

基于 LCA 的江西省典型生猪供应链的碳排放测算

张振华¹, 胡 凯², 曾德源^{1,3*}

(1. 九江学院 江西开放型经济研究中心, 江西 九江 332005; 2. 国家邮政局发展研究中心, 北京 100868;
3. 海南大学 经济学院, 海南 海口 570228)

[摘 要] 以江西典型生猪碳排放为研究对象, 运用全生命周期评价(LCA)方法通过构建包含饲料、猪繁育、肉猪饲养、屠宰加工、包装切割、运输储存等全生命周期的碳排放计算框架, 采用江西省鄱阳湖域生猪产业的实际技术数据, 对江西猪肉碳排放进行具体测算。研究发现: 每生产 1 kg 生鲜猪肉的碳排放量为 7.3 kg, 是标准碳排放的 5 倍; 从各环节构成看, 最高为生猪养殖环节占 52%; 从排放源构成看, 氧化亚氮(N_2O)的排放量最大, 占近 40%。建议: (1) 在饲料种植及加工阶段重视低碳技术的运用, 减少化肥即农药的使用; (2) 在生猪养殖阶段, 改进养殖模式, 减少排泄物的碳排放; (3) 采用天然气、太阳能等清洁能源替代煤和油。

[关键词] 生猪供应链; 碳足迹测算; 全生命周期评价; 温室气体

[中图分类号] F326.3; X713

[文献标识码] A

[文章编号] 1005-5228(2022)10-0078-08

doi:10.3969/j.issn.1673-1182.2022.10.013

温室气体效应是全球性热点问题, 畜禽养殖生产是重要的温室气体排放源, 它带来了全球 9% 的 CO_2 、37% 的 CH_4 、65% 的 N_2O ^[1]。2019 年中国生猪出栏 5.44×10^8 头, 年末存栏 3.10×10^8 头, 约占世界生猪出栏总量的 50%。规模化生猪产业被列入江西十大战略性新兴产业, 2019 年江西生猪出栏达到 3.00×10^7 头左右, 产生大量的温室气体。随着鄱阳湖生态经济区的推进和对生态养殖要求的提出, 江西生猪产业的碳减排成为一个紧迫而重大的课题。白林等^[2]研究认为猪肉生产过程中的 N_2O 和 CH_4 温室气体排放源主要来自废物处置、饲料作物生产、动物生程中的排泄物。

目前生猪碳排放测算已取得如下主要成果: (1) 基于因子法的宏观研究。由联合国粮农组织研发的基于排放因子的模型把全球畜禽碳排放对象分为 6 类。(2) 基于质量平衡法的中观研究。廖誉^[3]对规模化生猪养殖场生产过程中碳排放量的计算进行了研究, 但他没涉及到全生命周期。(3) 基于实测法微观研究。张哲瑜等^[4]以北京市 24 家规模化猪场调研数据为基础, 通过对肠道发酵甲烷排放核算方法、粪便管理过程甲烷和氧化亚氮排放核算方法的总结梳理。(4) 生命周期评价法。周元清^[5]基于生命周

期评价方法原理, 构建了规模化生猪养殖生产系统的碳足迹评估方法, 探讨了饲料作物种植中不同分配方法对碳足迹的影响, 并结合典型规模化猪场的实际生产数据, 开展了规模化生猪养殖生产系统碳足迹核算和减排措施分析。

上述研究为本研究提供了很多有益的参考和借鉴, 但是对于猪肉碳标签的计算问题, 特别是以江西养殖条件为背景, 基于全生命周期评价(LCA)视角的碳标签问题的综合性研究还比较缺乏。LCA 研究贯穿于产品生命全过程, 认为碳足迹是某一产品或服务从原材料购买到生产、运输销售、使用和回收处置的整个生命周期过程中所排放的温室气体量。它能够较全面的对产品整个生命周期内各阶段的资源消耗、能源消耗和温室气体排放情况做出计量。

1 研究框架与技术路线

本研究以 ISO14040 生命周期评价框架为指导, 通过构建一个包含饲料种植、饲料加工运输、母猪饲养、肉猪饲养与运输、肉猪屠宰加工包装、猪肉分销与运输、猪肉零售、猪肉消费等从产生到最后消亡全生命周期的猪肉碳排放计算框架模型(图 1);

[收稿日期] 2020-05-23 **[修改日期]** 2020-07-27

[基金项目] 国家自然科学基金(71162023); 教育部人文社科基金(12YJC630050)

[作者简介] 张振华(1979—), 男, 河南周口人, 研究员, 研究方向为贸易、生态经济。E-mail: zhangzhenhua0310@126.com

* **[通讯作者]** 曾德源(1999—), 男, 江西赣州人, 硕士, 国际商务专业。E-mail: 1648098785@qq.com

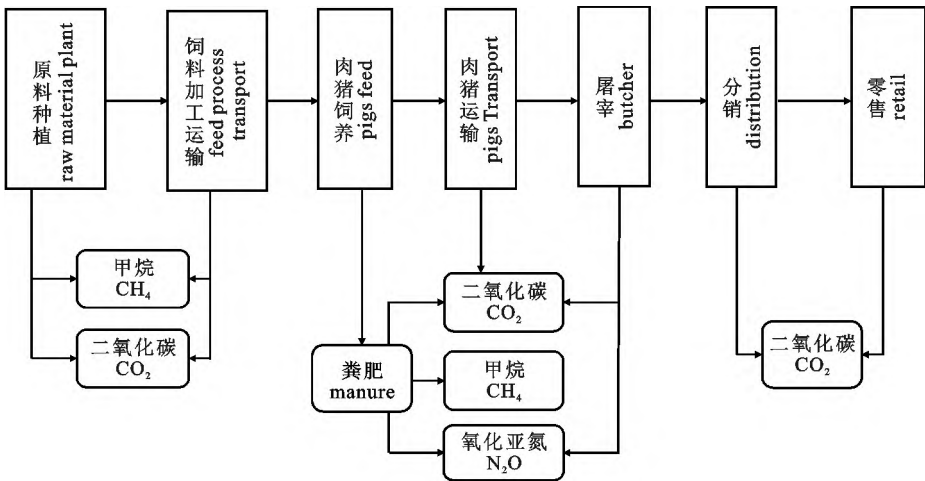


图 1 生命周期下猪肉碳标签边界及碳源

Fig.1 Pork carbon label boundary and carbon source in the life cycle

并与企业深度合作,采用江西省鄱阳湖域的生猪产业的实际技术数据,对猪肉碳排放数量进行具体测算。

2 实证测算

排放因子源于《IPCC2006 年国家温室气体清单指南(2019 修订版)》^[6]。文中很多数据根据《中国碳核算数据库》^[7]整理,该数据库调研出的行业数据和国际知名企业公布的数据,实用性和针对性强;另外还重点查询了《第二次全国污染源普查畜禽养殖

业源产排污系数手册(2020 年试用版)》^[8],因数据库畜禽养殖业碳排放源及其因子的针对性很强。《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》(2019)^[9]也为本文温室气体排放的研究提供了宏观的数据支持。虽然应控制的温室气体为二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、氢氟碳化合物(HFCs)、全氟碳化合物(PFCs)、六氟化硫(SF₆),但本研究主要评估与生猪养殖生产活动密切相关的 3 种温室气体,分别是 CO₂、CH₄ 和 N₂O。

表 1 江西碳排放因子

Table 1 Carbon emission factors in Jiangxi province

资源类别 Resource categories	排放因子 Emission factors	资料来源 Source
电 Electricity	0.801/(kW · h)	[7]
自来水 Tap water	0.910 t	[7]
灌溉用水 Irrigation water	0.100 t	[10]
燃料煤 Bunker coal	1.980 kg	[11]
柴油 Diesel	2.778 L	[11]
化肥 Fertilizer	0.8956 kg	[12]
农药 Pesticide	12.440 kg	[13]
CH ₄	25.000 kg	[6]
N ₂ O	298.000 kg	[6]

2.1 饲料生产和运输过程中的碳排放

目前中国饲料工厂的加工工艺已经比较完善。主要流程是:从原料的准备、粉碎,再进一步配料、混合,继而制成颗粒,最后形成饲料成品^[14]。在饲料加工过程中粮食生产和运输饲料加工及运输等环节都会产生碳排放。 C_f 表示生产饲料产生的碳排放,其计算公式为:

$$C_f = \sum_i C_{fi} \tag{1}$$

其中: $i = s, m, t$, C_{fs} 表示因饲料原料种植产生的碳排放, C_{fm} 表示因饲料加工产生的碳排放, C_{ft}

表示因饲料运输产生的碳排放。

2.1.1 饲料原料产生的碳排放

2.1.1.1 碳排放源及计算公式 根据王文杰^[15]、李娟^[16]、吴狄华等^[17]研究成果,结合江西饲料加工企业的调研数据,得出典型的猪配合饲料最主要的原粮是豆粕 20%和玉米 65%。在此先计算玉米种植产生的碳排放情况,其排放源主要是种植过程中的水、化肥、农药、灌溉及脱粒用电、收割耗油等。结合上述排放源,得到:

$$C_{fs} = \sum_j C_{fsj} \tag{2}$$

其中: $j=w, e, o, f, p$ 分别表示用水、电、油、煤、化肥、农药而产生的碳排放, C_{fsw} 表示饲料原料种植过程中用水产生的碳排放, C_{fse} 表示饲料原料种植过程中用电产生的碳排放, C_{fso} 表示饲料原料种植过程中用油产生的碳排放, C_{fsc} 表示饲料原料种植过程中用煤炭产生的碳排放, C_{fsf} 表示饲料原料种植过程中用化肥产生的碳排放, C_{fsp} 表示饲料原料种植过程中用农药产生的碳排放。

表 2 生产 1 t 饲料消耗玉米产生的碳排放

Table 2 Carbon emissions from corn consumption for producing 1 t feed

排放源 Emission source	消耗量 Consumption	排放量 Emissions/kg CO ₂	资料来源 Data source
水 FSW	536 t	53.6	[18]
电 FSE	59.9 kW · h	47.9799	包括灌溉、脱粒等数据来自于调研
油 FSO	3 L	8.334	收割、调研
化肥 FSF	266.7 t	238.85652	来自江西九江鄱阳县的调研
农药 FSP	0.67 kg	8.7033	[19]
排放量合计 Total		357.5	

饲料的主要原料除了玉米,还有豆粕。豆粕碳排放包含种植大豆和豆粕加工过程中产生的,大豆种植的碳排放取与玉米的碳排放相等数值,1 t 饲料需要 0.2 t 豆粕;根据《清洁生产标准食用植物油工业豆油和豆粕(HJ/T 184—2006)》^[20],豆粕的出粕率约为 80%。生产 1 t 饲料需要 1 250 kg 原料,而每 1 t 原料种植产生的碳排放量为 357.5 kg,因此生产 1 t 豆粕需要的大豆种植产生的碳排放为 446.9 kg。

豆粕生产过程中主要是耗电、耗水和烧煤产生的碳排放,其消耗量如表 3 所示,根据公式(3),得到加工 0.2 t 豆粕产生的碳排放数量为 42.8 kg。为了得到 0.2 t 豆粕共产生碳排放数量为 132.1 kg。故生产 1 t 配合饲料而所需的饲料原料产生的碳排放数为 $C_{fs}=489.6$ kg。

2.1.2 饲料加工过程产生的碳排放

2.1.2.1 碳排放源及计算公式 饲料加工环节包含粉碎、混合、挤压膨化、压制等阶段。在饲料加工过程中主要是耗水、耗电、耗煤等产生碳排放。根据上述排放源,有:

表 3 加工 0.2 t 豆粕产生的碳排放

Table 3 Carbon emissions from the processing of 0.2 t soybean meal

排放源 Emission source	消耗量 Consumption	排放量/kg CO ₂ Emissions	资料来源 Data source
自来水 FSW	0.125 t	12.5	[20]
电 FSE	6.25 kW · h	5.00625	[20]
煤 FSC	10 kg	25.3	[20]
排放量合计 Total		42.8	[20]

$$C_{fm} = \sum_j C_{fmj} \quad (5)$$

$$C_{fsj} = F_{fsj} \times Q_{fsj} \quad (3)$$

其中: F_{fsj} 表示不同碳排放源的碳排放系数, Q_{fsj} 表示不同碳排放源消耗的数量。

2.1.1.2 实际测算 结合公式(2)和(3)可以计算出生产 1 t 玉米产生的碳排放量为:

$$C_{fs} = \sum_j C_{fsj} = \sum_j F_{fsj} \times Q_{fsj} \quad (4)$$

结果如表 2 所示,1 t 饲料原料(玉米)种植产生的碳排放量为 357.5 kg。

其中: $j=w, e, c$ 分别表示用水、电、煤而产生的碳排放,因此有 C_{fmc} 表示饲料加工过程中用水产生的碳排放, C_{fme} 表示饲料加工过程中用电产生的碳排放, C_{fmc} 表示饲料加工过程中用煤炭产生的碳排放。式中:

$$C_{fsm} = F_{fsm} \times Q_{fsm} \quad (6)$$

其中: F_{fsm} 表示碳排放源的碳排放系数, Q_{fsm} 表示碳排放源消耗的数量。

2.1.2.2 实际测算 在饲料加工过程中各种碳排放源的消耗量如表 5 所示,排放系数如表 1 所示,则根据式(2)和式(5)可以计算出生产 1 t 配合饲料产生的碳排放量:

$$C_{fm} = \sum_{j=w,e,c} C_{fsmj} = \sum_{j=w,e,c} F_{fsmj} \times Q_{fsmj} \quad (7)$$

结果如表 4 所示,1 t 配合饲料加工过程产生的碳排放量为 181.5 kg,水、电、煤产生的碳排放分别占 0.12%,44.13%和 55.75%。

表 4 1 t 配合饲料加工过程产生的碳排放

Table 4 Carbon emission from the machining process of 1 t mixed feed

排放源 Emission source	数据来源 Data source	消耗量 Consumption	排放量(kg CO ₂) Emissions
自来水 C_{fmc}	[15]	0.24 t	0.2148
电 C_{fme}		100 kW · h	80.1
煤 C_{fmc}		40 kg	101.2
合计 C_{fm}			181.5

2.1.3 粮食和饲料运输产生的碳排放

2.1.3.1 饲料成品运输的碳排放 江西是饲料加工大省,特别是猪饲料的加工,云集了全国猪饲料的一线品牌如双胞胎、正邦集团等本土厂商,也有正大、希望等国内其它知名厂商,饲料厂的分布非常密集。

根据陈丽能等^[21]的研究结合笔者对行业内人士的调查结果,汇总后得出实际产品运输距离约为 150 km,采用运输车辆大多为载重 10 t 柴油车,油耗约为 18 L/100 km,实际折合每 1 t 饲料耗油 2.7 L。

表 5 运输 1 t 饲料产生的碳排放

Table 5 Carbon emissions from transporting of 1 t feed

排放源 Emission source	消耗量/L Consumption	排放量 /kg CO ₂ Emissions	参数及数据来源 Parameter and data source
柴油 C_{fto}	2.7	7.5	[5],实际调研

2.1.3.2 饲料原料运输的碳排放 江西虽然是饲料生产大省,但是饲料原料中的玉米和豆粕基本都是从外省调入,比如玉米主要由东北经广东港口,再陆运到赣州,进而分销到江西各地。为了简便起见,我们只计算从广东到江西这段的运输过程,运输距离按照广州到江西的平均距离为 735 km(广东到江西最北部的九江是 980 km,到最南端的赣州是 490 km)。采用的运输车辆为 30~40 t 的大货车(按实际载货 30 t 计算),平均载重油耗约为 45 L/100 km。江西的豆粕主要来源于广东、江苏、山东等地,因此基本同玉米运输的耗油量相等。这样,经过折算,每 1 t 饲料需要原料为 1.2 t,平均耗油为 13.2 L。

综合表 5 和表 6,每 1 t 饲料因为运输产生的碳排放量为 $C_{ft}=44.2$ kg,其中饲料成品运输占 17%,饲料原料运输占 83%。

表 6 运输 1 t 饲料的原料产生的碳排放

Table 6 Carbon emissions from transporting the raw materials of 1 t feed

排放源 Emission source	消耗量/L Consumption	排放量/kg CO ₂ Emissions	数据来源 Data source
柴油 C_{fto}	13.2	36.7	[5],实际调研

2.1.4 饲料产生的碳排放及其构成分析 综上所述,根据公式(1),可以得出饲料原料、加工和运输环节产生的碳排放为

$$C_f = \sum_{i=s,m,t} C_{ft} = C_{fs} + C_{fm} + C_{ft} = 489.6 + 181.5 + 44.2 = 715.3 \text{ kg} \quad (8)$$

其中由原料产生的碳排放占比 68.45%,由饲料加工产生的碳排放占比 25.37%,饲料运输产生的碳

排放占比 6.18%。

2.2 养殖阶段产生的碳排放

当前中国生猪养殖模式主要有 3 种:原生态放养模式(规模小),免冲洗、漏缝板环保型养猪模式和高床产业化的“企业+养殖户”养殖模式。其中第 3 种是最值得提倡的一种养殖模式,其主要程序如下:生猪养殖企业给生猪养殖户提供一整套的生猪养殖技术体系,包括标准高床养殖场建设、提供生猪养殖的培训学习、幼崽猪统一供应、疫病的治疗和防控指导,生猪育肥出栏检疫合格后统一收购。这就使生猪养殖、管理、免疫的整个流程都在既定标准下进行。根据农业农村部颁布的《猪饲养标准》(NY/T 65—2004)^[22],笔者把规模企业生猪养殖过程中的碳排放来源归纳为 4 个:一是摄入饲料产生的碳排放;二是饲养过程中的水、电、煤等能源消耗产生的碳排放;三是生猪的肠道蠕动产生的碳排放;四是排泄物产生的碳排放。

$$C_b = \sum_{l=r,d} C_{bl} \quad (9)$$

其中: $l=r,d$ 分别表示生猪饲养投入过程和排泄物产生的碳排放,即 C_{br} 表示生猪养殖过程中投入品产生的碳排放, C_{bd} 表示生猪饲养过程中排泄物的碳排放。

2.2.1 养殖投入品产生的碳排放 养殖投入品主要包含能源消耗(水、电、煤)和饲料、兽药等投入。这里只计算养殖过程中消耗水、电、煤产生的碳排放,饲料碳排放的情况在 2.1 部分已经介绍,这里不再将饲料的碳排放含在内。由于兽药的碳排放量很小,在此也不予计算。根据上述排放源,有:

$$C_{br} = \sum_j C_{brj} \quad (10)$$

其中: $j=w,e,c$,分别表示用水、电、煤而产生的碳排放,因此有 C_{brw} 表示生猪养殖中用水产生的碳排放, C_{bre} 表示生猪养殖中用电产生的碳排放, C_{brc} 表示生猪养殖中用煤产生的碳排放。有:

$$C_{brj} = F_{brj} \times Q_{brj} \quad (11)$$

其中: F_{brj} 表示碳排放源的碳排放系数, Q_{brj} 表示碳排放源消耗的数量,具体消耗量及计算结果如表 7 所示。

表 7 单头生猪饲养过程中消耗的能源产生的碳排放

Table 7 Carbon emissions from the energy consumed for raising a pig

排放源 Emission source	消耗量 Consumption	碳排放量/kg CO ₂ Emissions	占比/% Proportion	数据来源 Data source
自来水 C_{fmw}	4.43 t	4.03	21.46	[23]
电 C_{fme}	9 kW · h	3.55	18.89	[24]
煤 C_{fmc}	6 kg	11.2	59.66	实际调研
合计 C_{br}		18.7	100.00	

2.2.2 生猪肠道蠕动和排泄物产生的碳排放 肠道蠕动和排泄物的碳排放包括两类,甲烷和氧化亚氮。

2.2.2.1 甲烷排放 根据《IPCC 国家温室气体清单指南》(2019 修订)^[6],江西省的生猪养殖以规模养殖为主,且基本都修建了无氧发酵池(用于收集甲烷燃烧),因此可以采用其中的方法 1,即简化方法进行计算(其中包含母猪的间接排放)。肠道蠕动产生的甲烷排放因子为 1.0 kg CH₄/(头·a),排泄物产生甲烷的排放因子为 3.5 kg CH₄/(头·a)^[8]。

综上所述,甲烷排放量为 4.5 kg CH₄/(头·a),而折合成每头生猪从出生到出栏的 160 d 周期,则单头生猪甲烷排放量应为 $4.5 \times 160 / 365 = 1.97$ kg CH₄/头。

2.2.2.2 氧化亚氮排放 氧化亚氮的排放主要来自于粪便管理系统,包括直接排放和间接排放(母猪)两大部分。根据《IPCC 国家温室气体清单指南》(2019 修订)^[6]中公式 10.25,可以将单头生猪氧化亚氮的直接排放公式改写成:

$$N_2O_d = Nex \cdot MS \cdot EF \cdot \frac{44}{28} \quad (12)$$

其中: N_2O_d 为源自排泄物的 N₂O 直接排放,

单位是 kg N₂O/a; Nex 为每头生猪的年均 N 排泄量,单位是 kg N/(头·a); MS 是生猪年氮排泄的比例,无量纲,这里取 7%; EF 是指 N₂O 直接排放的排放因子,单位是 kg N₂O-N/kg,这里取 3.5;44/28=N₂O-N 排放转化为 N₂O 排放的转换因子。

$$Nex = N_{rate} \frac{TAM}{1000} \cdot 160 \quad (13)$$

其中: N_{rate} 为缺省氮(N)排泄率,单位是 kg N/(1 000 kg 动物质量·日),取 0.411; TAM =生猪存续期的平均质量,单位是 kg/头,取 28;160 表示生猪从出生到出栏的生命周期为 160 d^[5]。因此每头生猪 Nex 为 1.84 kg N/(头·a),代入公式(12),可得直接氧化亚氮的排放量为:

$$N_2O_d = Nex \cdot MS \cdot EF \cdot \frac{44}{28} = 0.709 \text{ kg } N_2O/\text{头}$$

根据实际情况,间接氧化亚氮排放量忽略不计。

2.2.3 单头生猪养殖过程中折合总碳排放量 根据公式(10)和表 8、表 9,可以得出每头生猪养殖过程中折合总碳排放量为 $C_b = \sum_{l=r,d} C_{bl} = 18.78 + 260.5 = 279.28$ kg

对于饲料消耗,按照每头生猪 110 kg 出栏计

表 8 单头生猪肠道蠕动和排泄物产生的碳排放

Table 8 Carbon emissions from intestinal peristalsis and excrement of a pig

排放源 Emission source	气体排放量/kg Gas discharge	碳排放量/kg CO ₂ Carbon emissions	占比/% Proportion	数据来源 Data source
甲烷排放 CH ₄	1.97	49.25	23.47	[3]
氧化亚氮 N ₂ O	0.709	211.3	76.53	[3]
合计 C _{bd}		260.5	100.00	

表 9 单头生猪屠宰加工过程中产生的碳排放

Table 9 Carbon emissions from slaughtering and processing of a pig

排放源 Emission source	数据来源 Data source	消耗量 Consumption	碳排放量/kg CO ₂ Emissions	占比/% Proportion
自来水 C _{fmw}	[25]	0.6 t	0.546	10.2
电 C _{fme}	调研数据	6 kW·h	4.806	89.8
1 头生猪饲养过程中碳排放量合计 C _{br}			5.352	100.0

注:单头生猪屠宰加工过程各种能源的消耗量,部分从工业来源获得的调研数据,企业的敏感数据。

Note: The sources of various energies consumption in the process of slaughtering a pig are partly from the survey results of some industries and sensitive data of enterprises.

算,全程料肉比为 2.8:1,则每头生猪直接消耗饲料为 308 kg,生产母猪消耗的饲料为 27.65 kg,综合饲料消耗量为 335.65 kg;结合表 8 和表 9,则单头生猪因为饲料产生 240.09 kg 的 CO₂ 碳排放。

2.3 生猪运输产生的碳排放

生猪运输产生的碳排放主要来源于石油消耗。按照 10 t 耗柴油 18 L/100 km,每升柴油产生 2.778 kg CO₂,以运输 500 km 计算,则每 1 kg 生猪运输

产生的 CO₂ 为 $17/10000 \times 2.7 \times 5 = 0.025$ kg,进一步计算出每头生猪运输环节产生 2.75 kg 的 CO₂ 碳排放。

2.4 屠宰及冷藏环节产生的碳排放

根据表 9 可得出,屠宰环节产生的碳排放为 5.352 kg/头;其中用电碳排放比例为 89.8%。此外,猪肉冷藏用电量为 0.063 kW·h/kg,即产生 0.0505 kg 碳排放,合每头生猪约 2.8 kg。

2.5 实证测算汇总

在基于全生命周期各个阶段实际测算的基础上,把江西生猪各阶段消耗及碳排放进行汇总,见表 10 和表 11。

按照全生命周期(饲料原料种植、饲料加工、生猪饲养过程、生猪屠宰,以及各阶段的运输等环节)进行碳排放测算,根据实证测算汇总数据得出如下结果:(1)单头生猪的碳排放总量为 530.2 kg。按照生命周期各环节产生的碳排放占比来看:生猪饲养环节最大(包括排泄物、用水用电等),占 52.69%;其次是饲料消耗(包括饲料原料的种植、加工等)产生

的碳排放量,占 45.29%。折合成出售的每 1 kg 冷鲜肉的碳排放量约为 7.3 kg,可以说猪肉的碳标签为 7.3 CO₂/kg,而现在流行的猪肉碳排放量只有 1.4 kg,由此可见江西养猪实际碳标签明显偏高;(2)从排放源的角度来看:N₂O 产生的碳排放占比最大,为 39.86%;其次是使用化肥产生的碳排放,占 18.9%;排第 3 位的是用电产生的碳排放,占 11.29%;排在第 4 位的是 CH₄ 产生的碳排放,占 9.29%;(3)从能源消耗产生碳排放来看,在化肥生产、原料种植阶段电和灌溉用水构成主要因素,在饲料加工过程中电和煤的消耗带来大量碳排放。

表 10 单头生猪各环节碳排放构成

Table 10 Carbon emission composition of a pig in each link

环节 Link	排放源 Emission source	碳排放量 Emissions/kg CO ₂	占比 Proportion/%
消耗饲料 Feed consumption	水	26.751305	5.05
	电	48.702815	9.19
	煤	42.459725	8.01
	柴油	18.32649	3.46
	化肥	100.22509	18.90
	农药	3.658585	0.69
	小计	240.12401	45.29
饲养过程 Breeding process	水	4.0313	0.76
	电	3.54843	0.67
	煤	11.2079	2.11
	CH ₄	49.25	9.29
	N ₂ O	211.3	39.86
	小计	279.33763	52.69
生猪运输 Transportation of pigs	柴油	2.75	0.51
屠宰及冷藏 Slaughtering and refrigerating	水	0.546	0.10
	电	7.622	1.44
	小计	8.168	1.54
碳排放量合计 Total of carbon emission		530.245	100.00
折合每千克猪肉碳排放量 Equivalent to carbon emission per kg of pork		7.3	

表 11 单头生猪生产各种排放源的排放量及占比

Table 11 The emission load and proportion of each emission source produced by a pig

排放源 Emission source	环节 Link	碳排放量 Emissions/kg CO ₂	占比 Proportion/%
水 Water	饲料	26.751305	5.05
	生猪饲养	4.0313	0.76
	屠宰及冷藏	0.546	0.10
	小计	31.328605	5.91
电 Electricity	饲料	48.702815	9.19
	生猪饲养	3.54843	0.67
	屠宰及冷藏	7.622	1.44
	小计	59.873245	11.29
煤 Coal	饲料	42.459725	8.01
	生猪饲养	11.2079	2.11
	屠宰及冷藏	0	0.00

3 讨 论

3.1 江西生猪养殖碳排放偏高原因

测算结果表明,江西生猪养殖碳排放单头生猪

为 530.2 kg,猪肉的碳标签为 7.3 CO₂/kg,是现行猪肉碳排放量 1.4 kg 的 5 倍左右。主要原因分析如下:

3.1.1 原料种植期间碳排放较大 种植期间存在

乱施肥、滥施肥现象;缺乏玉米和大豆等标准田,灌溉技术以漫灌为主;病虫害预防用药过量等。

3.1.2 饲料加工工艺相对落后 原料准备工序、粉碎工序、制粒工序方面饲料加工技术相对落后,饲料配方不够科学,出肉率不高。

3.1.3 饲养过程立体循环养殖欠缺 立体循环养殖发展较慢,疾病防疫技术相对欠缺造成生猪生病率和死亡率偏高、母猪寿命较短和产仔率偏低。

3.1.4 主要依赖传统能源 在饲料的种植、加工、运输以及生猪的养殖、屠宰等等过程中大多使用煤和电等传统能源。

3.2 建议

建议对土壤肥力进行检测,根据检测结果合理有效施肥。变漫灌为地埋管道、甚至滴管技术,节约灌溉用水。合理用药(包括要的种类、用量),改进施药设备和技术,减少农药浪费。改进饲料加工技术,利用生猪养殖过程中的氨基酸需要量体系,作为制订饲料配方时的重要参考。大力发展“猪-沼-果、油、菜、粮”,“猪-鱼-果、粮”等各种形式的生猪立体循环养殖。实现猪舍建筑标准化(节能化),减少对能源的消耗;多利用太阳能、天然气等清洁能源,合理安排饲料、生猪、猪肉运输时间和方式,减少运输环节空载率,提高单位油耗的运输量;革新饲料加工设备,提高单位能源(电、水等)的饲料加工量。改进屠宰期间的水循环利用技术,从而提高单位用水和用电的出肉率。

4 小 结

江西单头生猪碳排放总量为 530.2 kg,折合成每 1 kg 冷鲜肉的碳排放量约为 7.3 kg,明显过高。按照江西 2019 年出栏 $3\ 000 \times 10^4$ 头计算,碳排放总量近 153.65×10^8 kg。“双碳”背景下降低江西生猪养殖碳排放是绿色经济发展的必然要求。

参考文献:

- [1] MOHAMMADI A, RAFIEE S, JAFARI A, et al. Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: A combined use of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 54: 89-100.
- [2] 白林,李学伟,龚兰芳,等.四川丘区猪肉生产情景的清单分析[J].四川农业大学学报,2009,27(2):234-238.
- [3] 廖誉.规模化生猪养殖场生产过程中碳排放量的计算[D].南昌:南昌大学,2011.
- [4] 张哲瑜,马文林,吴建繁,等.北京市规模化生猪养殖企业温室气体排放量估算[J].家畜生态学报,2019,40(3):59-64.
- [5] 周元清.中国规模化生猪养殖碳足迹评估方法与案例研究[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [6] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories volume 4: agriculture, forestry and other land use[R]. Gennva, Switzerland: IPCC, 2019.
- [7] CEADs. 中国碳核算数据库[DB/OL]. [2021-11-15]. <https://www.ceads.net.cn/>.
- [8] 中华人民共和国生态环境部. 第二次全国污染源普查畜禽养殖业源产排污系数手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2019.
- [9] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报[M]. 北京: 中国经济出版社, 2019.
- [10] 谢淑乐. 基于灌溉效益和碳足迹的河北省农业可持续发展研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2015.
- [11] 国家统计局. 中国能源统计年鉴(2018)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [12] 陈舜, 遂非, 王效科. 中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6 371-6 383.
- [13] 中国农药工业协会. 中国农药工业年鉴 2017[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [14] 王春华. 饲料加工工艺中各工序的改进探析[J]. 江西饲料, 2019(3): 17-18, 22.
- [15] 王文杰. 适合于低碳养猪业之饲料配合与加工技术新理念: 对实现低碳养猪饲料配制技术的初步思考[J]. 猪业科学, 2010, 27(5): 32-35.
- [16] 李娟. 猪用饲料的分类及其加工[J]. 现代畜牧科技, 2015(5): 46.
- [17] 吴狄华. 饲料加工工艺和设备的发展情况探析[J]. 南方农机, 2019, 50(12): 40.
- [18] 吴晋波. 不同水分条件下玉米生长过程的环境影响评价[D]. 太谷: 山西农业大学, 2019.
- [19] 潘丹, 杨佳莹. 中国主要粮食作物农药过量使用程度的时空分析[J]. 经济研究参考, 2018(33): 16-23.
- [20] 国家环境保护总局科技标准司. 清洁生产标准 食用植物油工业(豆油和豆粕): HJ/T 184-2006[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [21] 陈丽能, 林鸿, 徐展峰, 等. 农村运输机械耗油量数学模型的研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003(2): 70-72.
- [22] 中华人民共和国农业部. 猪饲养标准: NY/T 65-2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [23] 王永强, 谢红兵, 张金洲, 等. 规模化养猪场的科学用水管理[J]. 今日畜牧兽医, 2013(3): 1-6.
- [24] 北京市发展和改革委员会. 温室气体排放核算指南 畜牧养殖企业: DB11/T 1422-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [25] 施颖娜. 5 000 m³/d 畜牧业屠宰废水处理工程设计[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2016.

Carbon Emission Estimate of Typical Swine Supply Chain in Jiangxi Province Based on LCA

ZHANG Zhenhua¹, HU Kai², ZENG Deyuan^{1,3*}

(1. Jiangxi Open Economy Research Center, Jiujiang University, Jiujiang, Jiangxi 332005, China;

2. Development Research Center, China Post Bureau, Beijing 100868, China;

3. School of Economics, Hainan University, Haikou, Hainan 430072, China)

Abstract: Taking the carbon emission of typical pigs in Jiangxi as the research object, the Whole Life Cycle Assessment (LCA) method was used to construct a carbon emission calculation framework for the whole life cycle of pigs including feed, pig breeding, pig feeding, slaughter and processing, packaging and dissection, transportation and storage, etc. The actual technical data of the pig industry in the Poyang Lake area of Jiangxi Province were taken to calculate the specific pork carbon emissions in Jiangxi. The study found that the carbon emission of per kg of fresh pork was 7.3 kg, five times of the standard carbon emission. In terms of the composition of each link, the highest was the pig breeding, accounting for 52%; as for the composition of emission sources, the emission of Nitrous Oxide (N₂O) was the largest, accounting for nearly 40%. It is recommended that (1) low carbon technologies should be applied in the feed planting and processing stage, and the use of chemical fertilizers or pesticides should be reduced; (2) In the pig breeding stage, the breeding model should be improved to reduce carbon emissions from excrement; (3) natural gas, clean energy such as solar energy should be used to replace coal and oil.

Key words: pig supply chain; carbon footprint calculation; LCA; greenhouse gas

(上接第 14 页)

Application of Animal Ecological Nutrition in Nitrogen and Phosphorus Emission Reduction of Livestock

GUO Yongqing, DENG Ming, LIU Dewu, SUN Baoli*

(College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract: Nitrogen (N) and phosphorus (P) are important nutrients for livestock production, which are very important to maintain the health and performance of livestock. The utilization efficiency of N and P is closely related to the level of N and P in the diet, and the composition of feed materials. The undigested N and P are discharged from the body with manure and urine, which is harmful to the air, topsoil and groundwater quality, and further affects human health. According to the principle of animal ecological nutrition, the environmental protection formula technology of nutrition balance, high digestibility and less excretion can reduce the input of nutrients such as N and P, and reduce the excretion of N and P in feces and urine. This paper, therefore, reviews the concept of animal ecological nutrition and its application in the reduction of N and P excretion from livestock manure in order to provide a reference for scientific diet preparation and environmental pollution reduction.

Key words: animal ecological nutrition; livestock; nitrogen and phosphorus; excretion reduction