

# 农业产业集聚对农业碳排放的影响 ——基于环境规制的调节效应研究

张红凤<sup>1</sup>, 丁相江<sup>1</sup>, 于法稳<sup>2,3</sup>, 刘淼<sup>1</sup>

(1. 山东财经大学 公共管理学院, 山东 济南 250014;

2. 中国社会科学院 农村发展研究所, 北京 100732;

3. 中国社会科学院生态环境经济研究中心, 北京 100732)

**摘要:** 利用2003—2020年中国31个省份的面板数据, 通过构建回归方程模型并运用协整检验、系统GMM方法研究了农业产业集聚对农业碳排放的影响以及环境规制所发挥的调节效应。结果发现: 在国家层面, 农业碳排放受到农业产业集聚的影响显现出“非线性关系”, 即随着农业产业集聚程度的上升, 农业碳排放总量呈先上升后下降的倒“U”型特征, 并且在农业产业集聚对农业碳排放的影响中显著受到了环境规制的调节效应; 而在地区层面, 东部、中部和西部地区的农业碳排放均受到农业产业集聚的影响显现出先上升后下降的倒“U”型特征, 但环境规制在农业产业集聚对农业碳排放的影响中的调节效应仅在东部和西部地区显著存在。

**关键词:** 产业集聚; 农业碳排放; 环境规制; 调节效应

## The Impact of Agricultural Industry Agglomeration on Agricultural Carbon Emissions: Research on the Moderating Effect Based on Environmental Regulation

ZHANG Hongfeng<sup>1</sup>, DING Xiangjiang<sup>1</sup>, YU Fawen<sup>2,3</sup>, LIU Miao<sup>1</sup>

(1. Faculty of Public Administration, Shandong University of Finance and Economics, Jinan Shandong 250014, China;

2. Rural Development Institute, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;

3. Eco-Environmental Economics Research Center, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

**Abstract:** Based on panel data from 31 provinces in China from 2003 to 2020, this paper studies the influence of agricultural agglomeration on agricultural carbon emissions while examining the moderating role of environmental regulation. It achieves this through the construction of regression equation models and the application of cointegration tests and system GMM methods. The results show that, at the national level, agricultural carbon emissions are affected by the agglomeration of agricultural industries in a “non-linear relationship”. As the agricultural industry agglomeration degree increases, the total agricultural carbon emissions show an inverted U shaped characteristic. And environmental regulations in this process present a significant moderating effect. The agglomeration of the agricultural industry influences agricultural carbon emissions in the three regions at the regional level, displaying an inverted U-shaped characteristic. However, the moderating effect of environmental regulations is significant only in the eastern and western regions, not in the central.

**Key words:** industrial agglomeration; agricultural carbon emissions; environmental regulation; moderating effect

“绿水青山就是金山银山”, 党的二十大报告提出, 发展绿色低碳产业, 深入推进环境污染防治, 积极稳妥推进碳达峰碳中和。科学研究表明, 在过去的 100 年间, 由各种温室气体排放所产生的温室效应导致地球的地表温度升高了 0.3 ~ 0.6 °C, 预计到 21 世纪末地表温度将

可能上升 1.8 ~ 4.0 °C, 且由温室效应所导致的气候变化和极端天气对全球生态环境、人类社会和经济发展等产生一系列负外部性影响。因此, 全球各国积极推动碳减排已刻不容缓。中国是农业生产第一大国同时也是农业碳排放水平第一大国, 而在农业产业集聚的发展过程

**基金项目:** 国家社会科学基金重点项目“加快建设农业废弃物资源化利用政策研究”(17AZD012); 山东省社会科学规划项目“山东‘在服务和融入新发展格局上走在前’的问题与路径研究”(22CZTJ23); 山东省人文社会科学课题“山东服务和融入新发展格局研究”(2022-YYGL-08); 山东省社科理论重点研究基地山东财经大学新旧动能转换研究基地资助

**第一作者简介:** 张红凤, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为产业经济与政府规制。E-mail: Hfzhang2006@126.com

**通讯作者简介:** 于法稳, 博士, 二级研究员, 博士研究生导师, 研究方向为生态经济学理论与方法、资源管理、生态治理和农业绿色发展。E-mail: yufaw@cass.org.cn

中由于大量能源的低效率消耗，产生了过量农业碳排放，这在一定程度上偏离了国家的绿色低碳产业发展目标，且对国家粮食安全和农业可持续发展产生不利影响。在此背景下，低效率农业生产过程所产生的过量农业碳排放，成为当前亟须解决的问题。而国家推行的一系列环境规制政策是调控农业产业集聚发展过程中的农业碳排放问题的主要手段。

农业生产过程作为碳排放的重要来源之一，分析环境规制对农业碳排放的影响具有重要的现实意义，不仅可以促进企业和农户生产行为转型、实现农业碳减排，还为推动传统农业向低碳农业转型提供理论依据，从而提升环境规制在农业领域内的政策效果。除环境规制作为一种政策手段和工具对农业碳排放起到了规制性作用外，农业碳排放还会受到农业经济增长、农业技术创新、农村人力资本及土地细碎化程度等因素的影响<sup>[1-2]</sup>。多数的研究关注于以上因素对农业碳排放的影响，仅有少部分学者关注影响农业产业集聚这一重要因素，而关于环境规制、农业产业集聚和农业碳排放之间的关系研究更是少数。鉴于上述背景，本文旨在从国家层面和地区层面进行以下探究：农业产业集聚对农业碳排放的影响关系是怎么样的？在农业产业集聚对农业碳排放的影响中环境规制是否发挥着调节效应？从而为探究农业碳减排路径提供新视角，并为中国在农业碳减排方面的相关政策制定提供科学参考与依据。

## 1 文献综述

在产业集聚与碳排放的研究方面，多数学者最初的研究主要围绕工业产业集聚对工业发展、能源利用的影响展开，且研究结论仍存迥异。而当前学者们关于产业集聚与碳排放的研究，主要存在以下三种观点：第一种观点强调正向的外部效应，即产业集聚减少了温室气体中的碳排放。也敏等<sup>[3]</sup>以中国制造业为证据，探究了产业集聚是否有利于低碳发展并得出研究结论，产业集聚和碳排放强度之间从长期来看彼此之间保持着较为稳定的均衡关系，且产业集聚整体上是有利于低碳发展。刘习平等<sup>[4]</sup>研究认为，经济空间集聚会对碳生产率产生影响，且与专业化集聚方式对比发现多样化产业集聚对提高碳生产率有着显著性影响；第二种观点强调负向的外部效应，即产业集聚加剧了温室气体中的碳排放。邵帅等<sup>[5]</sup>的研究指出，产业集聚会带来生产规模的扩张，而短时间内生产规模的急剧扩张必然会导致产业总体碳排放量的增加。VIRKANEN<sup>[6]</sup>运用实证分析研究了芬兰南部地区的产业集聚对环境产生的影响，结果发现芬兰南部地区的环境污染主要是由于产业集聚所导致的；第三种观点认为二者间关系并不确定。李炫榆等<sup>[7]</sup>在研究空间集聚和碳排放的内生关系和空间交互影响中发现，持续推进的产业集聚会与碳排放之间出现倒“U”型曲线的关系，即产业集聚在到达一定的阈值后其自身会产生“自净”作用，因此，持续上升的碳排放便会得到抑制并开始逐渐下降。而具体到农业产业集聚与农业碳排放的研究，胡中应等<sup>[8]</sup>根据农业碳排放的来源，建立了农业产业集聚对农业碳排放影响的实证分析框架，并得出结论：随着农业产业集聚程度的增加，农业碳排放总量会呈现非线性变化特征，且农业碳排放强度会出现正“N”型变化特征。

国内外学者围绕环境规制与产业集聚方面的研究主要体现为以下三种观点：第一种观点认为环境规制对产业集聚具有抑制性作用，即两者之间存在负相关关系。樊兰<sup>[9]</sup>在对珠三角九个城市的面板数据的研究中发现，环境规制与产业集聚间的负相关关系在国有企业和集体企业中较为显著；第二种观点认为环境规制对产业集聚具有促进性作用，即两者之间存在正相关关系。FENG 等<sup>[10]</sup>通过对工业行业的数据研究发现，环境规制的压力较大时便会驱动企业进行技术创新升级，由于创新会产生补偿效应，进而促进区域内产业集聚水平进一步提升。而目前主流的第三种观点则认为环境规制与产业集聚之间存在着非线性关系。郝寿义等<sup>[11]</sup>基于新经济地理学视角分析发现，环境规制与产业集聚间的影响关系也会随着发展阶段的不同而产生变化。当区域内环境规制增强时，其会逐渐成为促进产业集聚的因素，但当相同环境规制政策被其他地区效仿并执行时，会发现产业集聚受到环境规制的正向促进作用逐渐衰减，因此环境规制与产业集聚的关系呈现为非线性关系。

有关于环境规制和碳排放的关系研究主要围绕“绿色悖论”以及“倒逼减排”进行展开。张华<sup>[12]</sup>运用两步 GMM 方法分析了环境规制对碳排放的影响。结果显示，环境规制对碳排放的直接影响存在倒“U”型特征，随着环境规制强度增强，其影响从“绿色悖论”转向“倒逼减排”。而具体到环境规制与农业碳排放相关性的研究，仇伟<sup>[13]</sup>利用 2001—2016 年我国农业经济发展和农业能源消费数据展开实证研究发现，环境规制对农业碳排放起到有限弱化作用，但有一定的时滞效应。综上所述，环境规制、农业产业集聚与农业碳排放之间存在多重影响关系。

相较于其他学者对于农业产业集聚、环境规制对农业碳排放和环境规制对农业产业集聚影响的研究，环境规制在农业产业集聚对农业碳排放影响的作用还有待验证。因此，本文采用 2003—2020 年中国 31 个省份的面

板数据，构建回归方程模型，并运用多种检验方法，综合分析全国、东部、中部及西部地区农业碳排放受到农业产业集聚的影响以及环境规制的调节效应。

## 2 理论分析与研究假设

农业产业集聚与环境规制影响农业碳排放的作用机理见图 1。

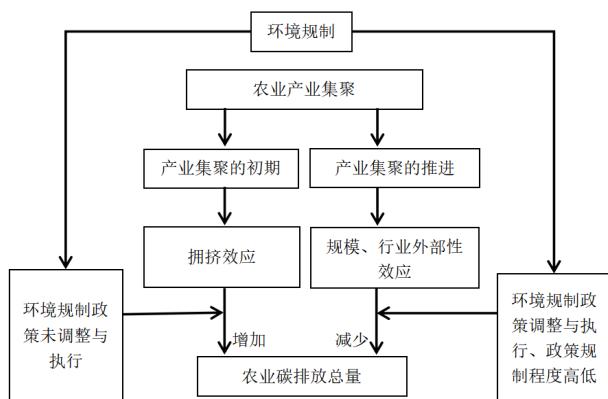


图1 农业产业集聚与环境规制影响农业碳排放的作用机理图

### 2.1 农业产业集聚影响农业碳排放的作用机制

VERHOEF 等<sup>[14]</sup>研究发现，产业集聚发展过程中会产生“拥挤效应”，即短时间内有大量生产要素的投入时，产业集聚的负外部性会大于正外部性，从而会加剧环境污染中的碳排放水平。HOOVER<sup>[15]</sup>曾指出，产业集聚推动了产业区域的技术创新、要素节约、生产效率和能源利用效率的提升，源自于内部规模经济和区域化经济的形成，最终体现为降低单位产品的能源量消耗和提升产业的竞争优势。而单位农产品的能源量消耗降低即意味着单位农产品的碳排放量相对降低。

本文认为，在农业产业集聚发展初期，企业或农户为大规模生产和加工农产品而增加大量的农业生产要素投入，且农业产业集聚初期相关的环境规制政策可能没有得到及时的再调整与执行，因此会导致农业碳排放总量持续增加。后期随着农业产业集聚的不断推进，由农业产业集聚所带来的规模外部性效应、行业外部性效应、规模经济效应及相应环境规制政策的执行在相当程度上使单位农产品的碳排放量降低，进而促进农业碳排放总量相对随之降低。基于此，本文提出研究假设 1。

H1：农业产业集聚与农业碳排放之间存在非线性关系，即在农业产业集聚发展初期，农业碳排放总量会持续增加，而随着农业产业集聚的推进，农业碳排放总量开始下降，因此两者之间存在倒“U”型特征的影响关系。

### 2.2 环境规制影响农业碳排放的作用机制

新古典经济学认为企业因环境规制会产生额外的

排污费用从而影响企业的技术创新投入。而根据波特假说<sup>[16]</sup>，当企业污染支出增加时，企业会增加对技术创新的投入从而减少污染物的排放，所以环境规制促进技术创新，环境规制会对产业集聚区的企业产生创新补偿效应。

本文认为当环境规制的水平不同时，农业碳排放受到农业产业集聚的影响程度可能不同，结合环境规制在产业集聚中的创新补偿效应分析。一方面，在环境规制程度较高的地区，农业产业集聚区的企业会对环境规制中的惩罚或激励措施产生强烈的行为反应——积极减少农业碳排放，在保证农业生产规模和生产数量稳定的前提下通过技术创新或升级环保设施等从而减少农业碳排放，降低企业在环境污染方面的负担；另一方面，在环境规制程度较低的地区，由于政策的惩罚力度低、转移性支付和补贴较少——企业减少农业碳排放意愿不强烈，因此企业对减污技术的投入相对较少，反而通过扩大农业生产规模和生产数量，从而增加企业生产的利润，均衡因大量农业碳排放所支出的污染费用。基于此，本文提出研究假设 2。

H2：环境规制水平的高低在农业产业集聚对农业碳排放的影响中具有显著的调节效应。

## 3 模型构建与数据来源

### 3.1 变量选取与模型构建

#### 3.1.1 变量选取

本文的因变量为农业碳排放，调节变量为环境规制，核心解释变量为农业产业集聚。考虑农业碳排放总量还会受到农业产业结构、农业 GDP 不同程度的影响，因此，本文将此两类变量作为控制变量，从而尽可能保证实际估计结果的准确性。

(1)农业碳排放。农业碳排放主要包括两大方面：一方面是农业生产过程中因能源消耗(柴油、电力等)和要素投入(化肥、地膜等)而产生的碳排放；另一方面是种植业和养殖业的农产品生命活动过程中因肠道发酵和粪便分解等而产生的碳排放。本文结合 IPCC (2007)推荐指南中的方法以及王兴等<sup>[17]</sup>、陈炜等<sup>[18]</sup>的研究，首先通过计算农业生产过程中各种农业物资的投入量得出各农业物资碳排放量，然后加总得到农业碳排放总量。农业碳排放的计算公式见式(1)。

$$E = \sum E_i = Q_i \times K_i \quad (1)$$

式中： $E$  为农业碳排放总量； $E_i$  为各类农业物资碳排放量； $Q_i$  为第  $i$  类碳源的量； $K_i$  为第  $i$  类碳源的排放系数，六类碳源的排放系数如表 1 所示。

表1 农业碳排放碳源、系数及参考来源

碳排放源	排放系数	参考来源
化肥	0.895 6 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农药	4.934 1 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
农用薄膜	5.180 0 kg/kg	南京农业大学农业资源与环境研究所
农用柴油	0.592 7 kg/kg	IPCC <sup>[19]</sup>
农业播种面积	3.126 0 kg/hm <sup>2</sup>	中国农业大学生物与技术学院
农业灌溉面积	25.000 0 kg/hm <sup>2</sup>	MOSIER 等 <sup>[20]</sup>

(2)农业产业集聚。农业产业集聚是指在某一地域空间中农业经济活动主体间相互联系、相互作用所构成的集合体<sup>[21-22]</sup>。本文采用区位熵指数法来对各地区农业产业集聚程度( $LQ_j$ )进行测度,其公式为: $LQ_j = (X_j/X_i)/(X_j/X)$ <sup>[23]</sup>。其中, $LQ_j$ 表示各省份农业产业集聚程度; $X_j$ 表示*i*省份的农业总产值; $X_i$ 表示*i*省份所有产业总产值; $X_j$ 表示全国农业总产值; $X$ 表示全国所有产业总产值。

(3)环境规制。环境规制是以政府机构为规制主体,以大气污染、水资源污染、土地污染、噪声污染和排污企业等为规制客体,运用政策工具对企业的资源利用进行直接或间接的干预和控制,从而达到保护生态环境和实现资源节约的可持续发展社会目标<sup>[24]</sup>。近年来,国内关于环境规制测度指标的选择主要有两种定量方法:一种是考虑污染治理投资总额和排放的污染物量,或者构建基于这些数据的指数指标;另一种是在省级层面讨论环境规制问题时,多数学者倾向于采用环境污染治理投资总额来表示环境规制的强度,反映各省政府治理环境问题的程度<sup>[25-27]</sup>。因此,本文的环境规制( $ER_j$ )水平用环境污染治理投资总额来表示。

(4)控制变量。用各地的种植业GDP与农林牧渔业GDP的比值来表示农业产业结构( $AT_j$ );用各地的农林牧渔业GDP来表示当地的农业GDP<sup>[28]</sup>。农业产业结构标记为 $AT_j$ ,农业GDP标记为 $GDP_j$ <sup>[29]</sup>。

### 3.1.2 模型构建

结合上文对环境规制、农业产业集聚和农业碳排放相互关系的理论分析和研究假设,本文构建模型(2)~(6)用来对研究假设进行检验。模型中的省份、年份、截距分别用*i*、*j*、 $\alpha$ 来表示,各种变量的系数用 $\beta$ 来表示,随机扰动项用 $\varepsilon_{ij}$ 来表示。

$$E_{ij} = \alpha + \beta_1 + \beta_2 LQ_{ij} + \beta_3 GDP + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

$$E_{ij} = \alpha + \beta_1 + \beta_2 LQ_{ij} + \beta_3 LQ_{ij}^2 + \beta_4 GDP + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

$$E_{ij} = \alpha + \beta_1 + \beta_2 LQ_{ij} + \beta_3 ER_{ij} + \beta_4 (LQ_{ij} \times ER_{ij}) + \beta_5 AT_{ij} + \beta_6 GDP + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

$$LQER_{ij} = [(LQ_{ij} - \overline{LQ_{ij}}) \times (ER_{ij} - \overline{ER_{ij}})] \quad (5)$$

$$E_{ij} = \alpha + \beta_1 + \beta_2 LQ_{ij} + \beta_3 ER_{ij} + \beta_4 LQER_{ij} + \beta_5 AT_{ij} + \beta_6 GDP + \varepsilon_{ij} \quad (6)$$

其中,模型(2)用来检验农业产业集聚对于农业碳排放的影响,但是基于上文农业产业集聚对农业碳排放的影响为倒“U”型的研究假设,本文加入了核心解释变量的平方项作为另一解释变量并得出模型(3),以方便下文进行“U”型图检验及“U”型关系的稳健性检验。模型(4)用于验证环境规制在农业产业集聚对农业碳排放影响中的调节效应。但是,用于验证调节作用的交互项可能存在共线性问题,导致回归模型结果偏差。因此,在模型(4)中对农业产业集聚和环境规制的交互项进行了中心化处理,从而降低共线性所带来的结果偏差。运用模型(5)  $LQER_{ij}$  表示农业产业集聚与环境规制的交互项,并将其代入模型(4)中,进而得到最终模型(6)。

### 3.2 数据来源

本文选取的所有变量数据均来源于《中国统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》及中经网统计数据库。数据中的实际农业GDP、生产总值和环境污染治理投资总额均以2003年为基期进行平减,从而获得可以比较的数据。为便于分析上文研究假设是否存在地区差异,本文对国家发改委在政策层面上将中国31个省份(不包括港澳台地区)所划分成的东部、中部及西部地区分别展开研究。东部地区包括12个省份:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西、海南;中部地区包括9个省份:山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区包括10个省份:四川、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆。

## 4 实证结果分析

### 4.1 时间趋势检验与分析

由图2可以看出,全国31个省份的农业碳排放总量从2003—2020年总体呈现先上升后下降的趋势,但个别省份的数据变化相较平稳。基于此现象,本文分别对于东部、中部及西部地区进行了剖析。

东部地区,北京、上海、天津的农业碳排放总量随时间的推移增长较缓,甚至有持续下降的趋势。产生这种现象的原因就在于北京、上海、天津作为我国政治中心、经济中心、工业重点地区,农业种植业的发展受到了极大的掣肘,随着工业化和城市化的不断发展,农业耕地不断缩减,农业碳排放总量先上升后下降的趋势便不显著。但山东、河北、辽宁、江苏、广东、广西等农业强省份的农业碳排放总量所呈现的先上升后下降趋势较为显著。

中部地区的9个省份的农业碳排放总量随时间的

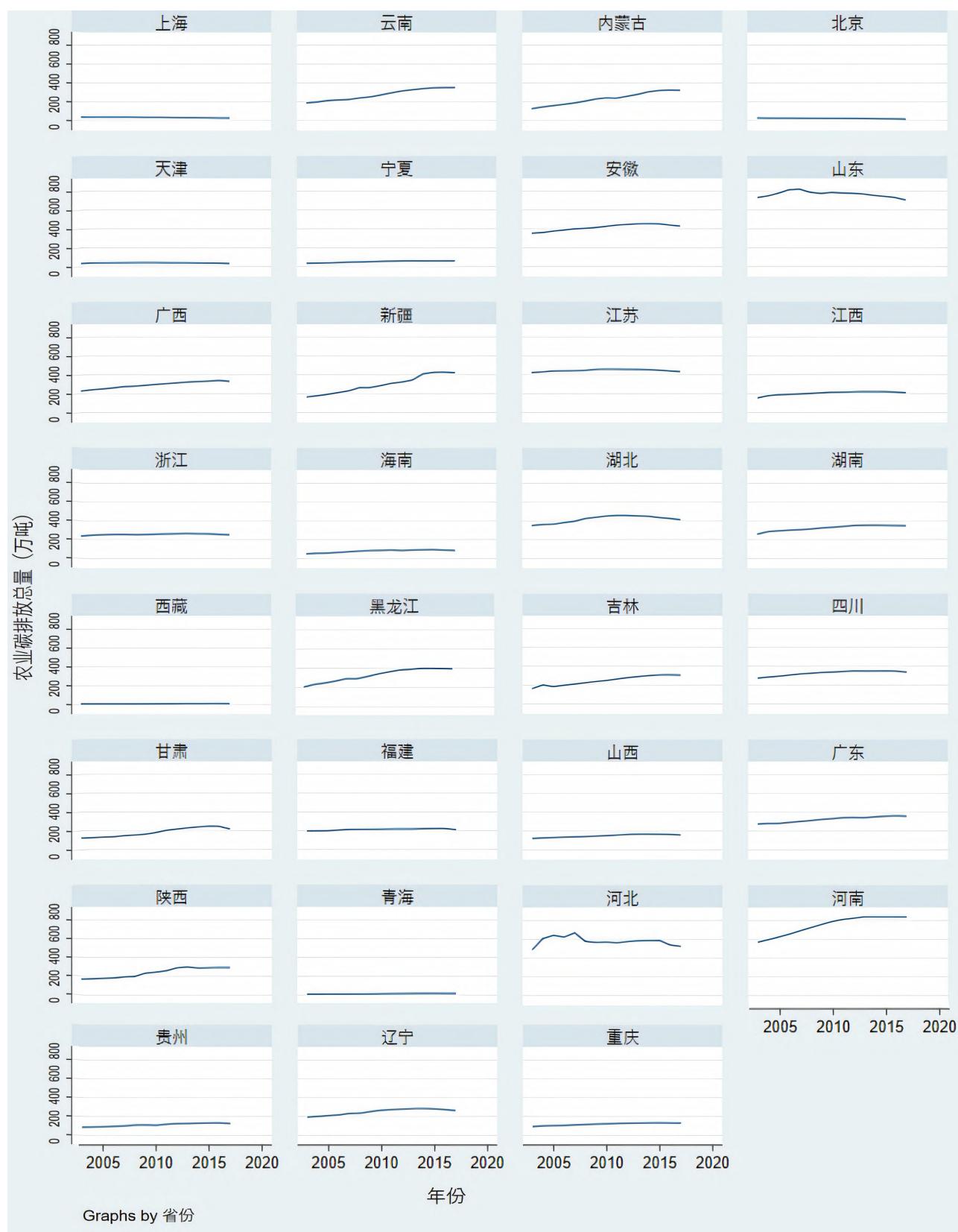


图2 全国农业碳排放总量时间趋势

推移均呈现倒“U”型特征，且转折点基本出现在 2013—2015 年。由于中部地区气候较为适宜、土壤较为肥沃，具有较好的农业发展条件，因此农业产业在中部地区的

发展规模较大，且由此产生的农业碳排放总量先上升后下降的趋势就显得较为显著。

西部地区一部分省份的农业碳排放总量随时间的推

移呈现先上升后下降的趋势，另外一部分省份的农业碳排放总量随时间的推移呈基本水平的状态，后者出现的原因在于高原地带一方面环境恶劣、人烟稀少、农业产业发展落后。另外，高原地区面积广阔，植被覆盖面积巨大——碳汇效率高，农业种植业所产生的碳排放得到了较高程度的吸收转化。

本文从上述的时间趋势检验过程中得出一个较为直观性的结论，农业碳排放随着时间的推移呈现倒“U”型的分布状态，这就部分支持了假设1，但就农业产业集聚是否会对农业碳排放产生相同的倒“U”型分布影响有待下文考究。与此同时，从三大地区的时间趋势检验中得出另一个较为直观性的结论，农业碳排放在东部、中部及西部地区的增减趋势会受到多种复杂因素的影响而呈现差异性，这也就部分支持了假设2，但具体环境规制的调节效应是否在农业产业集聚对农业碳排放总量产生影响的过程中存在需要进一步验证。

#### 4.2 系统GMM两步法的初步分析

根据HT检验、LLC检验、IPS检验结果发现，因变量农业碳排放、核心解释变量农业产业集聚和控制变量GDP平稳性较差，对于模型回归结果可能会产生异常影响。因此，本文对此三类变量进行一阶差分后，再进行D\_LLC平稳性检验。D\_LLC平稳性检验结果表明一阶差分以后的三类变量的P值均小于1%，显著性良好，消除了非平稳趋势的潜在干扰问题。进一步的Kao检验结果表明Augmented Dickey-Fuller(ADF)的P值小于1%，即可以进行系统GMM两步分析法。

结合表2所显示的全国及各地区的样本关于模型(1)的系统GMM估计结果和数据得出结论。从全国层面来看，农业产业集聚与农业碳排放之间的回归系数为3.745，且在5%显著水平下具有显著的正向影响。另一方面，控制变量农业产业结构回归系数为正，但未达到显著水平，即农业产业结构对农业碳排放的影响不够显著。而另一控制变量农业GDP的回归系数为负且通过1%的显著水平，即表明农业GDP对农业碳排放有着显著性的负向影响。

从地区层面来看，东部、西部两个地区农业产业集聚对农业碳排放的回归系数均为负数，这表明在两个地区，农业产业集聚对农业碳排放产生了一定程度的负向影响，且东部地区的农业产业集聚所带来的农业碳减排效应略小于西部地区。而中部地区的农业产业集聚对农业碳排放的回归系数为正数，这又表明中部地区的农业产业集聚对农业碳排放具有一定的正向影响但并不显著。综上分析得出，农业产业集聚对农业碳减排存在

表2 GMM检验

变量	全国	东部	中部	西部
<i>L.E</i>	1.040*** (0.011)	1.023*** (0.026)	1.148*** (0.247)	1.002*** (0.179)
<i>LQ<sub>ij</sub></i>	3.745** (1.715)	-8.994 (12.958)	23.938 (38.728)	-9.152 (23.708)
<i>AT<sub>ij</sub></i>	9.517 (9.624)	18.834 (38.263)	-6.294 (60.171)	12.789 (16.069)
<i>GDP<sub>ij</sub></i>	0.004*** (0.001)	-0.003** (0.001)	-0.010 (0.010)	0.002 (0.008)
<i>cons</i>	-4.549 (4.168)	3.880 (11.944)	-42.467 (116.411)	16.547 (47.112)
<i>AR(2)</i>	0.922	0.713	0.303	0.243
Sargan test	1.000	0.840	0.131	0.231
Observations	434	168	126	140

注：<sup>\*\*\*</sup>P < 0.01, <sup>\*\*</sup>P < 0.05, <sup>\*</sup>P < 0.1；括号中为稳健标准误差。  
表3～表5同。

地区差异。从控制变量来看，只有东部地区的农业GDP会对当地的农业碳排放具有显著性的负向影响。

总结全国以及三个地区的回归分析结果来看，农业产业集聚对农业碳排放的影响并不是简单的线性关系，这也印证了时间趋势检验和研究假设1。

#### 4.3 农业产业集聚对农业碳排放的倒“U”型关系检验与分析

通过GMM检验确定农业产业集聚与农业碳排放之间存在非线性关系，结合时间趋势检验结果本文进行倒“U”型关系检验，以确定农业产业集聚对于农业碳排放的影响是否为倒“U”型，如果检验通过，则说明研究假设1成立。

从图3中可以看出，本文初步确定农业产业集聚对于农业碳排放的影响效应是为倒“U”型，但通过图形检验做出直观判断存在偏差。本文加入核心解释变量农业产业集聚的二次项构建模型，进行了OLS回归。

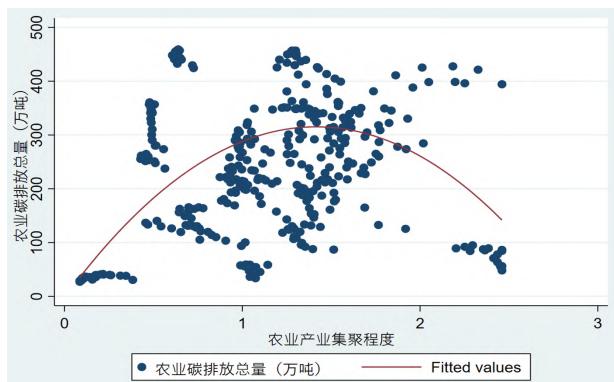


图3 “U”型图检验

表3的OLS回归结果中，核心解释变量农业产业集聚的二次项系数为-57.970，且P值小于1%，表明农业产业集聚的二次项对农业碳排放具有显著的负效应。同时，核心解释变量农业产业集聚的一次项系数为162.505，且P值小于1%，表明农业产业集聚的一次项对于农业碳

排放总量具有显著的正效应。核心解释变量的一次项和二次项都显著且方向相反，判定农业产业集聚对农业碳排放的影响为倒“U”型，研究假设 1 部分得到验证。

表3 倒“U”型关系检验

变量	E
$LQ_{ij}$	162.505*** (18.511)
$LQ_{ij}2$	-57.970*** (7.725)
$AT_{ij}$	210.381*** (38.278)
$GDP_{ij}$	0.079*** (0.003)
_cons	-126.407*** (19.428)
Observations	465
R-squared	0.737

因此，本文可以确定，即当我国的东部、中部及西部地区的农业产业集聚处于初步发展阶段时，农业产业集聚区的种植业规模也会有所扩大，而农业碳排放总量又与其成正相关，因此在短时间内，种植业规模扩大使得农业生产资料的消耗总量上升，进而推动农业碳排放总量上升，且相关环境规制政策的未及时执行对农业碳排放总量的增加未起到抑制作用。然而，随着某一地区的农业产业集聚程度的进一步提高，除了相关环境规制政策的执行会对农业碳排放总量的增加起到抑制作用外，农业产业集聚的持续推进所带来的各种正向外部效应和规模经济效应开始显现，它们通过促进行业信息交流、基础设施共享、技术创新、专业分工等提高了农业生产效率，实现单位农产品的生产资料消耗量降低，即单位农产品的碳排放量降低，因此农业碳排放总量相对开始逐渐下降。

#### 4.4 环境规制对农业产业集聚影响农业碳排放的调节效应的检验与分析

在对模型(4)数据的平稳性采取平稳性检验后，发现模型(3)的各个变量是协整的，本文对中心化后的模型(6)进行 GMM 回归。结合表 4 所显示的全国及三个地区样本关于模型(5)的系统 GMM 估计结果，以及表 2 中得出 AR(2) 的 P 值和 Sargan 的 P 值来看，本文所建立的分析模型不存在二阶序列相关且模型可以通过工具变量的有效性检验。

从全国层面来看，表 4 中全国样本关于模型(5)的系统 GMM 估计结果显示核心解释变量农业产业集聚与调节变量环境规制的交互项回归系数为 0.033，在 1% 的显著水平下具有显著性，说明环境规制在调节农业产业集聚对农业碳排放的影响中发挥着显著作用。从地区层面来看，在东部和西部地区，两地的核心解释变量农业产业集聚和调节变量环境规制之间的交互项的回归系

表4 调节效应检验

变量	全国	东部	中部	西部
$LQ_{ij}$	52.509*** (11.678)	-56.288*** (29.060)	37.398** (17.986)	47.021*** (16.290)
$ER_{ij}$	0.079*** (0.029)	-0.046* (0.024)	0.039 (0.039)	0.226*** (0.061)
$LQER_{ij}$	0.033*** (0.000)	-0.001** (0.000)	0.002 (0.001)	0.002** (0.001)
$AT_{ij}$	179.204* 92.889 (82.414)	352.413*** (82.414)	87.683 116.676 (84.627)	-12.302
$L3.GDP_{ij}$	0.006* (0.003)	-0.002 (0.002)	0.019*** (0.004)	0.011** (0.005)
AR(2)	0.922	0.713	0.303	0.243
Sargan test	1.000	0.840	0.131	0.231
Observations	341	132	99	110

数分别为 -0.001 和 0.002 且通过 5% 的显著水平，而中部地区的两个变量交互项的回归系数不显著，表明环境规制的显著调节效应主要存在于东部和西部地区。

由此可见，研究假设 2 在全国、东部及西部地区均得到了支持，而农业产业集聚对于农业碳排放的贡献度是环境规制的边际函数，且由于农业产业集聚对于农业碳排放的影响系数和环境规制与农业产业集聚交互项( $LQER_{ij}$ )对于农业碳排放的影响系数均显著且同号，即随着地区环境规制水平的提高，地区农业产业集聚对农业碳减排的效应也随之增强。可理解为环境规制对创新的补偿效应得到显现，即农业产业集聚区的企业在较严格环境规制的约束下，会增加对治污技术和生产技术的研发投资。通过升级治污技术可以减少农业碳排放，从而降低企业在农业碳排放方面的污染费用支出。通过促进生产技术的进步可以提高农业生产效率，从而实现农业碳减排。

中部地区环境规制在农业产业集聚对农业碳排放的影响中缺乏显著的调节效应，这或许是因为中部地区的经济相对于东部地区较为滞后而相较于西部地区的“西部大开发战略”缺乏政策优势，在经济发展的压力下，该地区可能较少关注环境保护，导致环境规制水平相对较低。因此，环境规制的调节效应可能未能有效发挥。

#### 4.5 稳健性检验

为了使研究结论更加可靠，本文从调整估计方法方面进行了稳健性检验。鉴于模型设定可能存在的估计偏误，进一步采用固定效应模型对以上结果进行稳健性检验，如表 5 所示，可以发现农业产业集聚对农业碳排放的影响为倒“U”型关系。

### 5 结论与建议

本文选取 2003—2020 年中国 31 个省份的面板数据，通过系统 GMM 方法分析并检验了农业产业集聚对农业碳排放的影响，以及环境规制在农业产业集聚对农业碳排放影响中的调节效应。研究假设大部分得到了实证检

表5 稳健性检验

变量	固定效应模型	2003—2020年样本
L.E	0.947*** (0.042)	1.041*** (0.009)
LQ <sub>ij</sub>	27.907* (15.151)	11.161** (4.348)
LQ <sub>ij2</sub>	-7.867* (4.142)	-3.381* (1.726)
AT <sub>ij</sub>	15.901 (17.184)	2.084 (8.027)
GDP <sub>ij</sub>	-0.003*** (0.001)	-0.005*** (0.001)
_cons	-0.724 (14.383)	-3.564 (4.087)
省份	控制	
AR(2)		0.965
Sargan test		0.254
Observations	434	527
R-squared	0.916	

验，最终得出以下结论：第一，从全国层面来看，农业产业集聚对农业碳排放的影响表现出倒“U”型特征，即先上升后下降，同时环境规制的调节效应在农业产业集聚对农业碳排放的影响中存在；第二，从地区层面来看，三地区农业产业集聚对农业碳排放的影响中均表现出倒“U”型特征，且在东部和西部地区，环境规制对农业产业集聚影响农业碳排放存在显著的调节效应。根据本文的研究结论提出以下对策建议。

(1) 全面利用农业产业集聚所带来的规模经济效应<sup>[30]</sup>。要合理推进农业产业集聚，稳步跨越农业产业集聚初期因扩大生产规模而进行的大量农业生产要素投入及能源低效利用的阶段，利用规模经济效应所带来的知识技术进步、基础设施共享等提高农业生产效率，降低单位农产品的要素投入，实现能源节约型农业生产目标，进而从总体上降低农业碳排放水平。

(2) 充分发挥科学环境规制在农业产业集聚对农业碳排放中的调节效应<sup>[31]</sup>。各地方政府应制定科学的环境规制政策，因地制宜地发挥政策的积极性规制和消极性规制功能，引导农业企业和农户在农业生产过程中积极采用先进生产技术、废物利用循环技术、农业碳清洁技术及节能减排技术等，普及测土配方技术，从而避免过量使用化肥和农药等，并对相应农业生产主体进行政策补贴，以保证农业生产规模扩大的同时兼顾能源的高效利用和对农业碳排放的有效控制，实现绿色低碳农业和农业可持续化发展目标。

(3) 结合空间地理因素积极调整区域发展中的农业产业结构。通过前文的时间趋势检验及分析发现不同的省份在农业碳排放总量特征方面存在差异性，这是由于不同的省份的功能定位、地理条件、气候条件等决定的，所以各省份应在推动本地农业产业结构合理化的同时，

还应重视在区域内与其他省份农业产业结构的互补和协调发展，实现区域内农业碳排放和碳汇的相对平衡。

(4) 加强对农业节能减排和低碳节能理念的宣传。借用大众传媒等途径广泛宣传低碳农业，提升农民在农业生产过程中的低碳意识，进而使其在实际农业生产过程中积极向低碳生产方式转变。此外，可通过开展新型农民技能培训等形式，帮助农民学习和掌握先进农业生产技术，解决农业生产过程中的化肥和农药利用率不高、水资源严重浪费、农药瓶随意丢弃导致的土地污染等问题，提高农业生产要素的利用效率。

#### 参考文献：

- [1] 吴小慧. 农业产业集聚对农业碳排放强度的影响研究[D]. 杭州：浙江理工大学，2020.
- [2] 张永强，田媛，王珧，等. 农村人力资本、农业技术进步与农业碳排放[J]. 科技管理研究，2019，39（14）：266-274.
- [3] 乜敏，赵洪海. 产业集聚是否促进了低碳发展：来自中国制造业的证据[J]. 经济与管理，2013，27（6）：70-75.
- [4] 刘习平，盛三化，王珂英. 经济空间集聚能提高碳生产率吗？[J]. 经济评论，2017（6）：107-121.
- [5] 邵帅，张可，豆建民. 经济集聚的节能减排效应：理论与中国经验[J]. 管理世界，2019，35（1）：36-60.
- [6] VIRKANEN J. Effect of urbanization on metaldeposition in the bay of Töölönlahti, Southern Finland [J]. Marine Pollution Bulletin, 1998, 36(9): 729-738.
- [7] 李炫榆，宋海清，李碧珍. 集聚与二氧化碳排放的空间交互作用：基于空间联立方程的实证研究[J]. 山西财经大学学报，2015，37（5）：1-13.
- [8] 胡中应，胡浩. 产业集聚对我国农业碳排放的影响[J]. 山东社会科学，2016（6）：135-139.
- [9] 樊兰. 环境规制、外商直接投资与工业集聚：基于省际动态面板数据的实证研究[J]. 产经评论，2018，9（1）：26-39.
- [10] FENG Y C, WANG X H, DU W C, et al. Effects of environmental regulation and FDI on urban innovation in China: A spatial Durbin econometric analysis [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 235: 210-224.
- [11] 郝寿义，张永恒. 环境规制对经济集聚的影响研究：基于新经济地理学视角[J]. 软科学，2016，30（4）：27-30.
- [12] 张华. 环境规制提升了碳排放绩效吗？：空间溢出视角下的解答[J]. 经济管理，2014，36（12）：166-175.
- [13] 仇伟. 农业经济发展、环境规制与农业碳排放相关性的协整检验[J]. 延安大学学报（社会科学版），2019，41（3）：59-64.
- [14] VERHOEF E, NIJKAMP P. Externalities in urban sustainability: Environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city [J]. Ecological Economics, 2002, 40: 157-179.
- [15] HOOVER E M. Spatial price discrimination [J]. The Review of Economic Studies, 1937, 4(3): 182-191.

- [16] 徐敏燕, 左和平. 集聚效应下环境规制与产业竞争力关系研究: 基于“波特假说”的再检验[J]. 中国工业经济, 2013 (3) : 72-84.
- [17] 王兴, 马守田, 潘超, 等. 西南地区农业碳排放趋势及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27 (S2) : 231-234.
- [18] 陈炜, 殷田园, 李红兵. 1997—2015年中国种植业碳排放时空特征及与农业发展的关系[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33 (2) : 37-44.
- [19] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [20] MOSIER A R, DUXBURY J M, FRRENEY J R, et al. Mitigation agricultural emission of Methane [J]. Climatic Change, 1998, 40: 39-80.
- [21] 黄磊, 吴传清. 长江经济带污染密集型产业集聚时空特征及其绿色经济效应[J]. 自然资源学报, 2022, 37 (2) : 459-476.
- [22] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30 (4) : 95-106.
- [23] 刘杨, 刘鸿斌. 山东省农业碳排放特征、影响因素及达峰分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30 (4) : 558-569.
- [24] 孙慧, 邓又一. 工业产业集聚对经济高质量发展的影响: 以环境规制为调节变量的研究[J]. 生态经济, 2022, 38 (3) : 62-69.
- [25] 徐盈之, 杨英超, 郭进. 环境规制对碳减排的作用路径及效应: 基于中国省级数据的实证分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2015, 36 (10) : 135-146.
- [26] 陈晓春, 谭娟. 政府环境规制视角下低碳经济发展理论研究[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2011, 32 (8) : 146-150.
- [27] ANDERSEN P, PETERSEN N C A. Procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1993, 39(10): 1179-1297.
- [28] 叶前林, 刘海玉, 朱文兴. 区域文化创意产业集聚水平测度及影响因素分析[J]. 统计与决策, 2022, 38 (4) : 84-87.
- [29] 张金鑫, 王红玲. 环境规制、农业技术创新与农业碳排放[J]. 湖北大学学报(哲学社会科学版), 2020, 47 (4) : 147-156.
- [30] 胡婉玲, 张金鑫, 王红玲. 中国农业碳排放特征及影响因素研究[J]. 统计与决策, 2020, 36 (5) : 56-62.
- [31] 贺青, 张虎, 张俊飚. 农业产业聚集对农业碳排放的非线性影响[J]. 统计与决策, 2021, 37 (9) : 75-78.

(责任编辑: 张海艳)

(上接82页)

- [73] FERNANDES C I, VEIGA P M, FERREIRA J J M, et al. Green growth versus economic growth: Do sustainable technology transfer and innovations lead to an imperfect choice? [J]. Business Strategy and the Environment, 2021, 30(4): 2021-2037.
- [74] YAO M F, DI H, ZHENG X R, et al. Impact of payment technology innovations on the traditional financial industry: A focus on China [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 135: 199-207.
- [75] MENSAH C N, LONG X, DAUDA L, et al. Technological innovation and green growth in the organization for economic cooperation and development economies [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 240: 118204.
- [76] LUUKKANEN J, KAIVO-OJA J, VÄHÄKARI N, et al. Green economic development in Lao PDR: A sustainability window analysis of green growth productivity and the efficiency gap [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 211: 818-829.
- [77] BARNEY J. Firm resources and sustained competitive advantage [J]. Journal of Management, 1991, 17(1): 99-120.
- [78] 马文聪, 丁宝军, 朱桂龙. 新产品开发中内外部整合对开发效率的影响机制[J]. 科学学研究, 2013, 31 (4) : 567-577.
- [79] YANG J. Knowledge integration and innovation: Securing new product advantage in high technology industry [J]. The Journal of High Technology Management Research, 2005, 16(1): 121-135.
- [80] ZHANG X L, SHEN L Y, WU Y Z. Green strategy for gaining competitive advantage in housing development: A China study [J]. Journal of Cleaner Production, 2011, 19(2-3): 157-167.
- [81] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Innovation and learning: The two faces of R&D [J]. The Economic Journal, 1989, 99(397): 569-596.
- [82] BACQ S, EDDLESTON K A. A resource-based view of social entrepreneurship: How stewardship culture benefits scale of social impact [J]. Journal of Business Ethics, 2018, 152(3): 589-611.
- [83] OLAWUYI D S. From technology transfer to technology absorption: Addressing climate technology gaps in Africa [J]. Journal of Energy & Natural Resources Law, 2018, 36(1): 61-84.
- [84] LI J, STRANGE R, NING L T, et al. Outward foreign direct investment and domestic innovation performance: Evidence from China [J]. International Business Review, 2016, 25(5): 1010-1019.
- [85] BAI Y, QIAN Q Q, JIAO J L, et al. Can environmental innovation benefit from outward foreign direct investment to developed countries? Evidence from Chinese manufacturing enterprises [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(12): 13790-13808.

(责任编辑: 冯胜军)