

低碳视角下农业集约化、绿色化与资源再生化的实现机制研究

郑玉雨¹,葛察忠²,于法稳^{3*}

(1.中国社会科学院大学,北京 102488; 2.生态环境部 环境规划院,北京 100020;
3.中国社会科学院 农村发展研究所,北京 100732)



摘要 在实现“碳达峰碳中和”目标的重要历史机遇期,推动实现农业集约化、绿色化和资源再生化,构建资源节约型、绿色低碳型、生态循环型的农业发展模式,对于农业可持续发展具有重要意义。以 2000—2018 年我国 31 个省份为研究对象,通过面板向量自回归模型(PVAR),刻画资源消耗、农业产出、农业碳排放之间的动态传导机制。结果表明:(1)东部农业“碳达峰”节点出现较早,东北、西部相对较晚;2018 年农业碳排放居前三的省份为湖南、黑龙江、河南,居后三的为北京、天津、上海;(2)资源消耗和农业产出之间呈现“低投入高产出”的农业集约化生产模式,但影响力微弱;农业产出和农业碳排放之间“高产出高排放”的情形长期面临农业绿色化的严峻考验;农业碳排放与资源消耗之间呈现“低排放低投入”的资源再生化现象,影响力短期微弱长期较强;(3)推动实现农业集约化、绿色化、资源再生化的关键在于探索降低农业碳排放的多重路径。因此,应强化农业集约化生产,充分发展资源再生化模式,探索形成农业绿色化格局新路径,以此来加快实现碳减排目标,推动农业可持续发展。

关键词 农业碳排放;集约化;绿色化;资源再生化;面板向量自回归模型(PVAR)
中图分类号:F 323.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2022)01-0032-14
DOI 编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2022.01.004

为应对全球气候变化,2020 年 9 月我国提出了“努力争取 2030 年前实现碳达峰,2060 年前实现碳中和”的国家自主贡献(INDC)目标,在此背景下,碳减排行动对农业生产的绿色转型提出更高要求,低碳农业发展面临前所未有的历史机遇。国务院于 2021 年 2 月发布的《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》中明确要求加快农业绿色发展^[1],农业绿色发展必须以农业可持续发展为引领,发展低碳农业是农业可持续发展的绿色动能和“两山理论”的生动践行。基于我国农业资源禀赋先天不足、人均自然资源占有量远低于世界平均水平的现实情形,农业生产必须致力于劳动生产率、土地产出率、资源利用率、机械化率的多方位效率提升,形成农业集约化生产模式成为突破农业资源制约的必由之路。农业农村部出台的《国家质量兴农战略规划(2018—2022 年)》提出,到 2022 年秸秆综合利用水平达到 86%,畜禽粪污综合利用率达到 75%以上,重点用膜区域农膜回收率实现 82%^[2],但目前部分地区产地环境治理滞后、可再生资源回收难度大,补齐农村人居环境短板仍需加快,农业资源再生化水平亟待提高。因此,基于上述实现农业绿色化、集约化和资源再生化的现实背景,在实现“碳达峰碳中和”目标的重要历史机遇期,推动农业绿色化、集约化、资源再生化,形成绿色低碳型、资源节约型、生态循环型的发展模式,对于农业可持续发展具有重要意义。由此思考,当前我国是否实现了农业绿色化、集约化以及资源再生化?如何更好地推动它们实现?它们对农业可持续发展有哪些贡献?

收稿日期:2021-05-28

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);国家重点研发计划“大气污染成因与控制技术研究”专项“大气环境管理的经济手段和行业政策研究”(2018YFC0213700)。

* 为通讯作者。

对低碳农业领域的文献梳理从三方面展开:一是对我国农业碳排放的测算。国内学者对农业碳排放的测算口径不尽相同,但多采用联合国气候变化政府间专家委员会(IPCC)指南和《省级温室气体清单编制指南》中的计算方式^[3-5],即利用碳源排放系数将各类碳源换算为碳排放。国内学者^[6-7]多参考李波等的计算公式,其同时借鉴了 IPCC 和其他文献中的碳源排放系数^[8]。二是对农业碳排放驱动因素的研究。国内外学者对农业碳排放驱动因素的研究较多^[3-4,9-11],如 Chen 等利用空间面板数据模型,研究了中国各省份农业碳排放的影响因素及其空间溢出效应^[3]。王若梅等基于水-土要素匹配视角,通过 Kaya 恒等式和对数平均迪氏分解(LMDI)形式,分解了长江经济带农业碳排放各驱动因素,并考察其贡献值情况^[4]。其中,部分学者展开了农业碳排放与经济增长之间环境库兹涅茨曲线(EKC)的实证^[11-12],也有研究探讨了农业碳排放与经济增长的耦合与解耦效应及其驱动因素^[13]。三是有关碳排放的双向因果关系研究。目前有研究对农业领域的碳排放、能源消耗与经济增长三者之间的双向关系展开分析,Zhang 等通过向量误差修正模型(VECM),对中国主要粮食产区农业的碳排放、能源消耗与经济增长之间的互动展开分析,结果证实了农业碳排放与经济增长在短期和长期内都存在双向因果关系,而能源消耗对农业碳排在短期和长期内产生负面影响^[14]。但多数关于碳排放、能源消耗与经济增长之间动态机制的研究未针对农业领域^[15-17]。如 Salman 等采用东亚三国数据,通过 VECM 模型证实了经济增长与碳排放、经济增长与能源使用之间存在短期和长期的反馈效应^[15]。董康银基于低碳约束背景,采用 VECM 模型证实了低碳和清洁能源能够有效减少 CO₂ 排放,并通过 LMDI 发现能源结构和能源强度对 CO₂ 排放起到负向驱动效应^[18]。此外,也有学者通过面板向量自回归模型(PVAR),单独考察能源消耗与经济增长^[19-20]、碳排放与能源消耗二者之间的动态关系^[21-22],以及土地利用^[23]、可再生能源^[24]等具体的衡量指标与碳排放的互动。

现有成果为本文提供了借鉴和参考,但仍有问题待进一步探讨:一是在农业碳排放测算研究中,对碳源的衡量指标体系仍有待完善;二是以资源消耗、农业经济增长对农业碳排放单向驱动效应的研究居多,而在考察三者双向互动机制方面相对较少;三是探讨资源、经济、环境三者之间动态互动关系的文献较多,但针对农业领域的研究仍有待拓展。据此,在实现“碳达峰碳中和”目标的战略背景下,本文基于农业碳排放的测算,旨在通过面板向量自回归模型(PVAR),考察资源消耗、农业产出和农业碳排放的双向互动关系,并基于三者的互动结果,揭示农业集约化、绿色化、资源再生化的实现机制,为探索农业可持续发展的实现路径提供理论依据。

一、理论分析与研究设计

1. 理论分析

在“碳达峰碳中和”目标的战略背景下,碳减排行动对农业生产的绿色转型带来新的机遇和挑战,探索农业集约化、绿色化和资源再生化的实现机制,对于加快农业可持续发展具有重要应用价值。如图 1,依据研究问题提出三个理论基础:根据新经济增长理论,实现农业集约化,必须提高农业生产率,高效合理地利用农业资源来增加农业产出,当前我国农业亟需由拼资源消耗的粗放型发展转型为拼产出效率的集约型发展;依据低碳经济理论,推动农业绿色化发展,必须在提升农业产出的同时,实现由高碳经济向低碳经济的转变,其转型路径的过渡就是发展低碳农业经济;根据生态经济学理论,生态农业的根本在于农业资源的可持续利用,资源再生化能够同时实现农业生态环境改善和资源有效利用,有利于形成良性的生态循环模式。基于此,对资源消耗与农业产出、农业产出与农业碳排放、农业碳排放与资源消耗之间互动机制展开实证,以期探索出农业可持续发展的实现路径。

新经济增长理论。新经济增长理论强调经济增长的决定因素源于内生的技术进步或资本积累,经济体能够不依赖外界力量而实现经济的持续增长,其代表人物有 Arrow^[25]、Romer^[26]和 Lucas^[27]。Arrow 的“干中学”模型,强调知识对经济长期内生增长的重要性,假定经验能够促进知识积累,知识和学习过程带来技术进步,从而推动生产率提高。Romer 的内生增长模型,也强调了知识和技术研发对经济增长的贡献,突出技术研发部门和中间产品部门对最终产品生产率的影响。Lucas 的人力

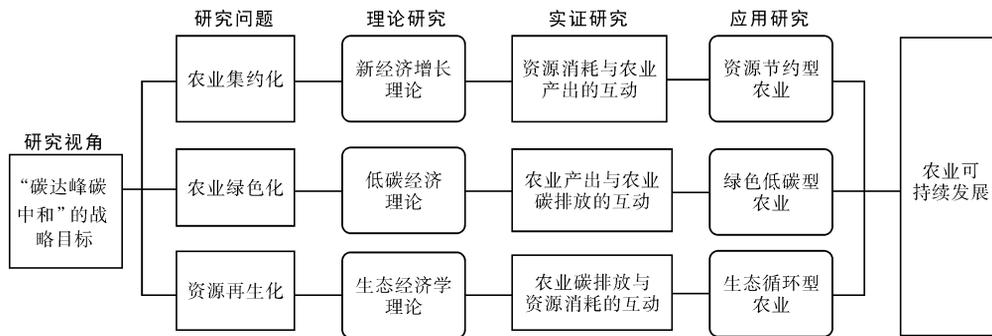


图 1 研究框架

资本模型,提出人力资本积累是真正的经济增长源泉,人力资本变化率代表了技术进步变化率。我国农村具有丰富的人力资源,根据人力资本模型,专业化的知识和人力资本积累具有正外部性,加强对农村人力资本的投资,能够加速专业知识增加和人力资本积累,如应用技术性能优势较强的农业机械装备,通过专业培训提高资源利用率;此外,凭借知识溢出效应可以有效降低农业投入成本,如更好地规避和应对农业生产经营中的风险。当前,实现我国农业集约化生产,必须致力于劳动生产率、土地产出率、资源利用率、机械化率的多方位效率提升,高效合理地利用农业资源来增加农业产出,因此亟需转向集约化农业发展模式,由从拼资源消耗的粗放型发展转型为拼产出效率的集约型发展。

低碳经济理论。“低碳经济”这一概念最早出现在政府文件中,是 2003 年的英国能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》^[28]。但“低碳经济”一词多是基于实际工作的阐述,其概念并未在文件中明确界定,目前绝大多数对低碳经济的界定是以应对能源、环境和气候变化挑战为目标,其实现途径包括技术创新、提高能效和能源结构的清洁化等^[29]。根据潘家华等定义,低碳经济是一种经济形态,即在控制温室气体排放全球共同愿景目标下,碳生产力和人文发展均达到一定水平的一种经济形态^[30]。庄贵阳等认为低碳发展对于不同国家其涵义不同,对于发展中国家,因人文发展的基本需要尚未满足,在经济总量增加的同时促进碳排放的相对下降即可被视为低碳发展;而对于已实现高人文发展目标的发达国家,应当履行减排义务,实现碳排放总量的绝对降低^[29]。农业是温室气体的重要排放源,同时也是固碳增汇的重要领域,推动我国农业低碳发展对扩大生态空间和生态容量具有重要贡献,依据低碳经济理论,当前我国农业的低碳发展还需考虑经济产出的需求,推动农业绿色化发展,必须在提升农业产出的同时,实现由高碳经济向低碳经济的转变,其转型路径的过渡就是发展低碳农业经济。

生态经济学理论。达利等的生态经济学思想肯定了在中国实现生态文明的可能性要大于西方^[31],提出中国可以寻求那种为共同福祉服务的发展,而不是寻求增加各种市场活动的发展。生态文明建设是可持续发展战略的重要手段,柯布认为生态文明建设最重要的部分是发展有机农业、生态农业。生态文明需要以生态农业作为支撑,而中国有成千上万的村庄以及农田,这正是实现生态文明的希望所在。生态农业除了强调和突出生态学原理的指导外,还凸显了中国传统文化中人与自然和谐相处的生态思想,如儒家的“天人合一”、道家的“道法自然”。生态农业是以保护和提供生态平衡状态为目标的农业发展的一项战略思想,它是具有中国特色的农业可持续发展之路,生态农业的根本在于农业资源的可持续利用。农业资源再生化是将造成环境污染的农业有机废弃物作为再生资源,能够改善农业生态环境和有效利用资源,正确处理降低农业污染和保护资源的关系。推动资源再生化,必须要坚持发展生态农业,形成良性的生态循环模式。

2. 研究设计

(1)数据来源。选取 2000—2018 年我国 31 个省份为样本,原始数据均来自国家统计局官网、各省统计年鉴(见表 1),缺失数据由上(下)年同等增长幅度计算得出。

(2)指标设计。资源消耗(RC)从 8 个维度衡量农业资源投入:①劳动力投入,以农业从业人员衡量;②土地投入,用农作物播种面积衡量;③机械投入,以农业机械总动力衡量;④用水投入,以有效

灌溉面积衡量;⑤化肥投入,以农用化肥施用量衡量;⑥农药投入,以农药使用量衡量;⑦农膜投入,以农膜使用量衡量;⑧能源投入,以农用柴油使用量衡量。农业产出(lnAP)以农业生产总值衡量,按 2000 年不变价折算。农业碳排放(lnCE)包括四类:(1)农地利用碳排放,以各项农地利用生产活动指标衡量;(2)稻田碳排放,以水稻种植面积衡量;(3)畜禽养殖碳排放,以主要畜禽年底数量衡量;(4)秸秆焚烧碳排放,以主要农作物产量衡量。农业碳排放的二级指标计算涉及碳排放系数,详见表 2。所有变量测算指标体系如表 1。

表 1 资源消耗、农业产出、农业碳排放测算指标体系

一级指标	二级指标	衡量指标	计算方式	数据来源
资源消耗(RC)	劳动力投入	农业从业人员/万	第一产业从业人员×农业总产值/农林牧渔总产值	国家统计局、各省统计年鉴
	土地投入	农作物播种面积/千公顷		
	机械投入	农业机械总动力/万千瓦		
	用水投入	有效灌溉面积/千公顷		
	化肥投入	农用化肥施用量/万吨	直接获取	国家统计局
	农药投入	农药使用量/吨		
	农膜投入	农膜使用量/吨		
	能源投入	农用柴油使用量/万吨		
农业产出(lnAP)	农业总产值	农业生产总值/亿元	按 2000 年不变价折算,当年农业生产实际值=当年农业生产指数×上年农业生产实际值/100	国家统计局
农业碳排放(lnCE)	农地利用碳排放		见公式(8)	国家统计局、相关文献
	稻田碳排放	见表 2	见公式(9)	
	畜禽养殖碳排放		见公式(10)	
	秸秆焚烧碳排放		见公式(11)	

表 2 农业碳排放四类碳源指标对应碳排放系数

农业碳排放碳源	测算指标	衡量指标	碳排放系数	单位	文献来源
农地利用碳排放	化肥	农用化肥施用量/万吨	0.8956	kg C/kg	李波等 ^[32] , 田云等 ^[33]
	农药	农药使用量/吨	4.9341		
	农膜	农膜使用量/吨	5.18		
	农用柴油	农用柴油使用量/万吨	0.5927	kg C/km ²	
	翻耕流失	农作物播种面积/千公顷	312.60		
	农业灌溉	有效灌溉面积/千公顷	266.48	kg C/hm ²	
稻田碳排放	水稻	稻谷播种面积/千公顷	3.136	g C/(天·m ²)	田云等 ^[33]
畜禽养殖碳排放	猪	猪年底数量	34.091	kg C/(头·a)	夏四友等 ^[34]
	牛	牛年底数量	415.910		
	羊	羊年底数量	35.1819		
秸秆焚烧碳排放	稻谷	稻谷产量/万吨	420.11	g C/kg	彭立群等 ^[35]
	小麦	小麦产量/万吨	421.48		
	玉米	玉米产量/万吨	398.29		

1)资源消耗(RC)的计算。采用熵值法对资源消耗 8 个分指标降维。熵值法的权重赋值是一种客观赋权法,它是用指标的无序程度来反映权重大小,指标熵值越大,表明样本数据无序程度越高,提供的信息量也越小,则相应的权重也越小,反之则权重越大。为消除时间变量的丢失,在传统熵值法的最后一步,采用式(1)中的 X_{ijt} 而非 p_{ijt} 与权重相乘。具体步骤如下:

a)假设有 n 个省份, m 个 RC 的二级指标,则 x_{ij} 为第 i 个省份的第 j 个二级指标的原始数据,其中 $i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m$ 。

b)指标标准化处理。为满足标准化后取对数的需求(不为 0),在原式基础上向右平移一个单位:正向指标:

$$X_{ijt} = \frac{x_{ijt} - \min x_{jt}}{\max x_{jt} - \min x_{jt}} + 1 \quad (1)$$

负向指标:

$$X_{ijt} = \frac{\max x_{jt} - x_{ijt}}{\max x_{jt} - \min x_{jt}} + 1 \quad (2)$$

式(1)、(2)中 x_{ijt} 为 t 年 i 省在第 j 项指标下的数值, x_{jt} 为 t 年第 j 项指标所有省份的值, X_{ijt} 为标准化后的数值。

c) 计算第 j 项指标下第 i 个省份所占比重:

$$p_{ijt} = \frac{X_{ijt}}{\sum_{i=1}^n X_{ijt}} \quad (3)$$

d) 计算第 j 项指标的熵值:

$$e_{jt} = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n (p_{ijt} \ln p_{ijt}) \quad (4)$$

e) 计算第 j 项指标信息熵冗余度:

$$d_{jt} = 1 - e_{jt} \quad (5)$$

f) 计算第 j 项指标的权值:

$$\omega_{jt} = \frac{d_{jt}}{\sum_{j=1}^m d_{jt}} \quad (6)$$

g) 计算第 i 个省份的综合得分:

$$s_{it} = \sum_{j=1}^m \omega_{jt} X_{ijt} \quad (7)$$

2) 农业碳排放的计算。本文中的农业碳排放指标,是将农业生产相关活动产生的主要温室气体(CO₂、CH₄、N₂O),通过碳排放系数换算为碳产生的温室效应。基于现有文献,补充了农地利用碳源(翻耕流失)和秸秆焚烧碳源测算指标,参考 Chen 等^[3]的划分,最终将农业碳排放源归为四类:农地利用碳排放、稻田碳排放、畜禽养殖碳排放和秸秆焚烧碳排放,相应碳源测算指标见表 2。

一是农地利用投入碳排放^[32-33],包括化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、翻耕流失 6 类碳源,公式见式(8):

$$A_i = \sum_{k=1}^k (I_k \times EF_k) \quad (8)$$

上式中, A_i 表示第 i 个省份农地利用碳排放; I_k 表示第 k 类投入资源; EF_k 表示第 k 类投入资源的碳排放系数。

二是稻田碳排放^[33,36],稻田 CH₄ 排放系数约为 0.46g CH₄/(天·m²)^[33],换算为稻田碳排放系数为 3.136g C/(天·m²),水稻生长周期为 130 天。计算见公式(9):

$$B_i = AP_i \times 3.136 \times 130 \times 10^7 / 10^3 \quad (9)$$

上式中, B_i 表示第 i 个省份稻田碳排放; AP_i 表示稻田种植面积。

三是畜禽养殖碳排放^[34,37]。我国主要畜禽养殖有猪、牛、羊,畜禽养殖碳排放包括畜禽肠道发酵产生的 CH₄ 和粪便排放的 CH₄、N₂O^[34],计算方式见式(10):

$$C_i = \sum_{k=1}^k (Q_k \times EF_k) \quad (10)$$

上式中, C_i 表示第 i 个省份畜禽养殖碳排放; Q_k 表示第 k 种畜禽; EF_k 表示第 k 种畜禽碳排放系数。

四是农作物秸秆焚烧^[5,35]。秸秆露天焚烧的温室效应主要源于小麦、玉米和水稻三种农作物,计算公式见式(11):

$$D_i = \sum_{k=1}^k (P_{ik} \times C_{ik} \times R_{ik} \times F_k \times EF_k) \tag{11}$$

上式中, D_i 表示第 i 个省份秸秆露天焚烧碳排放; P_{ik} 为第 i 个省份作物 k 的产量; C_{ik} 为第 i 个省份作物 k 的草谷比, 无量纲值; R_{ik} 为第 i 个省份 k 作物秸秆焚烧率; F_k 为作物 k 的燃烧效率; EF_k 为 k 作物秸秆露天焚烧的排放系数。其中, 三大农作物草谷比^[5]见表 3; 焚烧率^[35]见表 4; 燃烧效率指修正燃烧效率, 水稻、小麦、玉米的燃烧效率分别为 93%、93%、92%^[38]。

表 3 各省份三大农作物草谷比

农区	省份	稻谷	小麦	玉米
华北	北京、天津、河北、山西、内蒙古、山东、河南	0.93	1.34	1.73
东北	黑龙江、吉林、辽宁	0.97	0.93	1.86
长江中下游	上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南	1.28	1.38	2.05
西北	陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	0.68	1.23	1.52
西南	重庆、四川、贵州、云南、西藏	1	0.97	1.29
南方	福建、广东、广西、海南	1.06	1.27	1.32

表 4 各省份三大农作物焚烧率

%											
省份	稻谷	小麦	玉米	省份	稻谷	小麦	玉米	省份	稻谷	小麦	玉米
北京	0	3.1	12.1	安徽	42.3	28.9	35.9	四川	25.6	16.2	28.8
天津	4.1	13.2	16.0	福建	17.8	35.3	13.9	贵州	3.4	4.6	4.3
河北	5.8	9.9	15.8	江西	26.8	23.8	17.2	云南	36.8	33.2	23.1
山西	8.4	36.0	25.3	山东	9.7	19.7	23.4	西藏	21.1	16.2	17.1
内蒙古	2.2	3.7	10.8	河南	19.7	34.8	19.3	陕西	6.2	13.4	22.0
辽宁	9.3	21.9	12.9	湖北	19.1	27.8	21.6	甘肃	8.5	6.7	15.1
吉林	18.1	12.7	13.5	湖南	43.2	47.2	39.1	青海	0	8.1	6.5
黑龙江	21.8	33.1	11.9	广东	40.4	42.1	37.7	宁夏	19.7	20.3	18.2
上海	26.2	27.7	24.6	广西	28.6	39.8	31.9	新疆	6.3	3.9	11.5
江苏	34.6	27.3	23.3	海南	34.8	0	31.1				
浙江	25.9	31.4	33.7	重庆	18.6	10.7	12.3				

最后, 将农地利用碳排放、稻田碳排放、畜禽养殖碳排放、农作物秸秆焚烧四类碳源计算值相加, 统一换算为“万吨”后取对数, 即为一级指标农业碳排放(lnCE)的最终值。

(3)模型构建。为探索资源消耗、农业产出与农业碳排放之间的内在互动机制, 构建面板向量自回归(PVAR)模型考察三者之间的动态关系:

为避免出现“伪回归”现象, 首先展开面板单位根检验; 当数据同阶单整时展开面板协整检验, 若检验通过则表明变量间具有长期稳定的均衡关系, 下一步将进行 Granger 因果检验, 即考察变量间是否存在双向因果关系。构建的 p 阶 PVAR 模型如下:

$$Y_{it} = C_n + \beta_n X_{it} + \gamma_i + \eta_i + \mu_{it} \tag{12}$$

式(2)中, $Y_{it} = [RC, \ln AP, \ln CE]$, $X_{it} = [Y_{it-1}, Y_{it-2}, \dots, Y_{it-p}]$, C_n 和 β_n 为 $n \times p$ 维系数矩阵, p 为滞后阶数。 i 为样本单位(省份), t 为时间单位, RC 代表资源消耗, $\ln AP$ 代表农业产出, $\ln CE$ 代表农业碳排放。 γ_i 和 η_i 分别为个体效应和时间效应, μ_{it} 为随机扰动项。

PVAR 结果分析主要包括: ①广义矩估计(GMM 估计): 通过 GMM 计算变量之间的回归拟合结果, 揭示短期内变量互动的动态关系; ②脉冲响应函数(IRF): GMM 估计较为宏观地反映出变量互动的短期动态模拟过程, 脉冲响应函数则可通过可视化刻画变量间的长期动态关系。

二、实证结果与分析

1. 我国农业资源消耗、农业产出与农业碳排放的测算

根据表 1 指标设计模型, 对 2000—2018 年我国 31 个省份的农业资源消耗、农业产出和农业碳排放展开测算, 在此基础上, 从时间演变特征(时间维度)和总体现状(地区维度)两个角度展开分析。31

个省份可按经济发展水平划分为东部、中部、西部和东北^①四大区域。

时间演变特征。历年来农业碳排放中部最高、东部最低,东部农业“碳达峰”节点出现较早,东北、西部相对较晚。(1)历年来资源消耗和农业产出中部最高、西部最低,农业碳排放中部最高、东部最低,见图 2(a)、2(b)、2(c)。(2)中部、西部、东北地区的资源消耗、农业产出水平显著上升,东部相对稳定。具体地,如图 2(a)和 2(b),中部、西部、东北地区的资源消耗和农业产出水平浮动趋势明显,东部起伏均较为平缓;但在图 2(c)中,相较于其他地区上升趋势,东部农业碳排放呈现明显负增长。(3)四大地区农业碳排放增中有降,均跨越农业“碳达峰”节点,东部拐点出现相对较早,东北、西部相对较晚。东部的农业碳排放放在 2010 年达到峰值,中部于 2016 年、西部和东北于 2017 年达到峰值,东部负增长拐点出现最早,东北、西部最晚,相较之下东部领先达峰 7 年。

总体现状。2018 年农业碳排放居前三的省份为湖南、黑龙江、河南,居后三的是北京、天津、上海。(1)2018 年农业碳排放居前三的省份为湖南、黑龙江、河南,居后三的为北京、天津、上海,如图 2(d)所示,相应地,居前三省份资源消耗和农业产出排名也靠前,居后三省份的资源消耗和农业碳排放则排名靠后。(2)单独来看,资源消耗、农业产出、农业碳排放排名靠前的省份均多位于中部,排名靠后的均位于东部发达省份,与图 2(c)显示的农业碳排放中部最高东部最低的结果一致。

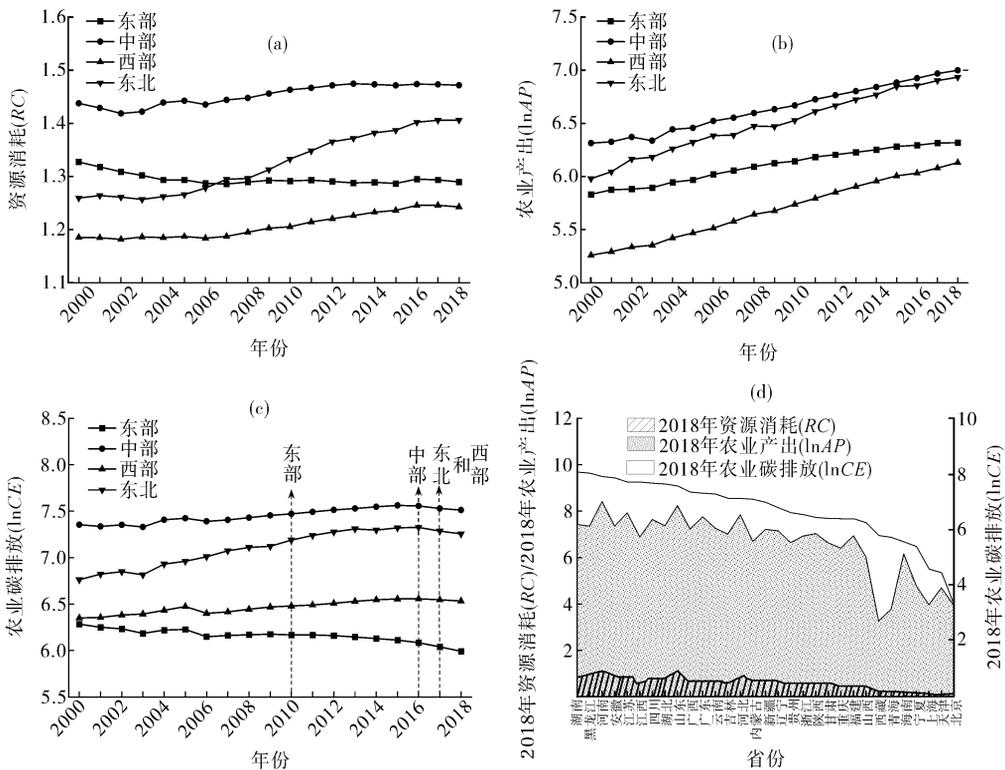


图 2 2000—2018 年四大区域不同指标演变趋势及 2018 年各省份现状

2. 资源消耗、农业产出和农业碳排放的内在互动

为探索农业集约化、绿色化和资源再生化的实现机制,通过 PVAR 模型分别考察资源消耗与农业产出、农业产出和农业碳排放、农业碳排放和资源消耗之间的互动。PVAR 模型分析包括实证检验、GMM 估计、平稳性检验和脉冲响应函数图。

(1)实证检验。面板单位根检验,结果表明一阶差分变量 D_RC 、 D_lnAP 和 D_lnCE 在 1% 的

^① 根据国家统计局对四大经济区域的划分,东部地区(10)包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南;中部地区(6)包括山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区(12)包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆;东北地区(3)包括辽宁、吉林、黑龙江等省级行政区域。

统计水平上显著,如表 5,即所有变量经一阶差分后均平稳。面板协整检验,采用 Johansen 方法的检验结果表明原假设至少达到 5% 的显著性水平,协整检验通过,各变量之间具有长期稳定的均衡关系。Granger 因果检验,即考察变量间因果关系的方向,采用 PVAR 程序包,确定最优滞后阶数为 4 阶(最大滞后阶数为 5),对差分数据做 Granger 因果检验,结果如表 6。

表 5 面板单位根检验结果

	<i>LLC</i>	<i>Breitung</i>	<i>IPS</i>	<i>ADF</i>	<i>PP</i>	数据平稳性
<i>RC</i>	-4.270***	2.065	-2.005**	87.880**	87.558**	平稳
<i>D_RC</i>	-11.050***	-3.731***	-9.288***	196.593***	251.302***	平稳
<i>lnAP</i>	-0.746	1.660	-1.104	79.364*	115.469***	非平稳
<i>D_lnAP</i>	-14.259***	-7.879***	-15.061***	297.398***	377.136***	平稳
<i>lnCE</i>	4.389	-5.103***	2.162	59.488	70.470	非平稳
<i>D_lnCE</i>	-13.693***	-2.544***	-10.080***	213.188***	337.974***	平稳

注: *、** 和 *** 分别表示在 10%、5%、1% 的统计水平上显著,表下同。

表 6 Granger 因果检验结果

前一个变量不是后一个变量的 Granger 原因	路径					
	<i>lnAP-RC</i>	<i>RC-lnAP</i>	<i>lnCE-RC</i>	<i>RC-lnCE</i>	<i>lnCE-lnAP</i>	<i>lnAP-lnCE</i>
<i>p</i> 值	0.042**	0.596	0.005***	0.040***	0.000***	0.003***

注: ** 或 *** ($p < 5\%$) 表明 Granger 因果检验通过。

由表 6 可知, *lnCE* 与 *lnAP*、*lnCE* 与 *RC* 之间存在双向 Granger 因果关系, *lnAP* 对 *RC* 产生单向 Granger 因果关系。由此推断,农业碳排放、农业产出、资源消耗之间的关系,可能通过 Granger 路径 *lnAP*—*lnCE*—*RC* 和 *lnCE*—*lnAP*—*RC* 来表征,即在考虑滞后因素的条件下,主要是农业碳排放和农业产出直接或间接影响资源消耗。具体的短期和长期因果关系可依据 GMM 估计和脉冲响应图来观察。

(2) 广义矩估计(GMM)。对 4 阶 PVAR 模型中的系数进行 GMM 估计,结果如表 7,自变量中的 *L* 代表滞后期数, *h* 表示经过 Helmert 转换, *b* 值表示变量间的解释水平。结合实际,为考察长期资源消耗(*RC*)对农业产出(*lnAP*)的影响,参考 Granger 路径 *lnAP*—*lnCE*—*RC*,重点探讨 *lnAP*—*lnCE*—*RC*—*lnAP* 这条路径。

资源消耗(*RC*)对农业产出(*lnAP*)的解释水平。

由表 7 可知,资源消耗对农业产出的影响未达到显著性,短时期内资源消耗对农业产出产生微弱负向影响。不同滞后期内的影响波动较大,在滞后 2 期产生负向影响,影响程度微弱,系数为 -0.014,随后转向正向影响。说明在资源消耗水平降低的情况下,短期内依旧维持农业产出持续增加,实现了“低投入高产出”的农业集约化生产模式,但更长一段时间来看这种模式发展较为不稳定。

农业产出(*lnAP*)对农业碳排放(*lnCE*)的解释水平。农业产出始终正向影响农业碳排放,且影响程度较高。滞后 1 期农业产出对农业碳排放有显著的正向影响,系数为 0.531;滞后 2 期依旧具有显著正向影响,系数为 0.331,滞后 3 期、4 期影响系数不断减弱且保持显著。说明短期内农业产出的增加明显促进了农业碳排放量上升,呈“高产出高排放”情形,且滞后期越短影响程度越大,短期内农业绿色化面临严峻考验。

农业碳排放(*lnCE*)对资源消耗(*RC*)的解释水平。农业碳排放对资源消耗的影响始终为正,但作用微弱。滞后 1 期的农业碳排放对资源消耗的影响显著为正,影响程度较小,系数为 0.027;此后影

表 7 GMM 估计结果

自变量	<i>RC</i>	<i>lnAP</i>	<i>lnCE</i>
	<i>b</i> 值	<i>b</i> 值	<i>b</i> 值
<i>L.h_RC</i>	0.134*	0.216	0.851***
<i>L2.h_RC</i>	0.094*	-0.014	0.616**
<i>L3.h_RC</i>	0.107	0.027	-0.177
<i>L4.h_RC</i>	0.076	-0.116	0.701***
<i>L.h_lnAP</i>	0.051**	0.085	0.531***
<i>L2.h_lnAP</i>	0.029	0.189**	0.331***
<i>L3.h_lnAP</i>	0.036**	0.043	0.310***
<i>L4.h_lnAP</i>	0.010	0.149*	0.246***
<i>L.h_lnCE</i>	0.027*	-0.089	0.040
<i>L2.h_lnCE</i>	0.002	0.017	-0.070
<i>L3.h_lnCE</i>	0.009	-0.031	0.044
<i>L4.h_lnCE</i>	0.013	0.048	-0.019

响减弱,且不再显著。在一定时期内,农业碳排放对资源消耗产生微弱的正向作用,农业减排效应促进了农业资源消耗降低,实现了“低排放低投入”的资源再生化模式。从低碳农业视角来看,农业中的碳来源除生产端农业投入引起的碳排放外,还包括产出端的畜禽粪污、秸秆等农业废弃物,对农业废弃物的资源利用再生化,缓解了温室气体的排放,同时有效降低了未来一段时期内土壤利用、化肥投入等农业资源的投入成本。

(3)平稳性检验。在分析脉冲响应函数图之前,需对已构建的 4 阶 PVAR 模型进行平稳性检验,若所有特征根均落在单位圆内,则说明模型具有平稳性。由图 3 可知,模型平稳性检验通过,可进入脉冲响应函数图分析。

(4)脉冲响应函数(IRF)。当模型中给某内生变量一个标准差冲击后,能够对系统中每个变量的当期以及未来期产生影响,脉冲响应图反映了不同时期各变量对标准差冲击的响应程度。如图 4,中间曲线表示 IRF 点估计值,上下两侧曲线表示 95% 置信区间的边界。基于 GMM 估计结果,重点探讨 $\ln AP - \ln CE - RC - \ln AP$ 的响应路径,即图 4 中的图 a(2)、b(3)和 c(1)。

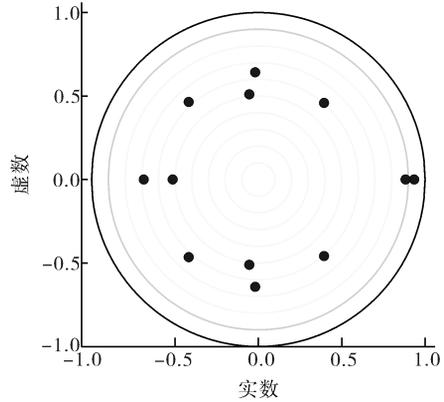


图 3 模型平稳性检验

资源消耗(RC)对农业产出($\ln AP$)的冲击。图 a(2)代表 $\ln AP$ 受到 RC 的脉冲效应,农业产出对资源消耗的反应不明显,在滞后 2 期以后的一段时间内有微弱的负响应。在当期,农业产出对资源消耗冲击的响应几乎不敏感,滞后 1 期后响应表现最强,有较弱的正响应,滞后 2 期至 5 期均为微弱的负响应,滞后 8 期以后趋于收敛。表明农业产出对资源消耗具有微弱的负响应且较为稳定,整体上资源消耗对农业产出的影响程度很低。“低投入高产出”的农业集约化生产模式效应微弱,但仍具有稳定性。部分文献^[39-40]证明农业不存在规模报酬递增,即农业资源投入同比例倍数的增加没有带来产量更高倍数的提升,这为探讨资源投入的控制和削减对农业产出的影响奠定了理论基石。农业生产可能存在规模报酬递增最重要原因是大型机械投入和管理投入具有不可分割性,事实上,农机租赁市场对大型投入的替代,缓冲了机械化对农业投入(尤其是土地投入)扩大的刺激,而市场化管理和家庭农场经营削弱了大规模农场管理优势,这正是发展农业适度规模经营的必要性。基于一定的

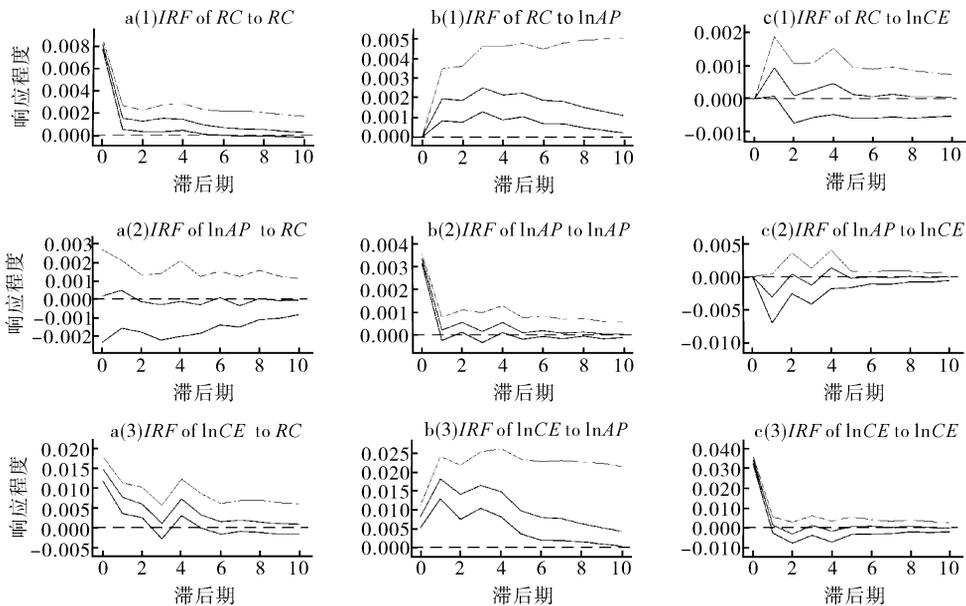


图 4 脉冲响应函数关系

农业经营规模,运用集约化的思维,提升农业生产效率、资源配置效率和资源利用效率,有助于推动农业转型升级、实现可持续发展。两者动态关系说明了农业“低投入高产出”的集约化模式,效应微弱,但相对具有稳定性。

农业产出($\ln AP$)对农业碳排放($\ln CE$)的冲击。图 b(3)代表 $\ln CE$ 受到 $\ln AP$ 的脉冲效应,农业碳排放对农业产出始终呈现出很高的正响应。初始阶段农业碳排放对农业产出的冲击表现非常敏感,呈现很强的正响应,滞后 1 期达到峰值,随后这种正响应逐渐减弱但仍然较高,具有很强的持久性。说明农业碳排放对农业产出的响应迅速且高响应持续较久,农业产出的增加在相当长一段时期内引起农业碳排放上升,农业“高产出高排放”的情形未得到有效改善,突破农业绿色化发展瓶颈面临较大挑战。这是因为农业一度的粗放型发展,特别是土地利用不当和化肥使用过量导致碳排放大量增加,以及先进的土地利用新模式和施肥新技术应用还未普及,造成碳排放常年居高不下,农业绿色化进程受到严重制约。但从两者的静态关系来看,由图 2(b)和图 2(c)可知,随着历年来农业产出的不断上升,四大地区均已跨越“碳达峰”节点,其中东部较早达到“碳达峰”,其他地区相对滞后,近年来农业碳减排得到有效控制和削减,随着时间增长,动态关系实证中的农业绿色化有望实现。

农业碳排放($\ln CE$)对资源消耗(RC)的冲击。图 c(1)代表 RC 受到 $\ln CE$ 的脉冲效应。初始阶段资源消耗对农业碳排放表现不敏感,滞后 1 期转为较高的正响应,并保持较长时间。尽管农业碳排放的削减没有在当期迅速降低农业资源的投入,但在此后的时期内通过资源再生化持续降低了资源消耗水平。这是因为有机废弃物基础设施建设的不断改善和资源化利用能力的不断提升,农业有机废弃物的合理规制有效控制了碳排放增加,并进一步通过资源再生化将其用于农业投入,形成了“低排放低投入”的生态循环发展模式。图 4 呈现了两者较为清晰的互动关系,改善农业碳排放有利于缓解资源消耗,其中贯穿着资源再生化的发展模式,揭示出生态效益转化为经济效益的生动实践,但具有滞后效应。

3. 农业集约化、绿色化、资源再生化的实现机制

资源消耗与农业产出、农业产出和农业碳排放、农业碳排放和资源消耗之间的互动结果,分别反映出农业集约化、绿色化、资源再生化的实现机制,即农业呈现出“低投入高产出”的集约化、“高产出高排放”的非绿色化和“低排放低投入”的资源再生化模式。具体地:

由 PVAR 结果可知:依据 Granger 因果检验和 GMM 估计结果,从 $\ln AP - \ln CE - RC - \ln AP$ 这一路径展开三者动态关系的探讨。(1)GMM 结果表明,短期滞后期内(最大滞后期为 4),资源消耗能够负向影响农业产出,但影响程度微弱且不稳定;农业产出正向影响农业碳排放,影响程度较强且非常稳定;农业碳排放正向影响资源消耗,影响程度微弱且稳定。(2)脉冲响应图表明,长期滞后期内(最大滞后期为 10),农业产出对资源消耗在滞后 2 期后的一段时间内呈现出微弱的负响应,“低投入高产出”农业集约化生产模式效应微弱;农业碳排放对农业产出在当期即呈现很高的正响应,且这种较强的正响应维持很长时间,农业“高产出高排放”的情形未得到有效改善,突破农业绿色化发展瓶颈面临较大挑战;资源消耗对农业碳排放,在滞后 1 期呈现较强的正响应且保持较长时间,通过将有机废弃物用于农业投入的生态循环发展方式,农业形成“低排放低投入”的资源再生化模式。由此,农业集约化、绿色化和资源再生化的内在实现机制可通过图 5 揭示:

此外,由图 5 $\ln AP - \ln CE - RC - \ln AP$ 路径可推断,在农业绿色化未得到证实的情形下,推动农业集约化、绿色化、资源再生化发展的关键在于探索降低农业碳排放($\ln CE$)的多元化路径。加大降低农业碳排放的力度,有助于实现农业绿色化,且能够进一步影响资源消耗和农业产出,有效促进农业资源再生化和集约化发展,因此抓住农业碳减排这个“牛鼻子”,是农业集约化、绿色化、资源再生化长期有效发展的关键。

三、结论与政策建议

1. 结 论

在构建资源消耗、农业产出和农业碳排放指标的基础上,通过 PVAR 模型考察三者之间的双向互动关系,最后得出以下三点结论:

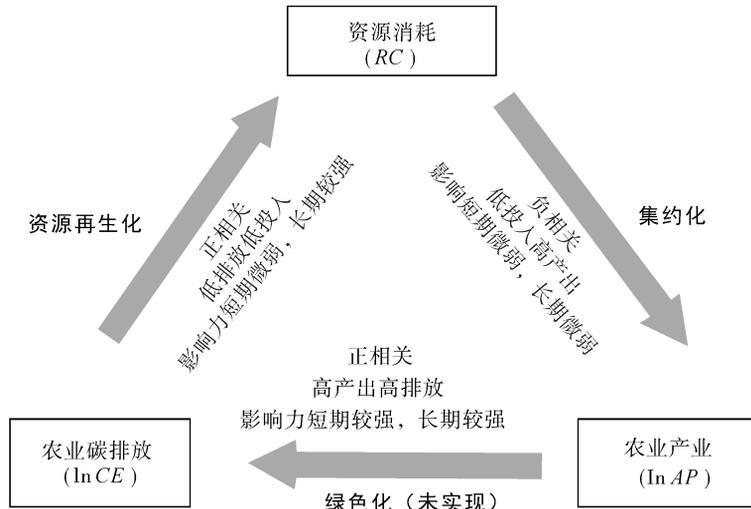


图5 农业集约化、绿色化、资源再生化的实现机制

(1)东部农业“碳达峰”节点出现较早,东北、西部相对较晚;2018年农业碳排放居前三的省份为湖南、黑龙江、河南,居后三的为北京、天津、上海。具体的:1)从时间维度来看,历年来资源消耗和农业产出中部最高、西部最低,农业碳排放中部最高、东部最低;四大地区农业碳排放增中有降,均跨越农业“碳达峰”节点,东部拐点出现相对较早(2010年),东北、西部较晚(2017年)。2)从地区维度来看,2018年农业碳排放居前三的省份为湖南、黑龙江、河南,居后三的为北京、天津、上海。单独来看,三项指标排名靠前的省份均多位于中部,排名靠后的均位于东部发达地区。

(2)资源消耗和农业产出之间呈现“低投入高产出”的农业集约化生产模式,但效应微弱;农业产出和农业碳排放之间“高产出高排放”的情形长期面临农业绿色化的严峻考验;农业碳排放与资源消耗之间呈现“低排放低投入”的资源再生化现象,影响力短期微弱长期较强。具体的:1)GMM结果表明资源消耗负向影响农业产出,影响程度微弱且不稳定。脉冲响应图表明农业产出对资源消耗在滞后2期后的一段时间内呈现微弱负响应,“低投入高产出”的农业集约化生产模式效应微弱。2)GMM结果表明农业产出正向影响农业碳排放,影响程度较强且非常稳定。脉冲响应图表明农业碳排放对农业产出在当期呈现很高的正响应并维持较长时间,农业“高产出高排放”的局面未得到有效改善,突破农业绿色化发展瓶颈面临较大挑战。3)GMM结果表明农业碳排放正向影响资源消耗,影响程度微弱且稳定。脉冲响应图表明资源消耗对农业碳排放在滞后1期呈现较强正响应且保持较长时间,反映出农业“低排放低投入”的资源再生化模式。

(3)推动农业集约化、绿色化、资源再生化发展的关键在于探索降低农业碳排放的多重路径。如图5,由资源消耗、农业产出和农业碳排放之间的影响路径可知,绿色化通过动态互动未得到证实,必须挖掘农业产出之外的碳减排路径,开拓降低农业碳排放的多元有效途径,同时由三者的互动关系可知,农业碳减排能够有效促进农业资源再生化和集约化发展,因此推动农业集约化、绿色化、资源再生化的循环路径的关键在于多方位探索农业碳减排的途径。

2.政策建议

基于以上结论,为加快推动农业集约化、资源再生化、绿色化,形成资源节约型、生态循环型、绿色低碳型的农业发展模式,提出以下三点建议:

第一,完善资源消耗减物质化引导策略,强化农业集约化生产模式。在以提高农业产出为目标的情形下,必须避免以农业资源消耗的大量投入来提升农业产出。建议大力发展农业适度规模经营,有效降低农业投入成本;推动农业机械化、平台化、智能化发展,加快资源节约型农业建设;借助市场化手段形成新型农业生产模式,在自愿的基础上建立发展集约化的农业生产合作组织。

第二,全面推进农业碳减排工作,充分利用资源再生化发展生态农业。推进农业碳减排工作要优

化碳减排区域布局,合理利用农业废弃物展开资源再生化。具体应从 3 个方面开展:推进东中西部和东北碳减排工作均衡发展,加大经济效益对落后地区碳减排的投入;强化畜禽粪污、秸秆等有机废弃物资源再生化模式,推动形成生态循环型农业;充分发展农业资源再生化社会化服务,推动形成生态循环农业产业链体系。

第三,充分挖掘农业碳减排潜力,探索形成农业绿色化格局新路径。实现农业绿色化应大力挖掘碳减排潜力,推动经济效益生态效益同步提升。一方面,农业可持续发展即要“节源”又要“开流”,充分探索低碳技术投资、低碳补偿、碳排放交易等多种形式的减排措施,激发碳减排动力和潜力。另一方面以环境容量为基础,优化调整农业生产结构,促进生产生态协调发展,构建发展低碳农业长效机制。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院印发<关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见>[EB/OL]. (2021-02-22)[2021-02-26]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-02/22/content_5588304.htm.
- [2] 中华人民共和国农业农村部. 关于印发<国家质量兴农战略规划(2018—2022 年)>的通知[EB/OL]. (2019-02-20)[2020-02-25]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2019/201902/201905/t20190517_6309469.htm.
- [3] CHEN W, PENG Y, YU G. The influencing factors and spillover effects of interprovincial agricultural carbon emissions in China[J]. *Plos one*, 2020, 15(11): e0240800.
- [4] 王若梅, 马海良, 王锦. 基于水-土要素匹配视角的农业碳排放时空分异及影响因素——以长江经济带为例[J]. *资源科学*, 2019, 41(8): 1450-1461.
- [5] 程琳琳. 中国农业碳生产率时空分异:机理与实证[D]. 武汉:华中农业大学, 2018.
- [6] 陈银娥, 陈薇. 农业机械化、产业升级与农业碳排放关系研究——基于动态面板数据模型的经验分析[J]. *农业技术经济*, 2018(5): 122-133.
- [7] 刘丽娜, 王春好, 袁子薇, 等. 区域农业碳排放 LMDI 分解和脱钩效应分析[J]. *统计与决策*, 2019, 35(23): 95-99.
- [8] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(8): 80-86.
- [9] ZHAO R, LIU Y, TIAN M, et al. Impacts of water and land resources exploitation on agricultural carbon emissions: the water-land-energy-carbon nexus[J]. *Land use policy*, 2018, 72: 480-492.
- [10] 王兴, 马守田, 濮超, 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.
- [11] 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.
- [12] 洪业应. 农业碳排放与经济增长关系的实证研究——基于环境库兹涅茨曲线的检验[J]. *浙江农业学报*, 2015, 27(9): 1664-1669.
- [13] HAN H, ZHONG Z, GUO Y, et al. Coupling and decoupling effects of agricultural carbon emissions in China and their driving factors[J]. *Environmental science and pollution research*, 2018, 25(25): 25280-25293.
- [14] ZHANG L, PANG J, CHEN X, et al. Carbon emissions, energy consumption and economic growth: evidence from the agricultural sector of China's main grain-producing areas[J]. *Science of the total environment*, 2019, 665: 1017-1025.
- [15] SALMAN M, LONG X, DAUDA L, et al. The impact of institutional quality on economic growth and carbon emissions: evidence from Indonesia, South Korea and Thailand[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 241: 118331.
- [16] ANTONAKAKIS N, CHATZIANTONIOU I, FILIS G. Energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth: an ethical dilemma[J]. *Renewable & sustainable energy reviews*, 2017, 68(1): 808-824.
- [17] 赵明轩, 吕连宏, 张保留, 等. 中国能源消费、经济增长与碳排放之间的动态关系[J]. *环境科学研究*, 2020, 34(6): 1-20.
- [18] 董康银. 低碳约束背景下中国能源转型路径与优化模型研究[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2019.
- [19] 窦睿音, 刘学敏. 中国典型资源型地区能源消耗与经济增长动态关系研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(12): 164-170.
- [20] 马莉, 叶强强. 能源消费与经济增长关系的实证研究——以陕西省为例[J]. *经济地理*, 2016, 36(6): 130-135.
- [21] ACHEAMPONG A O. Economic growth, CO₂ emissions and energy consumption: what causes what and where? [J]. *Energy economics*, 2018, 74: 677-692.
- [22] ASLAN A, ALTINOZ B, ATAY POLAT M. The nexus among climate change, economic growth, foreign direct investments, and financial development: new evidence from N-11 countries[J]. *Environmental progress & sustainable energy*, 2020, 40 (e13585).
- [23] DONG Y, JIN G, DENG X. Dynamic interactive effects of urban land-use efficiency, industrial transformation, and carbon emissions[J]. *Journal of cleaner production*, 2020, 270: 122547.
- [24] WU Z, HOU G, XIN B. The causality between participation in GVCs, renewable energy consumption and CO₂ emissions[J]. *Sustainability*, 2020, 12(3): 1-26.

- [25] ARROW K J. The economic implication of learning by doing[J]. Review of economics and statistics, 1962, 29(3): 155-173.
- [26] ROMER P M. Increasing returns and long-run growth[J]. Journal of political economy, 1986, 94(5): 1002-1037.
- [27] LUCAS R E. On the mechanics of economic development[J]. Journal of monetary economics, 1988(22): 3-42.
- [28] UK Department of Trade and Industry. Energy white paper: our energy future-create a low carbon economy[R]. 2003.
- [29] 庄贵阳, 潘家华, 朱守先. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[J]. 经济学动态, 2011(1): 132-136.
- [30] 潘家华, 庄贵阳, 郑艳, 等. 低碳经济的概念辨识及核心要素分析[J]. 国际经济评论, 2010(4): 88-101.
- [31] 赫尔曼·E·达利, 小约翰·B·柯布. 21世纪生态经济学[M]. 王俊, 韩冬筠, 译. 北京: 中央编译出版社, 2015.
- [32] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80-86.
- [33] 田云, 张俊飏, 李波. 中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2097-2105.
- [34] 夏四友, 赵媛, 许昕, 等. 近 20 年来中国农业碳排放强度区域差异、时空格局及动态演化[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(3): 596-608.
- [35] 彭立群, 张强, 贺克斌. 基于调查的中国秸秆露天焚烧污染物排放清单[J]. 环境科学研究, 2016, 29(8): 1109-1118.
- [36] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 21-27.
- [37] 田云. 中国低碳农业发展: 生产效率、空间差异与影响因素研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [38] 张鹤丰. 中国农作物秸秆燃烧排放气态、颗粒态污染物排放特征的实验室模拟[D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [39] 王媛媛, 刘颖, 陈实. 规模报酬、产出利润与生产成本视角下的农业适度规模经营——基于江汉平原 354 个水稻种植户的研究[J]. 农业技术经济, 2017(4): 83-94.
- [40] 许庆, 尹荣梁, 章辉. 规模经济、规模报酬与农业适度规模经营——基于我国粮食生产的实证研究[J]. 经济研究, 2011, 46(3): 59-71.

Implementation Mechanism of Agricultural Intensification, Greening and Resource-recycling: From a Low-carbon Perspective

ZHENG Yuyu¹, GE Chazhong², YU Fawen^{3*}

Abstract At the important historical opportunity to achieve the goal of “emissions peak and carbon neutrality”, it is of great significance to construct a resource-saving, low-carbon and ecology-recycling development model for sustainable agricultural development. Taking 31 provinces in China from 2000 to 2018 as the research objects, this paper portrayed the interactive mechanism among resource consumption, agricultural output and agricultural carbon emission by applying Panel Vector Autoregressive model (PVAR). The results are as follows. First, the agriculture “peak carbon dioxide emissions” node occurred earlier in the east, and later in the northeast and west. In 2018, the top three provinces in agricultural carbon emissions were Hunan, Heilongjiang and Henan, and the bottom three were Beijing, Tianjin and Shanghai. Second, the relationship between resource consumption and agricultural output presented an intensification mode of “low input, high output”, but with little impact. The “high output, high emission” scenario between agricultural output and agricultural carbon emissions is a long-term challenge to the greening of agriculture. There was a resource-recycling phenomenon of “low emission, low input” between agricultural carbon emissions and resource consumption, and its influence was weak in the short term and strong in the long term. Third, exploring multiple pathway to reduce agricultural carbon emissions was the key to promoting agricultural intensification, greening and resource-recycling. Accordingly, intensive production should be strengthened, resource-recycling mode should be fully developed, and a new path of green pattern in agriculture should be explored to accelerate the realization of carbon emission reduction and to promote the sustainable agricultural development.

Key words agricultural carbon emission; intensification; greening; resource-recycling; panel vector autoregressive model (PVAR)

(责任编辑: 陈万红)