

技术进步、生产方式转型与中国生猪 养殖温室气体减排

周 晶, 青 平, 颜廷武

(华中农业大学 经济管理学院, 湖北 武汉 430070)



摘 要 基于技术水平和规模化水平时空差异, 收集不同养殖模式生长周期、出栏量等关键数据, 对全国和各省生猪养殖碳排放量进行估算。结果表明, 1998—2015 年, 全国生猪养殖碳排放量呈震荡上升趋势, 从 1.08 亿吨 CO₂ 当量增加到 1.33 亿吨 CO₂ 当量; 规模化养殖逐渐取代散养成为碳排放主体, 2015 年其排放量占比达到 73.57%; 四川、湖南、河南、山东等生猪主产省份碳排放量居全国前列; LMDI 模型的分解结果表明, 生猪产量扩张是碳排放增长的主要驱动力, 推动碳排放量增长 43.93%, 技术进步和养殖规模化则将碳排放增长削减了近一半。因此, 提高养殖技术、推动规模化养殖、应用沼气池处理粪污将是重要的温室气体减排措施。

关键词 生猪养殖; 温室气体排放; 技术进步; 养殖规模化; LMDI 模型

中图分类号: F 323 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2018)04-0038-08

DOI 编码: 10.13300/j.cnki.hnwxzb.2018.04.005

人类活动排放的大量温室气体是全球气候变暖的重要诱因, 而畜禽养殖业日渐成为重要的温室气体排放源头。据估计, 养殖业所带来的温室气体排放占全球总排放量的 18%^[1]。我国是世界最大的畜禽生产国, 也是温室气体排放大国。据测算, 我国 32.23% 的 CH₄ 和 18.24% 的 N₂O 源自畜禽养殖^[2]。因此, 畜禽养殖温室气体减排是农业可持续发展的必要路径, 也是中国绿色发展战略的重要组成部分^[3]。实现养殖业低碳化发展, 需要对养殖系统碳排放量进行精确核算, 并深入分析各因素的减排效应^[4]。

20 世纪 90 年代中期以来, 以品种改良、饲料配比优化、经营管理水平提高为主要内容的养殖技术进步和以散养向规模养殖过渡为内容的生产方式转型成为中国养殖业现代化进程中的两大突出特征^[5]。技术进步在很大程度上提高了饲料转化率, 从而缩短畜禽生长周期; 规模养殖实行分阶段饲养, 并在早期断奶、饲料配置、喂料时间等方面进行严格控制, 其饲料转化率通常高于散养模式。可见, 技术进步和养殖规模化对畜禽生长周期产生动态影响, 这对碳排放量精确估算提出了挑战, 但同时也提供了一个新的减排思路^[6-7]。

生猪养殖作为中国养殖业第一大产量部门和第二大温室气体排放源^①, 其技术进步和生产方式转型表现最为明显, 二者对温室气体排放的影响也最为突出。《全国农产品成本收益资料汇编》的统计资料显示, 1998—2015 年, 随着饲料转化率的提高, 全国生猪平均饲养天数缩短了近 50 天; 同期, 全国小规模、中规模和大规模生猪养殖平均饲养天数分别比散养短 24 天、30 天和 41 天。根据公认

收稿日期: 2017-09-16

基金项目: 湖北省软科学研究重点项目“湖北省畜禽健康养殖和废弃物资源循环利用机制研究”(2014BDF005); 国家重点研发计划“畜禽重大疾病防控与高效安全养殖综合技术研发”专项“畜禽重大疾病防控和安全高效养殖模式经济分析研究”; 教育部人文社会科学基金青年项目“价格波动对生猪散养户退出的影响机理与实证研究”(16YJC790152); 中央高校基本科研业务费专项资金项目“中国生猪散养户退出及产业竞争力提升研究”(2662015QD017)。

作者简介: 周 晶(1987-), 男, 讲师, 博士; 研究方向: 畜牧经济。

通讯作者: 青 平(1967-), 男, 教授, 博士; 研究方向: 生猪健康养殖。

① 根据已有研究, 中国生猪 CH₄ 和 N₂O 排放量占畜禽总排放量的 18%~25%, 仅次于黄牛。

的 IPCC 估算方法^[8],在出栏量和排放系数一定的情况下,生猪养殖碳排放量取决于生猪生长周期^①。鉴于此,本文以技术进步和规模化发展异质性造成生猪生长周期时空差异为出发点,运用生命周期评价法重新估算生猪养殖碳排放量,并利用 LMDI 分解法测度技术进步和生产方式转型对生猪养殖温室气体的减排效应。

一、文献综述

畜禽养殖是温室气体重要的排放源,关于这方面研究大致可以分为三类,一是畜禽养殖温室气体测算方法和指标,二是畜禽养殖温室气体排放量估算量,三是畜禽养殖温室气体排放影响因素。

关于畜禽养殖温室气体排放的测算方法,早期的研究多采用 OECD 的测算方法^[9]。后来,IPCC 根据生长周期对畜禽出栏量进行调整,并更新了碳排放系数,提高了估计的精度^[8]。许多研究沿用 IPCC 的方法测算了我国畜禽养殖温室气体排放量^[10-13]。另外一些研究指出,IPCC 方法中部分指标还存在改进的空间。例如,谭秋成认为技术进步和生产方式转型等因素会缩短生猪、禽类等畜种的生长周期,建议在收集不同类型养殖饲养天数数据的基础上,对生猪等畜种的生长周期进行动态调整^[7];周军进一步指出,生猪散养、小规模、中规模和大规模四类模式生猪生长周期存在显著差异,应该对不同模式进行分类计算^[14]。

许多文献运用上述方法对畜禽养殖温室气体排放量进行了估算。一些研究测算了我国 1980—2003 年间畜禽温室气体排放量^[2,9-12],还有很多研究计算了新世纪以来的排放量^[1,6-7,13,15]。此外,也有文献分别考察了全国畜禽养殖温室气体排放量的空间构成^[7-8,15-16]、畜种构成^[1,6]、温室气体类型构成^[13,15,17]、养殖环节构成^[18-23]。

还有一类研究分析了畜禽养殖温室气体排放的影响因素。在影响因素的定性研究方面,谭秋成认为,技术进步大幅度降低了单位肉类和牛奶排放的温室气体^[7];尚杰等、杨璐等认为动物种类、饲料特性、饲养方式和粪便管理方式都会影响动物温室气体排放^[17,20-21];陈瑶等发现经济因素是驱动我国畜牧业温室气体排放增长的最大因素^[24]。在定量研究方面,陈苏等基于 LMDI 模型,对 1991—2013 年中国畜禽温室气体排放量进行了因素分解,发现经济效应对畜禽温室气体排放的推动作用最大,而强度效应的抑制作用最大^[15]。

总结上述文献不难发现,部分研究已经根据技术进步和饲养方式的转变的对畜禽生长周期进行了动态调整。然而,它们仍然忽略了技术进步和饲养方式转变空间异质性造成的畜禽饲养周期空间上的差异,因而估算的精度还有提升的空间。更为重要的是,少有研究深入分析技术进步和养殖规模化的温室气体减排效果。

二、研究方法及数据来源

1. 生猪养殖碳排放量估算

关于养殖业碳排放,以往多数研究关注的焦点在于包括动物肠道 CH₄ 排放和粪便管理系统 CH₄、N₂O 排放在内的直接碳排放。实际上,生猪生产还会大量使用煤炭、电力、自来水、饲料等投入品,从而造成间接碳排放^[1,14]。本文在生命周期法和周军的研究基础上^[14],结合指标数据可获得性,对生猪养殖碳排放量进行估算,主要包括以下六类碳源:一是煤炭,生产过程燃烧煤炭排放的 CO₂;二是电力,生产中消耗外购电力(火电部分),而火电生产过程中使用化石燃料排放 CO₂;三是自来水,生猪喂料、圈舍清扫均需要消耗自来水,自来水生产中消耗化石能源排放 CO₂;四是饲料,生猪饲养消耗大量的饲料,饲料种植环节因为化肥、农药和农业机械投入排放 CO₂;五是生猪肠道,生猪肠道 CH₄ 排放;六是粪便管理,生猪粪便管理 CH₄ 和 N₂O 排放。根据以上分析,生猪养殖间接碳排放

① 对于生长周期小于 1 年的畜种,在计算年度温室气体排放量时,IPCC 提出按照生长周期与 365 天的比值作为权重对出栏量进行调整,调整后的计算公式又可以表达为:碳排放量=出栏量×生长周期×温室气体日排放系数。而对于生长周期大于 1 年的畜种,通常按照上期年末存栏量与当期年末存栏量的算术平均值作为平均饲养量,这样的调整无须单独考察生长周期的变化。

量测算公式如下:

$$EF_{t,r,s}^{indir} = \sum_{i=1}^4 P_{t,r,s} \times Q_{t,r,s,i} \times C_i \quad (1)$$

式(1)中, t 表示时间, r 表示地区; $s=1,2,3,4$ 分别表示散养、小规模、中规模和大规模4种养殖模式^①; $j=1,2,3,4$ 分别表示煤炭、电力、饲料和自来水; $EF_{t,r,s}^{indir}$ 表示 t 时期地区 r 第 s 种养殖模式生猪养殖间接碳排放量, $P_{t,r,s}$ 为 t 时期地区 r 第 s 种养殖模式生猪出栏量, $Q_{t,r,s,i}$ 表示平均每头生猪第 i 种投入品消耗量, C_i 表示第 i 种投入品的 CO_2 排放系数。生猪养殖直接碳排放量计算公式如下:

$$EF_{t,r,s}^{dir} = \sum_{i=5}^7 P_{t,r,s} \times C_i \times Days_{t,r,s} \times CO_2 E_i \quad (2)$$

式(2)中, $i=5,6,7$ 分别表示肠道 CH_4 排放、粪便管理 CH_4 排放和粪便管理 N_2O 排放; $EF_{t,r,s}^{dir}$ 表示 t 时期地区 r 第 s 种养殖模式生猪养殖直接碳排放量, C_i 表示生猪 CH_4 和 N_2O 日排放系数, $Days_{t,r,s}$ 表示 t 时期地区 r 第 s 种养殖模式平均每头生猪生长周期, $CO_2 E_i$ 分别表示 CH_4 和 N_2O 折算成 CO_2 的系数(其中 CH_4 折算系数为21, N_2O 折算系数为310)。生猪养殖生命周期碳排放量计算如下:

$$EF_{t,r,s} = EF_{t,r,s}^{indir} + EF_{t,r,s}^{dir} \quad (3)$$

式(3)中, $EF_{t,r,s}$ 表示 t 时期地区 r 第 s 种养殖模式生命周期碳排放量,单位为 CO_2 当量。将不同养殖模式碳排放量加总得到 t 时期地区 r 碳排放量:

$$EF_{t,r} = \sum_{s=1}^4 EF_{t,r,s} \quad (4)$$

式(4)中, $EF_{t,r}$ 表示 t 时期地区 r 生猪养殖碳排放总量。将各地区碳排放量加总得到 t 时期全国生猪养殖碳排放量。

2. 生猪养殖碳排放效应分解模型

本文采用对数平均D式指数分解法(LMDI)对全国及各省生猪养殖碳排放进行因素分解,以测度生猪产量增长、技术进步和规模养殖发展对碳排放量增长的贡献。时期 t 碳排放总量可以表示为:

$$EF_t = \sum_{s=1}^4 P_t \times \frac{P_{t,s}}{P_t} \times \frac{EF_{t,s}}{P_{t,s}} = \sum_{s=1}^4 P_t \times S_{t,s} \times I_{t,s} \quad (5)$$

式(5)中, EF_t 表示 t 时期碳排放总量; P_t 为 t 时期生猪总产量; $P_{t,s}$ 为 t 时期第 s 种养殖模式生猪产量; $EF_{t,s}$ 为 t 时期第 s 种养殖模式碳排放量; $S_{t,s} = P_{t,s}/P_t$ 为 t 时期第 s 种养殖模式生猪产量在总产量中的比重,表征着 t 时期养殖结构; $I_{t,s} = EF_{t,s}/P_{t,s}$ 为 t 时期第 s 种养殖模式碳排放效率。这样, t 时期与基期碳排放量差异可分解为:

$$\Delta EF_{tot} = EF_t - EF_0 = \Delta EF_{act} + \Delta EF_{str} + \Delta EF_{int} \quad (6)$$

式(6)中, ΔEF_{act} 、 ΔEF_{str} 、 ΔEF_{int} 分别代表生猪产量变动(经济效应)、养殖规模化水平(结构效应)和技术进步(技术效应)对碳排放水平变动的贡献。在没有负值和零值的情况下,根据LMDI“加和分解”法则,则有:

$$\Delta EF_{act} = \sum_{s=1}^4 \frac{(EF_{t,s} - EF_{0,s})}{(\ln EF_{t,s} - \ln EF_{0,s})} \times \ln \left(\frac{P_t}{P_0} \right) \quad (7)$$

$$\Delta EF_{str} = \sum_{s=1}^4 \frac{(EF_{t,s} - EF_{0,s})}{(\ln EF_{t,s} - \ln EF_{0,s})} \times \ln \left(\frac{S_{t,s}}{S_{0,s}} \right) \quad (8)$$

$$\Delta EF_{int} = \sum_{s=1}^4 \frac{(EF_{t,s} - EF_{0,s})}{(\ln EF_{t,s} - \ln EF_{0,s})} \times \ln \left(\frac{I_{t,s}}{I_{0,s}} \right) \quad (9)$$

式(7)、(8)、(9)中, P_0 表示基期生猪总产量, $EF_{0,s}$ 、 $S_{0,s}$ 、 $I_{0,s}$ 分别表示基期第 s 种养殖模式碳排放量、生猪产量占总产量的比重和碳排放效率。

^① 《全国农产品成本收益资料汇编》分别将年出栏小于30头、30~100头、100~1000头、大于1000头分别定义为散养、小规模养殖、中规模养殖和大规模养殖,本文使用这一划分标准。

3. 数据来源

本文研究涉及四个方面的基础数据:第一,1998—2015 年各地区不同养殖模式生猪出栏量及比重,该指标数据来自《中国畜牧业年鉴》^①。第二,不同养殖模式平均每头出栏生猪煤炭、电力、自来水和精饲料消耗数量。由于无法直接获取煤炭、电力、自来水消耗量数据,本文用《全国农产品成本收益资料汇编》公布的生猪煤炭、电力和自来水成本除以相应价格计算得到。其中,煤炭价格用省会城市蜂窝煤价格代表,自来水价格用省会城市居民生活用水价格代表,两项价格数据取自《中国物价年鉴》,农村电价数据取自《电力监管年度报告》。综合考虑已有研究通常的做法^[6-8,14],实际电力消费中难以区分火电和水电,以及水电在我国整体电力供应中占比较低等诸多因素,本文假定全部电力来自火电生产^②。第三,各地区不同养殖模式生猪平均生长周期。《全国农产品成本收益资料汇编》公布了各地区生猪不同养殖模式平均饲养天数,但该指标仅仅是指生猪从仔畜购进到产品出售之间的时间,未包括猪从出生到仔畜购进的生长时间。本文根据《全国农产品成本收益资料汇编》公布的仔畜重量数据估算仔畜生长时间^③,然后把仔猪生长时间与生猪饲养天数相加得到生猪生长周期。值得指出的是,《全国农产品成本收益资料汇编》未公布部分省份四类生猪养殖模式的相关指标。对于未公布数据的省份,本文采用所有可获得数据省份该指标的平均值替代。未公布数据的省份多为生猪非主产地区,其生猪产量占全国比重不大,因而采用全国均值替代对估计结果的影响不会很大。第四,碳排放系数。各项碳排放系数直接取自前人研究成果,系数取值及数据来源见表 1。需要说明的是,由于无法获取各地区饲料配比结构,本文参照周军^[14]的做法,统一对精饲料分别按照 70%、15%、5%折算玉米、大豆和小麦含量,然后估算得到精饲料 CO₂ 排放系数。由于相关数据不可获取,本研究不考虑青粗饲料的温室气体排放问题,实际上以往的大多数研究也未考虑青粗饲料碳排放^[6-8,13-14]。另外,IPCC 公布了不同气温条件下生猪粪便管理 CH₄ 排放系数^[8],我国地理跨度大,各省气候迥异,本文根据《中国统计年鉴》公布的各省省会城市年均温数据,对各省生猪粪便管理 CH₄ 排放系数按照 IPCC 的标准进行调整。

表 1 生猪温室气体排放系数

因子	描述	单位	选取值	数据来源
C ₁	煤炭燃烧的 CO ₂ 排放	千克/千克	0.539 8	IPCC ^[25]
C ₂	电力的 CO ₂ 排放	千克/千瓦时	0.929 1	IPCC ^[25]
C ₃	饲料生产的 CO ₂ 排放	千克/千克	0.087 5	史磊刚等 ^[26] ;周军 ^[14]
C ₄	自来水的 CO ₂ 排放	千克/吨	0.910 0	IPCC ^[8]
C ₅	生猪肠道 CH ₄ 排放	千克/(头·天)	1.000 0/365	IPCC ^[8]
C ₆	生猪粪便 CH ₄ 排放	千克/(头·天)	3.500 0/365	IPCC ^[8]
C ₇	生猪粪便 N ₂ O 排放	千克/(头·天)	0.530 0/365	胡向东等 ^[6]

三、碳排放量测算结果

从表 2 的估算结果来看,1998—2015 年,全国生猪养殖碳排放总量呈“前半段先稳后升,后半段先降后升”震荡上升趋势,期间碳排放量增长 10.74%。1998—2002 年,碳排放总量停留在 1.08 亿吨 CO₂ 当量左右;从 2003 年开始,碳排放量持续上升,并于 2006 年达到峰值 1.24 亿吨 CO₂ 当量;2007 年,受生猪出栏量大幅度下挫影响,碳排放量下降到 1.01 亿吨 CO₂ 当量;2008 年以后,碳排放量缓慢回升,并于 2015 年达到 1.33 亿吨 CO₂ 当量。总体上,碳排放量变动趋势与中国生猪出栏量走势保持一致。可见,城乡居民猪肉消费增长拉动生猪生产扩张是造成温室气体排放增长的根源,人们生活水平的提高在某种程度上以温室气体的排放为代价。当然,外部因素冲击,例如 2007 年全国大范围发

① 由于《中国畜牧业年鉴》按照 50 头作为区分散养和小规模养殖的统计口径,本文散养、小规模生猪养殖饲养天数和投入品数据以 30 头作为划分标准,而散养、小规模生猪养殖出栏量数据以 50 头作为划分标准。

② 根据《中国能源统计年鉴》的数据,2014 年全国水电占电力生产总量的 19.47%。

③ 一般而言,仔猪从出生到体重达到 20 公斤需要 60 天,本文根据统计资料公布的仔畜重量与 20 公斤的比值乘以 60 天得到仔猪生长时间。

生的高致病性蓝耳病疫情,可能会在短期内造成生猪出栏量和温室气体排放量的同时下降。

从 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 的构成来看,1998—2015 年, CH_4 、 N_2O 和 CO_2 的构成比例较为稳定,其中 N_2O 是生猪养殖最主要的温室气体类型,占排放总量的 52% 左右, CH_4 是第二大排放源,占 27% 左右,而 CO_2 占 21% 左右。 N_2O 占比最高主要是两个原因造成的:第一,粪便管理环节是生猪养殖温室气体的主要排放源,而生猪 N_2O 排放全部来自粪便管理环节;第二,也是最主要的,在三种温室气体中, N_2O 的温室效应最强,其 CO_2 折算系数最高。从排放主体来看,1998 年散养模式碳排放量占比高达 83.68%,随后持续下降,但 2008 年以前一直高于 50%。2008 年开始,规模养殖成为碳排放的主体,2015 年规模养殖碳排放占比已经达到 73.57%,其中中规模和大规模碳排放占比达到 67.18%。在规模经济效应、农村劳动力流失和机会成本上升推动生猪散养大量退出,以及技术进步、交通和市场条件改善驱动生猪规模化养殖场发展等多种因素作用下^[27],生猪养殖规模化程度快速提高,大中型规模养殖场在成为生猪供给主体的同时,也成为最主要的温室气体排放主体。

表 2 1998—2012 年全国生猪养殖温室气体排放量变化及其构成

万吨 CO_2 当量

年份	总量	分温室气体类型			分养殖模式			
		CH_4	N_2O	CO_2	散养	小规模	中规模	大规模
1998	10 828.42	3 027.04	5 447.45	2 353.94	9 060.62	707.08	739.24	321.49
2000	10 635.18	2 813.67	5 402.10	2 419.41	8 720.33	707.37	847.11	360.38
2002	10 683.37	2 971.73	5 543.61	2 168.04	8 140.17	807.47	1 229.31	506.42
2004	11 700.81	3 291.22	5 994.67	2 414.93	8 095.04	1 124.58	1 876.80	604.40
2006	12 408.74	3 564.75	6 412.14	2 431.85	6 898.48	1 802.63	2 857.55	850.08
2008	10 637.30	2 969.98	5 499.46	2 167.87	5 058.30	1 252.21	2 404.49	1 922.30
2010	11 349.55	3 184.70	5 867.46	2 297.39	4 240.39	1 334.74	3 051.42	2 722.99
2012	11 991.22	3 250.73	6 225.45	2 515.04	4 142.04	1 380.93	3 295.21	3 173.04
2014	12 848.70	3 411.87	6 726.44	2 710.39	3 713.19	967.11	4 044.95	4 123.45
2015	13 300.17	3 495.41	6 991.86	2 812.90	3 515.71	850.04	4 256.14	4 678.28

由于生猪产量、养殖技术水平和规模化水平存在显著的地区差异,各地区碳排放量存在较大差异。测算结果表明,1998—2015 年间,碳排放量居前 10 位的省份分别是四川、湖南、河南、山东、广东、湖北、河北、云南、广西和重庆,这几个省份碳排放量占全国的 63.83%。各省温室气体排放量与其生猪产量规模一致,经济因素即产量规模是造成这种空间差异的主要原因。另外,由于生猪养殖规模化水平地区差异显著,各省不同养殖模式碳排放量构成也存在较大差异。在以散养为主的四川、湖南、湖北、云南、广西、重庆等省,散养碳排放量占比介于 58%~89% 之间;在规模化水平相对较高的广东、山东、河北、河南等省,规模养殖碳排放量占比已经超过 50%。

四、碳排放效应分解

1. 全国碳排放效应分解结果

本文以 1998 年作为基期,考察生猪产量增长、技术进步和养殖模式变化对碳排放量增长的累计效应(图 1)。1998—2015 年,全国生猪养殖温室气体排放量增长 2 471.75 万吨 CO_2 当量,其中产出规模效应 4 757.44 万吨 CO_2 ,养殖结构效应 -723.97 万吨 CO_2 当量,技术进步效应 -1 561.73 万吨 CO_2 当量,三者分别推动碳排放量增长 43.93%、-6.69% 和 -14.42%。由此可见,经济效应即城乡居民猪肉消费增长拉动生猪生产快速扩张,是造成碳排放量增长的主要原因,这一结论与陈苏等^[15] 的发现一致。需求扩张以及价格上涨推高养殖利润空间等经济因素,在过去和未来都是生猪养殖温室气体排放持续增长的根本原因。

饲养方式转变和技术进步对应的结构效应和技术效应则扮演着降低温室气体排放的角色。从图 1 可以看到,结构效应和技术效应累计将经济效应引发的碳排放增长削减了近一半,其中结构效应累计达到 723.97 万吨,技术效应累计达到 1 561.73 万吨。在过去的 18 年中,技术进步和养殖规模化

发展已经通过缩短生猪生长周期发挥了较大的温室气体减排作用。饲养方式转变和技术进步提高了养殖环节的饲料转化率。饲料转化率的提高不仅降低了生猪饲料生产中的 CO_2 排放,而且缩短了生猪的生长周期,有效降低了生猪生命周期中对 CH_4 和 N_2O 的排放。另外,饲养方式转变和技术进步还增强了养殖环节对煤炭、电力和自来水的利用效率,降低了直接的 CO_2 排放量。当然,市场和经济力量是驱动饲养方式转变的源动力,而农业技术研发和推广等推力和经济、市场因素等拉力相互叠加则是技术进步的根本力量。

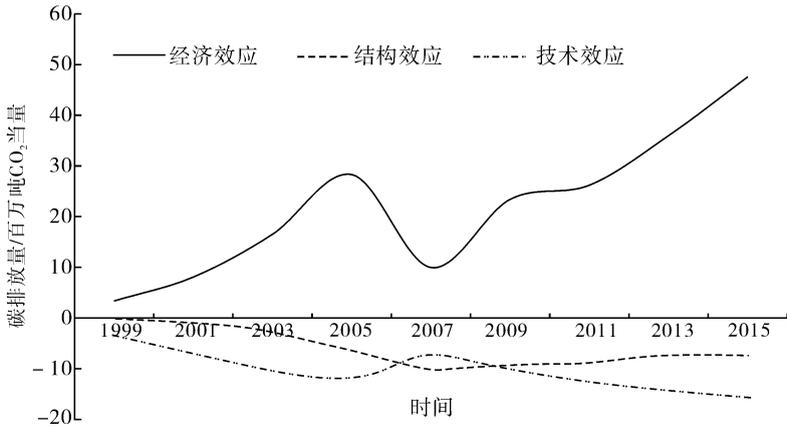


图1 全国生猪养殖碳排放增长因素分解

2. 各省碳排放效应分解结果

从表3各省温室气体排放分解结果来看,生猪养殖碳排放量增长的规模效应、结构效应和技术效应存在较大的空间差异,继而造成碳排放量净增长的地区差异。各省碳排放大体上可以划分为四种类型。

第一类省份包括重庆、河北、四川、贵州、内蒙古、安徽、江西、甘肃等8个省份,其经济效应为正,但结构效应和技术效应超过了经济效应,推动碳排放量净负增长。其中,重庆市温室气体减少幅度最大,达27.77%,而河北、贵州和内蒙古也超过了10%。本文认为出现这种现象的主要原因是这些省份大多是我国中西部地区的生猪主产省份,前期生猪养殖尤其是散养户技术水平较低,生猪生长周期较长。新世纪以来,随着先到养殖技术水平的扩散,这些欠发达的省份生猪养殖技术水平大幅度提高,生猪生长周期得到大幅度缩短,引发了技术效应反而超过经济效应的结果。

第二类省份包括宁夏、北京和上海3个省份,由于生猪出栏量减少,经济效应为负值,在技术效应和结构效应的进一步推动下,碳排放量出现负增长。三省碳排放量减少幅度都超过了20%,其中上海市高达42.53%。上海和北京属于一线经济发达城市,环保压力推动这些地区生猪养殖萎缩,碳排放的经济效应为负值。宁夏回族自治区碳排放的经济效应也为负值,这可能是饮食习惯制约了其生猪养殖。

第三类省份包括西藏、青海、黑龙江、山西、新疆、河南、天津、江苏、湖南、浙江、湖北、山东、云南、广东和辽宁等15个省份,其经济效应为正,但结构效应和技术效应在一定程度上削减了经济效应带来的碳排放增长量。出现这种现象的原因可能在于,这些省份前期具有一定的养殖技术水平,随着现代养殖技术的扩散,各种养殖模式饲料转化率都出现不同程度的提高,但提高幅度不及第一类省份。

第四类省份包括吉林、陕西、海南、福建和广西5个省份,其结构效应和技术效应不明显,对碳排放增长的抑制作用较弱。这些省份大多位于我国最北端或者最南端,可能由于气候因素制约,养殖技术进步对缩短生猪生长周期的作用有限。《全国农产品成本收益资料汇编》的数据显示,近十年来这些省份生猪户饲养天数并没有明显减少。

表 3 各省生猪养殖碳排放增长因素分解

/万吨 CO₂ 当量

类别	省份	增长总量	规模效应	结构效应	技术效应
第一类	重庆、河北、四川、贵州、内蒙古、安徽、江西、甘肃	-57.11	108.55	-31.73	-133.93
第二类	上海、北京、宁夏	-18.63	-8.94	-1.43	-8.26
第三类	西藏、青海、黑龙江、山西、新疆、河南、天津、江苏、湖南、浙江、湖北、山东、云南、广东、辽宁	77.26	120.50	-2.72	-40.53
第四类	吉林、陕西、海南、福建、广西	79.62	73.97	-0.04	5.69

注:增长总量及其分解数值为相应省份的平均值。

五、结论与讨论

在全球气候变暖背景下,作为重要的温室气体排放源,畜禽养殖业如何控制和减少碳排放量是关系社会经济可持续发展的重要议题。实现养殖低碳化发展,前提之一是厘清温室气体排放量及其结构特征。本文以养殖技术进步和饲养方式转变异质性造成生猪生长周期时空差异为出发点,对1998—2015年全国以及各省生猪养殖碳排放量进行重新估算。测算结果表明,1998年以来全国生猪养殖碳排放量与生猪出栏量走势基本上保持一致,呈“前半段先稳后升,后半段先降后升”震荡上升趋势,从1.08亿吨CO₂当量增长到1.33亿吨CO₂当量,15年间增长22.83%。温室气体中,N₂O约占52%,CH₄约占27%,CO₂约占21%。随着规模化水平的提高,规模养殖逐渐取代散养成为主要的碳排放源。从地区分布来看,四川、湖南、河南、山东、广东等生猪主产省份碳排放量位居全国前列。

发展低碳养殖的另外一个前提是测度相关因素的减排效应,以寻找可能的减排路径。本文在测算碳排放量的基础上,采用LMDI分解法将碳排放增长量分解为经济效应、结构效应和技术效应。分解结果,表明生猪产出扩张经济效应是推动碳排放量增长的主要原因,而技术进步和养殖规模化则具有显著的减排效应,二者将经济效应带来的碳排放增长量削减了近一半。然而,由于技术水平和规模化水平的差异,各地区技术进步和养殖规模化的减排效果差异比较明显,其中重庆、河北、四川、贵州、安徽、江西等省减排效应超过了经济效应,碳排放出现负增长,而吉林、陕西、海南、福建、广西壮族自治区等省技术进步和养殖规模化对碳排放增长的抑制作用十分有限。

作为全球最大的生猪生产国,我国生猪养殖温室气体排放量超过了1亿吨CO₂当量,而且排放量随着生猪产量的扩张还在不断增长之中。那么,生猪养殖环节如何降低碳排放无疑是一项重大挑战。在过去的十多年中,养殖技术进步和规模化发展造成的生猪生产周期的缩短已经发挥了削减温室气体排放的重要作用,使得碳排放增长幅度远远低于生猪产量增长幅度。可见,通过养殖技术进步和饲养方式转变,降低生猪生长周期,的确是一条成效显著的减排路径。云南、贵州、湖北、河南等在内的中西部欠发达生猪主产省份,饲养技术水平和规模化养殖水平相对偏低,与东部发达省份存在较大差距。在未来的一个时期内,这些地区通过提高饲养技术水平,推动规模化养殖发展,能够发挥显著的碳减排效果。当然,从长远来看,技术进步和规模化养殖发展的减排潜力并非无限。一方面,受生理机能制约,畜禽生长速度不可能无限提振,生长周期也不能无限缩短。当技术水平和规模化水平达到一定程度以后,缩短生长周期的难度增大,技术效应和结构效应将逼近零。另一方面,随着人们消费理念从“吃饱”向“吃好”转变,绿色、健康猪肉产品将越加受到消费者推崇。生态、健康的生猪养殖模式可能成为一种趋势,而生态养殖要求适当控制甚至延长生长周期。

如果说饲养技术和养殖规模化长期的减排效应将受到制约,那么什么才是降低生猪养殖碳排放的长远之道呢?从养殖环节来看,粪便管理环节的N₂O和CH₄排放约占生猪养殖碳总排放量的80%左右。因此,通过外部技术手段抑制粪便管理环节碳排放,将成为生猪养殖低碳发展的关键。相比于开放厌氧塘粪污处理系统,沼气池粪便处理系统可以大幅度降低生猪粪便温室气体排放量,其减排潜力不受动物生理机能和消费观念转变的制约。因此,大力推广粪便沼气处理技术将成为弥补甚至替代生产技术和规模养殖,发挥减排效果的重要措施。随着规模化养殖的快速发展,制定规模化

养殖沼气池建设标准,加大对其沼气建设补贴力度,可以达到降低粪便环境污染风险和减少温室气体排放的目的。

参 考 文 献

- [1] FAO. Livestock's long shadow: environmental issues and options[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- [2] 中国环境与发展国际合作委员会. 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [3] 齐晔, 李惠民, 王晓. 农业与中国的低碳发展战略[J]. 中国农业科学, 2012(1): 1-6.
- [4] 冉光和, 王建洪, 王定祥. 我国现代农业生产的碳排放变动趋势研究[J]. 农业经济问题, 2011(2): 32-38.
- [5] 谢双红, 王济民. 关于加快畜牧业全面协调可持续发展的研究[J]. 农业经济问题, 2005(7): 65-68.
- [6] 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): 247-252.
- [7] 谭秋成. 中国农业生产温室气体排放: 现状及挑战[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(10): 69-75.
- [8] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 4: agriculture, forestry and other land use[R]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- [9] 董红敏, 林而达, 杨其长. 中国反刍动物甲烷排放量的初步估算及减缓技术[J]. 农村生态环境, 1995(3): 4-7.
- [10] YANG S S, LIU C M, LIU Y L. Estimation of methane and nitrous oxide emission from animal production sector in Taiwan during 1990—2000[J]. Chemosphere, 2003, 52(9): 1381-1388.
- [11] ZHOU J B, JIANG M M, CHEN G Q. Estimation of methane and nitrous oxide emission from livestock and poultry in China during 1949—2003[J]. Energy policy, 2007, 35(7): 3759-3767.
- [12] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008(10): 269-273.
- [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(7): 21-27.
- [14] 周军. 生猪养殖规模与主产地移动、温室气体排放研究——基于江苏省调查数据[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [15] 陈苏, 胡浩. 中国畜禽温室气体排放时空变化及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016(7): 93-100.
- [16] 郭娇, 刘婕, 张妮娅, 等. 湖北省畜牧业温室气体排放潜力[J]. 华中农业大学学报, 2017(2): 78-83.
- [17] 尚杰, 杨果, 于法稳. 中国农业温室气体排放量测算及影响因素研究[J]. 中国生态农业学报, 2015(3): 354-364.
- [18] SOMMER S G, OLESEN J E, PETERSEN S O, et al. Region-specific assessment of greenhouse gas mitigation with different manure management strategies in four agroecological zones[J]. Global change biology, 2009, 15(12): 2825-3713.
- [19] WU H, HANNA MA, JONES DD. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions of feedlot manure management practices: Land application versus gasification[J]. Biomass & bioenergy, 2013, 54(4): 260-266.
- [20] 杨璐, 于书霞, 李夏菲, 等. 湖北省畜禽粪便温室气体减排潜力分析[J]. 环境科学学报, 2016(7): 2650-2657.
- [21] 杨璐, 李夏菲, 于书霞, 等. 湖北省猪粪管理温室气体减排潜力分析[J]. 资源科学, 2016(3): 557-564.
- [22] 陶红军, 吴秋萍. 我国猪肉产业发展及温室气体排放量估算[J]. 猪业经济, 2015(10): 34-40.
- [23] 张惠, 洪翊菜. 养猪业温室气体排放及减排策略研究[J]. 家畜生态学报, 2016(12): 79-82.
- [24] 陈瑶, 尚杰. 中国畜牧业脱钩分析及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(3): 101-107.
- [25] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 2: energy[R]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
- [26] 史磊刚, 陈阜, 孔凡磊, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米种植模式碳足迹研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(9): 93-98.
- [27] 周晶, 陈玉萍, 丁士军. 中国生猪养殖业规模化影响因素研究[J]. 统计与信息论坛, 2014(1): 63-69.

(责任编辑: 金会平)