (24.06)	0.520*** (5.26)	0.607*** (30.98)	
农业集聚滞后项 Agricultural agglomeration lag	农业集聚滞后项 $\leq I$ ( $I=3.413$ )						0.512*** (23.49)
	农业集聚滞后项 $> I$ ( $I=3.413$ )						0.400*** (17.22)
农业生产条件 Agricultural production conditions		0.121*** (6.28)	0.179*** (11.71)	0.121*** (6.28)	0.121* (1.93)	0.144*** (7.90)	0.200*** (9.38)
农业人口规模 Agricultural population size		0.099*** (6.14)	0.134*** (6.14)	0.099*** (6.14)	0.099** (2.03)	0.090*** (5.47)	0.111*** (6.11)
畜禽业结构 Livestock and poultry structure		0.101*** (6.21)	0.233*** (12.07)	0.101*** (6.21)	0.101*** (2.71)	0.104*** (6.34)	0.106*** (5.83)
产业结构 Industrial structure		-0.766*** (-15.16)	-0.392*** (-5.73)	-0.766*** (-15.16)	-0.766*** (-4.34)	-0.751*** (-14.53)	-0.800*** (-13.70)
环境规制 Environmental regulation		-0.325*** (-22.39)	-0.522*** (-31.23)	-0.325*** (-22.39)	-0.325*** (-8.10)	-0.327*** (-22.33)	-0.330*** (-20.21)
常数项 Constant		-1.746*** (-6.79)	0.251 (0.76)	-1.746*** (-6.79)	-1.746* (-1.79)	-1.852*** (-7.07)	-1.387*** (-4.66)
F 检验 F test				379.92***			
BP 检验 BP test						7347.78**	
Hausman 检验 Hausman test				136.74***			
样本量 Sample size		1 848	1 848	1 848	1 848	1 848	1 760

注：①固定效应(RSE)为有稳健标准误的固定效应模型。\*、\*\*、\*\*\*分别表示各变量在10%、5%、1%水平上显著；括号内为t检验值；I为门槛值；下表同。

Note: ① Fixed effects (RSE) are fixed effects models with robust standard errors. \*, \*\* and \*\*\* indicate that the variables are significant at the 10%, 5% and 1% levels, respectively; values from t-tests are in parentheses. I is the threshold value. The following Table is the same.

现,深化了生产和饲养的专业化分工与协作,有助于各个环节上成本的节约,使得农业生产主体有更多的经济剩余去应用现代农业机械装备和农业绿色节能技术,如水肥一体化技术、测土配方技术、滴灌技术等,减少农产品生产和畜禽养殖过程中废弃

物的产生,提高资源利用效率,进而降低农业面源污染的排放。此外,随着农业集聚水平的不断提高,传统农业由粗放、无序、分散布局向集约化、专业化和空间集聚转型,同时自然环境的约束、政府的环境规制、消费者对绿色健康农产品的需求等因

素也对传统农业提出了更高的要求,倒逼农业生产经营主体主动加强对绿色农业生产经营行为的响应,使得农业生产逐渐趋向绿色化。

各控制变量的回归结果显示,农业生产条件对农业面源污染的影响显著为正,主要是因为农业生产条件中“农业化学化”占主导地位,如化肥的不合理利用会带来大量氮磷的流失,进而使得农业面源污染排放量的增加;农业人口规模对农业面源污染的影响显著为正,可能是因为较多的农民滞留在农村开展分散的、小规模的生产,使得先进农业机械应用率低,农民过量投入化学类农资,随意堆放或倾倒农田固体废弃物和畜禽粪便,从而造成农业面源污染排放量的增加。畜禽业结构对农业面源污染的影响显著为正,这主要是由于农业面源污染的主要来源是化学需氧量,而化学需氧量的主要来源是畜禽养殖所产生的粪尿,本研究聚焦于种植业和畜禽业,因此畜禽业占比的提高会加剧农业面源污染的排放。产业结构对农业面源污染的影响显著为负,二三产业的发展有助于更好地反哺农业,推进农业绿色技术和节能技术的应用,提高农业资源利用效率以及污染物的资源化利用水平,进而有助于降低农业面源污染的排放。环境规制对农业面源污染的影响显著为负,随着环境规制强度的提高,正式环境规制通过行政法规限制化肥、农药等农资的投入;非正式环境规制如公众对绿色农产品和绿色生态环境的迫切需求,引导农户节约集约利用资源、应用绿色农业生产技术、采纳生态循环农业模式等,进而推动农业绿色发展,减少农

业面源污染的排放。

此外,由于农业生产活动的周期性和季节性特征,农业集聚对农业面源污染的影响会因农业的周期性和季节性特征产生滞后性影响,因此,本研究选择农业集聚滞后项(滞后1期)作为门槛变量进一步对农业面源污染的影响进行门槛效应分析,结果显示农业集聚滞后项的门槛值增大至3.413,对农业面源污染的影响同样表现为正向的促进作用,跨越门槛值之后促进作用削弱,且门槛效应要小于未滞后农业集聚的门槛效应,这表明若不考虑农业集聚的滞后效应,则会高估农业集聚对农业面源污染的门槛效应。

### 2.2.3 区域异质性比较

由于长江流域主产区上、中、下游区域之间的经济基础、自然条件、资源禀赋存在较大差异,相应的农业集聚对农业面源污染的影响也存在一定差异,因此,本研究分上、中、下游分别进行门槛效应分析,并与全流域门槛效应估计结果进行对比(表5)。上游和中游农业集聚无论是 $\leq$ 门槛值,还是 $>$ 门槛值,其对农业面源污染的影响均表现为显著的正向促进作用,上游农业集聚对农业面源污染门槛效应的变化与全流域保持一致,但中游在跨越门槛值之后,农业集聚的增污效应进一步增强。下游农业集聚对农业面源污染的影响在 $\leq$ 门槛值时表现为显著的负向作用,但跨越门槛值之后转向正向促进作用。可以看出:中游地区的农业集聚水平相对不高,农业集聚所产生的环境正外部性还未开始发挥,农业资源的利用还比较粗放,绿色节能技术的

表5 不同区域农业集聚对农业面源污染门槛效应估计结果对比

Table 5 Comparison of estimates of the threshold effect of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution in different regions

农业面源污染 Agricultural non-point source pollution	全流域 Whole basin	上游 Upper basin	中游 Middle basin	下游 Lower basin
门槛值 $I$ Threshold value $I$	3.388	3.285	1.322	3.883
农业集聚 $\leq I$	0.631***	0.342***	0.457***	-0.027*
Agricultural agglomeration $\leq I$	(31.27)	(9.37)	(12.23)	(-1.94)
农业集聚 $> I$	0.520***	0.221***	0.562***	0.033**
Agricultural agglomeration $> I$	(24.06)	(5.20)	(18.25)	(2.49)
农业生产条件 Agricultural production conditions	0.121***	-0.446***	0.007	0.997***
	(6.28)	(-6.98)	(0.18)	(27.70)
农业人口规模 Agricultural population size	0.099***	0.338***	0.155***	0.212***
	(6.14)	(6.28)	(8.91)	(5.80)

表5(续)

农业面源污染 Agricultural non-point source pollution	全流域 Whole basin	上游 Upper basin	中游 Middle basin	下游 Lower basin
畜禽业结构 Livestock and poultry structure	0.101*** (6.21)	0.256*** (6.01)	0.097*** (5.51)	0.207*** (6.52)
产业结构 Industrial structure	-0.766*** (-15.16)	-0.783*** (-10.12)	-1.009*** (-15.95)	-0.214* (-1.88)
环境规制 Environmental regulation	-0.325*** (-22.39)	-0.251*** (-9.18)	-0.342*** (-18.48)	-0.362*** (-12.96)
常数项 Constant	-1.746*** (-6.79)	-2.248*** (-3.87)	-2.553*** (-7.96)	5.946*** (10.83)
样本量 Sample size	1 848	378	861	609

应用率比较低,进而加剧了农业面源污染的排放;下游地区地势平坦、土壤肥沃、水源充足,为农业发展提供了优越的环境条件,因而其农业集聚水平相对较高,且农业集聚所带来的环境正外部性已占主导地位,但随着集聚水平的进一步提升,各种农资投入的增加以及污染物的累积,农业集聚所带来的环境负外部性逐渐占主导地位。

### 2.3 内生性分析及稳健性检验

#### 2.3.1 内生性分析

为解决因遗漏变量和双向因果所导致的内生性问题,本研究参考Lucchetti等<sup>[24]</sup>的研究,以农业面源污染为被解释变量,选择农业集聚滞后2阶为工具变量,采用两阶段最小二乘法对模型重新估计(表6)。首先对工具变量进行不可识别检验,结果显示,全流域、上游、中游和下游的Kleibergen-Paap rk LM statistic的值为128.595、32.910、155.060和

16.531,且在1%的水平下通过显著性检验,这表明工具变量和解释变量相关,符合工具变量相关性的条件。然后进行弱工具变量检验,检验结果显示全流域、上游、中游、下游的F值分别为1 242.873、312.172、395.569、31.423,远大于各自10%偏误的临界值,即可拒绝工具变量是弱工具变量的原假设,认为本研究所选工具变量不存在弱相关问题。最后进行过度识别检验,以进一步分析工具变量的外生性问题,过度识别检验的Hansen J statistic值为0.023、0.492、0.072、0.128,其所对应的P值分别为0.881、0.483、0.788、0.720,均大于0.1,表明均接受工具变量外生性的原假设。综上,本研究所选工具变量有效,内生性分析结果表明下游农业集聚会降低农业面源污染的排放,全流域、上游和中游农业集聚的系数方向、大小以及显著性与“2.2.3区域异质性比较”中的分析结果并无较大差异,因此,可

表6 内生性分析结果

Table 6 Results of endogeneity analysis

农业面源污染 Agricultural non-point source pollution	全流域 Whole basin	上游 Upper basin	中游 Middle basin	下游 Lower basin
农业集聚 Agricultural agglomeration	0.626*** (17.13)	0.298*** (7.05)	0.668*** (13.50)	-0.094 (-0.48)
农业生产条件 Agricultural production condition	0.158*** (5.72)	-0.387*** (-4.03)	0.039 (1.61)	1.073*** (7.55)
农业人口规模 Agricultural population size	0.126*** (5.89)	0.364*** (4.58)	0.154*** (7.13)	0.290*** (4.68)

表6(续)

农业面源污染	全流域	上游	中游	下游
Agricultural non-point source pollution	Whole basin	Upper basin	Middle basin	Lower basin
畜禽业结构	0.092***	0.172***	0.096***	0.227***
Livestock and poultry structure	(4.48)	(2.89)	(4.91)	(4.38)
产业结构	-0.745***	-0.665***	-1.061***	-0.196
Industrial structure	(-9.58)	(-5.16)	(-12.97)	(-1.25)
环境规制	-0.341***	-0.295***	-0.347***	-0.341***
Environmental regulation	(-17.66)	(-8.92)	(-16.01)	(-6.84)
不可识别检验	128.595***	32.910***	155.060***	16.531***
Underidentification test				
弱工具变量检验	1 242.873	312.172	395.569	31.423
Weak identification test				
10% 偏误的临界值	19.93	19.93	19.93	19.93
Critical value of 10% bias				
过度识别检验 <sup>①</sup>	0.023	0.492	0.072	0.128
Overidentification test	[0.881]	[0.483]	[0.788]	[0.720]

注:①方括号内为P值。

Note: ① P values in square brackets.

认为门槛效应分析的结果是无偏的。

### 2.3.2 稳健性检验

本研究选择替代核心解释变量的方法,参照叶云岭等<sup>[25]</sup>的研究,采用区位商代替产业平均地理集

聚度来表示长江流域主产区的农业集聚水平。采用考虑稳健标准误的固定效应模型分别对全流域、上游、中游、下游的农业面源污染进行整体回归,结果(表7)显示采用区位商测算的农业集聚水平对各

表7 稳健性检验结果

Table 7 Robustness test results

农业面源污染	全流域	上游	中游	下游
Agricultural non-point source pollution	Whole basin	Upper basin	Middle basin	Lower basin
农业集聚	0.847***	0.452***	0.775***	-0.007***
Agricultural agglomeration	(16.10)	(3.65)	(10.31)	(-6.24)
农业生产条件	0.036***	0.506**	0.022	0.965***
Agricultural production conditions	(6.78)	(2.21)	(0.55)	(8.82)
农业人口规模	0.170***	0.332*	0.158***	0.220*
Agricultural population size	(4.17)	(2.05)	(3.26)	(1.79)
畜禽业结构	0.022	0.172**	0.051*	0.203***
Livestock and poultry structure	(0.97)	(2.28)	(1.74)	(2.94)
产业结构	0.448***	0.726*	0.382***	-0.174
Industrial structure	(3.12)	(2.03)	(2.75)	(-0.61)
环境规制	-0.302***	-0.333***	-0.258***	-0.377***
Environmental regulation	(-8.92)	(-4.56)	(-6.04)	(-5.83)
常数项	-0.410	-1.820	-0.215	5.755***
Constant	(-0.57)	(-1.13)	(-0.32)	(3.31)
样本量 Sample size	1 848	378	861	609

区域农业面源污染的回归系数均为正,且至少在10%的水平下通过显著性检验,进一步验证了全流域、上游和中游地区农业集聚会加剧农业面源污染的排放,下游地区农业集聚会降低农业面源污染排放这一结论,表明门槛效应回归结果具有较好的稳健性。

### 3 结论与对策建议

本研究在对长江流域主产区农业集聚和农业面源污染进行测度的基础上,分析了2000—2020年农业集聚与农业面源污染的时空演进趋势,实证检验了长江流域主产区农业集聚对农业面源污染的非线性影响。主要结论如下:

1)2000—2020年,全流域、中游、下游的农业集聚水平总体呈递减趋势,上游呈现先下降后上升的趋势,不同区域农业集聚水平表现为下游最高,中游次之,上游最低的特征。农业面源污染的排放量大体呈现中游最高,下游次之,上游最小的分布格局,且随着时间的推移,上游和下游地区并未发生较大幅度的波动,而中游地区则呈现先上升后下降的趋势。

2)农业集聚对农业面源污染的非线性影响效应,证实了农业集聚对农业面源污染的影响存在正向的单门槛效应,但这种正向的促进作用跨越门槛值之后有所降低,考虑农业集聚对农业面源污染的滞后性影响后,门槛效应有所下降。

3)上游门槛效应的方向及变化与全流域保持一致,中游地区农业集聚对农业面源污染的促进作用在跨越门槛值之后会进一步加大,但下游地区农业集聚对农业面源污染的影响由小于等于门槛值时的负向转向大于门槛值时的正向。

4)农业生产条件、农业人口规模、畜禽业结构会加剧农业面源污染的排放,但产业结构升级和环境规制强度增加会降低农业面源污染的排放。

基于以上结论,提出以下对策建议:

1)推广应用现代农业绿色生产技术,提高农户对现代农业绿色生产技术的采纳率。通过应用绿色防控技术、水肥一体化技术、秸秆捆烧清洁供暖关键技术、畜禽粪便纳米膜好氧发酵堆肥技术等,能更有效地发挥农业集聚的环境正外部性,进而有效降低农业面源污染的排放。然而现代农业绿色

生产技术的应用往往需要较高的资金成本,某些绿色技术的应用还可能面临高投入、低收益的困境。因此,政策补贴要落实到绿色生产技术的应用主体、技术服务人员和宣传推广人员,以提高其对农业绿色生产技术采纳和推广的积极性;要从降低购买成本和降低上手难度2个方面强化农业绿色生产技术研究,以提高农业生产主体对新技术的响应;加强对农业绿色生产技术推广人员的培养,以确保先进农业绿色生产技术能够及时有效地得以应用。

2)规范畜禽养殖户的生产经营行为,提高畜禽粪尿的资源化利用水平,引导农户走绿色农畜产品生产之路。加强对其生产经营行为的监督和管理,科学规划禁养区及控制畜禽养殖场的排放量,以避免污染物的大规模集中排放;鼓励以畜禽粪污为原料的有机肥应用,提高畜禽粪污资源化、绿色化的利用水平;提高市场对绿色农畜产品的认可度,引导农户走绿色农畜产品生产之路。具体而言,要严格按照《畜禽规模养殖污染防治条例》以及各地区的畜禽养殖污染防治管理办法,为不同规模和不同养殖区间的农户设定不同类型的排污许可证,以控制排放量和排放浓度;参照《畜禽养殖场(户)粪污处理设施建设技术指南》,依据各地区自身特点,对畜禽粪污进行资源化和无害化处理。完善绿色农畜产品市场建设,通过市场环境的优化,实现绿色农畜产品的优质定价,激发畜禽养殖户提供绿色农畜产品的动力。

3)构建政府、农户、社会组织共同参与的协同治理体系。识别和破解不同主体之间的利益以及矛盾,构建协同治理体系,以推进区域农业的绿色可持续发展。具体而言,可建立跨区域农业面源污染治理机构,加强同级政府之间的沟通与协商,构建区域信息共享的农业面源污染监控体系;引导农户遵从长期主义,树立环境保护责任意识,积极响应政府推进农业绿色发展的号召,切实推进各项环保要求的落实;发展壮大社会组织,如环保基金会、环保社会服务机构、环保社会团体等,通过开展农业面源污染治理与防控培训、农业生态环保相关的宣传与教育、代表政府参与农业面源污染治理实践等活动,以充分发挥其在提升农户环保意识、监督农户环境污染行为、参与农业面源污染政策制定与实施方面的作用。

## 参考文献 References

- [1] 生态环境部, 国家统计局, 农业农村部. 第二次全国污染源普查公报[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2020  
Ministry of Ecology and Environment, National Bureau of Statistics, Ministry of Agriculture and Rural Development. Bulletin of the second national pollution source census [R]. Beijing: Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, 2020 (in Chinese)
- [2] 邓晴晴, 李二玲, 任世鑫. 农业集聚对农业面源污染的影响: 基于中国地级市面板数据门槛效应分析[J]. 地理研究, 2020, 39(4): 970-989  
Deng Q Q, Li E L, Ren S X. Impact of agricultural agglomeration on agricultural non-point source pollution: Evidences from the threshold effect based on the panel data of prefecture-level cities in China [J]. *Geographical Research*, 2020, 39(4): 970-989
- [3] 胡晨光, 孙久文, 王婷婷. 大都市带基础设施、城市规模与城市经济增长: 一个中介效应与调节效应的综合分析框架[J]. 中国软科学, 2020(10): 85-95  
Hu C G, Sun J W, Wang T T. Infrastructure, city size and city economic growth in megalopolis: A comprehensive analysis framework of mediating effect and moderating effect [J]. *China Soft Science*, 2020(10): 85-95
- [4] 翟琼, 朱培伟, 任仁. 环境规制、生产性服务业集聚与城市绿色创新[J]. 宏观经济研究, 2022(12): 98-114  
Zhai Q, Zhu P W, Ren R. Environmental regulation, producer services agglomeration and urban green innovation [J]. *Macroeconomics*, 2022 (12): 98-114 (in Chinese)
- [5] 郭卫军, 黄繁华. 高技术产业与生产性服务业协同集聚如何影响经济增长质量?[J]. 产业经济研究, 2020(6): 128-142  
Guo W J, Huang F H. How does the co-agglomeration of high-tech industries and producer services affect the quality of economic growth? [J]. *Industrial Economics Research*, 2020(6): 128-142 (in Chinese)
- [6] 周杰文, 蒋正云, 赵月. 生态文明视角下旅游产业集聚对环境污染的影响: 以西部地区为例[J]. 生态经济, 2019(4): 132-139  
Zhou J W, Jiang Z Y, Zhao Y. Impact of tourism industry agglomeration on environmental pollution from the perspective of ecological civilization: Taking the western region as an example [J]. *Ecological Economy*, 2019 (4): 132-139 (in Chinese)
- [7] 寇冬雪. 产业集聚模式与环境污染关系研究[J]. 经济经纬, 2021, 38(4): 73-82  
Kou D X. A study on the relationship between industrial agglomeration mode and environment pollution [J]. *Economic Survey*, 2021, 38(4): 73-82 (in Chinese)
- [8] De L F, Moussiopoulos N, Sahm P, Bartonova A. Urban air quality in larger conurbations in the European union [J]. *Environmental Modelling & Software*, 2001, 16(4): 399-414
- [9] 江三良, 邵宇浩. 产业集聚是否导致“污染天堂”: 基于全国239个地级市的数据分析[J]. 产经评论, 2020, 11(4): 7109-118  
Jiang S L, Shao Y H. Does industrial agglomeration lead to 'pollution paradise': Based on the data analysis of 239 prefecture-level cities in China [J]. *Industrial Economic Review*, 2020, 11(4): 7109-118 (in Chinese)
- [10] 余昫霞, 王英. 中国制造业产业集聚的环境效应研究[J]. 统计与决策, 2019, 35(3): 129-132  
Yu Y X, Wang Y. Research on the environmental effects of China's manufacturing industry agglomeration [J]. *Statistics and Decision*, 2019, 35(3): 129-132 (in Chinese)
- [11] 刘媛媛, 孙慧. 资源型产业集聚环境外部性效应研究: 基于区域面板数据的实证检验[J]. 生态经济, 2021, 37(4): 37-43  
Liu Y Y, Sun H. Research on the environmental effect of resource-based industries agglomeration: An empirical test based on area panel data [J]. *Ecological Economy*, 2021, 37(4): 37-43 (in Chinese)
- [12] 胡求光, 周宇飞. 开发区产业集聚的环境效应: 加剧污染还是促进治理? [J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(10): 64-72  
Hu Q G, Zhou Y F. Environmental performance of industrial agglomeration in development zones: Aggravating pollution or promoting management? [J]. *China Population Resources and Environment*, 2020, 30(10): 64-72
- [13] 张爱国. 基于分组数据基尼系数的一种估算方法[J]. 统计与决策, 2022, 38(2): 10-15  
Zhang A G. An estimation method for Gini coefficient based on grouped data [J]. *Statistics and Decision*, 2022, 38(2): 10-15 (in Chinese)
- [14] 范剑勇. 市场一体化、地区专业化与产业集聚趋势: 兼谈对地区差距的影响[J]. 中国社会科学, 2004(6): 39-51  
Fan J Y. Market integration, regional specialization and trend of industrial agglomeration: Also on the influence on regional disparity [J]. *Social Sciences in China*, 2004(6): 39-51 (in Chinese)
- [15] 林兰稳, 朱立安, 曾清苹. 广东省农业面源污染时空变化及其防控对策[J]. 生态环境学报, 2020, 29(6): 1245-1250  
Lin L W, Zhu L A, Zeng Q P. Spatial and temporal changes of agricultural non-point source pollution in Guangdong Province and its prevention and control measures [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2020, 29(6): 1245-1250
- [16] 郭利京, 黄振英. 淮河生态经济带农业面源污染空间分布及治理研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1746-1756  
Guo L J, Huang Z Y. Study on spatial distribution and control of agricultural non-point source pollution in Huaihe ecological economic belt [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(7): 1746-1756
- [17] Hansen, Bruce E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference [J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368
- [18] 国务院. 国务院关于印发全国主体功能区规划的通知[R]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2011  
State Council. Notice of the State Council on the issuing the national plan for main functional areas [R]. Beijing: State Council of the People's Republic of China, 2011 (in Chinese)
- [19] 葛继红, 周曙东. 农业面源污染的经济影响因素分析: 基于1978—2009年的江苏省数据[J]. 中国农村经济, 2011(5): 72-81  
Ge J H, Zhou S D. An analysis of the economic determinants to agricultural non-point source pollution: Based on data of Jiangsu Province during 1978-2009 [J]. *Chinese Rural Economy*, 2011(5): 72-81 (in Chinese)
- [20] 邵晓梅. 山东省农业生产条件现代化可持续发展研究[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 184-191  
Shao X M. A study of sustainable development of the modernization of agricultural production conditions in Shandong Province [J]. *Progress in Geography*, 2001, 20(2): 184-191 (in Chinese)
- [21] 黄国庆, 王明绪, 王国良. 效能评估中的改进熵值法赋权研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(28): 245-248  
Huang G Q, Wang M X, Wang G L. Weight assignment research of improved entropy method in effectiveness evaluation [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2012, 48(28): 245-248

- [22] 翁鸿妹, 陈广平, 王琛. 社会资本是否促进污染型企业退出? : 来自中国城市的微观数据[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 34-45  
Weng H M, Chen G P, Wang C. Does social capital promote the exit of polluting enterprises? Micro-level evidence from Chinese cities [J]. *Geographical Research*, 2022, 41(1): 34-45 (in Chinese)
- [23] 肖书兴, 白福臣. 长江中下游粮食主产区农业面源污染对粮食经济的生态压力研究[J]. 生态经济, 2019, 35(7): 155-160  
Xiao S X, Bai F C. Effects of agricultural non-point source pollution on ecological pressure of food economy in the main grain production area of the Lower Yangtze region[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(7): 155-160 (in Chinese)
- [24] Lucchetti R, Palomba G. Nonlinear adjustment in US bond yields: An empirical model with conditional heteroskedasticity [J]. *Economic Modelling*, 2009, 26(3): 659-667
- [25] 叶云岭, 吴传清, 周西一敏. 长江经济带制造业集聚对环境污染的门槛效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(6): 1282-1292  
Ye Y L, Wu C Q, Zhou X. Threshold effect of manufacturing agglomeration on environmental pollution in the Yangtze River Economic Belt [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(6): 1282-1292 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



**第一作者简介:** 朱洋洋, 博士研究生, 就读于华中农业大学经济管理学院农业经济管理专业, 曾获得过重庆工商大学优秀研究生, 学业奖学金等。主要研究方向为农业资源与环境经济、生态循环农业。曾参与国家社科基金项目、教育部人文社科重点研究基地重大项目、重庆市社科规划办项目的撰写、调研与实践, 个人主持完成重庆市教委研究生创新型科研项目1项。围绕农业资源与环境经济领域发表学术论文3篇。



**通讯作者简介:** 齐振宏, 华中农业大学经济管理学院教授, 先后主持和参与包括国家自然科学基金、国家社科基金、教育部以及国际重大项目比尔盖茨梅琳达基金等在内各类课题近20项。获得湖北省改革成果一等奖、湖北省教学成果一等奖, 国家级高等教育教学成果二等奖, 系列论文获得武汉市社科优秀成果一等奖。先后在《数理统计与管理》、《国际贸易问题》、《中国农村观察》和《中国人口·资源与环境》等权威期刊发表论文100多篇, 其中在CSSCI等权威期刊发表论文50多篇; 出版专著1本, 参编著作5本。任湖北省人力资源学会副会长, 历届中部人力资源论坛专家评委, 《华中农业大学学报》(社科版)编委, 清华大学EMBA客座教授、武大人力资源EMBA客座教授、英国CASS商学院客座教授、香港公开大学MBA客座教授等。