

产业集聚、碳排放与绿色农业耦合协调时空演化研究 ——基于长江经济带面板数据的实证研究

陈思杭^{1,2} 雷礼¹ 徐辉^{1,2}

(1. 长江大学湖北农村发展研究中心, 湖北荆州 434023;

2. 长江大学经济与管理学院, 湖北荆州 434023)

【摘要】: 基于长江经济带 11 省市 2005—2019 年产业集聚、碳排放和绿色农业的面板数据, 建立复合系统综合评价指标体系, 运用耦合协调度模型与空间自相关模型分析其耦合协调度的发展水平、空间演变特征及空间集聚特征。研究表明: 长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业的耦合度及耦合协调度存在显著的时空分布差异, 经历了低水平耦合阶段、深度磨合阶段、高水平耦合阶段, 存在一定的空间关联性, 具有显著的空间集聚特征。

【关键词】: 产业集聚 碳排放 绿色农业 耦合协调

【中图分类号】: F303; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407 (2022) 11-122-08

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州等 11 省市, 横跨中国东中西三大区域, 是中央重点实施的跨区域国家战略。推动长江经济带发展, 是以习近平同志为核心的党中央做出的重大战略决策, 习近平总书记先后多次强调推进长江经济带发展要共抓大保护, 不搞大开发, 必须坚持生态优先、绿色发展的战略定位。近年来, 长江经济带产业零散、碳排放趋近达峰、资源环境矛盾制约等问题愈发突出, 尤其是农业领域较为明显。产业集聚是优化生产力空间布局, 促进区域协调发展的重要方式, 碳排放导致的温室效应是当前环境问题的重点, 绿色发展是保障可持续发展的根本之计。既往研究表明产业集聚、碳排放与绿色发展之间存在交互作用的耦合协调关系, 那么在农业领域会不会存在这种耦合协调关系, 其作用机制和影响程度又是什么样的呢? 为此, 本文以产业集聚、碳排放与农业绿色发展耦合协调为研究问题, 选取长江经济带 11 省市 2005—2019 年的面板数据, 建立产业集聚—碳排放—绿色农业三元复合系统综合评价指标体系, 着重探讨其时空演化规律。

1 文献述评

1.1 产业集聚—碳排放—绿色农业的耦合协调机制研究

现有研究表明, 产业集聚影响碳排放的机制是产业集聚的规模效应、技术创新与溢出效应会影响单位产品的能源消耗, 从而直接影响最终碳排放。不同学者提出了截然相反的结论, 有学者指出产业集聚具有

¹**基金项目:** 国家自然科学基金地区基金项目“农村居民生活亲环境行为发生机制与引导政策研究”(71864018); 长江大学湖北农村发展研究中心项目“科技创新、产业升级与荆州市农业高质量发展研究”(CD202002)

第一作者简介: 陈思杭, 博士研究生, 讲师, 研究方向为农业经济。E-mail: chensh2021@lzu.edu.cn

通讯作者简介: 徐辉, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为产业经济。E-mail: 343644670@qq.com

环境的正外部性，能有效提升劳动生产率，进而减少碳排放^[1-3]。一部分学者则指出过度的产业集聚会带来“拥挤效应”和污染转移，直接导致碳排放增加^[4-9]。产业集聚影响绿色农业的机制是产业集聚会诱发技术创新与进步，促进农业生产技术运用，提升生产力，进而促进绿色农业经济增长^[10-12]。碳排放与绿色农业的耦合协调机制研究大多基于环境库兹涅茨曲线^[13]展开，认为环境污染表征着碳排放的增加随经济增长而加剧，两者之间存在非线性关系，呈现倒“U”型、正“N”型等关系^[14-16]。

1.2 产业集聚—碳排放—绿色农业的耦合协调测度研究

近年来，学者针对产业集聚、碳排放与绿色农业开展了大量测度研究，形成了较为扎实的研究成果。一是产业集聚与绿色农业的耦合协调测度研究，指出产业集聚对绿色农业发展具有正向溢出效应^[17-18]。二是碳排放与农业经济发展的耦合协调测度研究。颜廷武等^[19]通过 EKC 检验发现，中国农业碳排放与农业经济强度之间呈现倒“N”型 EKC 关系且存在双拐点，田云等^[20]基于长江经济带数据，研究指出农业碳排放系统与农业经济系统间存在耦合协调发展关系，耦合协调程度逐步升高。

1.3 产业集聚—碳排放—绿色农业的耦合协调优化研究

近年来，不少学者研究指出产业集聚、碳排放与绿色农业存在耦合协调水平不高，空间差异显著等问题^[21-22]。基于此，有部分学者开展了产业集聚、碳排放与绿色农业的耦合协调优化研究，提出应践行生态优先、绿色发展理念，优化生态环境与经济的关系，实现农业生态经济系统的高水平协调发展^[23-24]，要实行差异化和精准化的政策设计，因地制宜，实施农业产业集聚非均衡发展策略等^[25]。

纵观现有文献，当前研究分别对产业集聚、碳排放、绿色农业等开展了较多研究，但大多是对某一问题或两两之间的关系研究，鲜有较为系统地研究三者之间的耦合协调问题，且大多为宏观层面或针对某一省市的研究，跨区域的研究还较为缺乏。为此，本文在当前研究基础上进行了拓展、深化和创新，以长江经济带为研究区域，建立产业集聚—碳排放—绿色农业的复合系统综合评价指标体系，运用耦合协调度模型与空间自相关模型分析其耦合协调度的发展水平、空间演变特征及空间集聚特征。

2 研究设计

2.1 评价指标体系构建

产业集聚评价指标体系构建：当前对于产业集聚测度的方法较多，比如区位熵、基尼系数、产业集聚度、赫希曼—赫佛因德指数（HI 指数）、空间集聚指数等众多方法。基于长江经济带农业发展集聚特点和单一测算方法的局限性，本文选用区位熵与空间基尼系数综合测度农业产业集聚水平。分别测算区位熵与空间基尼系数后，运用熵值法对两个指数进行综合评价，最后得出的综合指数即为产业集聚度。区位熵与空间基尼系数计算方法如下。

区位熵：区位熵越大代表其产业集聚程度越高，计算方法如下：

$$Q_{ij} = \frac{e_{ij} / e_i}{E_j / E} \quad (1)$$

式中：Q_{ij} 为长江经济带各省市农业的区位熵，e_{ij} 为某省市农业产值，e_i 为某省市地区生产总值，

E_j 为全国农业产值，E 为全国地区生产总值。

空间基尼系数：空间基尼系数是衡量产业空间集聚程度指标的一种，计算方式如下：

$$G = \frac{a_{ij} / a_i}{A_j / A} \tag{2}$$

式中：G 为长江经济带各省市农业的空间基尼系数，a_{ij} 为某省市农业从业人员，a_i 为某省市从业人员总数，A_j 为全国农业从业人员，A 为全国从业人员总数。

碳排放评价指标体系构建：农业生产碳排放主要来源于农林牧渔业的生产活动，其中林业与牧业具有碳源、碳汇双重属性，且碳排放量在农业生产活动中占比极小，渔业的碳排量测算具有一定的操作难度。因此，本文基于实际情况并结合《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》中的办法，认为农业碳排放主要来源于农机动力、灌溉、化肥、柴油、农药、塑料薄膜 6 个方面，农业碳排放总量等于各个来源的碳排量乘以各自的碳排放系数，然后再相加求和。具体公式如下：

$$C = \sum \omega_i c_i \tag{3}$$

式中：C 为碳排放总量，ω_i 为各碳源的碳排放系数，c_i 为各碳源碳排放量。各碳源排放系数见表 1。

表 1 各碳源碳排放系数表

碳排放源	排放系数	数据参考来源
农业机械总动力/（kgkW/h）	0.18	IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）
有效灌溉面积/（kgce/km ² ）	20.476	段华平等[26]
农用化肥施用量/（kgce/kg）	0.8956	ORNL（美国橡树岭国家实验室）
农用柴油使用量/（kgce/kg）	0.5927	IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）
农药使用量/（kgce/kg）	4.9341	ORNL（美国橡树岭国家实验室）
农用薄膜使用量/（kgce/kg）	5.18	IREEA（南京农业大学农业资源与生态研究所）

绿色农业评价指标体系构建：绿色农业具有资源节约、环境友好和高效发展的显著特点。为此，分别从资源节约、环境友好与高效发展 3 个方面选取 14 个指标对长江经济带 11 省市绿色农业发展水平进行评价，具体如表 2 所示。

表 2 绿色农业评价指标体系表

一级指标	二级指标	单位	指标含义	指标类型
资源节约	单位播种面积总动力	万千瓦	农机总动力/农作物播种面积	—
	耕地复种指数	%	农作物播种面积/耕地面积	—

	有效灌溉面积	千公顷	—	+
	单位农业用水	亿立方米	农业用水/农作物播种面积	—
环境友好	单位农用柴油使用量	万吨	农用柴油使用量/农作物播种面积	—
	化肥施用强度	%	化肥使用量/农作物播种面积	—
	农药施用强度	%	农药使用量/农作物播种面积	—
	农膜施用强度	%	农膜使用量/农作物播种面积	—
	森林覆盖率	%	—	+
	造林总面积	千公顷	—	+
高效发展	农村居民人均可支配收入	元	—	+
	劳动生产率	%	农林牧渔业产值/从业人员	+
	农业产值占比	%	农林牧渔业产值/地区生产总值	+
	单位面积粮食产量	%	粮食产量/粮食作物播种面积	+

2.2 数据来源

聚、碳排放与绿色农业的面板数据进行研究，数据来源于相关年份的《中国统计年鉴》《中国农业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、长江经济带 11 省市统计年鉴与统计公报、中国经济社会大数据研究平台。

2.3 研究方法

2.3.1 产业集聚—碳排放—绿色农业综合发展水平计算

基于各系统评价指标体系，运用熵值法计算产业集聚、碳排放与绿色农业的综合发展水平。

(1) 数据平移化处理。对数据进行平移化处理可避免求熵值时取对数无意义：

$$\begin{cases} X_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})}{\max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}) - \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})} + 1 \\ i, j = 1, 2, \dots, n; \\ X_{ij} = \frac{\max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}) - X_{ij}}{\max(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj}) - \min(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{nj})} + 1 \\ i, j = 1, 2, \dots, n; \end{cases} \quad (4)$$

(2) 计算指标权重：

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1} X_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

(3) 计算指标熵值:

$$e_j = -k \times \sum_{i=1}^n \ln(p_{ij}) \quad (6)$$

式中: k 大于 0, $\ln$ 为自然对数, k 与样本数 n 有关, 一般令 $k=1/\ln(n)$ 。

(4) 计算差异系数:

$$g_j = 1 - e_j \quad (7)$$

(5) 计算权数:

$$W_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

(6) 计算综合得分:

$$U_i = \sum_{j=1}^n W_j \times P_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

式中: U 为综合评价指数, 代表各个系统综合发展水平。

2.3.2 耦合度计算

耦合度的概念源于物理学, 用来描述两个或两个以上系统或运动方式之间的相互作用, 耦合度就是衡量系统间关联强弱的指标, 耦合协调度衡量的是系统之间协调发展的程度。农业产业集聚、碳排放与绿色农业之间的耦合协调发展涉及农业部门的方方面面, 可以将农业产业集聚、碳排放与绿色农业分别看作一个系统, 相互之间存在一定的联系, 这三个系统共同组成了一个复合系统。本文运用耦合原理, 构建农业产业集聚、碳排放与绿色农业发展的耦合度协调度模型, 由耦合度和耦合协调度来反映两个系统之间相互影响程度和协调度。其中耦合度计算如下:

$$C = \sqrt[3]{\frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{\left(\frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}\right)^3}} \quad (10)$$

式中: C 为耦合度, 取值范围为 0~1; U_1 、 U_2 、 U_3 分别代表 3 个系统综合评价指数。其中, 耦合度越接近 1, 表明产业集聚—碳排放—绿色农业复合系统耦合程度越好。

2.3.3 耦合协调度计算

产业集聚—碳排放—绿色农业耦合度模型可以综合反映三系统之间耦合作用的紧密程度，由于耦合度更多地强调各子系统之间的交互作用的强弱、相互联系的紧密，不能很好地反映各子系统之间协调发展的程度，无法反映整体的耦合协同功效，因此，进一步引入耦合协调度模型来反映产业集聚、碳排放与绿色农业的具体协调关系。其中耦合协调度计算如下：

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{C \times T} \\ T &= \alpha U_1 + \beta U_2 + \phi U_3 \end{aligned} \tag{11}$$

式中：D 为耦合协调度，取值范围为 0~1；C 为耦合度；T 为产业集聚、碳排放、绿色农业系统综合评价指数； α 、 β 、 ϕ 分别为三个子系统的待定系数， $\alpha + \beta + \phi = 1$ ，本文认为产业集聚、碳排放与绿色农业三个系统在整个复合系统里同样重要，因此令 $\alpha = \beta = \phi = 1/3$ ，其中，耦合协调度越接近 1 表示产业集聚、碳排放与绿色农业系统耦合协调水平越高，三系统之间发挥积极促进作用。

耦合协调度越接近 0 表示产业集聚、碳排放与绿色农业系统耦合协调水平越低，三系统之间发挥制约作用。基于长江经济带产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统实际发展情况，借鉴曹俊文和曹玲娟^[27]、刘耀彬^[28]的做法，耦合度及耦合协调度划分标准见表 3。

表 3 耦合度及耦合协调度划分标准

耦合度		耦合协调度	
区间	耦合阶段	区间	协调阶段
[0, 0.3)	低水平耦合	[0, 0.2)	严重失调
[0.3, 0.5)	拮抗阶段	[0.2, 0.35)	轻度失调
[0.5, 0.6)	初步磨合阶段	[0.35, 0.5)	基本协调
[0.6, 0.8)	深度磨合阶段	[0.5, 0.8)	中度协调
[0.8, 1]	高水平耦合	[0.8, 1)	高度协调

2.3.4 空间自相关检验

空间自相关检验通常用来分析某位置的数据与其他位置数据的空间依赖程度，通过空间相关分析可以判断统计量数据之间是否存在相关性。本文运用空间自相关模型对产业集聚—碳排放—绿色农业耦合协调度进行空间自相关检验。

采用 Moran' sI 指数进行检验。

全局莫兰指数：

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}} \tag{12}$$

局部莫兰指数：

$$I = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_j - \bar{x}) \tag{13}$$

式中：n 是研究对象个数为 11； x_i 、 x_j 分别为研究对象的属性值； s^2 为得分值的方差； ω_{ij} 为空间权重矩阵元素；Moran' sI 取值在 [-1,1] 之间，其值大于 0 代表正相关，小于 0 代表负相关，等于 0 为随机分布。

3 结果分析

3.1 耦合度及耦合协调度时序演化分析

通过公式（4）～（10）计算得到我国长江经济带地区 2005—2019 年产业集聚—碳排放—绿色农业复合系统的耦合度及耦合协调度，如表 4、表 5 所示。

3.1.1 耦合度时序演化分析

根据表 4 得，2005—2019 年长江经济带 11 省市的耦合度均发生较大变化，存在较大时序演化差异，绝大部分省市耦合度呈上升态势，少部分省市呈下降态势。根据表 3 耦合度等级划分标准，在样本期内共经历了低水平耦合、初步磨合、深度磨合、高水平耦合 4 个阶段。其中，上海与浙江的耦合度整体呈下降态势。2005 年，上海与浙江产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统的耦合度很高，分别为 0.9403 与 0.9194，处于高水平耦合阶段，在此阶段，上海与浙江的农业产业集聚、碳排放与绿色农业三者之间的关系非常密切，某一个系统的变化会直接影响到其余两个系统的发展。到 2019 年，上海与浙江耦合度下降到低水平耦合阶段，分别为 0.0341 与 0.0157，下降幅度较大。

而长江经济带其余 9 个省市复合系统的耦合度整体呈现上升态势。2005 年江苏、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南 9 个省市的耦合度普遍较低，处于低水平耦合阶段，在此阶段三系统之间的影响关系较为微弱。到 2019 年，江苏、云南等 9 个省市的耦合度大幅上升，其中重庆的耦合度略低，为 0.7780，处于深度磨合阶段，其他 8 个省市处于高水平耦合阶段。进一步分析发现，江苏、云南等 9 个省市的耦合度自 2006 年以后基本都保持在较高水平，说明这些省份产业集聚、碳排放与绿色农业之间的紧密关系保持在稳定状态。

表 4 耦合度表

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2005	0.9403	0.0133	0.9194	0.0099	0.2634	0.0123	0.0122	0.0139	0.0098	0.0153	0.0128
2006	0.9430	0.7960	0.9547	0.7373	0.9433	0.8590	0.5063	0.6277	0.6824	0.9220	0.7286
2007	0.8936	0.8488	0.9635	0.9330	0.9978	0.9471	0.9631	0.8092	0.9097	0.9147	0.8144
2008	0.9396	0.8679	0.9630	0.9827	0.9927	0.9785	0.9935	0.9426	0.8722	0.8844	0.9230
2009	0.9602	0.8932	0.9646	0.9981	0.9755	0.9922	0.9893	0.9936	0.9288	0.8967	0.9504
2010	0.9223	0.8816	0.8988	0.8300	0.8906	0.9243	0.9760	0.9864	0.9741	0.9207	0.2782
2011	0.9426	0.9408	0.8670	0.9575	0.9375	0.9612	0.9841	0.9319	0.9574	0.8523	0.8968
2012	0.9749	0.9463	0.8316	0.9541	0.0121	0.9664	0.9759	0.8405	0.9622	0.8742	0.9149
2013	0.9604	0.9470	0.8650	0.9450	0.8430	0.9773	0.9899	0.9014	0.9915	0.9143	0.9522
2014	0.9804	0.9389	0.8656	0.9135	0.8547	0.9538	0.9756	0.9015	0.9954	0.9590	0.9379
2015	0.9884	0.9411	0.9147	0.9604	0.8830	0.9767	0.9962	0.8555	0.9939	0.9896	0.9825
2016	0.9780	0.9461	0.9801	0.9640	0.8606	0.9900	0.9911	0.6824	0.9939	0.9879	0.9835
2017	0.9735	0.9551	0.9491	0.9806	0.8784	0.9849	0.9920	0.5325	0.9953	0.9884	0.9852

2018	0.7247	0.9656	0.9144	0.9648	0.8760	0.9502	0.9915	0.6775	0.9945	0.9907	0.9936
2019	0.0341	0.9641	0.0157	0.9853	0.8687	0.9473	0.9934	0.7780	0.9963	0.9958	0.9732

表 5 耦合协调度表

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2005	0.7617	0.0037	0.5670	0.0029	0.0525	0.0027	0.0023	0.0060	0.0036	0.0023	0.0028
2006	0.6354	0.2071	0.5762	0.2321	0.2450	0.2377	0.0641	0.2538	0.2563	0.1717	0.1806
2007	0.5627	0.2149	0.5216	0.2798	0.3239	0.3391	0.2339	0.3190	0.2927	0.2017	0.2585
2008	0.5973	0.2412	0.5009	0.3417	0.4167	0.4726	0.2997	0.3464	0.4280	0.2574	0.3353
2009	0.5497	0.3100	0.5469	0.3246	0.4821	0.4231	0.3472	0.3966	0.4684	0.2758	0.4107
2010	0.4859	0.3224	0.4733	0.4360	0.4743	0.3721	0.3529	0.3921	0.3577	0.2875	0.0686
2011	0.4820	0.3914	0.4714	0.3595	0.6190	0.4866	0.4430	0.3852	0.5561	0.3118	0.3439
2012	0.5171	0.4210	0.4582	0.4018	0.0033	0.5675	0.4840	0.3346	0.6010	0.3858	0.4172
2013	0.4813	0.6118	0.4739	0.5021	0.4182	0.6669	0.6173	0.4395	0.7097	0.5003	0.5381
2014	0.4981	0.6499	0.4424	0.5185	0.4930	0.6776	0.6395	0.5016	0.7693	0.6499	0.5867
2015	0.5308	0.7206	0.4633	0.6203	0.5652	0.7760	0.7730	0.4962	0.8373	0.8287	0.7232
2016	0.4935	0.7237	0.3903	0.6367	0.5382	0.7357	0.7826	0.3602	0.8142	0.7580	0.7499
2017	0.4559	0.7115	0.3588	0.6121	0.5658	0.7453	0.8202	0.2839	0.8412	0.8091	0.7872
2018	0.2436	0.7084	0.2916	0.6061	0.5615	0.6663	0.8281	0.3918	0.8611	0.8399	0.6785
2019	0.0112	0.7165	0.0035	0.6730	0.5838	0.6628	0.8941	0.4848	0.8864	0.8467	0.7487

3.1.2 耦合协调度时序演化分析

由表 5 可得,长江经济带 11 省市产业集聚—碳排放—绿色农业复合系统耦合协调度绝大部分省市总体呈现快速上升趋势,少部分省市的耦合协调度总体呈现下降的发展态势,下降幅度较大。根据表 3 的耦合协调度等级划分标准,长江经济带 11 省市的耦合协调度经历了严重失调、轻度失调、基本协调、中度协调与高度协调 5 个耦合协调阶段,具有显著的时序演化差异。在 2005 年,上海与浙江产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统的耦合协调度较高,分别为 0.7617 与 0.5670,处于中度协调水平,此阶段产业集聚、碳排放与绿色农业逐步开始呈现耦合发展态势,进入优质发展阶段,各子系统耦合发展水平同向快速稳步提升。到 2019 年,上海市与浙江省的耦合协调度大幅降低分别为 0.0112 和 0.0035,处于严重失调阶段,在此阶段三系统完全处于无序状态,产业集聚、碳排放与绿色农业联系不紧密,呈现各自发展的特点。除上海和浙江外的其他地区在 2005 年耦合协调度极低,处于严重失调阶段。到了 2019 年,这些地区的耦合协调度大幅增加,其中湖南、四川、贵州三省处于高度协调水平,耦合协调度分别为 0.8941、0.8864 和 0.8467,江苏、安徽、江西、湖北、云南五省处于中度协调水平,耦合协调度分别为 0.7165、0.6730、0.5838、0.6628 和 0.7487。重庆耦合协调度上升速度较慢为 0.4848,处于基本协调水平,在此阶段,产业集聚—碳排放—绿色农业复合系统处于有序发展阶段,子系统之间的联系紧密起来,发展程度逐渐趋于同步协调,开始发挥系统协同作用。而在 2014 年重庆耦合协调度达到最高水平为 0.5016,位于中度协调阶段。

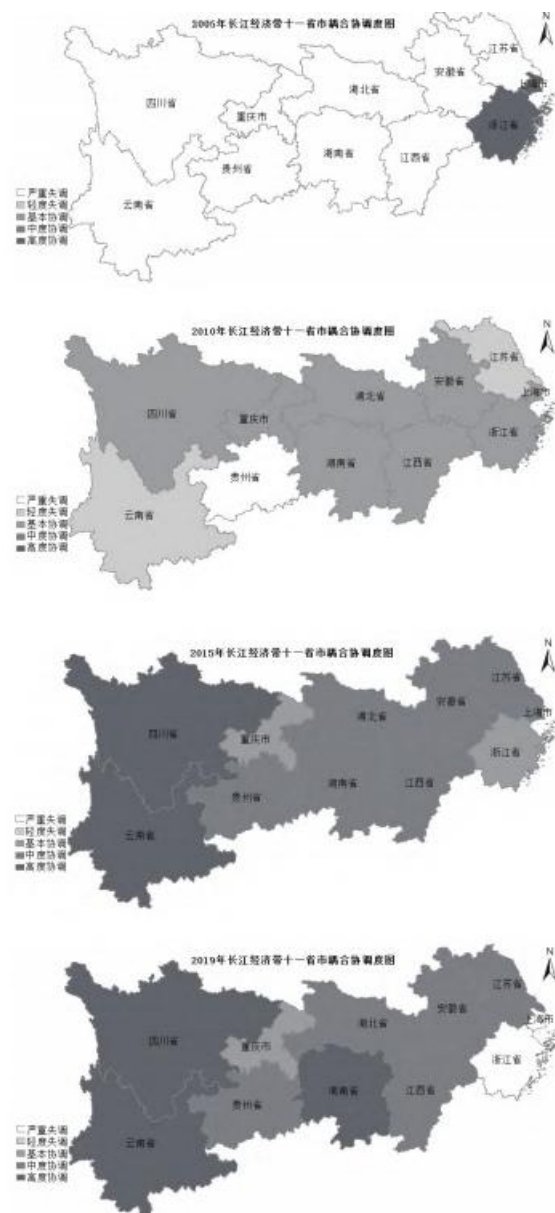


图1 耦合协调度图

3.2 耦合协调度空间演化分析

从图 1 可知，上海与浙江的耦合协调度具有空间关联性，四川与云南具有较强的空间联系，江苏、安徽、江西、湖北、湖南具有一定的空间联系，这些可能具有空间关联省份的耦合协调度演变基本保持同步变化。在 2005 年，高度协调区域主要位于长三角地区的上海与浙江，其他地区都处于严重失调阶段。而到了 2019 年，高度协调的区域转移到了长江经济带上游地区的四川和云南两省，长江经济带中游地区演变为中度协调，其中湖南三系统之间耦合协调度度较高，在中游地区率先实现了高度协调发展。而初期就达到高度协调的上海与浙江，在 2019 年又演变为严重失调。

综上所述，长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统的耦合协调度的空间演变差异较大，其空间分布具有一定集聚性特征，表现为具有一定“高高低低”作用关系，即高水平耦合区域之间空间联系较大，空间作用较强，相互之间产生促进作用，而低水平耦合区域也具有一定空间联系。而想要明

确长江经济带 11 省市之间是否具有显著的空间关联性，需要进一步检验。

表 6 全局莫兰指数结果表

年份	Moran’ s I 指数	P 值	Z 值	显著性水平
2005	0.248	0.017	2.112	5%
2010	0.237	0.016	2.150	5%
2015	0.037	0.250	0.673	不显著
2019	0.251	0.029	1.888	5%

3.3 耦合协调度空间自相关分析

为了更好地分析长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统耦合协调度的空间关联性特征与空间集聚变化，本文运用空间自相关分析来检验分析其空间关联性与演变特征。为展示其耦合协调度的空间演变特征，特选取 2005 年、2010 年、2015 年、2019 年作为观察年份。全局空间自相关分析结果如表 6 所示，2005 年、2010 年、2015 年、2019 年 4 年全局莫兰指数全为正，除了 2015 年其结果不显著外，其余几年的结果全在 5%水平上显著。表明了长江经济带 11 省市 2005—2019 年产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统之间基本存在一定的空间关联性，但是该关联性水平不高，存在较大提升空间，也进一步证明长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业复合系存在显著的空间集聚特征。

通过莫兰散点图进一步分析其空间集聚特征，如图 2 所示。可知，各省市主要分布在一、第三象限，说明了长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业的耦合协调度存在“高高低低”空间集聚特征，即高值集聚区具有很强的空间关联性，区域之间的影响作用较强，低值集聚区也是如此。在空间分布上各地区高值集聚区与低值集聚区均发生较大变化。从 2005—2019 年，高值集聚区数量大幅增加，从 2005 年的上海和浙江两省市到 2019 年湖北、云南等 5 省，进而形成了两湖高值集聚区与云贵川高值集聚区，这两个区域空间联动效应显著，具有明显的空间溢出效应。低值集聚区同样变化较大，其数量大幅降低，省市变化较大。2005 年，湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南都处于低值集聚区，而到了 2019 年，低值集聚区是上海与浙江。这进一步说明了各省市之间存在很强的空间关联性，具有显著的空间促进作用。

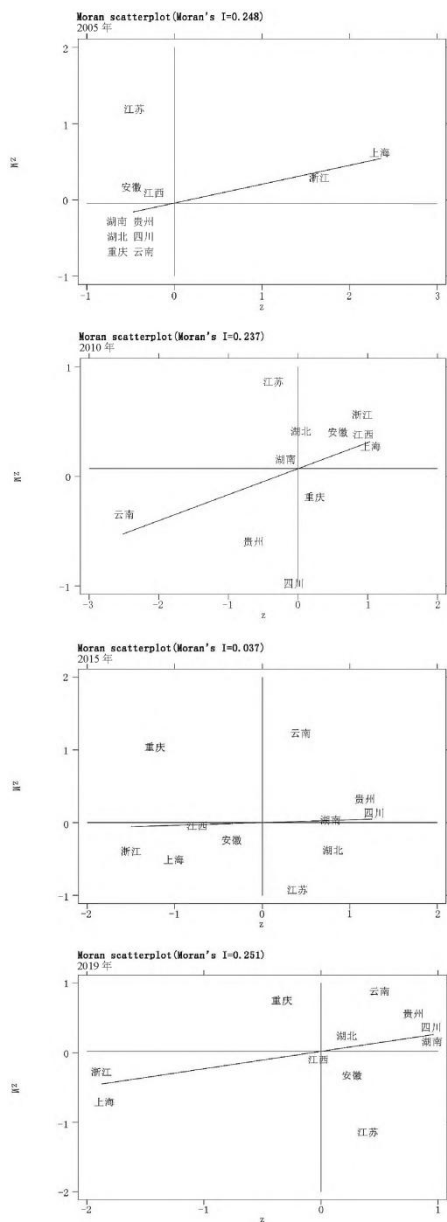


图2 莫兰散点图

4 结论与对策

4.1 结论

(1) 长江经济带 11 省市产业集聚—碳排放—绿色农业系统复合系统的耦合度及耦合协调度存在显著的时序演变差异。各省市耦合度及耦合协调度在 15 年内均发生了较大幅度的变化，绝大部分省市耦合度、耦合协调度总体呈现增长趋势，上海市与浙江省整体呈现下降趋势。至 2019 年，湖南、四川、贵州三省耦合协调度处于高度协调水平，江苏、安徽、江西、湖北、云南五省处于中度协调水平，重庆处于基本协调水平，浙江与上海处于严重失调阶段。

(2) 长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统的耦合协调度具有显著的空间分布演变差异。在 2005 年，高度协调区域主要位于长三角地区的上海与浙江，其他地区都处于严重失调阶段。而

到了 2019 年,高度协调的区域转移到了长江经济带上游地区的四川、云南两省与中游地区的湖南省,而上海与浙江,在 2019 年又演变为严重失调,其他地区则发展为中度协调或基本协调

(3) 长江经济带 11 省市产业集聚、碳排放与绿色农业复合系统之间存在一定的空间关联性,但是该关联性水平不高,存在较大提升空间。且各省市耦合协调度存在显著的空间集聚特征,表现为具有一定“高高低低”作用关系,即高值集聚区具有较强的空间关联性,区域之间的影响作用较强,低值集聚区也是如此。到 2019 年,低值集聚区是上海与浙江。这进一步说明了各省市之间存在很强的空间关联性,具有显著的空间促进作用。

4.2 对策

根据研究结果,为进一步提高长江经济带三元系统耦合协调度,实现产业集聚、碳排放与绿色农业优质耦合协调状态,提出以下建议:(1) 理顺三者之间的耦合关系。大力破解制约三元系统耦合协调的关键因素,以长江经济带各省市三元系统的实际发展情况和所处阶段为基础,实现政策差异化设计,注重发挥各省市空间关联性,进而使整体协同发展。(2) 强化区域产业集聚效应。长江经济带农业资源丰富,基础条件较好,具备农业产业集聚的资源和市场条件。要进一步促进区域内农业产业集聚,做大做强农业主体功能区,发挥产业集聚的规模效应和技术溢出效应,促进产业集聚的环境正外部性不断形成。(3) 推进农业碳减排工作。抓紧农业趋近碳达峰有利时机,进一步树立低碳、绿色发展理念,设置农业经济发展碳约束指标,进一步推广农业低碳技术,构建农业清洁生产机制,积极发展农业碳市场,探索农业碳补偿和碳交易有效做法,切实促进长江经济带碳减排工作落到实处。(4) 加快绿色农业发展。要进一步贯彻长江经济带生态优先、绿色发展的战略定位,在农业发展从粗放型向集约型转变的过程中筑牢绿色基调,善用产业集聚、碳排放与绿色农业发展的时空演化规律,发挥区域之间的空间影响作用,促进高值集聚区和低值集聚区的绿色农业协同发展。

参考文献:

- [1]田云,尹恣昊.产业集聚对中国农业净碳效应的影响研究[J].华中农业大学学报(社会科学版),2021(3): 107-116.
- [2]江三良,邵宇浩.产业集聚是否导致“污染天堂”——基于全国 239 个地级市的数据分析[J].产经评论,2020(4): 109-118.
- [3]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.
- [4]王太祥,王腾,吴林海.西北干旱区农地利用碳排放与农业经济增长的响应关系[J].中国农业资源与区划,2017(4): 170-176.
- [5]雷海,王皓,朱明侠.产业集聚,能源消耗与环境污染[J].工业技术经济,2017(9): 58-64.
- [6]易艳春,高爽,关卫军.产业集聚,城市人口规模与二氧化碳排放[J].西北人口,2019(1): 50-60.
- [7]张可.产业集聚与区域创新的双向影响机制及检验——基于行业异质性视角的考察[J].审计与经济研究,2019(4): 94-105.

- [8]李小帆,张洪潮.产业集聚对碳排放的影响研究——以城镇化水平为门槛的非线性分析[J].生态经济,2019(10):31-36.
- [9]苗建军,郭红娇.产业协同集聚对环境污染的影响机制——基于长三角城市群面板数据的实证研究[J].管理现代化,2019(3):70-76.
- [10]孟子恒,朱海燕,刘学忠.农业产业集聚对农业经济增长的影响研究——基于苹果产业的实证分析[EB/OL].(2021-06-01).<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20210531.1518.032.html>.
- [11]BarkleyDL, HenryMS, KimY. Industry agglomerations and employment changeling - metropolitan areas[J]. Review of Urban & Regional Development Studies, 2010, 11(3):168-186.
- [12]何文举,张华峰,陈雄超,等.中国省域人口密度,产业集聚与碳排放的实证研究——基于集聚经济,拥挤效应及空间效应的视角[J].南开经济研究,2019(2):207-224.
- [13]Grossman GM, Krueger AB. Economic growth and the environment [J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2):353-377.
- [14]贺青,张虎,张俊飏.农业产业集聚对农业碳排放的非线性影响[J].统计与决策,2021(9):75-78.
- [15]程琳琳,张俊飏,何可.农业产业集聚对碳效率的影响研究:机理,空间效应与分群差异[J].中国农业大学学报,2018(9):218-230.
- [16]徐承红,薛蕾.农业产业集聚与农业面源污染——基于空间异质性的视角[J].财经科学,2019(8):82-95.
- [17]薛蕾,申云,徐承红.农业产业集聚与农业绿色发展:效率测度及影响效应[J].经济经纬,2020(3):45-53.
- [18]王留鑫,姚慧琴,韩先锋.碳排放,绿色全要素生产率与农业经济增长[J].经济问题探索,2019(2):142-149.
- [19]颜廷武,田云,张俊飏,等.中国农业碳排放拐点变动及时空分异研究[J].中国人口·资源与环境,2014(11):1-8.
- [20]田云,林子娟.长江经济带农业碳排放与经济增长的时空耦合关系[J].中国农业大学学报,2021(1):208-218.
- [21]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(2):211-218.
- [22]王芳.基于耦合协调度模型的生态系统与经济系统协同发展研究——以京津冀地区为例[J].湖北社会科学,2021(6):64-72.

[23]陈锡文. 论农业供给侧结构性改革[J]. 中国农业大学学报 (社会科学版) 2017 (2): 5-13.

[24]樊祖洪, 熊康宁, 李亮, 等. 喀斯特生态脆弱区农业生态经济系统耦合协调发展研究——以贵州省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2022 (2): 482-491.

[25]杜建军, 谢家平, 刘博敏. 中国农业产业集聚与农业劳动生产率——基于 275 个城市数据的经验研究[J]. 财经研究, 2020 (6): 49-63.

[26]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(5): 203-208.

[27]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 (7): 66-68.

[28]刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报, 2005(1): 105-112.