

规模猪场碳排放量调查

邓柏林¹, 马文林², 何宏轩³, 屠焰⁴, 王全红⁵, 高姗姗²

(1.北京市畜牧兽医总站, 北京 100107; 2.北京建筑工程学院, 北京 100044; 3.中国科学院动物研究所, 北京 100101; 4.中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081; 5.北京市畜牧业环境监测站, 北京 102200)

摘要:为摸清规模猪场温室气体的排放现状, 掌握物质和能量流动途径, 本研究进行了规模猪场碳排放情况及其影响因子的专题调研。一是通过问卷调查、文献检索、现场观察、抽样分析等方法, 取得了有关猪场概况、猪舍环境、粪污管理、能源利用等方面的基础数据; 二是依据猪场内部及与周边区域的物质和能量流动途径, 通过修正肠道发酵、粪便管理和污水管理等过程甲烷排放因子, 按照 IPCC 方法学提供的测算方法得到猪场不同饲养阶段 CH₄、N₂O 及 CO₂ 排放量。通过规模猪场碳排放量的估算, 为今后在规模猪场开展节能减排工作提供依据。

关键词: 猪场; 碳排放

随着畜牧业飞速发展与环境矛盾日益凸现, 养殖业污染已严重制约着畜牧业的可持续发展。据有关资料统计, 一个万头猪场, 日产粪尿 50 t, 全年可向周围排放约 100 ~ 160 t 氮和 20 ~ 30 t 磷。2003 年我国畜禽粪便年产生量超过 24 亿 t, 约为同期工业固体废弃物产生量的 2.4 倍。根据预测, 2020 年中国畜禽粪便年总量将达到 42.4 亿 t。资料显示, 1994 年农业源温室气体排放占温室气体排放总量的 17%; 农业活动甲烷 (CH₄) 排放量为 1.719 6 × 10⁷ t, 占 CH₄ 排放总量的 50.15%, 其中动物饲养过程中的甲烷排放为 1.104 9 × 10⁷ t。

因此, 通过对养猪场营养代谢、环境调控、粪污管理及能源消耗等生产过程的碳排放调查研究及碳排放量的估算, 对于摸清规模猪场温室气体排放途径及其影响因素, 掌握养殖场物质和能量流动途径, 为和引进吸收国内外低碳养殖技术, 开展节能减排, 探索规模猪场“高效、低碳和循环可持续”具有重要的参考意义。

1 调查方法

调研资料采集方法包括政策咨询、

现场访谈、焦点小组会议、引导式研讨会、群体创新技术、问卷调查、文献检索、现场观察、抽样分析等。

2 调查内容

包括猪场养殖基本情况, 猪场饲养情况, 猪场环境情况, 猪场场区、缓冲区建设情况, 猪场饮用水供应情况, 猪场环境消毒设施情况, 2009—2012 年猪场水电和能源使用情况, 猪场粪污产生及管理概况, 猪场粪污处理利用, 沼气处理利用, 猪场粪便处理利用—堆肥处理利用, 猪场污水处理, 猪场林地详情, 猪场农业、绿化用地详情等方面。

3 调查数据

3.1 猪场的基本情况数据

表 1- 表 3 是某猪场基本情况参数。

3.2 生产基础数据

表 4- 表 5 是某猪场 2011 年生产参数。

3.3 日粮情况

表 6- 表 8 是某猪场 2011 年日粮使

表 1 猪场猪舍情况

| 猪舍类别 | 地面 (床) 特点 | 数量 / 栋 |
|------|-----------------|--------|
| 仔猪舍 | 网床 | 4 |
| 育成舍 | 水泥地面, 漏缝地板, 发酵床 | 3 |
| 育肥舍 | 水泥地面, 漏缝地板, 发酵床 | 8 |
| 妊娠舍 | 漏缝地板 | 3 |

表 2 猪场 2009—2012 年养殖基本情况调查

| 项目 | 2011 年 | 2010 年 | 2009 年 |
|-----------|--------|--------|--------|
| 年初存栏 / 头 | 5225 | 5235 | 5024 |
| 年末存栏 / 头 | 5406 | 4937 | 5002 |
| 全年出栏 / 头 | 7100 | 7120 | 7005 |
| 育肥猪出栏 / 头 | 5210 | 4520 | 5805 |
| 猪场出售 / 头 | 1890 | 2600 | 1200 |
| 基础母猪 / 头 | 500 | 500 | 500 |
| 年产仔总窝数 | 914 | 934 | 867 |
| 年产仔总头数 | 8890 | 9332 | 7803 |

表 3 2011 年猪场水和能源用量

| 月份 | 水 / m ³ | 电 / kW · h | 汽油 / L | 无烟煤 / t |
|----|--------------------|------------|--------|---------|
| 1 | 660 | 16128 | 688 | 60 |
| 2 | 660 | 16213 | 597 | 60 |
| 3 | 660 | 15360 | 61 | 60 |
| 4 | 660 | 12970 | 393 | - |
| 5 | 1000 | 10739 | - | - |
| 6 | 1000 | 12444 | 993 | - |
| 7 | 1000 | 15917 | 372 | - |
| 8 | 1000 | 23111 | 255 | - |
| 9 | 1000 | 21009 | 50 | - |
| 10 | 1000 | 14402 | 272 | - |
| 11 | 660 | 13352 | 231 | 60 |
| 12 | 660 | 17292 | 507 | 60 |
| 合计 | 9960 | 188937 | 4419 | 300 |

用、营养成分、采食量和消化率等情况参数。

3.4 猪粪便管理情况数据

表 9 是通过采集某猪场饲养的各阶段猪的粪便, 经实验室分析检测得到的参数。

基金项目: 北京市农业科技示范项目 (编号: 20110816); 现代农业产业技术体系北京市生猪产业创新团队项目资助。

作者简介: 邓柏林, 男, 博士, 高级兽医师。

表 4 各类猪年均饲养量

| 类别 | 年出栏量 / 头 | 饲养周期 / d | 年均饲养量 / 头 |
|-----|----------|----------|-----------|
| 仔猪 | 10170 | 40 | 1115 |
| 中猪 | 7500 | 45 | 925 |
| 育肥猪 | 7500 | 70 | 1438 |

表 5 各类猪平均体重 kg

| 类别 | 期初体重 | 期末体重 | 平均体重 |
|------|------|------|------|
| 仔猪 | 8 | 30 | 19 |
| 中猪 | 30 | 50 | 40 |
| 育肥猪 | 50 | 100 | 75 |
| 妊娠母猪 | 130 | 180 | 155 |

表 10 是根据《第一次全国污染源普查·畜禽养殖业源产排污系数手册》数据得到的某猪场各类猪的产污系数和排污系数。

表 11 是根据《第一次全国污染源普查·畜禽养殖业源产排污系数手册》数据，按照猪场各类猪的实际体重，得出该猪场相应的产污系数和排污系数。

4 数据处理和估算结果

4.1 CH₄ 排放量

养猪场排放甲烷气体的主要途径包括肠道发酵、粪便管理和污水管理 3 个过程，对养猪场甲烷排放量估算依据 IPCC 提供的方法学进行。

4.1.1 肠道发酵

甲烷是家畜肠道发酵过程的副产物。反刍牲畜（例如牛、羊）肠道发酵排放甲烷量相对较大，非反刍牲畜（例如猪、马）产生中等数量甲烷。IPCC 方法学建议对非反刍动物肠道发酵甲烷排放计算采用方法 1，但需根据体重校正排放因子。IPCC 中给出了成熟猪（假定 70 kg 的猪）肠道发酵排放甲烷的默认因子为 1.0，根据猪场各类猪的平均体重，修正得到各类猪肠道发酵甲烷排放因子。再以养殖量相乘，得出该养殖场通过猪肠道发酵排放的甲烷总量。该猪场各阶段猪（仔猪、中猪、育肥猪和妊娠母猪）排放量（CH₄Gg / 年）经过测算约为 :3.45 × 10⁻³。

4.1.2 粪便管理

由于养猪场粪便管理是猪场排放甲烷气体的主要来源之一。如果运用 IPCC 方法 1，所采用默认排放因子并

表 6 猪场各类猪日粮饲喂量

| 日粮 | 仔猪 | 保育猪 | 育肥猪 | 种公猪 | 哺乳母猪 | 妊娠母猪 | 空怀母猪 |
|----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 头均饲喂量 / (kg/d) | 0.175 | 0.875 | 2.25 | 5 | 4 | 3 | 2.5 |
| 玉米 / % | 57.4 | 65.0 | 66.0 | 65.0 | 61.2 | | 60.0 |
| 豆粕 / % | 24.0 | 21.0 | 17.0 | 18.0 | 13.0 | | 18.0 |
| 鱼粉 / % | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.0 | | 2.0 |
| 麸皮 / % | 5.0 | 8.0 | 11.0 | 9.0 | 20.0 | | 16.0 |
| 大豆 / % | 6.0 | | | | | | |

表 7 猪日粮营养成分实验测定结果

| 类别 | 风干样品干物质 / % | DMI* | | | | |
|------|-------------|---------|--------------|----------|---------|---------|
| | | 粗蛋白 / % | 总能 / (MJ/kg) | 不溶灰分 / % | 粗灰分 / % | 有机物 / % |
| 仔猪 | 87.95 | 21.57 | 19.54 | 0.77 | 6.56 | 93.44 |
| 中猪 | 88.08 | 20.53 | 19.54 | 0.77 | 6.39 | 93.61 |
| 肥猪 | 87.19 | 13.08 | 16.80 | 8.92 | 14.33 | 85.67 |
| 妊娠母猪 | 88.00 | 16.88 | 19.08 | 0.74 | 6.88 | 93.12 |

* 动物 24 h 内对所给饲日粮干物质的进食量，英文简称为 DMI，单位以 kg/d 表示。

非十分符合猪场情况。本研究，针对规模猪场所饲养猪不同生长期的日粮和排污开展研究，根据实验得出的消化率、总能利用等数据计算猪粪便甲烷排放因子，属于 IPCC 方法 2。

猪粪便中挥发性固体（VS）含量的获得，可以根据猪每日排泄粪便量和粪便中 VS 的含量计算得出，也可以根据日粮总能、消化率和粪便中灰分测量结果计算得出。

4.1.3 猪粪甲烷排放计算

本研究以粪便测量结果计算得出的 VS 排放量数据为基础，进一步计算粪便管理甲烷排放因子和甲烷排放总量。该猪场各阶段猪（仔猪、中猪、育肥猪和妊娠母猪）CH₄ 排放量（CH₄Gg / 年）经过测算约为 :2.23 × 10⁻³。

表 8 各类猪日粮采食和消化率测定实验结果

| 类别 | 采食量 / [kg/(天·头)] | 消化率 / % | | |
|------|------------------|---------|-------|-------|
| | | 干物质 | 粗蛋白 | 总能 |
| 仔猪 | 0.69 | 88.84 | 87.62 | 88.82 |
| 中猪 | 0.85 | 91.47 | 90.64 | 91.62 |
| 肥猪 | 3.05 | 72.46 | 70.56 | 79.21 |
| 妊娠母猪 | 4.00 | 74.01 | 76.02 | 75.35 |

表 9 各阶段猪粪便成分实验结果

| 类别 | 初水分 / % | 风干样品干物质 / % | 折算总干物质 / % | 粗蛋白 / % | 总能 / (MJ/kg) | 酸不溶灰分 / % | 粗灰分 / % | 挥发性固体 / % |
|------|---------|-------------|------------|---------|--------------|-----------|---------|-----------|
| 仔猪 | 71.32 | 90.35 | 25.92 | 23.93 | 19.53 | 6.97 | 20.74 | 89.94 |
| 中猪 | 67.82 | 90.24 | 29.03 | 22.44 | 19.19 | 9.06 | 23.17 | 87.67 |
| 肥猪 | 62.83 | 93.12 | 34.62 | 13.98 | 12.67 | 32.44 | 45.82 | 61.57 |
| 妊娠母猪 | 68.93 | 91.06 | 28.29 | 15.56 | 18.08 | 2.87 | 19.77 | 89.96 |

4.1.4 污水管理

猪场采用干清粪方式清理猪排泄物，每个期末用水冲洗圈舍。猪场污水由猪粪尿渗滤液和圈舍冲洗水组成，也包括混合进入污水下水道系统的雨水径流，构成猪场的主要排污途径。根据表 10 中干清粪养殖工艺的排污系数数据，计算得出猪场每年的 COD 总量。

场污水 COD 默认的最大甲烷产生能力为 0.25 kg。用三级曝气工艺进行处理，管理不完善，时常停运，甲烷修正因子 0.5。由此计算得出猪场污水塘每年排放的甲烷量为 5.27 × 10⁻³ Gg / 年。

4.1.5 甲烷排放总量

根据前面的计算，猪场甲烷总量为 :3.449 × 10⁻³ + 2.228 × 10⁻³ + 5.275 × 10⁻³ = 1.095 × 10⁻² Gg / 年。

4.2 N₂O 排放量

4.2.1 直接排放量

N₂O 的直接排放通过粪肥中所含氮素的硝化和反硝化作用发生。粪便储存和管理中产生的 N₂O 排放取决于粪便中的氮含量和碳含量，以及储存的持续时间和管理方法的类型，其默认排放因

表 10 各类猪头均产污和排污情况 (全国普查数据)

| 指标 | | 保育猪 | | | 育肥猪 | | | 妊娠猪 | | |
|-------|------|--------|-------|----|--------|-------|----|--------|-------|----|
| | | 产污系数 | 排污系数 | | 产污系数 | 排污系数 | | 产污系数 | 排污系数 | |
| | | | 干清粪 | 垫料 | | 干清粪 | 垫料 | | 干清粪 | 垫料 |
| 粪 | kg/d | 1.04 | - | - | 1.81 | - | - | 2.04 | - | - |
| 尿 | L/d | 1.23 | - | - | 2.14 | - | - | 3.58 | - | - |
| 化学需氧量 | g/d | 236.76 | 26.88 | 0 | 419.56 | 30.78 | 0 | 482.17 | 19.47 | 0 |
| 全氮 | g/d | 20.40 | 3.22 | 0 | 33.23 | 5.34 | 0 | 43.66 | 8.42 | 0 |
| 全磷 | g/d | 3.48 | 0.38 | 0 | 6.06 | 0.43 | 0 | 9.93 | 0.26 | 0 |
| 参考体重 | kg | 27 | | | 70 | | | 210 | | |

表 11 猪场各类猪头均产污系数和排污系数校正值

| 指标 | 单位 | 仔猪 | | 中猪 | | 育肥 | | 妊娠 | |
|-------|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | | 产污系数 | 排污系数 | 产污系数 | 排污系数 | 产污系数 | 排污系数 | 产污系数 | 排污系数 |
| 粪 | kg/d | 0.80 | | 2.43 | | 1.91 | | 1.62 | |
| 尿 | L/d | 0.95 | | 2.87 | | 2.25 | | 2.85 | |
| 化学需氧量 | g/d | 181.91 | 20.65 | 563.40 | 41.33 | 441.84 | 32.41 | 383.96 | 15.50 |
| 全氮 | g/d | 15.67 | 2.47 | 44.62 | 7.17 | 34.99 | 5.62 | 34.77 | 6.70 |
| 全磷 | g/d | 2.67 | 0.29 | 8.14 | 0.58 | 6.38 | 0.45 | 7.91 | 0.21 |
| 参考体重 | kg | 19 | 40 | 75 | 155 | 6.38 | 0.45 | 7.91 | 0.21 |

子为 0.005 kg。根据表 10 中猪场各类猪的产污系数数据, 计算得出猪场每年粪便管理系统直接排放的 N₂O 量, 该猪场各阶段猪 (仔猪、中猪、育肥猪和妊娠母猪) N₂O 排放量 (N₂O 排放量换算成甲烷的量, 单位用 Gg/年表示, 下同) 经过测算约为 302.90 (kg/年)。

4.2.2 间接排放量

粪便管理过程中 N₂O 的间接排放源于氮挥发和淋溶源 2 种途径。氮的损失从舍饲和其他家畜生产区域 (例如挤奶厅) 中的排泄点开始, 并且通过储存和管理系统 (即粪便管理系统) 的现场管理继续损失。在户外地区 (饲养场和家畜进行放牧的牧场地区) 粪便固体存放中, 损失的氮还可以经淋溶和径流进入土壤, 但由于关于各种粪便管理系统中淋溶和径流损失的测量数据极为有

限, 这部分排放仅在可获得粪便管理系统中淋溶和径流引起的氮损失比例的相关国家特定信息时才进行计算, 故本研究中没有计算这部分排放。

氮挥发主要是以氨气和 NO_x 的形式产生。计算由于氮的挥发引起的 N₂O 间接排放量, 采用默认氮挥发因子 (45%) 和默认 N₂O 产生因子 (0.01)。该猪场各阶段猪 (仔猪、中猪、育肥猪和妊娠母猪) 甲烷的排放量经过测算约为 272.61 (kg/年)。

猪场 N₂O 排放总量根据前面的计算, 猪场 N₂O 年排放总量为: 575.51 kg。

4.3 CO₂ 排放量

根据表 3 数据, 该猪场 2010 年共用水 9960 t, 用电 188937 kW·h, 用无烟煤 300 t, 汽油 4419 L。采用方法 1,

仅对燃料使用过程中 CO₂ 的排放进行估算。查 IPCC 能源卷 (表 1.2) 得各类燃料的净发热值和 CO₂ 缺省排放因子, 由此计算得出猪场场能源利用过程排放 CO₂ 的量为 967.91 t。

5 猪场温室气体排放评估

若该场年生产猪增重为 314.5 t, 则单位质量猪增重的 CO₂ 当量排放指标仅考虑粪污管理环节为 0.54 kg; 综合考虑能源使用过程的排放时为 1.84 kg。

6 讨论

1) 获取粪便管理最好的方法是查阅定期的国家公布统计资料, 在缺少这样的统计资料时, 开展调查工作是非常必要的。

2) 影响甲烷排放的主要因素是生产粪便量和粪便无氧降解的比例, 粪便的产生量取决于每头猪的废物产生率和数量, 而粪便无氧降解取决于如何进行粪便管理, 当粪便以液体形式储存或管理时 (如在化粪池) 粪便无氧降解后可产生大量甲烷。

3) 挥发性固体 (VS) 为粪便中的有机物, 包括可降解和不可降解的部分。其含量等于消耗的日粮中未被消化的部分, 在估算肠道甲烷排放时, 应估算总能 (GE) 及其消化比例, 而 VS 排泄率估算可以通过采食量来估算。

4) CO₂、CH₄ 和 N₂O 这 3 种温室气体具有不同的增温效应, 它们对全球变暖的影响也不同。根据 IPCC 的报告, 以 100 年影响尺度为计, 1 kg CH₄ 的增温效应是 1 kg CO₂ 的 21 倍, 而 1 kg N₂O 的增温效应是 1 kg CO₂ 的 310 倍。

5) 虽然通过缺省排放因子估算得到的碳排放量存在一定的误差, 但通过对规模猪场不同生长期的日粮和排污情况展开调研, 并开展消化率、总能利用等数据的实测来计量猪粪便甲烷排放因子, 是对 IPCC 缺省排放因子的补充, 具有明显的针对性, 其结果更具参考价值。

参考文献 (略)

(收稿日期: 2013-03-04)



图 1 低碳养猪模式