

蒋 岩, 韦陈华, 董振杰, 等. 江苏省粮食生产碳排放时序特征及脱钩弹性分析[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(16): 239–245.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.035

# 江苏省粮食生产碳排放时序特征及脱钩弹性分析

蒋 岩, 韦陈华, 董振杰, 汪 源, 赵 灿, 霍中洋

(江苏省作物遗传生理重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心/扬州大学, 江苏扬州 225009)

**摘要:**为探究江苏省粮食生产碳排放时序特征及其与粮食总产值之间的变化关系,采用排放因子法估算了粮食生产碳排放量,并通过 Tapio 脱钩模型分析了脱钩关系。结果表明:江苏省粮食生产碳排放量呈先降后升再降的趋势,在 2003 年取得最低值 782.50 万 t,2020 年总碳排放量为 837.00 万 t,较 2000 年降低了 1.20%。但 2020 年粮食产量较 2000 年提高了 20.04%,说明生产单位粮食带来的碳排放量明显降低。各生产要素中,水稻种植和化肥投入产生的碳排放量最高,2020 年碳排放占比分别为 47.03%、30.04%。从碳排放结构来看,水稻种植的碳排放占比维持在 45% 左右,化肥和农药的碳排放量占比逐年下降,而农膜、农用柴油和土地翻耕则与之相反。从脱钩关系来看,2001—2003 年虽表现为强脱钩,但粮食产量大幅下滑。2004 年和 2005 年因粮食生产能力反弹呈扩张连接状态。2014 年后连续表现为强脱钩,且粮食产量和产值逐年提升,是理想的脱钩类型。综上所述,江苏省 2000—2020 年粮食生产总碳排放量得到明显控制,粮食生产能力逐年攀升,粮食生产碳排放与粮食总产值脱钩状态理想,碳减排成效显著。

**关键词:**江苏省;农业碳排放;时序特征;脱钩弹性

**中图分类号:**F327;F326.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)16-0239-06

全球气候变暖是当前世界亟待解决的严峻问题,气候变暖导致的海平面升高、冰川融化、极端天气频发等危害严重威胁人类生存和社会持续发展。人类活动造成的温室气体排放是引起全球变暖的主要根源<sup>[1-2]</sup>。自 1750 年工业革命后,全球经济腾飞发展,温室气体排放量也随之急剧上升,使得全球平均气温升高 1℃ 左右,引起全球气候剧变<sup>[3]</sup>。为此,学者呼吁改变传统以牺牲环境换取经济发展的方式,尽可能减少高碳能源消耗,大力发展低碳经济,寻求环境友好的经济发展方式<sup>[4]</sup>。我国为应对气候变化,在 2003 年提出“低碳经济”概念之初便将节能减排与生态环境保护作为经济发展的主要任务,在《巴黎协定》通过前便向世界做出减排承诺<sup>[5]</sup>。从“十一五”起,我国通过顶层设计严格管控碳排放,落实一系列政策和方案践行和落实我国的

减排承诺<sup>[6]</sup>。在 2020 年 9 月的第七十五届联合国大会,国家主席习近平提出“2030 年前实现碳达峰,2060 年前实现碳中和”这一重大战略目标,充分体现了大国领袖卓越的战略眼光,彰显了我国在全球气候变化问题上的责任担当<sup>[7]</sup>。

当前碳排放的估算方法主要有排放因子法、质量平衡法、实测法和模型法<sup>[8]</sup>。其中,排放因子法应用最为广泛,该方法主要根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《2006 年国家温室气体清单编制指南报告》获取排放因子,我国也编写完成《省级温室气体清单编制指南》<sup>[9]</sup>。农田、森林、草地等生态系统的光合作用实现碳汇,而农业生产活动也是仅次于工业活动的碳排放源<sup>[10]</sup>。农业活动以粮食生产为主,维持口粮自给自足是我国立国之本,关系着国运民生,如何平衡粮食产出和农业生产碳排放之间的矛盾成为我国农业发展面临的挑战。周思宇等研究发现,与 1979 年相比,我国东北三省 2015 年农作物生产碳排放强度降低了 1.54 t/hm<sup>2</sup>,但排放总量提高了 22%,主要与土地管理方式及农用品投入有关<sup>[11]</sup>。侯颖等衡量了农田人为活动所产生的碳排放,结果发现自然湿地改造成农田后,碳排放总量从 -15.38 t 升高至 6.54 t,田间种植和化肥投入是主要的碳来源<sup>[12]</sup>。严圣吉等进一步指出,甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亚氮(N<sub>2</sub>O)是作物

收稿日期:2022-05-12

基金项目:江苏省科技创新专项资金项目(编号:SBE2022350027);  
国家水稻产业技术体系专项(编号:CARS-01-28);扬州大学  
研究生科研与实践创新计划资助项目(编号:KYCX21\_3242);江苏  
省高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介:蒋 岩(1998—),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要从事  
水稻轻简化栽培技术研究。E-mail:mx120200671@yzu.edu.cn。

通信作者:霍中洋,博士,教授,主要从事水稻栽培生理研究。  
E-mail:huozoy69@163.com。

生产中主要的碳排放产物,分别占排放总量的 23% 和 15%<sup>[13]</sup>。邱子健等研究了江苏省农业碳排放时序特征,结果发现种植业的排放量远高于畜牧业,约占 75%<sup>[14]</sup>。上述研究都表明我国农业生产活动碳排放构成复杂,时序变化大,合理估算和分析这些变化有利于更好地实现碳减排。

作为粮食生产大省,江苏省在全国 3.39% 的耕地上产出了 5.58% 的粮食。为了更好地评估江苏省粮食生产碳排放现状,本研究通过排放因子法估算了江苏省粮食生产碳排放当量,分析 2000—2020 年碳排放的时序特征和排放结构变化,并分析了粮食生产碳排放和总产值间的脱钩关系,以期江苏省实现碳达峰和早达峰提供量化参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 粮食生产碳排放估算

参考前人研究<sup>[15]</sup>,选取粮食生产中 6 个碳源:化肥、农药、农膜、农用柴油、土地翻耕 and 水稻种植,建立粮食生产碳排放估算框架,各碳源的碳排放系数和数据来源见表 1,估算模型如下:

CE = \sum\_{i=1}^6 CE\_i = \sum A\_i \cdot F\_i. \tag{1}

式中:CE 为碳排放量;CE<sub>i</sub> 为第 i 种排放源的碳排放量;A<sub>i</sub> 为第 i 种排放源的活动水平;F<sub>i</sub> 为第 i 种排放源的碳排放系数。水稻种植主要产生甲烷(CH<sub>4</sub>),将其按 IPCC 评估报告中百年尺度 CO<sub>2</sub> 增温潜势的 28 倍换算成 CO<sub>2</sub> 来计算碳排放系数<sup>[15]</sup>。

表 1 粮食生产碳排放源和排放系数

碳排放源	碳排放系数	数据来源
化肥	895.6 kg/kg <sup>3</sup>	美国橡树岭国家实验室
农药	4 934.0 kg/kg <sup>3</sup>	美国橡树岭国家实验室
农膜	5 180.0 kg/kg <sup>3</sup>	南京农业大学
农用柴油	318.6 kg/kg <sup>3</sup>	联合国政府间气候变化专门委员会
土地翻耕	312.6 kg/km <sup>2</sup>	中国农业大学
水稻种植	1 786.9 kg/hm <sup>2</sup>	省级温室气体清单编制指南

为衡量江苏省 2000—2020 年生产单位粮食所带来的碳排放量,引入单位粮食碳排放量概念,公式如下:

C = CE / W. \tag{2}

式中:C 为单位粮食碳排放量;CE 为粮食生产碳排放量;W 为粮食产量。

1.2 Tapio 脱钩模型

选用 Tapio 脱钩模型来度量粮食生产碳排放量

与产值变化间的关系<sup>[16]</sup>,可分为负脱钩、脱钩和连接 3 种类型,脱钩状态的划分依据为 0.8 和 1.2,细分的 8 种具体状态见表 2。

脱钩弹性系数公式如下:

e = (\Delta CE / CE) / (\Delta G / G). \tag{3}

式中:e 为脱钩弹性;CE 为粮食生产碳排放量;\Delta CE 为粮食生产碳排放的增量;G 为粮食总产值;\Delta G 为粮食总产值的增量。

表 2 Tapio 脱钩弹性类别

类型	状态	环境压力 (\Delta CE / CE)	经济增长 (\Delta G / G)	脱钩弹性系数 (e)
负脱钩	扩张负脱钩	>0	>0	e > 1.2
	强负脱钩	>0	<0	e < 0
	弱负脱钩	<0	<0	0 \le e < 0.8
脱钩	弱脱钩	>0	>0	0 \le e < 0.8
	强脱钩	<0	>0	e < 0
	衰退脱钩	<0	<0	e > 1.2
连接	扩张连接	>0	>0	0.8 \le e \le 1.2
	衰退连接	<0	<0	0.8 \le e \le 1.2

1.3 数据来源

本研究中,粮食产量、化肥、农药、农膜、农用柴油、土地翻耕 and 水稻种植面积等数据均来自历年《江苏省统计年鉴》。其中,化肥使用量为折纯量,粮食产量为包括谷物、杂粮、薯类和豆类等在内的原粮。土地翻耕面积用农作物总播种面积代替(不包含水稻种植面积)。粮食总产值包括谷物、杂粮、薯类和豆类。采用 GDP 可比价,以 2000 年作为价格基期计算粮食总产值。

2 江苏省粮食生产碳排放时序特征和脱钩弹性分析

2.1 粮食生产时序特征分析

江苏省是粮食生产、流通和消费大省,优越的自然资源条件使江苏产粮优势明显。由图 1 可知,2000—2020 年江苏省粮食产量呈现先降后升的趋势,在 2003 年取得最低值 2 471.85 万 t。在粮食安全受到威胁时,江苏省通过政策调控、助农补贴和技术指导等手段确保粮食生产能力回升,并在 2020 年达到峰值 3 729.06 万 t,较 2000 年提高了 20.04%。年间增长为当年较前年粮食产量增长率,在 2001—2003 年逐年降低,分别降低 5.30%、1.19% 和 14.97%。在 2004 年触底反弹,增长 14.45%,在 2009 年后维持平稳增加的趋势,平均年间增长率为 1.34%。环比增速为当年较 2000 年粮

食产量增长率,2001—2006 年粮食产量均低于 2000 年,其中 2003 年较 2000 年低 20.43%,严重威胁省内粮食安全。2007 年后粮食产量开始高于 2000

年,粮食安全问题逐渐解决。现阶段,省内粮食产量增长基本匹配人口增长,实现自给自足,但仍需重视粮食生产,缓解我国粮食自给压力。

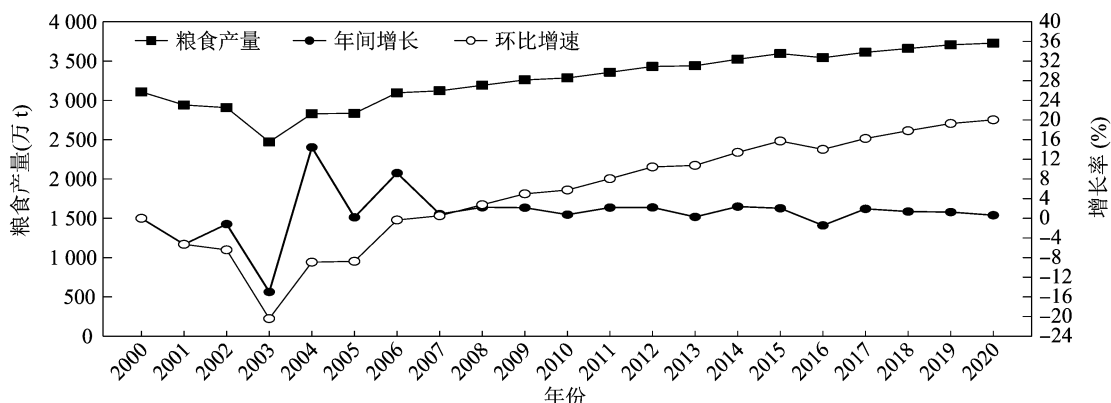


图1 江苏省 2000—2020 年粮食产量和增长率

## 2.2 碳排放时序特征分析

**2.2.1 总碳排放当量** 根据式(1)估算出江苏省 2000—2020 年粮食生产碳排放当量,2000—2020 年江苏省粮食生产碳排放总体呈现先降后升再缓慢降低的趋势(图2、表3)。在 2003 年达到最低值,为 782.50 万 t。在 2010—2014 年维持在 890 万 t 左右的水平,然后逐步降低。从年度增长来看,江苏省碳排在 2001 年、2003 年、2004 年和 2005 年波动较大,分别为 -3.91%、-3.15%、6.73% 和 3.38%,2005 年后波动区间为 -1.76% ~ 1.59%,2000—2020 年的年间增长率平均为 -0.04%。从环比增长来看,2001—2004 年碳排放低于 2000 年,分别低 3.91%、4.63%、7.63% 和 1.42%。2005—2018 年碳排放高于 2000 年,平均高 3.82%。2019 年和 2020 年江苏省粮食生产碳排放总量分别为 840.88 万和 837.00 万 t,分别较 2000 年的 847.15 万 t 降低 0.74% 和 1.20%。

**2.2.2 单位粮食碳排放量** 与 2000 年相比,江苏省粮食产量增长 20.04%,而碳排放总量降低 1.20%,说明随着粮食生产方式和栽培手段的创新,单位粮食生产所带来的碳排放当量大幅降低。为了衡量这一变化,引入单位粮食碳排放量,为粮食产量与碳排放总量的比值(表3)。2000 年生产 1 t 粮食带来的碳排放量为 0.272 7 t,2001—2008 年的单位粮食碳排放量均高于 2000 年,最高值为 2003 年的 0.316 6 t/t。2008 年后单位粮食碳排放量逐步降低,2020 年生产 1 t 粮食带来的碳排放量仅为 0.224 5 t,较 2000 年降低了 17.69%。

**2.2.3 生产要素碳排放当量** 由表3可知,从粮食

生产要素碳排放量来看,碳排放以化肥投入和水稻种植为主,土地翻耕产生的碳排放当量最少。2020 年,化肥、农药、农膜、农用柴油、土地翻耕和水稻种植的碳排放当量分别为 251.44 万、32.42 万、55.16 万、94.34 万、10.01 万、393.63 万 t,同比 2000 年分别增长了 -16.31%、-28.20%、71.73%、42.88%、3.30%、-0.03%。从 20 年变化来看,化肥和农药碳排放当量整体逐年下降,农膜、农用柴油和土地翻耕整体逐年上升。水稻种植碳排放当量呈先降后升的趋势,2005 年后稳定在 390.31 万 ~ 403.17 万 t 间,波动较小。在碳排放总量波动较大的 2001 年、2003 年、2004 年和 2005 年,水稻种植带来的碳排放当量年间增长分别为 -8.77%、-7.12%、14.77% 和 4.56%。这说明水稻种植面积的变化是上述年份碳排放总量波动的主要原因。

## 2.3 碳排放结构时序特征分析

图3为不同碳排放源带来的碳排放当量占当年粮食生产碳排放当量的比值,反映江苏省粮食生产碳排放结构在 20 年内的变化。2020 年碳排放源按占比大小依次为水稻种植、化肥、农用柴油、农膜、农药和土地翻耕,分别占 47.03%、30.04%、11.27%、6.59%、3.87% 和 1.20%。从 20 年内结构变化来看,水稻种植的碳排放占比先降后增,在 2003 年最低,占比为 42.04%,在 2004—2015 年稳定在 45% 左右,2015—2020 年逐步上升。综合碳排放总量和水稻种植碳排放当量来看,该阶段上升的主要原因与碳排放总量的降幅大于水稻种植碳排放的降幅有关。化肥投入的碳排放量占比先增后降低,2003 年达到峰值,为 38.42%。2004 年后逐步

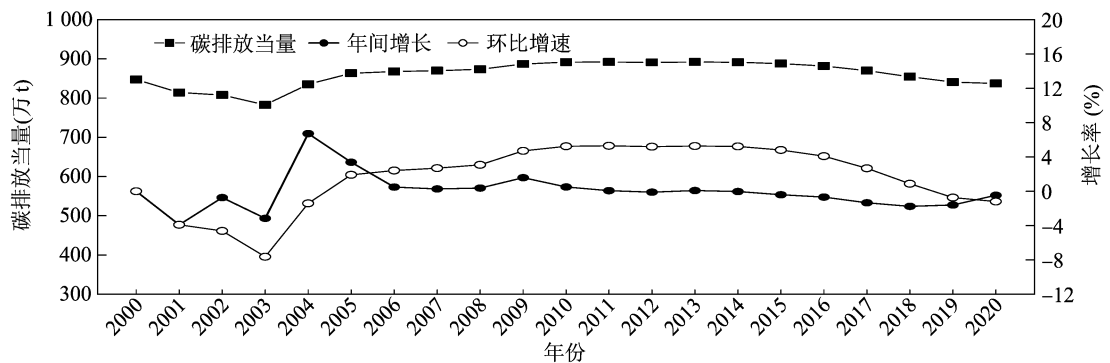


图2 江苏省 2000—2020 年粮食生产碳排放当量和增长率

表 3 江苏省 2000—2020 年粮食生产碳排放情况

年份	总碳排放当量 (万 t)	单位粮食碳 排放量(t/t)	各排放源碳排放当量(万 t)					
			化肥	农药	农膜	农用柴油	土地翻耕	水稻种植
2000	847.15	0.272 7	300.43	45.15	32.12	66.03	9.69	393.74
2001	814.01	0.276 7	302.71	45.20	32.61	65.28	8.99	359.21
2002	807.97	0.277 9	302.29	42.63	33.95	65.86	9.07	354.17
2003	782.50	0.316 6	300.63	43.37	34.39	66.35	8.81	328.96
2004	835.15	0.295 2	301.64	45.54	34.74	67.36	8.32	377.56
2005	863.39	0.304 6	305.23	50.97	35.52	68.44	8.44	394.79
2006	867.64	0.280 2	306.30	48.65	37.05	70.61	9.05	395.98
2007	869.96	0.278 6	306.32	47.76	39.67	70.07	9.29	396.84
2008	873.20	0.273 5	305.10	46.28	42.14	72.90	9.62	397.16
2009	887.05	0.272 0	308.09	45.54	46.53	79.83	9.71	397.36
2010	891.50	0.271 4	305.50	44.46	49.44	84.71	9.84	397.56
2011	892.07	0.265 7	302.01	42.68	52.50	86.86	9.95	398.08
2012	891.11	0.259 7	296.39	41.30	55.56	89.48	10.10	398.29
2013	891.80	0.259 2	292.70	40.06	57.63	92.81	10.14	398.46
2014	891.47	0.253 0	289.83	39.23	59.11	93.37	10.26	399.68
2015	887.82	0.247 0	286.58	38.53	55.85	94.36	10.39	402.11
2016	881.73	0.248 9	279.89	37.60	56.20	94.47	10.40	403.17
2017	869.86	0.240 9	272.13	36.12	56.79	94.69	10.28	399.86
2018	854.52	0.233 5	261.92	34.34	57.28	95.03	10.19	395.75
2019	840.88	0.226 9	256.33	33.26	56.35	94.64	9.99	390.31
2020	837.00	0.224 5	251.44	32.42	55.16	94.34	10.01	393.63

降低,从 36.12%降低至 2020 年的 30.04%。农药投入的碳排放占比呈降低趋势,从 2000 年的 5.33%降低至 2020 年的 3.87%,这主要和江苏省减肥减药政策和栽培技术优化有关。轻简高效施肥模式和新型缓控释肥提高了肥料的利用率,生物防治部分替代了化学防治,从而实现减肥减药、稳产减排。农用柴油投入的碳排放占比在 2000—2007 年保持在 8%左右,2008 年后逐年上升,从 2008 年的 8.35%上升至 2020 年的 11.27%,这和江苏省较高的农业生产机械化率有关。农膜带来的碳排放占比呈升高趋势,从 2000 年的 3.79%上升至 2020 年的 6.59%。农膜有着增温保湿的作用,促发芽和幼苗生长,通常用在作物生长初期,江苏

省薄膜育秧、地膜覆盖等栽培农艺的推广普及提高了省内农膜使用量,从而使得农膜碳排放占比升高。值得注意的是,2009 年后农膜投入的碳排放占比开始超过农药投入的碳排放占比,成为粮食生产碳排放第 4 位碳排放源。

2.4 脱钩弹性分析

根据公式(3)研究江苏省粮食生产碳排放脱钩弹性(表 4)。江苏省 2000—2020 年粮食生产总产值持续增长,经济增长波动范围为 0.006 6~0.072 7。粮食生产碳排放变化方面,2001—2003 年呈负增长,2004—2011 年呈正增长,2012 年呈负增长,2013 年呈正增长,2014—2020 年呈负增长。脱钩弹性特征为扩张连接、弱脱钩和强脱钩,其中除 2004 年和

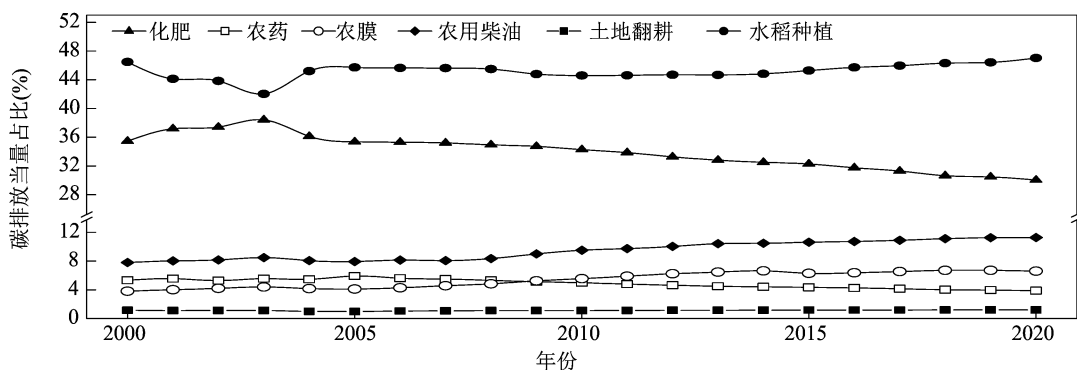


图3 江苏省 2000—2020 年粮食生产碳排放结构

表 4 江苏省 2000—2020 年粮食生产碳排放弹性结果

年份	环境压力 ( $\Delta CE/CE$ )	经济增长 ( $\Delta G/G$ )	脱钩弹性 ( $e$ )	状态
2000				
2001	-0.039 1	0.043 5	-0.899 1	强脱钩
2002	-0.007 4	0.036 5	-0.203 0	强脱钩
2003	-0.031 5	0.010 4	-3.038 7	强脱钩
2004	0.067 3	0.072 7	0.925 2	扩张连接
2005	0.033 8	0.035 7	0.947 3	扩张连接
2006	0.004 9	0.046 7	0.105 4	弱脱钩
2007	0.002 7	0.029 7	0.089 9	弱脱钩
2008	0.003 7	0.043 2	0.086 4	弱脱钩
2009	0.015 9	0.043 5	0.364 6	弱脱钩
2010	0.005 0	0.042 0	0.119 5	弱脱钩
2011	0.000 6	0.040 0	0.016 0	弱脱钩
2012	-0.001 1	0.045 7	-0.023 6	强脱钩
2013	0.000 8	0.024 9	0.031 2	弱脱钩
2014	-0.000 4	0.029 9	-0.012 6	强脱钩
2015	-0.004 1	0.025 4	-0.160 8	强脱钩
2016	-0.006 9	0.008 0	-0.861 3	强脱钩
2017	-0.013 5	0.022 2	-0.606 9	强脱钩
2018	-0.017 6	0.009 4	-1.882 6	强脱钩
2019	-0.016 0	0.006 6	-2.432 8	强脱钩
2020	-0.004 6	0.019 5	-0.237 5	强脱钩

2005 年外均呈脱钩状态。强脱钩代表经济正增长,而碳排放负增长。综合前文来看,2001—2003 年的强脱钩主要和粮食生产能力下调有关,严重威胁了粮食安全,是一种舍本逐末的强脱钩状态。扩张连接表明碳排放量与经济增长比例基本相当,呈线性关系(弹性系数在 0.8~1.2)。2004 年和 2005 年,粮食生产的反弹增长使碳排放带来的环境压力正增长,从而达到扩张连接的状态。2006—2011 年保持弱脱钩状态,碳排放量虽有增长,但涨幅不及经济增长,且该阶段粮食产量持续增长,说明江苏省内惠农政策和栽培农艺推广初现成效,粮食生产碳排放调控态势良好。2011 年后开始向强脱钩过渡,在维持粮食稳定增长的前提下,粮食生产碳排放量

开始出现下降趋势。在 2014 年由弱脱钩转变为强脱钩后,2015—2020 年连续 6 年强脱钩,且与 2001—2003 年相比,强脱钩的代价并非粮食产量降低,而是政策支持、技术推广、生产调控和低碳理念等所带来的理想型降低,有助于维持粮食安全,符合国家战略发展需求。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

本研究从粮食生产农用品投入、土地翻耕和水稻种植角度,根据碳排放因子法估算了 2000—2020 年江苏省粮食生产碳排放情况,分析了 20 年内江苏省粮食产量、碳排放量和结构的时序特征,并根据 Tapio 脱钩模型分析了粮食生产碳排放和总产值间的变化关系,主要结论如下。

(1) 江苏省粮食产量在 2003 年后触底反弹,随后平稳增加。2020 年粮食产量水平为 3 729.06 万 t,较 2000 年的 3 106.63 万 t 提高了 20.04%。同年总碳排放量为 837.00 万 t,较 2000 年的 847.15 万 t 降低了 1.20%,单位粮食碳排放量从 0.272 7 t/t 降低至 0.224 5 t/t,降低了 17.69%。江苏省粮食生产碳排放量主要来源为水稻种植和化肥投入,2020 年碳排放量分别为 393.63 万和 251.44 万 t。化肥和农药的碳排放量逐年降低,而农膜、农用柴油和土地翻耕的碳排放量逐年提高,水稻种植带来的碳排放量在 2005 年后维持平稳。这些结果表明近些年江苏省轻简化绿色生产和栽培技术推广成效显著,农业逐步走向低碳化。

(2) 从排放结构来看,水稻种植的碳排放占比最高,平均在 45% 左右。化肥、农药的碳排放占比从最高值 38.42% 和 5.90% 降低至 2020 年的 30.04% 和 3.87%,减肥减药成效明显。农膜、农用柴油和土地翻耕的碳排放占比分别从最低值

3.79%、7.79% 和 0.98% 提高至 2020 年的 6.59%、11.27% 和 1.20%，农膜的碳排放占比自 2009 年后超过农药。这些结果说明江苏省碳排放结构时序变化较大，后续政策制定应继续保持减肥减药原则，引导农膜使用标准化，通过栽培技术优化水稻种植碳排放。

(3) 江苏省 2000—2020 年碳排放脱钩弹性指数分布在  $-3.038\ 7 \sim 0.947\ 3$ ，呈现出扩张连接、强脱钩和弱脱钩 3 种状态。2001—2003 年的强脱钩主要与粮食产量的下降有关，是一种舍本逐末的脱钩状态。2004 年和 2005 年因粮食生产的反弹增长呈现扩张连接状态，随后维持较长时间的弱脱钩状态。自 2014 年转变为强脱钩后，2015—2020 年连续 6 年呈强脱钩状态，且粮食产量稳定上升，是由多方面努力实现的理想型脱钩状态。

### 3.2 建议

根据本研究结果，兼顾粮食安全、绿色低碳生产和种植业经济效益考虑，从政策引导、栽培农艺和碳排交易等角度提出如下建议。

**3.2.1 加强顶层布局，制度引导减排** 为推行绿色低碳的种植模式，促进农业可持续发展，我国在化肥农药投入、畜禽粪便管理及农业废弃物循环利用方面先后出台了一系列政策法规。正如本研究发现的，化肥和农药投入所带来的碳排放逐年降低。但粮食生产涉及多生产要素的投入，本研究发现的农膜和农用柴油的碳排放量逐年上升，需加以警惕。应进一步细化碳减排政策，针对区域重点碳排放源有针对性地控排、减排。政府应加强顶层布局，通过颁布法律法规、建立粮食低碳生产技术标准、碳减排考核制度等干预和引导种植户低碳生产。

**3.2.2 优化栽培农艺，技术推动减排** 农业是立国之本，粮食生产关系国运民生，保障粮食自给自足具有重要的战略价值。技术创新是平衡粮食产出和粮食生产碳减排的主要途径。粮食生产中肥料、农药等生产要素的投入，旋耕、灌溉方式等措施都会影响碳排放<sup>[17]</sup>。在栽培措施上，用免耕或少耕替代深耕，用间歇性节水灌溉替代传统灌溉方式都能降低碳排放<sup>[18-19]</sup>。复种经济作物，推广间套作，适度优化种植结构也可显著降低温室气体排放<sup>[20]</sup>。此外，水稻种植过程中，通过秸秆还田、侧深施肥、绿肥固碳、选用低排放水稻品种和高效肥料产品等手段都能实现减碳增汇<sup>[21-24]</sup>。

**3.2.3 发展碳排交易，机制促进减排** 碳排放交易

是将温室气体排放权作为商品进行买卖，是平衡区域温室气体排放供需的市场机制<sup>[25]</sup>。目前我国有 7 个试点碳市场，控排产业需按配额排放，超额需购买额外配额，从而控制排放总额不变，按需交易配额<sup>[26]</sup>。农业兼顾碳排和碳汇，应考虑将农业种植所产生的碳汇纳入工业碳交易市场，通过工业反哺农业。此外，发展农业碳市场还有助于鼓励农户低碳生产，通过售卖碳排放配额、政府补贴等手段，激励种植户低碳种植，减肥减药，促进粮食生产碳减排。

### 参考文献：

- [1] 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展:2009—2049[J]. 经济研究, 2010, 45(3): 129—143.
- [2] 付允, 马永欢, 刘怡君, 等. 低碳经济的发展模式研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3): 14—19.
- [3] 舒娱琴. 中国能源消费碳排放的时空特征[J]. 生态学报, 2012, 32(16): 4950—4960.
- [4] 付加铎, 庄贵阳, 高庆先. 低碳经济的概念辨识及评价指标体系构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(8): 38—43.
- [5] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量[J]. 地理学报, 2013, 68(10): 1418—1431.
- [6] 林斌, 徐孟, 汪笑溪. 中国农业碳减排政策、研究现状及展望[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 500—515.
- [7] 余建辉, 肖若兰, 马仁锋, 等. 国际贸易“碳中和”研究热点领域及其动向[J]. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1303—1320.
- [8] 刘学之, 孙鑫, 朱乾坤, 等. 中国二氧化碳排放量相关计量方法研究综述[J]. 生态经济, 2017, 33(11): 21—27.
- [9] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究——基于 DEA—Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129—138.
- [10] 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.
- [11] 周思宇, 郗凤明, 尹岩, 等. 东北地区耕地利用碳排放核算及驱动因素[J]. 应用生态学报, 2021, 32(11): 3865—3871.
- [12] 侯颖, 李红, 赵敏, 等. 从湿地到农田: 围垦对生态系统碳排放的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2517—2526.
- [13] 严圣吉, 邓艾兴, 尚子吟, 等. 我国作物生产碳排放特征及助力碳中和的减排固碳途径[J]. 作物学报, 2022, 48(4): 930—941.
- [14] 邱子健, 靳红梅, 高南, 等. 江苏省农业碳排放时序特征与趋势预测[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(3): 658—669.
- [15] 周一凡, 李彬, 张润清. 县域尺度下河北省农业碳排放时空演变与影响因素研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 570—581.
- [16] 张华明, 元鹏飞, 朱治双. 黄河流域碳排放脱钩效应及减排路径[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 59—69.
- [17] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放与经济发展的实证研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(12): 8—13.
- [18] Yoo G, Kim Y J, Lee Y O, et al. Investigation of greenhouse gas emissions from the soil amended with rice straw biochar[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2016, 20(6): 2197—2207.

李传哲,姚文静,杨 苏,等. 有机物料输入对黄河故道区土壤物理结构的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):245-250.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.036

# 有机物料输入对黄河故道区土壤物理结构的影响

李传哲<sup>1,2</sup>, 姚文静<sup>3</sup>, 杨 苏<sup>1</sup>, 徐 聪<sup>1</sup>, 马洪波<sup>1</sup>, 吴建燕<sup>4</sup>, 汪吉东<sup>1</sup>, 艾玉春<sup>1</sup>, 张永春<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部江苏耕地保育科学观测试验站, 江苏南京 210014;

2. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏淮安 223001; 3. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心/竹类研究所, 江苏南京 210037;

4. 烟台泓源生物肥料有限公司, 山东烟台 264000)

**摘要:**通过研究不同种类有机物料添加对典型黄河故道区耕层土壤物理性状的改良效果, 以期合理培肥、提升当地土壤耕地质量提供科学依据。以黄河故道区典型潮土和当地有机物料为供试材料, 连续 2 年进行定位试验, 设置 CK (不施有机物料)、M1 (有机肥 6 t/hm<sup>2</sup>) 及 M2 (有机肥 12 t/hm<sup>2</sup>)、S1 (秸秆菌渣 6 t/hm<sup>2</sup>) 及 S2 (秸秆菌渣 12 t/hm<sup>2</sup>)、B1 (树枝菌渣 6 t/hm<sup>2</sup>) 及 B2 (树枝菌渣 12 t/hm<sup>2</sup>) 共 7 个处理, 应用常规试验方法分析不同条件下土壤物理性状的变化。结果表明, 随着有机物料施用年限的增加, 土壤团聚体结构得到改善, >0.250 mm 粒径土壤水稳性团聚体的含量增加, <0.053 mm 粒径水稳性团聚体呈降低趋势, 且在 0~10 cm 土层施用效果优于 10~20 cm 土层; 有机物料输入可调节土壤三相比, 减少液相比和气相比, 增加固相比, 降低土壤三相结构距离 (STPED), 其中输入秸秆菌渣的 S2 处理土壤 STPED 值最低 (25.31), 与输入树枝菌渣的 B2 处理相比无显著差异 ( $P>0.05$ ), 土壤三相比均接近理想状态; 与 CK 相比, 有机物料施用可降低 10~20 cm 土层土壤紧实度; 树枝菌渣可显著降低土壤容重, 显著提高土壤田间持水量和土壤毛管孔隙度, 透水透气性增强, 土壤板结状况得到缓解。说明外源有机物输入对土壤物理性状有显著影响, 从土壤物理结构的改善效果考虑, 每年在耕作层施入树枝菌渣 12 t/hm<sup>2</sup> 为最佳施肥量。

**关键词:**黄河故道区; 有机物料; 水稳性团聚体; 土壤三相比; 土壤紧实度; 土壤容重; 土壤物理结构

**中图分类号:**S181; S152.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)16-0245-06

黄河故道是指黄河改道之后留下的一段主河道, 西起河南省兰考县三义寨和东坝头, 流经豫、鲁、皖、

苏 4 省 22 个县 (市), 总面积达 2 204 万 hm<sup>2</sup>, 是淮河与黄河流域之间一个独特的地理单元<sup>[1]</sup>。黄河故道潮土区受成土母质及地形等因素的影响, 土壤具有沙性重、结构差、有机质含量低、养分缺乏等障碍问题<sup>[2]</sup>。其中, 江苏省北部的黄河故道区是重要的粮食主产区<sup>[3]</sup>, 提升该区域低产潮土肥力, 对于实现“藏粮于地、藏粮于技”战略目标及农业的可持续发展具有现实和长远意义。

土壤是构成土壤肥力的物质基础, 是由固、液、

收稿日期: 2021-09-26

基金项目: 江苏省重点研发计划 (编号: BE2021378); 江苏省农业科技自主创新资金 [编号: CX(21)3070]; 国家重点研发计划 (编号: 2018YFD0800301-02)。

作者简介: 李传哲 (1990—), 男, 山东菏泽人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业资源利用研究。E-mail: lichuanzhe66@163.com。

通信作者: 汪吉东, 博士, 研究员, 主要从事土壤肥力管理研究。E-mail: jdwang66@163.com。

[19] 张海林, 孙国峰, 陈继康, 等. 保护性耕作对农田碳效应影响研究进展[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4275-4281.

[20] 殷 文, 柴 强, 樊志龙, 等. 绿洲灌区典型种植模式的水热利用与碳排放和能值分析[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3658-3668.

[21] 刘天奇, 胡权义, 汤计超, 等. 长江中下游水稻生产固碳减排关键影响因素及技术体系[J]. 中国生态农业学报 (中英文), 2022, 30(4): 603-615.

[22] Gupta K, Kumar R, Baruah K K, et al. Greenhouse gas emission from rice fields: a review from Indian context[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28(24): 30551-30572.

[23] Song J Y, Chen Y T, Mao Q, et al. The effect of early season rice

varieties and establishment methods on greenhouse gas emissions in southeast China [J]. Cereal Research Communications, 2021, 49(4): 567-576.

[24] Wang W, Lai D Y F, Wang C, et al. Effects of inorganic amendments, rice cultivars and cultivation methods on greenhouse gas emissions and rice productivity in a subtropical paddy field[J]. Ecological Engineering, 2016, 95: 770-778.

[25] 白 强, 董 洁, 田园春. 中国碳排放权交易价格的波动特征及其影响因素研究[J]. 统计与决策, 2022, 38(5): 161-165.

[26] 张 宁, 刘青君. 碳交易对碳达峰、碳中和目标的成本效益机制研究——基于试点省市高耗能行业的模拟[J]. 广东社会科学, 2022(2): 46-58.