

doi:10.16104/j.issn.1673-1891.2022.01.003

农业碳排放的时空演变、影响因素及脱钩效应研究 ——基于31省2000—2019年面板数据

郭险峰,艾静静

(中共四川省委党校,四川成都610071)

摘要:“30·60”碳达峰、碳中和目标背景下探讨碳排放问题具有重要的理论和现实意义。利用碳排放系数法和STIRPAT模型、Tapio脱钩模型,基于2000—2019年面板数据测算了我国31个省(市、区)农业碳排放量,旨在摸清我国省域农业碳排放的时空变化规律,探究农业碳排放的驱动因素,找到农业减排路径。结果表明:(1)我国农业碳排放量从2000年的27795.18万t增长到2019年的28396.16万t,增长2.16%;(2)得益于农业生产能力以及资源利用率的提高,农业碳排放强度下降大,从2000年到2019年,下降了79.47%;(3)第一产业从业人数、城镇化率、农业技术水平以及农业人均GDP对农业碳排放量有显著影响;(4)2001—2019年,我国农业碳排放总量与农业经济增长之间的脱钩关系以弱脱钩和强脱钩为主,并从弱脱钩逐渐向强脱钩转变。

关键词:农业碳排放;STIRPAT模型;Tapio脱钩模型;影响因素

中图分类号:X322;F323 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2022)01-0009-07

Temporal and Spatial Variation, Influencing Factors and Decoupling Effect of Agricultural Carbon Emissions: Based on Panel Data of 31 Provinces from 2000 to 2019

GUO Xianfeng, AI Jingjing

(Party School of the Sichuan Provincial Committee of CPC, Chengdu, Sichuan 610071, China)

Abstract: It is of great theoretical and practical significance to discuss the issue of carbon emission under the background of "30·60" carbon peak and carbon neutral target. Using Carbon emission factor method, STIRPAT model, Tapio decoupling model, and panel data from 2000 to 2019, this paper estimated agricultural carbon emissions of 31 provinces in China, aiming to understand the spatio-temporal variation of agricultural carbon emissions at provincial level, explore the driving factors of agricultural carbon emissions, and find ways to reduce agricultural carbon emission. The results show that: (1) China's agricultural carbon emissions increased from 277951800 tons in 2000 to 283961600 tons in 2019, an increase of 2.16%; (2) Due to the improvement of agricultural production capacity and resource utilization, agricultural carbon emission intensity decreased greatly. From 2000 to 2019, there was a drop of 79.47%; (3) The number of primary industry employees, urbanization rate, agricultural technology level and agricultural per capita GDP have a significant impact on agricultural carbon emissions; (4) From 2001 to 2019, the decoupling relationship between total agricultural carbon emissions and agricultural economic growth in China mainly includes weak decoupling and strong decoupling, gradually going from weak decoupling to strong decoupling.

Keywords: agricultural carbon emissions; STIRPAT model; Tapio decoupling model; influence factors

0 引言

气候问题所带来的环境问题严重阻碍了人类自然经济社会的发展,推进低碳甚至“零碳”战略已

成为全球关注的“热点”。习近平总书记在多个重要场合向世界庄严承诺“30·60”碳达峰、碳中和目标,这将促使我国生产、生活各领域进行重大改革和生态化转型,为“30·60”碳达峰、碳中和目标做

收稿日期:2021-10-31

作者简介:郭险峰(1978—),女,四川广汉人,教授,博士,研究方向:农村经济学、生态经济学。

做出贡献。当前,国务院和各省市已经就碳减排问题进行积极部署,出台行动方案,指导区域和行业行动。农业兼具碳汇和碳源双重特征,是实现碳达峰、碳中和的重要领域,也是应对气候变化的重要手段。中国自改革开放以来,农业高速发展,取得瞩目成就,但对资源的大量消耗也是事实,农业领域的碳排放问题也是整体碳排放的重要构成部分。基于此,作为农业大国,在紧迫的碳减排目标导向下,准确把握农业碳排放情况,厘清农业碳排放影响因素,推进传统农业向生态农业转型和升级,实现农业发展的生态合理化,为“30·60”目标实现做出农业领域贡献就具有重要现实意义。

1 相关文献梳理及述评

关于农业碳排放的研究最早可以追溯到《京都议定书》。19世纪20年代初期,学者们从农业碳排放的来源探讨开始,此后国内外学者对于农业碳排放的驱动因素、测算方法、影响、减排举措等做了大量研究。学者们的研究主要集中在以下几个方面:第一,农业碳排放的碳源及测算。学者们多认为除去必需的生产资料投入,还得考虑在生产过程中的化肥、农药、灌溉、农膜、农作物耕种等因素对农业碳排放的影响^[1-2]。第二,农业碳排放的驱动(抑制)因素。目前,学者们多采取 Kaya 恒等式、对数平均迪氏分解模型和 STIRPAT 模型等分析生产效率、产业强度、农业劳动力等因素对农业碳排放的影响^[3-5]。第三,农业碳排放与经济增长之间的关系。学者们主要运用 Tapio 脱钩模型以及环境库茨涅兹曲线检验分析^[6-7]。第四,农业生产的低碳减排举措。目前,关于农业碳减排的路径研究,大部分学者认为政府应充分发挥作用,根据当地实际情况,制定针对性的政策,制定合理完善的补偿机制^[8-9]。

从以上文献可以看出,农业碳排放研究是碳排放研究领域的重要板块,研究角度多、视野广,形成了较为系统、完整的研究框架。但很多研究限于对某个具体省域的研究,而横向考察所有省域,纵向观察较长时间节点的研究则较为缺乏。本文借用已有模型和先进理论经验,利用 2000—2019 年面板数据对我国 31 个省(市、区)的农业碳排放情况进行研究,掌握农业碳排放时序变化特征、主要影响因素以及脱钩效应,以期为我国农业碳减排提供一定的参考。

2 研究方法及指标来源

2.1 农业碳排放总量测算方法

参考现有文献,本文测算的农业碳排放总量 I 主要包括农业生产投入碳排放、稻田碳排放、畜禽养殖碳排放 3 方面。用公式表示如下:

$$I = \sum T_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中: T_i 为第 i 种碳排放源的量; δ_i 为第 i 种碳排放源的碳排放系数。

2.1.1 农业生产投入碳排放量测算方法

农业生产过程中产生的碳排放主要包括 3 个方面:第一,生产投入活动过程中产生的碳排放,包括农药、农膜、化肥、农用柴油等农业投入品使用;第二,农作物灌溉所消耗的电能产生的碳排放;第三,翻耕土壤破坏有机碳时,土壤中的碳与空气中的氧的化学反应所产生的碳排放。农业碳排放系数如表 1 所示。

表 1 农地利用碳排放系数

碳源	碳排放系数	参考来源
化肥	0.895 6 kg C/kg	美国橡树岭国家实验室
农药	4.934 1 kg C/kg	美国橡树岭国家实验室
农膜	5.180 0 kg C/kg	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
柴油	0.592 7 kg C/kg	IPCC
翻耕	3.126 0 kg C/hm ²	伍芬琳等 ^[10]
灌溉	266.480 0 kg C/hm ²	段华平等 ^[11]

2.1.2 稻田碳排放量测算方法

水稻种植过程中,甲烷菌分解稻田里的有机物会产生碳排放,参考田云等^[6]的研究,稻田甲烷系数取 0.46 g/(m²·d),水稻生长周期取 130 d。同时,根据 IPCC 第 4 次评估报告,将 1 t CH₄ 折算成 6.82 t C。

2.1.3 畜禽养殖碳排放量测算方法

畜禽养殖产生的碳排放主要包括 2 个方面:一是畜禽肠道发酵排放的 CH₄,二是畜禽粪便管理产生的 CH₄(表 2)。

表 2 畜禽养殖产生的碳排放

碳源	肠道发酵碳排放因子	粪便管理碳排放因子	参考来源
猪	1	0.740	IPCC
牛	61	17.680	IPCC
羊	5	0.148	IPCC
其他畜禽	0	0.020	IPCC

由于不同畜禽饲养周期也不尽相同,参考胡向东等^[12](2010)、闵继胜等^[13](2012)的研究,本文在计算时对畜禽年平均饲养量进行调整。

当出栏率 ≥ 1 时,平均饲养量根据出栏量进行调整,如下式所示:

$$N_i = A_i \times \frac{M_i}{365} \quad (2)$$

式中: N_i 为*i*种畜禽年平均饲养量; A_i 为*i*种畜禽平均生长周期; M_i 为*i*种畜禽年生产量(出栏量)。其中生猪饲养周期取 200 d,禽类饲养周期取 55 d。

当出栏率 < 1 时,畜禽年平均饲养量根据年末存栏量进行调整:

$$N_i = \frac{C_{it} + C_{i(t-1)}}{2} \quad (3)$$

式中: $C_{it}, C_{i(t-1)}$ 分别表示该牲畜当年年末存栏量和前一年年末存栏量。

2.2 农业碳排放强度测算方法

由于在发展过程中不能单纯只考虑环境因素而忽视所带来的经济效益,而碳排放强度同时兼顾两者,用来衡量一国经济同碳排放之间的关系,成为我国在战略转型过程当中进行排污治理与环境保护政策制定的重要参考指标^[14]。农业碳排放强度是指单位农业生产总值所产生的农业碳排放量,反映了农业碳排放量与该地区经济发展之间的关系。从现实意义和实践意义角度出发,公式如下:

$$E = \frac{I}{A_r} \quad (4)$$

式中: E 为农业碳排放强度; A_r 为农林牧渔总产值。

2.3 STIRPAT 模型

IPAT 模型最先由西方学者 Ehrlich 和 Hddlen^[15]在 20 世纪最先提出的关于环境符合的公式,即: $I = A \times P \times T$ 。它可以广泛地应用分析人口、技术、经济等时空因素对于碳排放的作用,具有数学形式简单、分解无残差等优点。但随着现代社会技术经济的发展,该模型的缺陷也日益明显,主要在于因变量对各个自变量的弹性系数恒等于 1,且可分析的变量数目较少,不能全面客观真实地反映实际问题。因此,Dietz 等^[16]对此模型进行改进,弥补 IPAT 模型的不足,建立 STIRPAT 可拓展的随机性的环境影响评估模型,公式如下:

$$I = \alpha P^b \times A^c \times T^d e \quad (5)$$

式中: α 为模型的系数; b, c, d 分别为人口、经济状况、技术水平的指数; e 为误差项。

通过修正,可以分析自变量对因变量的非线性影响。但在实际应用中,本文模型的设定选择的是

多项式估计形式,为了减少数据不稳定性带来的波动,消除数据可能出现异方差等现象,通常转换为对数形式:

$$\ln I = \ln \alpha + b \ln P + c \ln A + d \ln T + e \quad (6)$$

2.4 脱钩指数计算

20 世纪 60 年代首次提出的“脱钩”理论被 OECD(经济合作与发展组织)于 20 世纪末引入环境与资源关系研究中,脱钩理论上衍生的 OECD 脱钩指数模型,存在易受极端值影响而产生偏差和划分过于粗放的缺陷。塔皮奥(Tapio)1970 年首次提出 Tapio 脱钩模型,以“弹性”为概念动态反映能源与经济 2 个变量的关系,不受统计量纲变化影响,改进了脱钩指数模型的缺陷。因此本文以 Tapio 脱钩模型为基础,计算出的脱钩弹性值 e 如下:

$$e = \frac{\Delta I / I}{\Delta \text{AGRI} / \text{AGRI}} \quad (7)$$

式中:ARGI 为经过换算后的可比农林牧渔生产总产值; ΔI 为当期碳排放总量较上期的变化量; ΔAGRI 为当期农业生产总值较上期的变化量。

基于前期学者研究,脱钩类型具体划分如表 3 所示。

表 3 脱钩类型划分

状态	环境压力	经济增长	弹性 e
负脱钩	扩张负脱钩	> 0	> 1.2
	强负脱钩	> 0	< 0
	弱负脱钩	< 0	$[0, 0.80)$
脱钩	弱脱钩	> 0	$[0, 0.80)$
	强脱钩	< 0	< 0
	衰退脱钩	< 0	> 1.2
连接	扩张连接	> 0	$[0.8, 1.2]$
	衰退连接	< 0	$[0.8, 1.2]$

2.5 指标来源

本文所有数据来源于 2001—2020 年全国 31 省(市、区)统计年鉴以及《中国统计年鉴》等,其中农林牧渔总产值、农业总产值以及其他相关数据以 2000 年为基准年价格计算,避免价格因素的影响。

3 实证结果及分析

3.1 我国农业碳排放量及强度

根据公式(1),计算我国 2000—2019 年我国农业碳排放量,结果如表 4 所示。从表 4 可以看出,稻田碳排放量 $>$ 农业生产投入碳排放 $>$ 畜禽养殖碳排放。2019 年,我国农业生产投入碳排放、稻田碳排放量、畜禽养殖碳排放占比分别为 43.36%, 34.52%, 22.12%。

表 4 我国 2000—2019 年农业碳排放量及碳排放强度变化

年份	农业生产投入 碳排放/万 t	增速%	稻田碳排放/ 万 t	增速%	畜禽养殖碳 排放/万 t	增速%	总排放/ 万 t	增速%	碳排放强度/ (kg·万元 ⁻¹)
2000	7 352.80		12 219.54		7 026.96		27 795.18		1 115.56
2001	7 564.32	2.88	11 750.77	-3.84	7 048.26	0.3	27 619.95	-0.63	1 055.02
2002	7 717.05	2.02	11 501.51	-2.12	6 773.58	-3.9	27 640.03	0.07	1 009.11
2003	7 850.00	1.72	10 810.88	-6.00	6 505.58	-3.96	27 347.23	-1.06	921.04
2004	8 285.12	5.54	11 573.86	7.06	6 592.89	1.34	28 836.98	5.45	795.74
2005	8 544.66	3.13	11 765.05	1.65	6 303.55	-4.39	29 723.71	3.07	753.44
2006	8 801.85	3.01	11 947.47	1.55	6 467.01	2.59	30 060.46	1.13	708.57
2007	9 130.59	3.73	11 794.21	-1.28	6 712.16	3.79	29 049.93	-3.36	594.15
2008	9 283.01	1.67	11 925.49	1.11	6 771.65	0.89	28 306.30	-2.56	488.02
2009	9 551.33	2.89	12 082.83	1.32	7 044.15	4.02	28 789.43	1.71	476.95
2010	9 831.80	2.94	12 183.41	0.83	7 063.52	0.28	29 199.07	1.42	421.22
2011	10 092.88	2.66	12 260.61	0.63	7 079.10	0.22	29 432.59	0.80	362.01
2012	10 320.53	2.26	12 291.08	0.25	7 035.82	-0.61	29 647.43	0.73	331.43
2013	10 495.15	1.69	12 362.32	0.58	7 067.76	0.45	29 925.24	0.94	308.52
2014	10 660.59	1.58	12 361.55	-0.01	7 194.25	1.79	30 216.39	0.97	295.58
2015	10 732.09	0.67	12 323.05	-0.31	7 310.05	1.61	30 365.19	0.49	283.64
2016	10 662.67	-0.65	12 539.28	1.75	7 316.09	0.08	30 518.04	0.50	272.26
2017	10 474.86	-1.76	12 539.77	0.00	6 836.25	-6.56	29 850.88	-2.19	273.03
2018	10 141.43	-3.18	12 110.08	-3.43	6 353.72	-7.06	28 605.23	-4.17	251.85
2019	9 801.63	-3.35	12 312.36	1.67	6 282.17	-1.13	28 396.16	-0.73	229.06

2000—2019 年,我国农业碳排放总量呈现出“下降—上升—下降—上升—下降”5个阶段的变化趋势(图 1)。第 1 阶段为 2000—2003 年,可能由于“三农”问题日益凸显,农民的积极性不断下降,农业发展受到阻碍,从而农业碳排放总量不断下降;第 2 阶段为 2004—2006 年,2004 年中央颁布以“三农”为主题的“一号文件”,表明国家对“三农”问题高度关注,农村税费改革,农业税废除,推动农业复苏;第 3 阶段为 2007—2008 年,2008 年我国遭遇的自然灾害比较多,阻碍了农业发展;第 4 阶段为 2009—2016 年,这一阶段农业发展迅速,中央对农业的大力财政支持以及众多行之有效的利农政策,支持农业发展,提高农业生产能力;第 5 阶段为



图 1 我国 2000—2019 年碳排放总量及强度变化趋势

2016—2019 年,这一阶段我国开始注重资源的合理开发和生态文明建设,向绿色农业转型,农业碳排放量逐渐降低。

从表 4 和图 1 可以看出,农业碳排放强度持续下降,这可能是由于随着科学技术的不断发展,我国已经逐渐从过去粗放式的生产方式向高质量农业发展转变。近年来,我国农业资源利用率和绿色农业取得明显成效。

3.2 我国农业碳排放的空间分布

对我国 31 省(直辖市、自治州)2000—2019 年的农业碳排放总量和碳排放强度进行测算分析,结果如表 5 和 6 所示。

由表 5 可知,我国农业碳排放总量较少的地区主要有西藏、青海、陕西、山西、北京、天津和上海等地。西藏、青海等地大部分在高原地区,地形地质复杂,且高山、荒漠、冰川多,可供使用的耕地面积少,不利于其农业发展;陕西和山西由于降雨量较少,且季节更替剧烈,旱灾频发,春季升温快、降水少导致气候更加干旱,极易造成春旱灾害;北京、天津和上海则是由于土地总面积小,故农业碳排放较低;碳排放总量较高的地区主要有四川、黑龙江和华东地区。这些地区地处平原、水资源和光照丰富,有利于农业生产活动,东北平原是水稻产地,而

华东地区地处长江中下游,被称为“鱼米之乡”,农业种植基础条件良好。

表 5 2000—2019 我国农业碳排放总量空间分布 万 t

	2000	2005	2010	2015	2019
安徽	1 669.31	1 641.83	1 559.23	1 614.95	1 651.68
北京	58.79	54.09	45.44	36.23	20.69
福建	773.08	693.13	645.81	625.40	508.35
甘肃	361.52	447.51	515.39	601.07	546.79
广东	1 546.98	1 430.87	1 330.45	1 332.67	1 186.23
广西	1 618.26	1 685.80	1 464.01	1 457.54	1 283.08
贵州	773.95	852.12	732.47	738.25	697.27
海南	272.80	268.51	280.42	274.57	219.03
河北	1 069.99	1 363.36	1 023.74	1 038.19	869.89
河南	1 682.14	1 928.54	1 841.41	1 874.09	1 486.25
黑龙江	1 181.90	1 325.26	1 905.50	2 148.81	2 351.14
湖北	1 455.03	1 531.97	1 565.57	1 644.40	1 589.46
湖南	2 219.95	2 316.37	2 341.57	2 422.95	2 319.84
吉林	667.95	810.54	844.94	931.59	889.34
江苏	1 516.16	1 550.24	1 528.80	1 542.68	1 473.35
江西	1 573.64	1 737.58	1 786.73	1 829.18	1 793.41
辽宁	575.47	725.51	823.87	795.88	670.04
内蒙古	549.63	756.30	910.94	989.94	1 001.89
宁夏	119.02	148.17	167.62	180.86	194.10
青海	281.74	290.81	314.70	318.46	338.14
山东	1 513.19	1 649.37	1 338.79	1 308.24	1 113.02
山西	307.79	318.39	263.93	297.60	283.30
陕西	425.91	478.92	448.26	488.01	461.72
上海	129.63	95.20	89.77	78.92	74.27
四川	1 823.86	1 939.96	1 857.39	1 876.30	1 695.47
天津	69.61	86.22	75.65	70.81	61.90
西藏	349.39	406.11	409.19	398.88	381.64
新疆	593.76	727.08	699.44	936.98	1 001.01
云南	1 134.85	1 165.26	1 182.27	1 322.19	1 193.19
浙江	950.40	755.03	700.86	657.12	551.94
重庆	529.50	543.69	504.93	532.43	488.76

从空间上看,全国 31 个省(直辖市、自治区)在区域上具有明显的差异性,西部地区农业碳排放强度相对就高(表 6);从时间上来看,从 2000—2019 年,我国农业碳排放强度逐渐降低,这表明在过去 20 年间,我国在农业碳减排方面取得了明显成效。

3.2 我国农业碳排放影响因素分析

基于 STIRPAT 模型的表达公式,可知环境受人口、经济及技术的影响,因此,结合我国具体情况,由于农业劳动力是对农业生产产生影响的直接

表 6 我国农业碳排放强度空间分布 kg/万元

	2000	2005	2010	2015	2019
安徽	1 368.28	985.38	527.58	367.80	319.96
北京	301.16	201.20	138.52	98.38	73.44
福建	745.28	496.46	279.93	168.22	109.64
甘肃	1 119.25	858.07	487.58	349.03	289.68
广东	942.88	584.61	354.33	241.42	165.31
广西	1 952.06	1 163.93	538.04	347.27	233.34
贵州	1 873.98	1 490.13	734.08	269.56	179.29
海南	874.64	564.23	341.44	207.39	129.65
河北	692.68	524.20	237.56	173.64	143.51
河南	848.93	582.69	321.13	245.26	174.00
黑龙江	1 890.74	1 023.83	751.29	425.93	396.48
湖北	1 292.67	862.80	447.05	287.05	237.88
湖南	1 817.1	1 126.5	618.24	430.31	362.19
吉林	1 096.08	771.58	456.66	323.40	364.08
江苏	810.91	601.57	355.77	219.42	196.36
江西	2 069.76	1520.21	940.09	639.77	515.16
辽宁	594.86	434.03	265.21	169.82	153.39
内蒙古	1 011.83	771.57	494.12	359.78	315.42
宁夏	1 529.84	1 073.69	547.89	374.45	331.89
山东	659.54	440.80	201.29	136.99	115.08
山西	954.68	658.10	251.88	195.45	174.17
陕西	916.13	655.40	269.06	173.45	130.55
上海	598.75	407.88	312.74	260.78	260.72
四川	1 290.49	789.42	455.04	294.19	214.91
天津	445.39	333.65	238.39	151.48	149.40
新疆	1 218.71	874.88	378.86	334.11	259.96
云南	1 666.69	1 090.47	653.00	390.82	241.75
浙江	894.16	528.63	322.55	224.01	164.50
重庆	1 283.32	821.04	494.48	306.32	209.07
西藏	6 824.00	5 995.00	4 060.53	2 668.72	1 793.34

因素,因此选取第一产业从业人数作为衡量人口的指标;在农业生产中,机械化水平的高低对于农业生产中碳排放的减少有着重要作用,因此选取农业机械化水平代表农业技术水平;经济的发展往往伴随着大量的能源消耗,产生大量的碳排放量,因此,选取农业人均 GDP 代表财产;同时,戴小文等^[17]认为,在城镇化建设的过程中,许多农业用地被征用,翻新土地、增加基础设施建设、农业人口迁徙等行为都会增加农业人均碳排放。

将衡量指标带入 IPAT 模型中,并对模型进行扩展,得到:

$$I = \alpha P^b \times T^c \times W^d \times U^e \times E \quad (8)$$

式中: P 为农业从业人员数; T 为农业技术水平; W 为农村人均 GDP; U 为城镇化率。为降低模型误差,对等式两边取自然对数处理:

$$\ln I = \ln \alpha + b \ln P + c \ln T + d \ln W + e \ln U + \ln \varepsilon \quad (9)$$

同时基于国家统计局的划分标准,将我国划分为东部、中部、西部及东北地区。东部包括北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南,中部包括山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南,西部包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆,东北包括辽宁、吉林和黑龙江。我国农业碳排放影响分析结果如表 7 所示。

表 7 我国农业碳排放影响因素分析

模型	全国	东部	中部	西部	东北部
农业从业人数(P)	0.614*** (0.041)	0.496*** (0.053)	0.627*** (0.072)	0.540*** (0.120)	1.596*** (0.095)
城镇化率(U)	-0.202** (0.082)	0.003 (0.127)	-0.55*** (0.156)	0.015 (0.222)	-0.837*** (0.209)
农业技术水平(T)	0.198*** (0.023)	0.180*** (0.032)	-0.172*** (0.063)	0.084* (0.045)	0.944*** (0.030)
农村人均 GDP(W)	0.044 (0.027)	-0.111*** (0.034)	0.430*** (0.061)	0.050 (0.081)	-0.364*** (0.055)
r^2	0.806	0.905	0.683	0.440	0.966
Prob(F)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 的显著性。() 内为统计量。

由表 7 可知,第一产业从业人数、城镇化率以及农村技术水平对我国农业碳排放具有显著影响。第一产业从业人数每增加 1%,农业碳排放总量增加 0.614%;城镇化率每增加 1%,农业碳排放总量下降 0.202%;技术水平每增加 1%,农业碳排放总量上升 0.198%。第一产业从业人数对农业碳排放总量呈现出正效应。这是由于我国是传统农业大国,目前正处于向现代农业的转型期,第一产业从业人员大多学历不高,自身环保意识不强,造成资源消耗,造成农业碳排放增加,同时第一产业从业人数的增加会导致从事农业劳动生产的人数增多,间接促进了化肥等农业化学品的使用。农业技术水平增加,农业机械化总动力增加,必然导致能源消耗的提高,农业碳排放量增加。城镇化率提高,农业人口规模下降,人口素质提高、更加注重生态环境问题,低碳理念普及对农业碳排放增长起到抑制作用。

东部地区第一产业从业人数及农业技术水平对农业碳排放总量呈现出驱动作用,农村人均 GDP 对农业碳排放量总量呈现出抑制效应;这是由于我国东部地区经济发展态势良好,大量从业人员向第二产业和第三产业转移,对农业碳排放总量影响

大。根据环境库茨涅兹曲线,总体状况来看,农业人均 GDP 和农业碳排放是呈现倒 U 型曲线,在到达顶点之前,农业人均 GDP 会对农业碳排放起到正相关作用;达到顶点之后,则会对农业碳排放起到负相关作用。东部地区经济发达,农业 GDP 增加,农业碳排放量反而会下降。中部地区第一产业从业人数、城镇化率、农业技术水平和农业人均 GDP 均对农业碳排放影响显著,这是由于我国中部地区多是农业大省,而城镇化率的增加抑制了农业发展,从而减少了农业碳排放量,对于农业技术水平来说,技术水平的提高产生了规模效应,提高了土地的资源利用率。西部地区第一产业从业人数和农业技术水平对农业碳排放量呈正向显著作用,这是由于西部地区农业机械化水平不高,消耗过多能源,从而增加了农业碳排放量。东北地区第一产业从业人数、城镇化率、农业技术水平以及农业人均 GDP 都对农业碳排放量产生显著作用,这是由于东北地区城镇化率低、农业技术水平不高,及农业基础不强,造成农业碳排放总量增加。

3.4 我国农业碳排放与农业经济增长关系分析

基于 Tapio 脱钩弹性公式,计算得出 2001—2019 年我国农业碳排放与农业经济增长之间的脱钩关系,如表 8 和图 2 所示。

表 8 2001—2019 年我国农业碳排放与农业经济增长之间的

脱钩关系				
年份	$\Delta I/I$	$\Delta \text{AGRI}/\text{AGRI}$	e	脱钩类型
2000				
2001	-0.006 30	0.042 38	-0.148 74	强脱钩
2002	0.000 73	0.050 47	0.014 41	弱脱钩
2003	-0.010 59	0.066 94	-0.158 27	强脱钩
2004	0.054 48	0.164 60	0.330 95	弱脱钩
2005	0.030 75	0.065 20	0.471 64	弱脱钩
2006	0.011 33	0.019 18	0.590 60	弱脱钩
2007	-0.033 62	0.131 05	-0.256 51	强脱钩
2008	-0.025 60	0.108 21	-0.236 57	强脱钩
2009	0.017 07	0.036 03	0.473 68	弱脱钩
2010	0.014 23	0.102 80	0.138 42	弱脱钩
2011	0.007 92	0.099 64	0.079 46	弱脱钩
2012	0.007 38	0.068 49	0.107 74	弱脱钩
2013	0.009 37	0.050 78	0.184 53	弱脱钩
2014	0.009 73	0.030 30	0.321 11	弱脱钩
2015	0.004 93	0.028 25	0.174 33	弱脱钩
2016	0.005 03	0.025 52	0.197 29	弱脱钩
2017	-0.021 86	0.013 62	-1.605 44	强脱钩
2018	-0.041 73	0.017 49	-2.386 54	强脱钩
2019	-0.007 31	0.057 62	-0.126 84	强脱钩

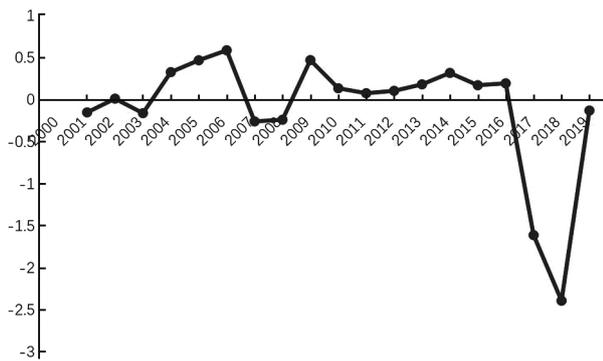


图 2 2001—2019 年我国农业碳排放与农业经济增长脱钩指数变动趋势

从表 8 和图 2 可以发现,2001—2019 年,我国农业碳排放总量与农业经济增长之间的脱钩关系以弱脱钩和强脱钩为主,并从弱脱钩逐渐向强脱钩转变,即农业经济正向增长、农业碳排放量也正向经济增长,但农业经济增长的速度要快于农业碳排放量,理想脱钩年份(强脱钩、弱脱钩)占比 100%,具体而言,可分为 2 个阶段:第 1 阶段是 2001—2008 年,为波动期。这一时期,中央“一号文件”连续多年下达促农惠农补贴政策,刺激农民生产积极性,农用生产物资使用量大幅增加导致碳排放量突升,同时农林牧渔总产值也不断攀升。第二阶段是 2009—2019 年,为上升期。这一时期,我国开始逐渐重视绿色发展,探索绿色农业,从传统农业向现代绿色农业转型,此时我国的农业碳减排已经逐步取得成效。

4 结论与建议

4.1 结论

在利用 2000—2019 年全国省域面板数据,测算农业碳排放量的基础上,探究农业碳排放的影响因素以及与农业经济之间的脱钩类型,得出以下结论。

1) 由于我国地域辽阔,各地自然地理条件、环境状况以及经济基础差异明显,农业碳排放结果也有一定的差异性,高碳排放区域主要集中在南部和东北地区。

2) 基于 STIRPAT 模型,对我国农业碳排放量影响因素进行分析,发现第一产业从业人数、城镇化率、农业技术水平以及农业人均 GDP 对农业碳排放量由有显著影响。

3) 我国农业碳排放总量与农业经济增长之间的关系以弱脱钩和强脱钩为主。

4.2 建议

进入 21 世纪后,生态环境问题日益严峻而生态目标日益迫切,尤其是“30·60”碳目标的实现更对农业碳减排提出了迫切要求。基于以上分析和结论,提出如下建议。

1) 政府部门应因地制宜,制定节能减排政策,碳减排实施过程中,有关部门应重点关注农业碳排放的高值区,预防农业碳排放区域差异扩大。对于农业碳排放的低值区,政府部门可结合当地的自然状况和农业经济发展状况,积极引导和鼓励农民开展低碳农业生产。

2) 政府部门首先应进一步出台政策,改革人口制度,完善劳动力市场,推进农村剩余农业劳动力转移,减少农村剩余劳动力数量。同时,在农业生产过程中加强低碳减排环保意识的培育教育和农业高新技术的运用,特别是生态技术运用,在提高农业生产效率的同时降低农业生产污染。其次,推进新型城镇化建设,特别是人口的城镇化,通过人口、土地等资源要素的聚集化、规模化,实现产业结构的优化,发展清洁生产。最后,在农业现代化的进程中,推广农业机械化也应注重使用效率,努力减少无效资源浪费。

3) 我国在绿色农业发展方面还是取得了一定的成效。通过分析农业碳排放和农业经济增长之间的关系,可以发现我国农业碳排放与农业经济增长处于相对理想状态,但由于各区域经济发展水平不一,以及自然资源条件的差异性,中国低碳转型进程有待结合各省份的经济发展水平、碳排放的变化趋势及其脱钩状态制定针对性的低碳发展路线图。

参考文献:

- [1] LAL R. Carbon emission from farm operations[J]. Environment International, 2004(30): 981-990.
- [2] 田成诗,陈雨. 中国省际农业碳排放测算及低碳化水平评价——基于衍生指标与 TOPSIS 法的运用[J]. 自然资源学报, 2021, 36(2): 395-410.
- [3] 曹俊文,曹玲娟. 江西省农业碳排放测算及其影响因素分析[J]. 生态经济, 2016, 32(7): 66-68+167.
- [4] 何炫蕾,陈兴鹏,庞家幸. 基于 LMDI 的兰州市农业碳排放现状及影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(7): 150-158.

- [11] TONE K. Dealing with undesirable outputs in DEA: a Slacks-Based Measure (SBM) approach [J]. National Graduate Institute for Policy Studies, 2003(6): 44-45.
- [12] CHUNG Y H, FàRE R, GROSSKOPF S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach [J]. Microeconomics, 1997, 51(3): 229-240.
- [13] 张荣楠, 张兰婷, 韩立民. 农业生态效率评价及提升路径研究——基于山东省 17 个地级市的实证分析 [J]. 生态经济, 2021, 37(4): 118-124+131.
- [14] 宋亮, 万建洲. 缺失数据插补方法的比较研究 [J]. 统计与决策, 2020, 36(18): 10-14.

(上接第 15 页)

- [5] 李兰兰, 於冉, 於忠祥, 等. 基于 STIRPAT 模型的长江经济带农业碳排放时空特征及影响因素分析 [J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2020, 29(5): 32-37+132.
- [6] 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.
- [7] 高标, 房骄, 卢晓玲, 等. 区域农业碳排放与经济增长演进关系及其减排潜力研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 13-18.
- [8] HOFFERT M I. Advanced technology paths to global climate stability: energy for a green house planet [J]. Science, 2002(5595): 981-987.
- [9] 黄山美. 发展低碳农业的碳市场机制初探 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 395-401.
- [10] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响 [J]. 生态学杂志, 2007(12): 2035-2039.
- [11] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析 [J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 203-208.
- [12] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算 [J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252.
- [13] 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.
- [14] 张文婧, 廖进中, 廖任飞. 关于“单位 GDP 碳排放”概念的探析 [J]. 湖南大学学报(社会科学版), 2010, 24(5): 74-76.
- [15] EHRLISH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth [J]. Science, 1971(171): 1212-1217.
- [16] DIETAT, ROSAEA. Effects of population and affluence on CP2, emissions [C] // Proceedings of the National Academy of Sciences, USA. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1997: 175-179.
- [17] 戴小文, 何艳秋, 钟秋波. 中国农业能源消耗碳排放变化驱动因素及其贡献研究——基于 Kaya 恒等扩展与 LMDI 指数分解方法 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1445-1454.