

黄晓慧, 杨 飞. 碳达峰背景下中国农业碳排放测算及其时空动态演变[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(14): 232–239.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.14.033

碳达峰背景下中国农业碳排放测算及其时空动态演变

黄晓慧, 杨 飞

(江苏师范大学商学院, 江苏徐州 221116)

摘要:基于 2007—2019 年我国除港澳台之外的 31 个省份的面板数据, 采用农业碳排放测算模型对中国 31 个省份农业碳排放总量进行测算, 对其时序特征和区域差异进行描述和分析。采用空间 Moran's I 全局指数和莫兰散点图分别从整体和局部分析中国 31 个省份农业碳排放的空间相关性和集聚特征。结果表明, 2007—2019 年我国农业碳排放呈现出“快速增长—缓慢增长—加速减少”3 个阶段的特征。中部地区农业碳排放总量大于东部地区大于西部地区。化肥是我国农业碳排放的第一大碳源。2007—2019 年我国农业碳排放存在显著全局空间自相关, 但集聚效应不断弱化。2007—2019 年我国农业碳排放存在显著局部空间自相关, 呈现出高高、低低集聚的特征。研究期间内大部分省份集聚区较稳定, 少数省份空间集聚区发生微弱变动。高—高集聚区省份中大多是我国粮食主产区。低—高区容易向低—低区和高—高区过渡。低—低区中省份最多, 主要集中在东西部地区。高—低集聚区中省份大多是西部地区。进而提出减少农业碳排放的对策建议。

关键词:农业碳排放; 空间 Moran's I 指数; 空间集聚; 碳达峰

中图分类号: F323.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)14-0232-07

当前, 全球正处于百年未有之大变局, 经济增长停滞、贸易保护主义抬头、中美经济摩擦升级, 增加了国际环境的不确定性, 第 3 次全球化浪潮进入深度调整阶段^[1]。新冠肺炎疫情的全球蔓延, 加快了大变局的演进速度, 在影响经济的同时, 打破了粮食贸易的均衡格局, 引起全球对粮食安全问题的广泛关注^[2]。改革开放 40 多年来, 我国粮食生产取得了“十七连丰”的成就, 以占世界 9% 的耕地养活了 20% 的人口, 为保障世界粮食安全作出了巨大贡献^[3]。然而这一成就的取得主要是依靠化肥农药等要素的大量投入与消耗, 这种传统粗放的农业生产方式产生了大量的农业碳排放, 导致严重的气候变化和生态环境等问题, 直接威胁着我国粮食安全和农业可持续发展^[4-6]。农业是第二大温室气体排放源, 我国是世界上农业碳排放大国^[7-8]。为此, 我国多年的中央一号文件都提出推进农业绿色发展。2020 年 9 月 22 日, 习近平主席在第七十五届联合

国大会上宣布“中国将提高国家自主贡献力度, 采取更加有力的政策和措施, 二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值, 努力争取 2060 年前实现碳中和”^[9]。因此, 在碳达峰背景下, 迫切需要进行农业绿色低碳转型, 这是落实绿色发展理念的具体行动, 也是实现生态文明, 促进农业高质量和绿色低碳可持续发展的必然选择^[10-11]。近几年, 国内学者对农业碳排放进行了测算并分析其存在的特征。李波等对我国 1993—2008 年农业碳排放量进行测算, 发现研究期内农业碳排放处于阶段性的上升态势, 平均增长率为 4.08%^[12]。田云等测算我国 1995—2010 年 31 个省份农业碳排放量, 发现 2010 年较 1995 年增加了 12.31%, 分为“上升—下降—上升”3 个阶段^[13]。胡婉玲等通过测算 1997—2017 年我国 31 个省份农业碳排放, 发现最大值出现在 2015 年^[14]。田成诗等测算我国 2006—2016 年 30 个省份的农业碳排放量, 发现其为先下降后上升的变化趋势^[15]。张颂心等对我国 2000—2018 年农业碳排放量进行测算, 发现其年均增长率为 1.84%, 分为快速增长、缓慢增长、加速减少 3 个阶段^[16]。可见, 现有文献对我国不同时期农业碳排放测算及特征进行了大量研究, 但大多只对我国不同时期农业碳排放的时空特征进行描述性统计分析, 利用空间计量模型探究我国 31 个省份农业碳排放空间集

收稿日期: 2021-09-12

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究面上项目(编号: 21KJB630006)

作者简介: 黄晓慧(1988—), 女, 山东烟台人, 博士, 讲师, 主要从事农业经济管理研究。E-mail: huangxiaohui@jsnu.edu.cn。

通信作者: 杨 飞, 硕士, 助理研究员, 主要从事农村区域发展研究。E-mail: yangfei0113@126.com。

聚特征的研究不多。且现有文献缺乏对近几年农业碳排放的测算。那么,近年来,我国农业碳排放量如何?具有怎样的时空特征?是否具有空间相关性和集聚效应?具有怎样的集聚特征?通过回答这些问题,可以了解我国除港澳台之外的 31 个省份农业碳排放量、时空差异及空间集聚特征。因此,本研究运用 2007—2019 年我国除港澳台之外的 31 个省份面板数据,对其农业碳排放进行测度,采用空间 Moran's I 全局指数和莫兰散点图分别从整体和局部分析我国除港澳台之外的 31 个省份农业碳排放的空间相关性和集聚特征,以期为制定碳达峰背景下农业碳减排政策提供科学依据和参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 农业碳排放量测算方法

本研究参考 IPCC 推荐指南和相关研究中的方法计算 2007—2019 年我国 31 个省份农业碳排放总量^[12,14]。种植业生产过程中的碳排放主要来源于化肥、农药、农膜、农业机械、农业翻耕、灌溉 6 个方面。计算公式如下

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i. \quad (1)$$

式中: E 表示农业碳排放总量; E_i 表示种植业生产过程中 6 种碳排放源的碳排放量; T_i 表示 6 种碳排放源的量; δ_i 表示 6 种碳排放源的碳排放系数, i 为 1~6。其中,化肥排放系数为 0.895 6 kg/kg,农药排放系数为 4.934 1 kg/kg,农膜排放系数为 5.18 kg/kg,农业机械所用柴油排放系数为 0.592 7 kg/kg,农业灌溉排放系数为 20.476 kg/hm²,农业翻耕排放系数为 312.6 kg/km²^[17-18]。

1.2 Moran's I 指数

地理学第一定律表明所有事物之间存在联系,但较近的事物比较远的事物关联更强。可见,我国 31 个省份经济存在关联,距离越近的省份关联越密切。由于资源禀赋、种植结构、产业结构和城镇化水平等不同,我国 31 个省份农业碳排放存在差异,但不同省份由于地缘经济特征、经济的外溢性和经济制度的相似性等原因,本省的农业碳排放可能会影响与其相邻省份的农业碳排放,即各省份的农业碳排放可能存在空间自相关性,相邻省份的农业碳排放空间自相关性可能更大^[19]。本研究采用空间自相关性检验最常用的统计指标 Moran's I 指数,度量我国 31 个省份农业碳排放的空间自相关性。

1.2.1 全局空间自相关 本研究采用 Moran's I 全

局指数来描述和反映我国 31 个省份农业碳排放整体的空间分布状态、关联程度和空间集聚特征。但是不能呈现出具体集聚的省份。计算公式如下

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})}. \quad (2)$$

式中: I 表示全局 Moran's I 指数; n 表示测度省份的数量,为 31 个; x_i, x_j 分别表示 i 省和 j 省的农业碳排放量; \bar{x} 表示各个省份农业碳排放量的平均值; w_{ij} 表示 i 省和 j 省的邻近关系,当 i 省和 j 省邻近时, $w_{ij} = 1$,反之为 0。 I 的取值范围为 $[-1, 1]$,当 $I = 0$ 时,代表省份的农业碳排放之间不存在空间自相关,即农业碳排放的空间上随机分布;当 $I > 0$ 时,代表邻近省份的农业碳排放之间存在正相关,即邻近省份农业碳排放呈现集聚特征;当 $I < 0$ 时,代表邻近省份的农业碳排放之间存在负相关,即邻近省份农业碳排放呈现分散特征。

1.2.2 局部空间自相关 Moran's I 局部指数可以反映邻近省份之间农业碳排放的相关程度,能够呈现出不同省份农业碳排放的集聚或离散效应、空间异质性以及变化趋势^[20]。在一定程度上可以弥补全局空间自相关分析的不足。计算公式如下

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}). \quad (3)$$

式中: $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$ 表示样本方差; I_i 表示 i 省的 Moran's I 指数。

1.3 变量选取与数据来源

本研究以狭义农业(种植业)为研究对象,测算 2007—2019 年共 13 年全国 31 个省份的农业碳排放量。根据造成农业碳排放的六大碳源选择变量,化肥、农药、农膜以 2007—2019 年各年我国实际使用量为准,翻耕、农业灌溉、农用机械分别以 2007—2019 年各年我国农作物实际播种面积、实际灌溉面积、实际柴油使用量为准。所用数据均来源于 2008—2020 年的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农村环境统计年鉴》以及 2008—2020 年各省统计年鉴,缺失数据根据插值法进行推算。

2 结果与分析

2.1 农业碳排放的时序特征

根据公式(1)计算我国 2007—2019 年共 13 年 6 种碳排放源的碳排放总量及农业碳排放总量,用

单位耕地面积碳排放量计算农业碳排放强度,并计算年均递增率以及环比增速(表1)。

2.1.1 农业碳排放量及增速分析 由表1可知,2007 年农业碳排放量为 7 740.31 万 t,2019 年农业碳排放量为 8 112.41 万 t,年均增长率为 0.39%。从农业碳排放总量的环比增速情况来看,其数值先增加后减少最后变为负数。化肥、农膜、灌溉、翻耕所产生的碳排放量都出现了不同程度的增长,年均递增率分别为 0.47%、1.83%、1.64%、0.65%。农药、柴油所产生的碳排放量出现了负增长,年均递增率分别为 -1.27%、-0.37%。农业碳排放强度年均增长率为 -0.26%。从农业碳排放强度的环比增速情况来看,其数值先增加后减少最后变为负数。

2.1.2 农业碳排放结构分析 由表1可知,2007—2019 年化肥产生的农业碳排放量年平均值得到农业碳排放总量年平均值的 59.51%,占到一半以上。以 2019 年为例,化肥、农药、农膜、柴油、灌溉、翻耕所产生的农业碳排放量依次为 4 839.46 万、686.83 万、1 247.34 万、1 146.28 万、140.63 万、51.87 万 t,分别占农业碳排总量的 59.66%、8.47%、15.37%、14.13%、1.73%、0.64%。可见化肥是我国农业碳

排放的第一大碳源。

2.1.3 农业碳排放发展阶段分析 由表1可知,农业碳排放总量的环比增速先增加后减少最后变为负数,因此,可以将该时期我国农业碳排放划分为快速增长、缓慢增长、加速减少 3 个阶段。第一阶段为 2007—2009 年的快速增长期。环比增速为正且不断增加,说明此时期农业碳排放总量呈快速增长趋势。第二阶段为 2010—2015 年的缓慢增长期。环比增速为正,但不断降低,说明此时期农业碳排放总量总体呈缓慢增长趋势。第三阶段为 2016—2019 年的加速减少期。环比增速为负且不断增加,说明此时期我国农业碳排放总量呈加速减少趋势。可见,我国农业碳排放总量在 2007—2015 年不断增加,农业碳排放量在 2015 年达到最大值,2016—2019 年开始递减。这与胡婉玲等的研究结论一致^[14]。原因可能是 2015 年我国提出农业绿色转型发展战略,以及原农业部实施“减肥减药”等一系列低碳农业政策,在绿色低碳政策的引领下,农户开始由传统农业生产方式向绿色低碳方式转型,进行低碳生产,农药化肥减量施用,或采纳低碳农业技术,故农业碳排放开始减少。

表 1 2007—2019 年我国农业碳排放量情况

年份	农业碳排放量(万 t)							环比增速 (%)	农业碳排放强度	
	化肥	农药	农膜	农用柴油	灌溉	翻耕	总量		强度 (kg/hm ²)	环比增速 (%)
2007	4 574.55	800.72	1 003.61	1 197.73	115.73	47.97	7 740.31		504.37	
2008	4 692.05	825.11	1 039.59	1 118.96	119.73	48.63	7 844.06	1.34	504.23	-0.03
2009	4 840.18	843.24	1 077.28	1 161.63	121.34	49.15	8 092.83	3.17	514.67	2.07
2010	4 981.06	867.52	1 125.61	1 199.09	123.57	49.57	8 346.42	3.13	526.32	2.26
2011	5 108.68	881.72	1 188.57	1 219.42	126.30	50.13	8 574.82	2.74	534.72	1.60
2012	5 229.23	891.13	1 234.40	1 249.17	127.96	50.66	8 782.54	2.42	541.89	1.34
2013	5 294.70	889.06	1 291.47	1 277.21	129.97	51.17	8 933.57	1.72	545.72	0.71
2014	5 369.93	891.55	1 336.55	1 289.89	132.15	51.64	9 071.71	1.55	549.19	0.64
2015	5 393.84	879.73	1 348.64	1 302.58	134.88	52.15	9 111.83	0.44	546.18	-0.55
2016	5 359.63	858.76	1 348.15	1 254.81	137.48	52.19	9 011.01	-1.11	539.78	-1.17
2017	5 247.68	816.63	1 309.69	1 241.77	138.86	52.00	8 806.62	-2.27	529.46	-1.91
2018	5 063.19	741.87	1 277.80	1 187.42	139.79	51.86	8 461.92	-3.91	510.05	-3.67
2019	4 839.46	686.83	1 247.34	1 146.28	140.63	51.87	8 112.41	-4.13	488.90	-4.15
均值	5 076.47	836.45	1 217.59	1 218.92	129.88	50.69	8 530.00	—	525.81	—
年均递增率(%)	0.47	-1.27	1.83	-0.37	1.64	0.65	0.39	—	-0.26	—

2.2 我国农业碳排放的区域比较分析

计算 2007—2019 年东部、中部、西部地区的农业碳排放量均值,并绘制时间趋势图(图1)。

2.2.1 从区域层面看 由图1可知,2007—2019

年中部地区农业碳排放量均值大于东部地区大于西部地区,3 个区域大体都呈现出先增长后下降的趋势。2007—2014 年中部地区和东部地区农业碳排放量不断上升,2015—2019 年不断下降。2007—

2016 年西部地区农业碳排放不断上升,2017—2019 年不断下降。也可以说明 2015 年以来各省不断落实“农药化肥减量”等一系列绿色发展政策,取得了一定的成效,农业碳排放开始不断减少。随着时间

的推移,东部与西部地区的农业碳排放量差距在逐渐变小。中部地区与东部地区的农业碳排放量差距在逐渐变大。

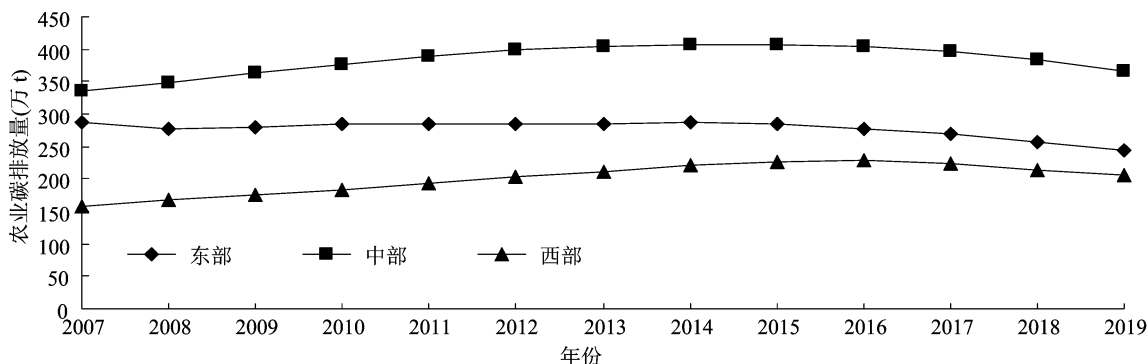


图1 2007—2019 年各区域农业碳排放量的时间趋势

2.2.2 从省域层面看 为了了解我国 31 个省份农业碳排放的特征,计算了不同省份农业碳排放量,受篇幅限制,只呈现 2019 年 31 省份农业碳排放情况(图 2)。由图 2 可以看出,河南、山东、江苏、河北、安徽这 5 个省份的农业碳排放排在前几位,占全国农业总碳排放的 33.99%。天津、上海、北京、青海、西藏这 5 个省份的农业碳排放排在最后几位,占全国农业总碳排放的 0.98%。可见农业碳排放主

要集中在我国东中部地区的农业大省,可能的解释是,山东、河南等农业大省农业还没有完全实现绿色低碳转型,生产方式仍然比较粗放,农药化肥等投入仍然比较高,绿色生产效率比较低,产生大量的农业碳排放。不同省份农业碳排放总量差异较大。河南省农业碳排放总量最大,总计 802.94 万 t,西藏自治区最小,总计 8.07 万 t,河南省的农业碳排放约是西藏自治区的 99 倍。

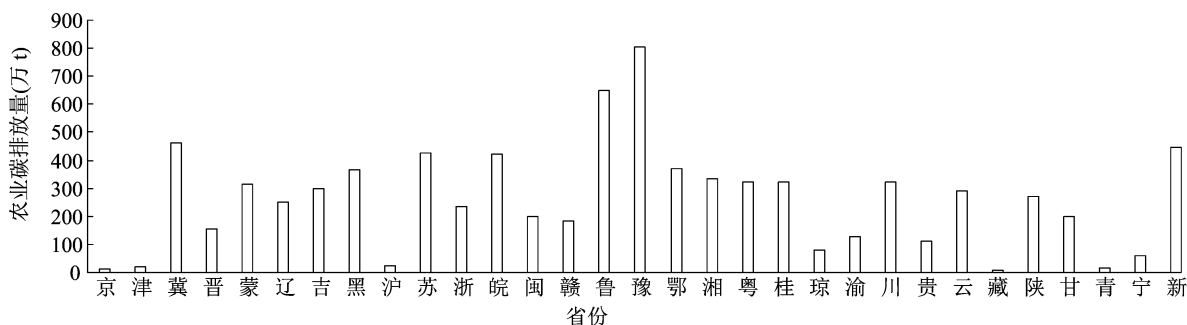


图2 2019 年我国 31 个省份农业碳排放情况

2.3 空间集聚效应分析

2.3.1 全局空间自相关分析 本研究使用 2007—2019 年我国 31 个省份组成的空间面板数据,运用 Stata 14.0 软件对公式(2)进行估计,得出我国农业碳排放空间自相关全局 Moran's I 指数值(表 2)。

由表 2 可知,2007—2019 年我国农业碳排放全局 Moran's I 指数都是正数,取值为 0.213 ~ 0.336,且 $P < 0.018$,都在 1% 和 5% 的显著性水平上通过 z 检验,表明 2007—2019 年我国农业碳排放存在显著全局空间自相关,邻近省份的农业碳排放之间存在显著正相关,呈现集聚特征。可能的解释是,相邻省份资源禀赋、碳减排政策等条件较类似,农户的

低碳生产行为具有类似性,使农业碳排放存在空间正相关。2007—2019 年随着时间的推进,农业碳排放的全局 Moran's I 值不断变小,Moran's I 指数由 2007 年的 0.336 下降至 2019 年的 0.213,说明随着时间的推进农业碳排放的空间自相关程度不断减弱,集聚效应不断弱化。

2.3.2 局域空间自相关分析 为了准确体现不同省份与邻接省份农业碳排放空间相关性、空间分异特征和空间集聚或离散程度,采用局部空间自相关检验并结合 Moran 散点图进行直观展示。以 4 年为间隔选取 2007、2011、2015、2019 年这 4 年为样本,运用 Stata 14.0 软件对公式(3)进行估计,计算并绘

表 2 2007—2019 年我国农业碳排放的全局 Moran's I 指数

年份	Moran's I 指数值	Z 值	P 值
2007	0.336	3.578	0.000
2008	0.332	3.520	0.000
2009	0.327	3.464	0.001
2010	0.319	3.386	0.001
2011	0.305	3.250	0.001
2012	0.295	3.152	0.002
2013	0.285	3.057	0.002
2014	0.254	2.750	0.006
2015	0.242	2.630	0.009
2016	0.231	2.528	0.011
2017	0.228	2.500	0.012
2018	0.223	2.455	0.014
2019	0.213	2.362	0.018

制得到这 4 年农业碳排放 Moran 散点图(图 3)。根据 4 年的 Moran 散点图将我国 31 个省份在 4 类集聚区的集聚情况进行汇总(表 3)。结合图 3 和表 3 能够更直观地分析我国 31 个省份农业碳排放水平的空间集聚模式和特征。

由图 3 可知,Moran 散点图总共有 4 个象限。依次为高-高(H-H)集聚区、低-高(L-H)集聚区、低-低(L-L)集聚区、高-低(H-L)集聚区。落在高-高(H-H)集聚区和低-低(L-L)集聚区的省份农业碳排放与相邻省份农业碳排放存在空间正相关,落在低-高(L-H)集聚区和高-低(H-L)集聚区的省份农业碳排放与相邻省份农业碳排放存在空间负相关。2007、2011、2015、2019 年

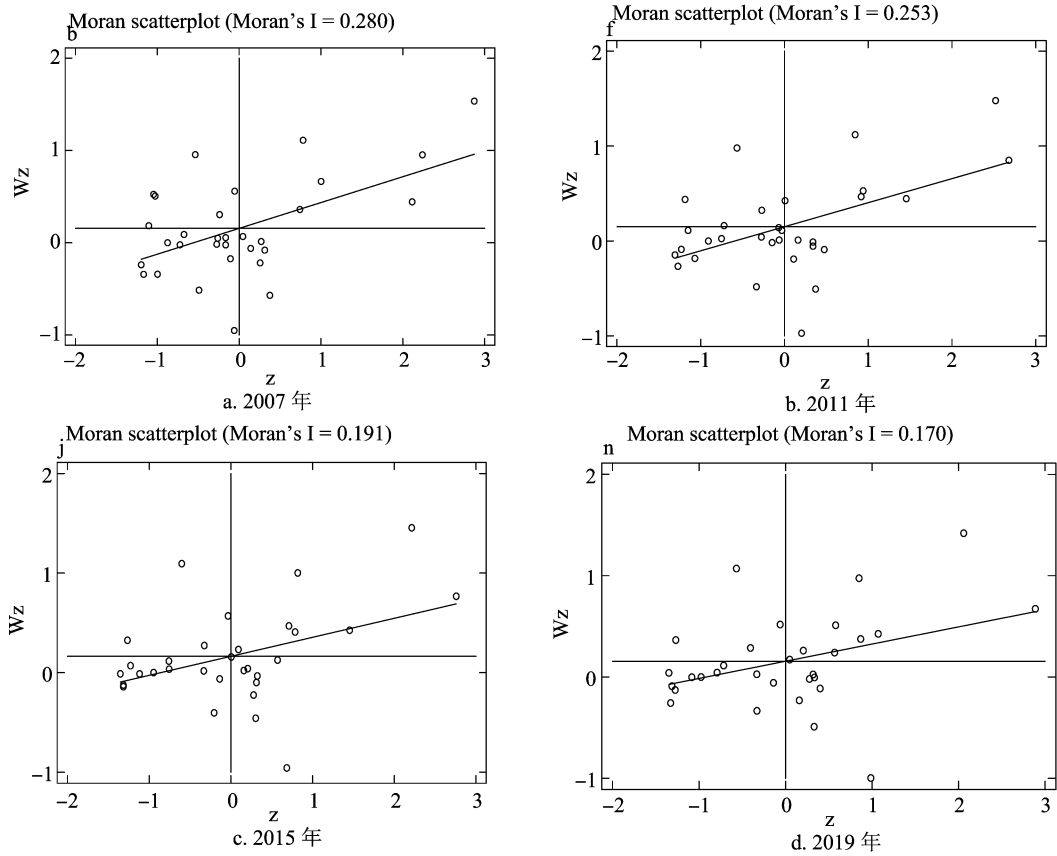


图3 2007、2011、2015、2019 年 31 个省份农业碳排放莫兰散点图

在 L-L 集聚区和 H-H 集聚区的省份分别为 19、18、20、20 个,H-L 集聚区和 L-H 集聚区的省份分别为 12、13、11、11 个,通过数值可以看出聚集在 L-L 集聚区和 H-H 集聚区的省份最多,说明我国农业碳排放呈现出高高、低低空间关联模式。通过 4 年的变化趋势可以看出,L-L 集聚区或 H-H 集聚区的省份空间均质性较稳定,发生微弱变动,

H-L 集聚区或 L-H 集聚区的省份在空间上异质性较稳定,发生微弱变动。

总体来看,2007—2019 年我国 31 个省份农业碳排放水平在空间分布上具有空间自相关性,并呈现出相对稳定的空间集聚性。由表 3 可知,河北、江苏、安徽、山东、河南、湖北这 6 个省份一直处于 H-H 集聚区,山西、辽宁、上海、江西这 4 个省份一

表 3 2007、2011、2015、2019 年各省农业碳排放局部空间聚类

年份	不同集聚区所在的省份[数量(个)]			
	高-高(H-H)	低-高(L-H)	低-低(L-L)	高-低(H-L)
2007	河北、江苏、安徽、山东、河南、湖北(6)	北京、天津、山西、辽宁、上海、江西(6)	内蒙古、吉林、福建、海南、重庆、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆(13)	黑龙江、浙江、湖南、广东、广西、四川(6)
2011	河北、江苏、安徽、山东、河南、湖北(6)	山西、辽宁、上海、江西、重庆、陕西(6)	北京、天津、内蒙古、吉林、浙江、福建、海南、贵州、西藏、甘肃、青海、宁夏(12)	黑龙江、湖南、广东、广西、四川、云南、新疆(7)
2015	河北、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、陕西(9)	山西、辽宁、上海、江西(4)	北京、天津、浙江、福建、海南、重庆、贵州、西藏、甘肃、青海、宁夏(11)	内蒙古、湖南、广东、广西、四川、云南、新疆(7)
2019	河北、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、陕西(9)	山西、辽宁、上海、江西(4)	北京、天津、浙江、福建、海南、重庆、贵州、西藏、甘肃、青海、宁夏(11)	内蒙古、湖南、广东、广西、四川、云南、新疆(7)

直处于 L-H 集聚区,福建、海南、贵州、西藏、甘肃、青海、宁夏这 7 个省份一直处于 L-L 集聚区,湖南、广东、广西、四川这 4 省一直处于 H-L 集聚区,2007—2019 年这 21 个省份集聚区非常稳定,没有发生变化。10 个省份农业碳排放空间集聚度发生微弱变动。2007 年北京市、天津市在低-高区于 2011 年转入低-低区,然后稳定在低-低区;2007 年云南省、新疆维吾尔自治区在低-低区于 2011 年转入高-低区,然后稳定在高-低区;2007 年重庆市在低-低区于 2011 年转入低-高区,并于 2015 年又转入低-低区,然后稳定在低-低区;2007 年陕西省在低-低区于 2011 年转入低-高区,并于 2015 年又转入高-高区,然后稳定在高-高区;2007 年浙江省在高-低区于 2011 年转入低-低区,然后稳定在低-低区;2011 年内蒙古自治区在低-低区于 2015 年转入高-低区,然后稳定在高-低区;2011 年吉林省在低-低区于 2015 年转入高-高区,然后稳定在高-高区;2011 年黑龙江省在高-低区于 2015 年转入高-高区,然后稳定在高-高区。可见,到 2015、2019 年所有省份农业碳排放空间集聚度趋于稳定,不发生变动。

由表 3 可知,具体分析 2007、2011、2015、2019 年农业碳排放 4 个集聚区的省份分布及其集聚特征。

高-高(H-H)集聚区。H-H 象限省份数目不断增加。河北、江苏、安徽、山东、河南、湖北这 6 个省份一直处于高-高(H-H)集聚区。2015 年,吉林省于由低-低区转入,黑龙江省由高-低区转入,陕西省由低-高区转入。到 2015、2019 年高-高(H-H)集聚区由 2007 年和 2011 年的 6 个省份增加至 9 个省份。2007、2011 年,东部和中部各有 3 个省份。2015、2019 年,中部地区占 5 个,东

部地区占 3 个,西部地区占 1 个,其中 8 个省份是我国的粮食主产区。该集聚区表示农业碳排放高省份被邻近农业碳排放较高省份包围的空间集聚形式。聚集在该区的主要是我国的粮食大省,农业碳排放整体较高,带动周边省份的农业碳排放也有所增加。因此,该集聚区能够产生扩散效应,呈现强强集聚的特征。

低-高(L-H)集聚区。L-H 象限省份数目不断减少。山西、辽宁、上海、江西这 4 个省份一直处于低-高集聚区。2007 年北京市、天津市在低-高区于 2011 年转入低-低区,并趋于稳定,2007 年重庆市在低-低区于 2011 年转入低-高区,并于 2015 年又转回低-低区,2007 年陕西省在低-低区于 2011 年转入低-高区,并于 2015 年又转入高-高区,该区域会向低-低和高-高集聚区过渡。到 2015—2019 年稳定在山西、辽宁、上海、江西 4 个省份,东部地区 2 个,中部地区 2 个。该集聚区代表农业碳排放低的省份被邻近农业碳排放高的省份包围的空间集聚形式。该集聚区农业碳排放较低,然而,其邻接省份农业碳排放较高。如山西省农业碳排放低,但邻接的河南、河北等粮食大省农业碳排放高;辽宁省农业碳排放低,但邻接的吉林省农业碳排放高;上海市农业碳排放低,但邻接的安徽省、江苏省农业碳排放高;江西省农业碳排放低,但邻接的湖北省、安徽省农业碳排放高。相邻接的高碳排放省份通过扩散效应辐射增加了低碳排放省份的农业碳排放,使其不断向低-低和高-高集聚区过渡。

低-低(L-L)集聚区。L-L 集聚区省份数目不断减少。福建、海南、贵州、西藏、甘肃、青海、宁夏这 7 个省份一直处于低-低集聚区。2011 年内蒙古自治区在低-低区于 2015 年转入高-低区,2011 年吉林省在低-低区于 2015 年转入高-高

区。到 2015、2019 年稳定在北京、天津、浙江、福建、海南、重庆、贵州、西藏、甘肃、青海、宁夏这 11 个省份,东部地区 5 个,西部地区 6 个。在 4 种类型集聚区中省份占比最高。该集聚区代表农业碳排放低的省份被其他邻近农业碳排放较低的省份所包围的空间联系形式,呈现低低集聚的特征。

高-低(H-L)集聚区。湖南、广东、广西、四川这 4 省一直处于该集聚区。到 2015、2019 年稳定在内蒙古、湖南、广东、广西、四川、云南、新疆这 7 个省份,西部地区 5 个,东部地区 1 个,中部地区 1 个。2007 年新疆维吾尔自治区、云南省在低-低区于 2011 年转入高-低区,2007 年浙江省在高-低区于 2011 年转入低-低区。该区域代表农业碳排放高的省份被其他邻近农业碳排放较低的省份包围的空间联系形式,该区域省份农业碳排放较高,其邻接省份农业碳排放较低。

3 结论与建议

本研究在测算 2007—2019 年我国农业碳排放的基础上,采用空间 Moran's I 指数分析我国农业碳排放的时空动态变化和空间集聚特征。结果表明,2007—2019 年我国农业碳排放划分为快速增长、缓慢增长、加速减少 3 个阶段。我国农业碳排放的高低排序依次为中部地区、东部地区、西部地区。化肥是我国农业碳排放的第一大碳源。2007—2019 年我国农业碳排放存在全局空间自相关,并随着时间不断推进逐渐减弱,集聚效应不断弱化。2007—2019 年我国各省份农业碳排放水平在空间分布上具有局部空间自相关性,呈现高高和低低集聚的特征,并呈现出相对稳定的空间集聚性,21 个省份集聚区稳定,没有发生变化,只有少数省份农业碳排放空间集聚度发生微弱变动,到 2015、2019 年所有省份农业碳排放空间集聚度趋于稳定,不发生变动。我国农业碳排放高-高集聚区省份中大多是我国粮食主产区。低-高区容易向低-低区和高-高区过渡。低-低集聚区省份最多,主要集中在东西部地区,属于低值与低值集聚,农业碳排放较低。高-低集聚区省份大多是西部地区。

综上,为加快实现碳达峰和碳中和目标,提出以下对策建议:第一,大力推进农户转变农业生产方式,进行低碳生产。持续推进农药化肥减量施用,促进农户农药化肥减量施用行为,或采用有机肥、生物农药等替代性低碳农业技术,促进农户秸

秆还田,回收农膜,使用环保机械,以此减少农业碳排放,进而提高农业生产效率实现农业绿色低碳转型。第二,调整农业种植结构。减少耗费大量农药化肥作物的种植,减少传统农业的比例,重点发展生态农业、旅游农业、低碳农业等,减少农业碳排放。第三,建立农业碳减排合作机制。省份之间农业碳排放存在空间自相关性,因此,不同省份之间可以建立合作机制,加强省份之间的协作,农业碳排放较低的省份将其碳减排经验分享给农业碳排放较高的省份,降低高排放省份的农业碳排放。第四,推广农业低碳技术。积极推广地膜回收技术、节水灌溉技术、生物农药技术等低碳农业技术,加大补偿力度,促进农户采纳。

参考文献:

- [1] 蒲清平,杨聪林. 构建“双循环”新发展格局的现实逻辑、实施路径与时代价值[J]. 重庆大学学报(社会科学版),2020,26(6):24-34
- [2] 王晓君,何亚萍,蒋和平. “十四五”时期的我国粮食安全:形势、问题与对策[J]. 改革,2020(9):27-39.
- [3] 王济民,张灵静,欧阳儒彬. 改革开放四十年我国粮食安全:成就、问题及建议[J]. 农业经济问题,2018(12):14-18.
- [4] 徐志刚,张炯,仇焕广. 声誉诉求对农户亲环境行为的影响研究——以家禽养殖户污染物处理方式选择为例[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(10):44-52.
- [5] 袁平,朱立志. 中国农业污染防治:环境规制缺陷与利益相关者的逆向选择[J]. 农业经济问题,2015,36(11):73-80+112.
- [6] Chen Y H, Wen X W, Wang B, et al. Agricultural pollution and regulation: How to subsidize agriculture? [J]. Journal of Cleaner Production,2017,164:258-264.
- [7] 张永强,田媛,王珏,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.
- [8] 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.
- [9] 杨长进,田永,许鲜. 实现碳达峰、碳中和的财税机制进路[J]. 价格理论与实践,2021(01):20-26+65.
- [10] 于法稳. 新时代农业绿色发展动因、核心及对策研究[J]. 中国农村经济,2018(5):19-34.
- [11] 金书秦,牛坤玉,韩冬梅. 农业绿色发展路径及其“十四五”取向[J]. 改革,2020(2):30-39.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.

赵欧亚,侯利敏,孙世友,等.不同商品发酵菌剂对牛粪堆肥微生物群落的影响[J].江苏农业科学,2022,50(14):239-244.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.14.034

不同商品发酵菌剂对牛粪堆肥微生物群落的影响

赵欧亚¹,侯利敏¹,孙世友¹,茹淑华¹,肖广敏¹,王策¹,王凌¹,刘蕾¹,张国印¹,李瑞军²

(1.河北省农林科学院农业资源环境研究所/河北省肥料技术创新中心,河北石家庄 050051;

2.河北省饶阳县农业农村局,河北饶阳 053900)

摘要:为探究不同市售发酵菌剂对堆肥微生物群落结构的影响,以牛粪为堆肥原料,采用传统堆肥方法和高通量测序技术,添加4种不同商品发酵菌剂进行高温发酵,分析堆肥过程中温度的变化规律和堆肥结束后真菌、细菌、放线菌群落的结构特征。结果表明,添加4种发酵菌剂均可以有效提高堆肥温度,其中菌剂C处理组的堆肥温度增速最快且高温持续时间最长,在堆肥3 d时,堆肥温度达到54℃,整个堆肥过程的平均温度较对照组增加了6.33℃,明显促进了牛粪发酵的进程。通过 α 多样性、样本层级聚类分析和距离热图分析发现,牛粪堆肥的真菌群落中子囊菌门占主导地位,相对丰度达59.36%;曲霉菌属、毕赤酵母属、马拉色霉菌属、链格孢菌属、镰刀菌属为优势属;与对照组相比,添加4种发酵菌剂均显著降低了堆肥中节担菌属的相对丰度,也在一定程度上降低了堆肥的细菌、放线菌群落中厚壁菌门、拟杆菌门的相对丰度,以菌剂C的效果最佳,其相对丰度约显著下降了14个百分点,有效降低了堆肥过程中甲烷排放的风险。

关键词:牛粪;堆肥;发酵菌剂;微生物结构;高通量测序

中图分类号:S141.4

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2022)14-0239-06

作为畜禽养殖大国,我国每年的畜禽粪便产生量约为18亿t,然而综合利用率不到60%^[1],这严重制约了畜禽粪便资源化循环利用的步伐,同时粪污不恰当处理会造成严重的环境风险。好氧堆肥技术可以实现氮磷养分的高效循环,是有机废弃物再利用的主要技术^[2-4]。已有研究发现,在畜禽粪便堆肥发酵过程中添加微生物菌剂,发酵效果明显好于自然堆肥,可以有效减少粪便中的病原微生物,

促进纤维素等难降解物质的分解,且腐熟程度更好,同时不同菌剂对粪便堆肥具有不同的效果^[5-6]。也有研究发现,接种菌剂有利于堆肥中的有机质分解、降低氨气和二氧化碳的释放浓度,减排作用显著^[7-8]。目前,大多数研究集中于不同发酵菌种对堆肥过程中养分指标变化及大肠杆菌菌落数、蛔虫卵数、发芽率等有机肥质量限制指标的影响,基于高通量技术的畜禽粪便堆肥微生物群落结构的研究相对较少。徐莹莹等通过采用传统培养与聚合酶链式反应-变性梯度凝胶电泳(PCR-DGGE)技术相结合的方法,研究接种菌剂对牛粪堆肥反硝化细菌群落的影响,结果表明,接种菌剂后加快了反硝化细菌群落的演替速率,并且从接种菌剂堆肥中检测到自然堆肥中不存在的反硝化细菌类群^[6]。许修宏等采用高通量测序技术研究牛粪自然堆肥过程中细菌群落的动态变化,发

收稿日期:2021-08-20

基金项目:河北省重点研发计划(编号:19227304D);国家重点研发计划(编号:2017YFD0801404);河北省农林科学院创新工程(编号:2019-1-4-3)。

作者简介:赵欧亚(1988—),女,河北饶阳人,硕士,助理研究员,主要从事农业环境研究。E-mail:1774610695@qq.com。

通信作者:茹淑华,硕士,研究员,主要从事施肥与农业环境方面的研究。E-mail:shuhuaru@163.com。

[16]张颂心,王辉,徐如浓.科技进步、绿色全要素生产率与农业碳排放关系分析——基于泛长三角26个城市面板数据[J].科技管理研究,2021,41(2):211-218.

[17]West T O,Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States [J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2002,91(1/2/3):217-232.

[18]Dubey A,Lal R. Carbon footprint and sustainability of agricultural production systems in Punjab,India,and Ohio,USA[J]. Journal of Crop Improvement,2009,23(4):332-350.

[19]侯孟阳,姚顺波.中国城市生态效率测定及其时空动态演变[J].中国人口·资源与环境,2018,28(3):13-21.

[20]邹艳芬,陆宇海.基于空间自回归模型的中国能源利用效率区域特征分析[J].统计研究,2005,(10):67-71.