

基于 LCA 方法的生猪产业温室气体排放时空特征分析——以鄱阳湖生态经济区为例

孔凡斌 王智鹏 潘丹

【摘要】基于 2000—2013 年鄱阳湖生态经济区 30 个县市面板数据，运用生命周期评价方法（LCA），选取生猪肠道发酵、粪便管理系统、生猪饲养环节耗能、生猪饲料粮种植、生猪饲料粮运输加工和猪肉产品屠宰加工 6 大环节，测算分析了鄱阳湖生态经济区生猪产业温室气体排放的时空特征。结果表明：总量上，2000—2013 年鄱阳湖生态经济区生猪产业生命周期及各个环节的当量排放量均呈上升的趋势，其中生猪饲料粮种植、生猪饲料粮运输加工、粪便管理系统和生猪饲养耗能环节温室气体上升趋势更加显著；结构上，粪便管理系统和生猪饲料粮种植是鄱阳湖生态经济区生猪产业温室气体排放的主要来源；地域差异上，余江县、南昌县、东乡县和高安市的生猪养殖当量排放总量增长迅速，且排放总量远高于其他 26 个县市。

【关键词】生猪产业；生命周期评价方法；温室气体；时空特征；鄱阳湖生态经济区

【中图分类号】F127；X196

【文献标识码】A

【文章编号】1006-5024(2016)09-0157-07

一、引言

鄱阳湖是中国第一大淡水湖，也是亚洲最大的淡水湖泊湿地，承担着调洪蓄水、调节气候、降解污染等多种生态功能，该区域的生态环境问题受到国内外的广泛关注。近年来，随着人们消费结构的转型和经济发展水平的提高，鄱阳湖生态经济区畜牧业快速发展，由此导致的畜禽养殖污染问题日趋严峻，畜禽污染对鄱阳湖流域水质的影响达到 60%以上。中国对畜禽养殖污染问题给予了高度重视，2013 年 8 月，国务院颁布《畜禽规模养殖污染防治条例》，明确提出对畜禽养殖污染进行治理；2015 年 11 月，全国“十三五”规划中也将畜禽养殖污染的治理作为绿色发展的一个重要方面。生猪产业作为畜牧业中的主导产业之一，因其养殖规模大，故温室气体排放总当量约占畜牧业温室气体排放的 34%，生猪养殖所排放的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 气体已经成为全球温室气体排放的主要来源之一^{[1][2]}。加强鄱阳湖生态经济区生猪产业温室气体排放研究，对于有效减少生态经济区内生猪产业温室气体排放，引领鄱阳湖生态经济区生猪产业低碳发展，实现生态保护和经济共赢，具有十分重要的理论意义和现实意义。

生命周期评价（Life cycle Assessment, LCA）被国内外学者广泛应用于温室气体排放的测算。生命周期评价是评价一种产品从“摇篮到坟墓”整个生命周期对环境影响的方法，评估其整个生命周期的输入、输出及对环境造成的潜在影响^{[3][4][13]}。当前，

基金项目：国家自然科学基金青年基金项目“大湖地区畜禽养殖污染形成机理及管控政策研究——以鄱阳湖生态经济区为例”（项目编号：71303099）；国家自然科学基金地区项目“基于生态系统服务功能价值的区域生态补偿标准及空间选择研究——以鄱阳湖生态经济区为例”（项目编号：41261110）；江西现代农业及其优势产业可持续发展决策支持协同创新中心课题“江西生猪养殖对环境影响及其治理研究”（项目编号：XDNYA1509）

作者简介：孔凡斌，江西省社会科学院副院长、研究员，江西财经大学二级教授，博士生导师，博士后合作导师，研究方向为生态经济、资源与环境经济和农林经济；

王智鹏，江西财经大学鄱阳湖生态经济研究院农业经济管理硕士生，研究方向为农业经济；

潘丹，江西财经大学鄱阳湖生态经济研究院讲师，博士，研究方向为环境经济理论与政策、农业经济管理。（江西 南昌 330013）

国内外已有学者运用生命周期评价方法对畜牧温室气体排放作出了相关研究。Claudine Basset-Mens et al. (2005) 运用生命周期评价方法评估生猪生产整个过程的温室气体排放, 认为生猪温室气体排放和生猪饲养的养殖场、作物产量以及饲养效率有关^[5]。ThomasG (2013) 对美国奶牛场奶牛产品产生的温室气体进行了全生命周期测算, 研究认为提高奶牛场管理效率可以减轻温室气体的排放^[6]。DonalO’ Brienetal. (2014) 等对爱尔兰地区奶牛的碳足迹进行了全生命周期测算, 研究发现, 80%的温室气体是由直接饲养过程产生的^[7]。马宗虎等 (2010) 采用生命周期方法评估了规模化肉牛育肥场温室气体排放情况^[8]。孟祥海等 (2014) 运用生命周期方法, 测算分析了 1990-2011 年我国畜牧业温室气体排放的特征^[2]。

已有的研究成果为本文提供了理论和方法上的借鉴, 同时存在着进一步研究的空间。第一, 从研究内容来看, 尽管已有的研究成果采用多种方法评估了畜牧业、农业的温室气体排放及其对环境的潜在影响, 但从全生命周期角度的研究还较少^{[2][3][9]}; 第二, 从研究领域来看, 已有的研究成果多集中在对第二产业 (硬纸板加工、橡胶生产、废塑料燃烧的能源再利用) 以及第三产业 (交通运输、旅游业) 等的温室气体排放研究^[10], 对第一产业 (种植业、畜牧业) 温室气体排放的研究较少, 尤其是生猪产业研究甚少。第三, 从生猪产业来看, 已有的研究成果多集中在生猪适度养殖规模、生猪养殖效率分析、生猪养殖粪便处理以及生猪产业发展等方面, 对生猪产业生命周期温室气体排放的研究较少^{[4][11]-[13]}。鉴于此, 本文以县市为基本研究单位, 运用 IPCC (2006) 国际温室气体排放指南^[14], 测算和分析鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期温室气体排放的总量以及排放的时空特征。通过对鄱阳湖生态经济区生猪产业温室气体排放总量的测算和空间格局变化的把握, 能够为政府在“十三五”期间提供更加有针对性和可操作性的减排政策, 以促进鄱阳湖生态经济区绿色发展目标的实现。

二、数据来源和研究方法

本文使用的数据为鄱阳湖生态经济区 30 个县市生猪养殖数据。数据主要来源于 2001-2014 年《江西省统计年鉴》及江西 11 个市统计年鉴, 部分数据来源于《中国农村统计年鉴》与《全国农产品成本收益资料汇编》。

本文借鉴联合国粮农组织温室气体排放量评估框架《IPCC2006 年国际温室气体清单指南》, 运用生命周期评价方法, 评估鄱阳湖生态经济区生猪产业温室气体排放量。通过借鉴胡向东 (2010)^[3]、孟祥海 (2014)^[2]等人的研究方法, 引用 IPCC 和 FAO 等权威组织及国内外专家学者发表的研究成果作为依据, 选取生猪肠道发酵、粪便管理系统、生猪饲养环节耗能、生猪饲料粮种植、生猪饲料粮运输加工和猪肉产品屠宰加工 6 个环节进行测算, 各环节温室气体排放的测算方法如下:

(一) 直接的温室气体排放测算

生猪产业直接的温室气体排放主要来源于生猪肠道发酵、粪便管理系统和生猪饲养耗能 3 个环节。生猪养殖周期小于 1a, 为更准确估算生猪养殖温室气体排放量, 本文采用生猪年出栏量数据, 测算出年均饲养量, 公式如下所示:

$$APP = \text{Days}_{\text{alive}} \cdot \left(\frac{\text{NAPA}}{365} \right), \text{if: Days}_{\text{alive}} < 1a \quad (1)$$

式中: APP 表示生猪年均饲养量, 单位: 头; Days_{alive} 表示生猪平均饲养周期, 单位: 天; NAPA 表示生猪年均出栏数, 单位: 头。

1. 生猪肠道发酵产生的气体排放

生猪属于单胃牲畜, 在胃肠道无氧条件下, 消化系统会产生 CH₄ 气体。肠道发酵产生的 CH₄ 气体排放量与生猪饲养周期、体重和生猪所食用的饲料质量与数量等因素有关。生猪肠道发酵产生的 CH₄ 气体排放量计算公式如下所示:

$$E_{gt}=APP \cdot EF_1 \cdot GWP_{CH_4} \quad (2)$$

式中： E_{gt} 表示生猪肠道发酵产生的二氧化碳气体排放当量（ CO_2 -eq）；APP 表示生猪年平均饲养量； EF_1 表示生猪肠道发酵 CH_4 气体排放系数，单位：kg/（头·a）； GWP_{CH_4} 表示 CH_4 全球升温潜能值，值为 21。

2. 粪便管理系统产生的 CH_4 气体排放

粪便管理系统中产生的 CH_4 气体排放与生猪粪便排放量和生猪粪便厌氧降解的比例有关。在生猪粪便储存和管理过程中，在无氧或厌氧环境下粪便降解会产生 CH_4 气体。在集约化的生猪养殖场，生猪养殖数量多，粪便排放量大，而且在粪池、粪坑或沼气池等储存和管理，由此形成无氧或厌氧条件，粪便降解产生大量 CH_4 气体。粪便管理系统产生的 CH_4 气体排放量如下所示：

$$E_{mc}=APP \cdot EF_2 \cdot GWP_{CH_4} \quad (3)$$

式中： E_{mc} 表示粪便管理系统产生的二氧化碳气体排放当量（ CO_2 -eq）；APP 表示生猪年平均饲养量； EF_2 表示粪便管理系统 CH_4 气体排放系数，单位：kg/（头·a）； GWP_{CH_4} 表示 CH_4 全球升温潜能值，值为 21。

3. 粪便管理系统产生 N_2O 气体的排放

在生猪粪便储存和管理中，在有氧的环境下粪便降解产生气体。粪便储存管理过程中，经共同的硝化和反硝化作用将生猪粪便中所含的氮元素反应转化为气体。粪便管理系统产生的 N_2O 气体排放量如下所示：

$$E_{md}=APP \cdot EF_3 \cdot GWP_{N_2O} \quad (4)$$

式中： E_{md} 表示粪便管理系统产生的二氧化碳气体排放当量（ CO_2 -eq）；APP 表示生猪年平均饲养量； EF_3 表示粪便管理系统 N_2O 气体排放系数，单位：kg/（头·a）； GWP_{N_2O} 表示 N_2O 全球升温潜能值，值为 310。

4. 生猪饲养环节产生的 CO_2 气体排放

在生猪养殖过程中，能源消耗也能直接产生温室气体排放。如需要消耗电力、煤炭等能源用于生猪养殖所需的生产照明、通风散热、栏舍防寒保暖和设备运转等环节。生猪饲养环节耗能所产生的 CO_2 气体排放量如下所示：

$$E_{me}=NAPA \cdot \frac{cost_e}{price_e} \cdot EF_e + NAPA \cdot \frac{cost_c}{price_c} \cdot EF_c \quad (5)$$

式中： E_{me} 表示生猪养殖环节耗能产生的 CO_2 气体排放量；NAPA 表示生猪年出栏量； $cost_e$ 表示每头生猪在一个养殖周期内所消耗的用电支出，单位：元/头； $cost_c$ 表示每头生猪在一个养殖周期内所消耗的用煤支出，单位：元/头； $price_e$ 表示生猪养殖用电单价，单位：元/（KW·h）； $price_c$ 表示生猪养殖用煤单价，单位：元/t； EF_e 表示电能消耗产生的 CO_2 气体排放系数，单位：t CO_2 /（MW·h）； EF_c 表示煤炭燃烧产生的 CO_2 排放系数，单位：t/t。

公式（2）-（9）中温室气体排放系数如表 1 所示。

表 1 生命周期过程中温室气体排放系数

参数	描述	选取值
EF ₁	生猪肠道发酵气体排放系数,kg/(头·a)	1.00
EF ₂	粪便管理系统气体排放系数,kg/(头·a)	3.50
EF ₃	粪便管理系统气体排放系数,kg/(头·a)	0.53
EF _e	电能消耗的气体排放系数,t CO ₂ /(MW·h)	0.9944
EF _c	煤炭燃烧的排放系数,t/t	1.98
EF _{j1}	粮食种植的排放系数,t/t	玉米 1.5,小麦 1.22
EF _{j2}	粮食运输加工的排放系数,t/t	玉米 0.01,小麦 0.0309
GWP _{CH₄}	甲烷全球升温值	21
GWP _{N₂O}	氧化氮全球升温值	310
t	单位猪肉产品耗粮系数,kg/kg	1.72797
MJ	单位猪肉产品屠宰加工耗能系数,KJ/kg	3.76
e _n	一度电的热值,MJ/(KW·h)	3.6
price _e	生猪养殖用电单价,元/(KW·h)	0.685
price _c	生猪养殖用煤单价,元/t	400

数据来源:《中国农村统计年鉴》、《全国农产品成本收益资料汇编》、IPCC 2006 年国际温室气体清单指南》以及国内外专家学者发表的研究成果等为依据。

(二) 间接的温室气体排放测算

间接的温室气体排放主要包括生猪饲料粮种植、生猪饲料粮运输加工和猪肉产品屠宰加工 3 个环节。

1. 生猪饲料粮种植产生的 CO₂ 气体排放

生猪养殖饲料粮包括精饲料和粗饲料,而精饲料主要包括玉米、小麦、豆粕、麸皮和矿物质等成分,粗饲料主要是泔水、蔬菜瓜果、秸秆和剩饭剩菜等。本文将粗饲料以及经过处理过后的副产品豆粕、麸皮和矿物质,不予纳入计算生猪饲料粮种植加工所产生的温室气体排放中。在生猪饲料粮种植过程,农药、化肥、农膜以及机械耗能等投入以及其他生产活动产生的温室气体排放应计入生猪间接的温室气体排放中。生猪饲料粮种植产生的 CO₂ 气体排放量如下所示:

$$E_{fe}=Q \cdot t \cdot q_j \cdot EF_{j1} \quad (6)$$

式中: E_{fe}表示生猪饲料粮种植过程中产生的 CO₂ 气体排放量; Q 表示猪肉产品年产量,单位: 吨; t 表示生猪单位产品耗粮系数,单位: kg/kg; q_j 表示生猪饲料粮成分中 j 类粮食所占比例,其中生猪饲料粮中玉米占 56.15%,小麦占 18%; EF_{j1}表示 j 类粮食种植过程中的 CO₂ 气体排放系数,单位: t/t。

2. 生猪饲料粮运输加工产生的 CO₂ 气体排放

经过种植所生产的玉米、小麦、大豆等饲料原料,经过晒干、筛选、碾碎、配料、混合、运输、加工等过程制成饲料粮。这些环节消耗能源所产生的温室气体也应计算入生猪间接的温室气体排放之中。生猪饲料粮运输加工环节所产生的 CO₂ 排放量如下所示:

$$E_{gp}=Q \cdot t \cdot q_j \cdot EF_{j2} \quad (7)$$

式中：E_{gp}表示生猪饲料粮运输加工环节产生的 CO₂气体排放量；Q表示猪肉产品年产量，单位：吨；t表示生猪单位产品耗粮系数，单位：kg/kg；q_j表示生猪饲料粮成分中 j 类粮食所占比例，其中生猪饲料粮中玉米占 56.15%，小麦占 18%；EF_{j2}表示 j 类饲料粮运输加工过程中的 CO₂气体排放系数，单位：t/t。

3. 生猪屠宰加工产生的 CO₂气体排放

生猪从养殖场运输至屠宰场，经屠宰加工后进入市场，流通成为商品。这些过程所产生的能源消耗也应该计入间接的温室气体排放之中，故生猪屠宰加工产生的 CO₂气体排放量如下所示：

$$E_{sp}=Q \frac{MJ}{e_e} EF_e \quad (8)$$

式中：E_{sp}表示生猪屠宰加工产生的 CO₂气体排放量；Q表示猪肉产品年产量，单位：吨；MJ表示单位猪肉产品屠宰加工耗能，单位：KJ/kg；e_e表示每度电的热能，单位：MJ/（KW·h）；EF_e表示电能消耗的 CO₂气体排放系数，单位：tCO₂/（MW·h）。

（三）总排放量测算

综上以 CO₂当量计算，鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期温室气体排放计算公式如下所示：

$$\begin{aligned} E_{total} &= E_{gt} + (E_{mc} + E_{md}) + E_{me} + E_{fe} + E_{gp} + E_{sp} \\ &= E_{gt} + E_{cd} + E_{mc} + E_{fe} + E_{gp} + E_{sp} \end{aligned} \quad (9)$$

式中：E_{total}表示生猪全生命周期温室气体排放总量；E_{gt}表示生猪肠道发酵产生的 CO₂气体排放当量（CO₂-eq）；E_{cd}表示粪便管理系统产生的 CO₂气体排放当量（CO₂-eq）；E_{me}表示生猪养殖环节耗能产生的 CO₂气体排放量；E_{fe}表示生猪饲料粮种植过程中产生的 CO₂气体排放量；E_{gp}表示生猪饲料粮运输加工环节产生的 CO₂气体排放量；E_{sp}表示生猪屠宰加工产生的 CO₂气体排放量。

三、结果分析

（一）鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期温室气体排放时序特征分析

2000—2013 年鄱阳湖生态经济区生猪产业各环节全生命周期当量排放量、总排放量和增长率如表 2、图 1 所示。数据显示：2000—2013 年鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期各环节 CO₂当量排放量均呈上升趋势。排放总量（E_{total}）从 2000 年的 257.86 万吨增加到 2013 年的 440.08 万吨，年均排放 324.61 万吨；生猪肠道发酵 CO₂当量排放量（E_{gt}）从 2000 年的 9.06 万吨增加到 2013 年的 14.38 万吨，年均排放 10.51 万吨；粪便管理系统 CO₂当量排放量（E_{cd}）从 2000 年的 102.56 万吨增加到 2013 年的 162.79 万吨，在 2006 年值最低为 94.37 万吨，年均排放 119.04 万吨；生猪饲养环节耗能 CO₂当量排放量（E_{me}）从 2000 年的 13.49 万吨增至 2013 年的 21.41 万吨，年均排放 15.65 万吨；生猪饲料粮种植 CO₂当量排放量（E_{fe}）从 2000 年的 119.94 万吨增至 2013 年的 218.20 万吨，年均排放 162.08 万吨；生猪饲料粮运输加工 CO₂当量排放量（E_{gp}）从 2000 年的 12.75 万吨增至 2013 年的 23.19 万吨，年均排放 17.23 万吨；猪肉产品屠宰加工 CO₂当量排放量（E_{sp}）从 2000 年的 0.07 万吨增至 2013 年的 0.12 万吨，年均排放 0.09 万吨。图 1 显示，鄱阳湖生态经济区生猪产业当量排放量增长率可以分为两个阶段：第一阶段从 2000 年到 2009 年，增

长率呈波动上升趋势且增长较快，由 2000 年的-3.2%增至 2009 年的 13.9%；第二阶段从 2009 年到 2013 年，增长率呈波动下降趋势，其中，2009 年到 2011 年下降迅速，下降了 12.6%。按国家五年计划划分为四个阶段，从 2000—2013 年分别为国家“九五”计划末期、“十五”计划、“十一五”计划以及“十二五”计划中期。从“九五”计划到“十二五”计划中期，鄱阳湖生态经济区生猪产业 CO₂当量排放总量从 257.86 万吨增加到 440.08 万吨，增长率分别为 7.86%、46.85%和 7.76%；其中从“十一五”计划期间到“十二五”计划期间增长率较高，达到 46.85%。

表 2 2000-2013 年鄱阳湖生态经济区
生猪产业各环节全生命周期当量排放量(单位:10⁴t)

年份	E _{gt}	E _{cd}	E _{me}	E _{fe}	E _{gp}	E _{sp}	E _{total}
2000	9.06	102.56	13.49	119.94	12.75	0.07	257.86
2001	8.43	95.49	12.56	120.18	12.77	0.07	249.50
2002	8.58	97.13	12.77	120.93	12.85	0.07	252.33
2003	8.90	100.83	13.26	120.45	12.80	0.07	256.31
2004	8.92	100.99	13.28	128.65	13.67	0.07	265.58
2005	8.93	101.16	13.30	139.78	14.86	0.08	278.12
2006	8.33	94.37	12.41	148.97	15.83	0.08	280.00
2007	9.24	104.60	13.75	158.43	16.84	0.09	302.94
2008	9.94	112.55	14.80	176.60	18.77	0.10	332.75
2009	11.25	127.39	16.75	201.92	21.46	0.11	378.88
2010	13.49	152.80	20.09	200.58	21.32	0.11	408.41
2011	13.6	155.03	20.39	202.83	21.56	0.11	413.61
2012	14.03	158.85	20.89	11.73	22.50	0.12	428.12
2013	14.38	162.79	21.41	218.20	23.19	0.12	440.08
均值	10.51	119.04	15.65	162.08	17.23	0.09	324.61

数据来源:2001-2014 年各年度的《江西省统计年鉴》及江西 11 个市的统计年鉴。

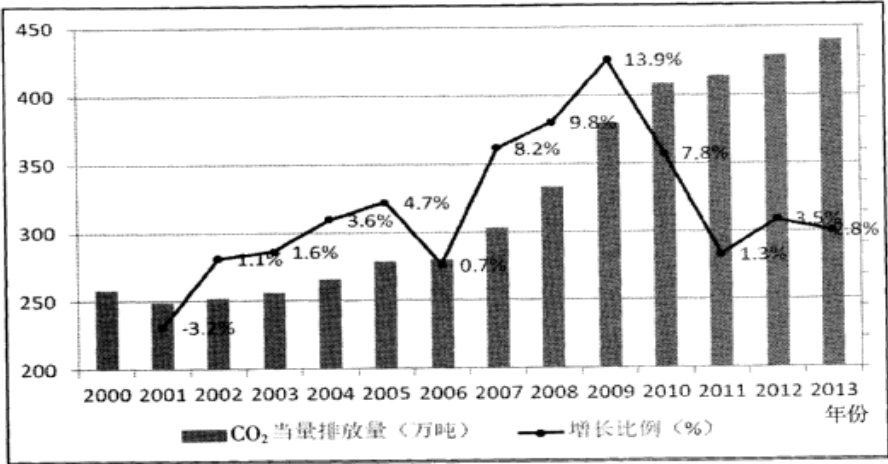


图 1 2000-2013 年鄱阳湖生态经济区生猪产业 CO₂ 当量排放量和增长比例

(二) 鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期温室气体排放结构特征分析

分别用 e_{gt}、e_{cd}、e_{me}、e_{fe}、e_{gp}和 e_{sp}表示鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期六大环节当量排放量占总排放量的比例。如表 3 所示，14 年间，生猪肠道发酵当量排放量比例（e_{gt}）、粪便管理系统 CO₂当量排放量比例（e_{cd}）和生猪饲养环节耗能 CO₂当量排

放量比例 (e_{me}) 呈现下降的趋势, 均值分别为 3.25%、36.78%和 4.84%; 生猪饲料粮种植 CO_2 当量排放量比例 (e_{fc})、生猪饲料粮运输加工 CO_2 当量排放量比例 (e_{sp}) 和猪肉产品屠宰加工 CO_2 当量排放量比例 (e_{sp}) 呈现上升的趋势, 均值分别为 49.18%、5.29% 和 0.03%; e_{gt} 和 e_{sp} 所占比例低于 6%, e_{sp} 所占的比例低于 0.04%。研究发现: 生猪饲料粮种植和粪便管理系统两大环节是温室气体排放的主要来源, 且远高于生猪肠道发酵、生猪饲料粮运输加工、生猪饲养耗能和猪肉产品屠宰加工四大环节; 生猪饲料粮运输加工环节所占比例相对较高, 猪肉产品屠宰加工环节所占比例较低。

表 3 2000–2013 年鄱阳湖生态经济区
生猪产业各环节当量排放量占总排放量的比例

年份	e_{gt}	e_{cl}	e_{me}	e_{fc}	e_{sp}	e_{sp}
2000	3.51%	39.77%	5.23%	46.52%	4.94%	0.02%
2001	3.38%	38.27%	5.03%	48.18%	5.12%	0.02%
2002	3.40%	38.49%	5.06%	47.93%	5.09%	0.03%
2003	3.47%	39.34%	5.17%	46.99%	4.99%	0.03%
2004	3.36%	38.03%	5.00%	48.44%	5.15%	0.03%
2005	3.21%	36.37%	4.78%	50.26%	5.34%	0.03%
2006	2.98%	33.70%	4.43%	53.20%	5.65%	0.03%
2007	3.05%	34.53%	4.54%	52.30%	5.56%	0.03%
2008	2.99%	33.82%	4.45%	53.07%	5.64%	0.03%
2009	2.97%	33.62%	4.42%	53.29%	5.66%	0.03%
2010	3.30%	37.41%	4.92%	49.11%	5.22%	0.03%
2011	3.31%	37.48%	4.93%	49.04%	5.21%	0.03%
2012	3.28%	37.10%	4.88%	49.46%	5.26%	0.03%
2013	3.27%	36.99%	4.86%	49.58%	5.27%	0.03%
均值	3.25%	36.78%	4.84%	49.81%	5.29%	0.03%

数据来源:2001–2014 年各年度的《江西省统计年鉴》及江西 11 个市的统计年鉴。

(三) 鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期温室气体排放空间特征分析

按国家五年计划划分为四个阶段, 将 2000–2013 年分别划分为国家“九五”计划末期、“十五”计划、“十一五”计划以及“十二五”计划中期, 制作鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期温室气体排放空间特征变化趋势图, 按照国家五年计划划分, 将 14 年制作成相对应的 4 个阶段地图, 如图 2 所示。研究发现: 鄱阳湖生态经济区生猪产业 CO_2 当量排放量空间聚集特征显著, 生猪产业 CO_2 当量排放量高的区域主要集中在东乡县、南昌县、高安市和余江县等。“九五”期间, 鄱阳湖生态经济区 30 个县市生猪产业 CO_2 当量排放总量相对较低。生猪产业 CO_2 当量排放量在 9 万吨以下的县市分别是南昌市区、九江市区、共青城市、鹰潭市区、德安县、九江县、星子县、湖口县、彭泽县、安义县、瑞昌市、永修县、万年县和新干县 14 个县市。生猪产业 CO_2 当量排放量在 9–18 万吨之间的县市分别是鄱阳县、余干县、都昌县、余江县、贵溪市、武宁县、新余市、进贤县、抚州市、东乡县和樟树市 11 个县市。生猪产业 CO_2 当量排放量在 18–27 万吨之间的县市分别是新建县、景德镇、丰城市和高安市 4 个县市, 而生猪产业当量排放量在 27 万吨以上的只有南昌县 1 个区域。新建县、景德镇、丰城市、高安市和南昌县的生猪产业 CO_2 当量排放量排在前 5 位, 这些县市是江西省生猪养殖大县, 生猪养殖量居全省前五。“十五”期间, 安义县和万年县的生猪产业 CO_2 当量排放总量, 进入 9–18 万吨区间; 新干县的生猪产业 CO_2 当量排放总量上升显著, 进入 18–27 万吨区间; 东乡县的生猪产业 CO_2 当量排放总量上升显著, 与南昌县一起进入高排放区域, 排放量达到 27 万吨以上; 其他县市的生猪产业 CO_2 当量排放量比“九五”期间略微上升, 基本保持稳定。“十一五”期间, 生猪产业 CO_2 当量排放量在 9 万吨以下的县市增加至 14 个; 抚州市区、万年县、进贤县和丰城市 4 个县市的生猪产业 CO_2 当量排放总量上升明显, 进入 9–27 万吨区间; 余江县与南昌县的生猪产业 CO_2

当量排放量达到 27—36 万吨区间，高安市和东乡县的生猪产业 CO₂当量排放总量上升显著，达到 36 万吨以上。到“十二五”中期 2013 年，进贤县和丰城市的生猪产业 CO₂当量排放量上升明显，进入 27—36 万吨区间；余江县、南昌县、东乡县和高安市的生猪产业 CO₂当量排放量上升显著，均达到 36 万吨以上。总体看来，南昌市区、九江市区、共青城市、鹰潭市区、德安县、九江县、星子县、湖口县、彭泽县、安义县、瑞昌市、永修县 12 个县市的生猪产业 CO₂当量排放总量基本维持在一个比较低的水平。余江县、南昌县、东乡县和高安市的生猪产业 CO₂当量排放总量上升趋势明显，且增量最大。

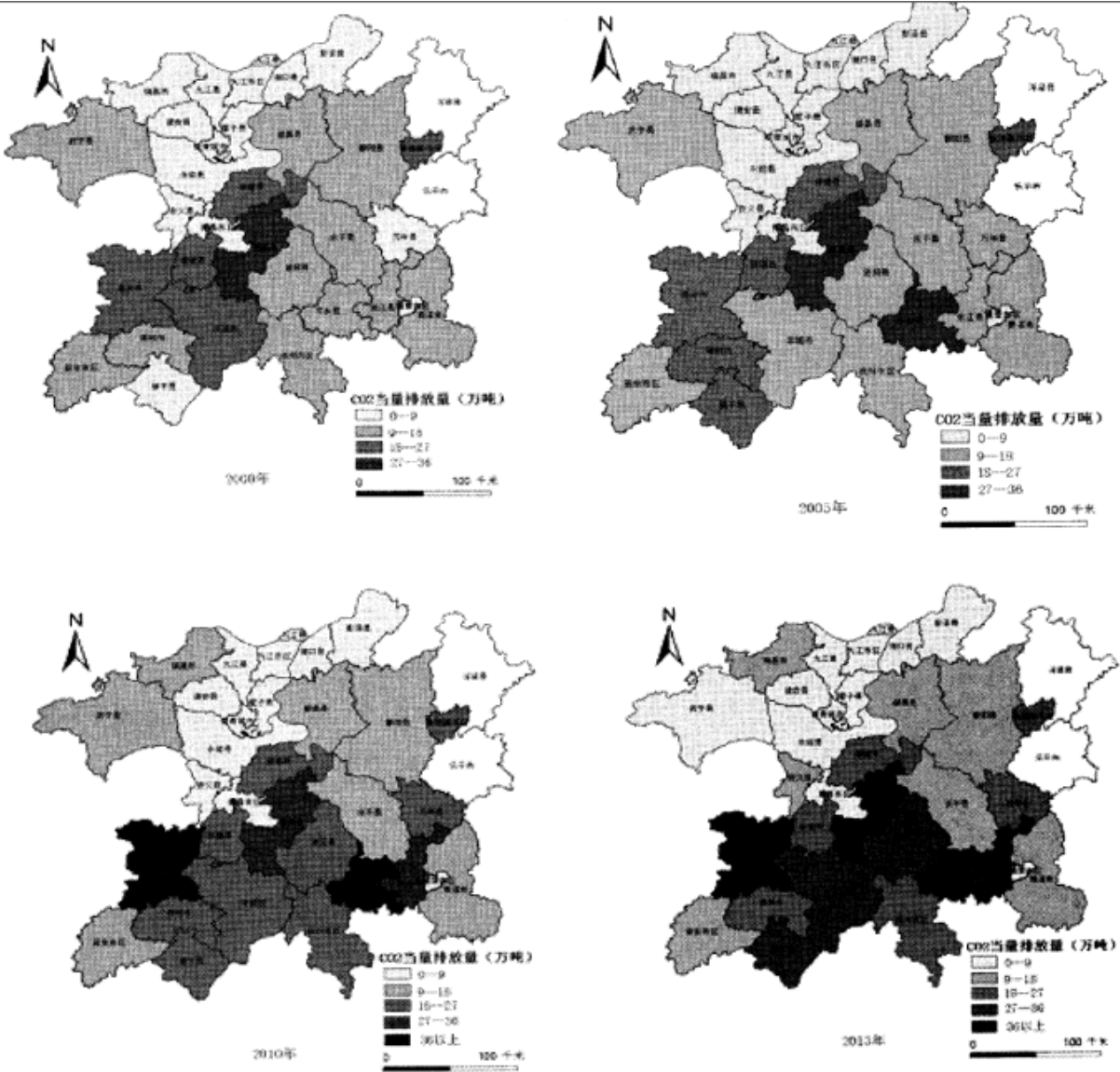


图 2 鄱阳湖生态经济区生猪产业 CO₂ 当量排放量空间格局分布

四、研究结论及政策建议

（一）结论

本文运用生命周期评价方法，综合考虑鄱阳湖生态经济区生猪产业的直接养殖环节以及上下游相关产业链，选取了生猪肠道发酵、粪便管理系统、生猪饲养环节耗能、生猪饲料粮种植、生猪饲料粮运输加工和猪肉产品屠宰加工 6 大环节，运用面板

数据测算和分析了 2000—2013 年 14 年间鄱阳湖生态经济区 30 个县市生猪产业温室气体排放时空特征。研究表明：总量上，2000—2013 年鄱阳湖生态经济区生猪产业全生命周期及各个环节的 CO₂当量排放量均呈上升趋势，其中生猪饲料粮种植、粪便管理系统和生猪饲料粮运输加工环节 CO₂当量排放量上升显著；结构上，生猪饲料粮种植和粪便管理系统两大环节 CO₂当量排放量所占总排放量的比例远高于其他 4 个环节，生猪饲料粮种植和粪便管理系统是生猪产业温室气体排放的主要来源；地域差异上，余江县、南昌县、东乡县和高安市的生猪产业 CO₂当量排放总量增长迅速，且排放总量远高于其他 26 个县市。

（二）建议

基于以上结论，提出以下几点政策建议：

1. 总量上，政府应提高生猪产业集约化、规模化养殖水平和粪便管理与利用的效率，提高农户生猪养殖专业化水平，降低肠道和粪便管理系统的温室气体排放。

2. 结构上，政府应采取措施降低生猪饲料粮种植、粪便管理系统和生猪饲料粮运输加工环节的温室气体排放。

3. 地域上，政府应加大对生猪养殖技术的研发投资，提高生猪养殖效率、优化区域布局、加快主体功能区规划，因地制宜地制定差异化生猪养殖温室气体排放政策。同时，将余江县、南昌县、东乡县和高安市列为鄱阳湖生态经济区生猪养殖温室气体排放政策实施的重点区域。

需要指出的是，本文仅仅对生猪产业全生命周期产生的温室气体进行了评价测算。生猪产业温室气体排放的影响因素及影响机理更值得关注，同时也需要将数学与计量分析工具应用到温室气体时空演变过程的分析中来，在研究方法上有待进一步的改进与提升。因此，今后的研究方向之一是更深层次地研究影响生猪产业温室气体排放的影响因素，延伸生猪产业整个生命周期研究的路径。其次，利用数学与统计分析工具定量分析生猪产业对环境的影响，丰富生猪产业的研究手段。

参考文献：

- [1]范敏,甘筱青,谢运生.江西省生猪养殖温室气体排放特征研究[J].广东农业科学,2013,(17).
- [2]孟祥海,程国强,张俊飏.中国畜牧业全生命周期温室气体排放时空特征分析[J].中国环境科学,2014,(8).
- [3]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,(10).
- [4]李欣蕊,齐振宏,曹丽红.我国养猪业环境全要素生产率测算与分解研究--基于 SFA-Malmquist 方法[J].中国农业大学学报,2015,(4).
- [5]Basset-Mens C, van der Werf H M G, Durand P, et al. Implications of Uncertainty and Variability in the Life Cycle Assessment of Pig Production Systems(7 pp)[J]. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006, 11(5).
- [6]Thoma G, Popp J, Shonnard D, et al. Regional analysis of greenhouse gas emissions from USA dairy farms: a cradle to farm-gate assessment of the American dairy industry circa 2008[J]. Int Dairy J, 2013, 31(1).
- [7]Brien D O, Brennan P, Humphreys J, et al. An appraisal of carbon footprint of milk from commercial grass-based dairy farms in Ireland according to a certified life cycle assessment methodology[J]. The International Journal of

Life Cycle Assessment, 2014, 19(8).

[8]马宗虎,王美芝,丁露雨. 规模化肉牛育肥场温室气体排放的生命周期评估[J]. 农业环境科学学报, 2010, (11).

[9]孙亚男,刘继军,马宗虎. 规模化奶牛场温室气体排放量评估[J]. 农业工程学报, 2010, (6).

[10]陈莎,杨孝光,任丽娟. 生命周期评价应用于温室气体排放的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, (S1).

[11]万莉,章洪涛,弓晓峰. 鄱阳湖流域养猪废水治理概况与进展[J]. 南水北调与水利科技, 2015, (4).

[12]张守莉,郭庆海,王桂霞. 我国生猪产业发展研究述评[J]. 农业经济, 2011, (8).

[13]沈银书. 中国生猪规模养殖的经济学分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.

[14]王智鹏,孔凡斌,潘丹. 江西省畜牧产业温室气体排放时空差异分析—基于 LCA 方法[J]. 鄱阳湖学刊, 2015, (3).