

基于 IPCC 方法 2 的中国省级畜牧业温室气体 清单监测、报告和核证方法指南 案例研究

河北省规模化猪场温室气体排放监测和报告

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所

2020 年 2 月

基于 IPCC 方法 2 的中国省级畜牧业温室气体清单监测、报告和核证方法指南
案例研究—河北省规模化猪场温室气体排放监测和报告

主要作者:

董红敏 (中国)

朱志平 (中国)

李玉娥 (中国)

魏 莎 (中国)

张 羽 (中国)

2020年2月 第一版

文献引用格式如下:

董红敏, 朱志平, 李玉娥, 等 (2019) 基于 IPCC 方法 2 的中国省级畜牧业温室气体清单监测、报告和核证方法指南案例研究—河北省规模化猪场温室气体排放监测和报告

致谢:

本指南是由国际农业研究磋商组织“气候变化、农业与粮食安全”国际研究项目和新西兰政府支持“全球农业温室气体研究联盟”畜牧研究工作组国际合作项目联合资助。这项工作是国际农业研究磋商组织“气候变化、农业与粮食安全”国际研究项目的一部分,该计划是在国际农业研究磋商组织基金捐助者的支持下,并通过包括美国国际开发署在内的双边供资协议进行的。有关详细信息,请访问 <https://ccaafs.cgiar.org/donors>。本文档中表达的观点代表这些组织的正式

目录

摘要	3
1. 概述	4
2. 清单编制机构安排	4
3. 规模化猪场粪便管理温室气体排放测定和核算	5
3.1 生猪粪便管理 CH ₄ 排放测定和核算	5
3.2 生猪粪便管理 N ₂ O 排放测定和核算	9
3.3 案例猪场温室气体排放总量	16
3.4 不确定性分析	16
3.5 减排效果评估	16
4. 规模化猪场温室气体排放核证	17
5. 附表	27

摘要

河北某规模化生猪养殖场温室气体清单包括粪便管理甲烷和氧化亚氮排放清单 2 个部分。为保证清单的透明度、一致性、可比性、完整性和准确性，清单编制依据《基于 IPCC 方法 2 的中国省级畜牧业温室气体清单监测、报告和核证方法指南》（以下简称《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》）编写。

测算结果显示案例猪场 2018 年粪便管理温室气体排放量为 11446.9 吨二氧化碳当量（CO₂e）。从排放源分析，以粪便管理 N₂O 排放为主，排放量为 7567.1 吨 CO₂e，占比为 66.1%，粪便管理 CH₄ 排放为 3879.8 吨 CO₂e，占比为 33.9%。从生长阶段分析，以育肥猪排放为主，排放量为 8057.0 吨 CO₂e，占比为 70.4%，其次是繁殖母畜，排放量为 2023.2 吨 CO₂e，占比为 17.7%，保育猪排放量为 1366.7 吨 CO₂e，占比仅为 11.9%。

为了保证案例猪场温室气体编制结果的准确性，按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》核证的要求和核证清单，对温室气体排放核算过程所采取的方法、活动水平数据、排放因子的计算进行了核证。

1. 概述

为了验证《基于 IPCC 方法 2 的中国省级畜牧业温室气体清单监测、报告和核证方法指南》（以下简称《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》），开展了规模化猪场温室气体排放测定与核算案例研究，以测试《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》在规模化猪场的可行性，为中国或其他国家规模化猪场采用 2006 IPCC 方法 2 核算生猪粪便管理温室气体排放和核证提供案例。

本案例为河北省某大型规模化猪场，温室气体监测与核算年度为 2018 年。生猪品种为长白和大白。2018 年猪年均存栏量 66360 头，其中保育猪 15000 头，育肥猪 44160 头，繁殖母猪 7200 头。2018 年该生猪养殖场育肥猪出栏量约 13.9 万头，平均出栏体重 110 kg。该养殖场所在地的年均气温为 12.9℃。

按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，由于猪为单胃动物，不采用方法 2 计算生猪肠道发酵甲烷排放，采用方法 2 计算粪便管理过程中的甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)排放。清单编制单位对该猪场进行了实地调查，主要收集群体结构、采食量、饲料消化率、粪便管理方式等参数；生猪的氮排泄量来源于全国第二次污染源普查。

经过测算，案例猪场 2018 年粪便管理温室气体排放量为 11446.9 吨二氧化碳当量(CO₂e)。从排放源分析，以粪便管理 N₂O 排放为主，排放量为 7567.1 吨 CO₂e，占比为 66.1%，粪便管理 CH₄ 排放为 3879.8 吨 CO₂e，占比为 33.9%。从生长阶段分析，以育肥猪排放为主，排放量为 8057.0 吨 CO₂e，占比为 70.4%，其次是繁殖母畜，排放量为 2023.2 吨 CO₂e，占比为 17.7%，保育猪排放量为 1366.7 吨 CO₂e，占比仅为 11.9%。

按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》核证的要求和核证清单，温室气体排放核算单位对该案例猪场的温室气体清单编制过程所采取的方法、活动水平数据、排放因子的计算、相关参数的计算与取值、各温室气体排放源的排放量计算、温室气体排放报告等进行了内部审核，修正了数据处理和核算过程中存在的问题。

2. 清单编制机构安排

清单编制机构为中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所（以下简称“环发所”）和案例猪场共同完成。中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所负责清单编制方法的选择、排放因子的计算获取，排放量计算和核查等工作；猪场技术人员和环发所的专家一起负责猪场的活动数据、群体结构、饲料特性、生猪采食量、消化率和粪便管理方式、及当地的年均气温等参数的确定等。具体调查获得的参数详见附表 1。

3. 规模化猪场粪便管理温室气体排放测定和核算

根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，采用方法 2 测算的规模化猪场温室气体排放，包括粪便管理 CH₄ 和 N₂O 排放。根据案例的代表性，选择河北省某一典型规模化猪场 2018 年生产情况为案例试算，核算、监测和核证该案例猪场粪便管理的温室气体排放。

3.1 生猪粪便管理 CH₄ 排放测定和核算

3.1.1 生猪活动水平数据

根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，需要收集不同生长阶段（保育、育肥、繁殖母畜）的生猪存栏量。生猪活动水平数据来源于案例猪场 2018 年存栏量台账，根据生猪生长阶段的分类，调查获得该案例猪场不同生长阶段的存栏数据（表 1）。

表 1：生猪活动水平数据

年末存栏总量	不同生长阶段的存栏量		
	保育	育肥	繁殖母畜
66360	15000	44160	7200

3.1.2 生猪排放因子、关键参数的监测和计算

根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，对于规模化猪场的案例研究，下述的所有公式中的饲养方式都只有一种方式，即规模化饲养。生猪粪便管理甲烷排放因子计算如公式（1）。

$$EF_{CH_4-MM, (T,P)} = (VS_{(T,P)} \cdot 365) \left[B_{0(T,P)} \cdot 0.67 \cdot \sum_{(S,K)} \frac{MCF_{(S,K)}}{100} \cdot \frac{MS_{(T,P,S)}}{100} \right] \quad (1)$$

式中：

$EF_{CH_4_MM, (T,P)}$ ：第 T 生长阶段，生猪在第 P 种饲养方式下的粪便管理 CH_4 排放因子， $kg\ CH_4\ 头^{-1}\ 年^{-1}$ ；

$VS_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段，生猪在第 P 种饲养方式下每日易挥发固体排泄量， $kg\ VS\ 头^{-1}\ 天^{-1}$ ；

$B_{0(T,P)}$ ：第 T 生长阶段，生猪在第 P 种饲养方式下粪便 CH_4 产生潜力， $m^3\ CH_4\ kg^{-1}\ VS$ ；

$MCF_{(S,k)}$ ：粪便管理方式 S、气候区 K 的 CH_4 转化系数，%

$MS_{(T,P,S)}$ ：第 T 生长阶段、生猪在第 P 种饲养方式下，粪便管理方式 S 的使用比例；

0.67： CH_4 的密度， $kg\ m^{-3}$ ；

S：粪便管理方式代号；

K：气候区代号。

3.1.2.1 生猪粪便易挥发性固体排泄量计算

根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，利用公式（2）计算生猪易挥发固体排泄量（VS）：

$$VS = \left[GE \cdot \left(1 - \frac{DE}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left(\frac{1-ASH}{18.45} \right) \quad (2)$$

式中：

VS：易挥发固体排泄量（干物质）， $kg\ VS\ 天^{-1}$

GE：生猪每天摄取的总能量， $MJ\ 天^{-1}$ 。

计算公式： $GE = DMI \times 18.45$ (2.1)

参数获取方法：

DMI：为生猪每天的干物质摄入量（ $kg\ 天^{-1}\ 头^{-1}$ ）

现场调查获得本案例中生猪的干物质摄入结果（表 2）。根据公式 2.1 和现场调查获得的干物质摄入量，计算获得生猪不同生长阶段每天摄取的总能量（表 2）：

表 2：不同生长阶段生猪的干物质摄入量与摄取的总能量

饲养阶段	保育	育肥	繁殖母畜
干物质摄入量 ($\text{kg 天}^{-1} \text{头}^{-1}$)	0.52	1.64	2.55
摄取的总能量 ($\text{MJ 天}^{-1} \text{头}^{-1}$)	9.58	30.32	47.08

DE : 生猪饲料消化率, %

现场调查获得生猪饲料消化率, 调研结果表见表 3。

表 3: 生猪饲料消化率

生长阶段	保育	育肥	繁殖母畜
饲料消化率 (%)	75	75	75

$(UE \cdot GE)$: 表示为 GE 的尿的能量;

采用 2006 IPCC 清单指南中推荐的默认值, 取值为 $0.02GE$ 。

ASH : 粪便灰分含量, %

采用 2006 IPCC 清单指南中推荐的默认值, 8%

18.45 : 每千克干物质日粮总能的转化因子, MJ kg^{-1}

注: 生猪每日排泄的挥发性固体需分饲养方式和生长阶段进行计算, 上述公式和主要参数未标注饲养方式 (P) 和生长阶段 (T) 角标。

基于上述的相关参数计算获得本案例中不同生长阶段的生猪粪便易挥发性固体排泄量, 具体结果见表 4。

表 4: 生猪粪便易挥发性固体排泄量

生长阶段	保育	育肥	繁殖母畜
易挥发性固体排泄量 (kg VS 天^{-1})	0.13	0.41	0.63

3.1.2.2 生猪粪便 CH_4 产生潜力 (B_0)

粪便 CH_4 产生潜力 (B_0) 随动物种类和日粮变化有所不同, 但中国目前还没有这方面的研究结果。根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》, 规模化饲养的生猪 CH_4 产生潜力 (B_0) 取值为 $0.45 \text{ m}^3 \text{CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{VS}$ 。

3.1.2.3 粪便管理方式比例的确定

按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》典型调查的要求，本次案例现场调查了猪场的粪便处理情况，该猪场主要 3 种粪便管理方式：舍内粪坑贮存(<1 个月)，厌氧沼气和好氧堆肥，各种管理方式占比情况如下表（表 5）。

表 5：河北省案例猪场粪便管理方式处理的粪便比例

粪便管理方式	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	槽式堆肥
处理的粪便比例 (%)	20	50	30

3.1.2.4 粪便 CH₄ 转化因子的确定

粪便 CH₄ 转化因子与粪便管理方式和当地气候条件有关。河北省 2018 年年平均气温为 12.9℃。依据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》中表 2-5，温度为 12.9℃时不同粪便管理方式的 CH₄ 转化因子见表 6。

表 6：生猪粪便管理方式的 CH₄ 转化因子 (MCF)

粪便管理方式	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	堆肥和沤肥
MCF (%)	3	10	0.5

3.1.2.5 生猪粪便管理 CH₄ 排放因子

根据计算的 VS、不同粪便管理方法处理粪便量及 CH₄ 转化因子，生猪粪便 CH₄ 最大产生潜力，利用公式 (1) 计算的粪便管理 CH₄ 排放因子（表 7）。

表 7：案例猪场粪便管理 CH₄ 排放因子

生长阶段	保育	育肥	繁殖母畜
粪便管理 CH ₄ 排放因子 (kg CH ₄ 头 ⁻¹ 年 ⁻¹)	0.82	2.58	4.01

3.1.3 生猪粪便管理 CH₄ 排放

根据不同饲养方式、不同生长阶段的生猪活动水平数据及相应的粪便管理 CH₄ 排放因子，利用公式（3）计算生猪粪便管理 CH₄ 排放量（表 8）。

$$E_{CH_4_MM} = \sum_{T,P} \frac{(EF_{CH_4_MM, (T,P)} \cdot N_{(T,P)})}{10^3} \quad (3)$$

式中：

$E_{CH_4_MM}$ ：案例猪场生猪粪便管理过程产生的甲烷排放量，t CH₄ 年⁻¹；

$N_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段,第 P 种饲养方式的生猪活动数据，即年均存栏量，头；

$EF_{CH_4_MM, (T,P)}$ ：第 T 生长阶段,生猪在第 P 种饲养方式下，CH₄ 排放因子， kg CH₄ 头⁻¹ 年⁻¹。

表 8：案例猪场生猪粪便管理 CH₄ 排放量（t CH₄ 年⁻¹）

生长阶段	保育	育肥	繁殖母畜	合计
粪便管理 CH ₄ 排放量（t CH ₄ 年 ⁻¹ ）	12.2	114.1	28.9	155.2

3.2 生猪粪便管理 N₂O 排放测定和核算

生猪粪便管理 N₂O 排放包括直接排放和间接排放。计算排放因子所需的参数包括不同粪便管理方式及处理的粪便量以及不同粪便管理方式下的 N₂O 排放因子等。

3.2.1 生猪粪便管理 N₂O 直接排放

3.2.1.1 活动水平数据

案例猪场不同生长阶段的生猪活动水平与 3.1.1 相同，见表 1。

粪便管理 N₂O 排放的另外一个活动水平数据是氮的排泄量，案例猪场无实测数据。根据第二次全国污染源数据，选择河北省生猪规模化饲养在不同生长阶段生猪氮排泄量（表 9）。根据 3.1.2.3 节中不同粪便管理方式处理的粪便比例（表 5）和生猪年氮排泄量，计算了不同生长阶段、不同粪便处理方式下的生猪氮排泄量，结果如表 10。

表 9：不同生长阶段生猪年氮排泄量 (kg 年⁻¹头⁻¹)

生长阶段	保育	育肥	繁殖母畜
生猪年氮排泄量 (kg 年 ⁻¹ 头 ⁻¹)	4.5	7.5	11.5

表 10：不同生长阶段、粪便管理方式的氮排泄量 (kg N 年⁻¹)

生长阶段	粪便处理方式		
	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	槽式堆肥
保育	13500	33750	20250
育肥	66240	165600	99360
繁殖母畜	16560	41400	24840

3.2.1.2 生猪粪便管理 N₂O 直接排放因子的选择

用于计算粪便管理 N₂O 排放的粪便管理方式及处理的粪便比例与 3.1.2.3 节中粪便管理方式和处理的粪便比例相同（表 5）。

根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》中的表 2-6 和现场调查的粪便管理方式（表 5），选择了不同粪便管理方式的 N₂O 直接排放因子（表 11）。

表 11：河北省案例生猪场粪便管理方式 N₂O 直接排放因子

粪便处理方式	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	槽式堆肥
EF ₃ (kg N ₂ O-N kg ⁻¹ N)	0.002	0	0.1

3.2.1.3 生猪粪便管理 N₂O 直接排放量

依据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，利用公式（4）计算生猪粪便管理 N₂O 直接排放，生猪粪便管理 N₂O 直接排放量计算结果见表 12。

$$E_{N_2O_{D,MM}} = \left[\sum_S \left[\sum_{T,P} \left(N_{(T,P)} \cdot Nex_{(T,P)} \right) \cdot \frac{MS_{(T,P,S)}}{100} \right] \cdot EF_{3(S)} \right] / 1000 \cdot \frac{44}{28} \quad (4)$$

式中：

$E_{N_2O_{D,MM}}$ ：粪便管理的 N_2O 直接排放量，t N_2O 年⁻¹；

$N_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段，生猪在第 P 种饲养方式下活动水平数据，头；

$Nex_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段，生猪在第 P 种饲养方式下每年氮的排泄量，kg N 头⁻¹年⁻¹；

$MS_{(T,P,S)}$ ：第 T 生长阶段，生猪在第 P 种饲养方式下粪便管理方式 S 的使用比例；

$EF_{3(S)}$ ：粪便管理方式 S 的 N_2O 直接排放因子，kg N_2O-N kg⁻¹ N；

S：粪便管理方式代号；

T：动物生长阶段代号；

P：饲养方式代号。

44/28： N_2O 与氮的转换系数，kg N_2O (kg N_2O-N)⁻¹。

表 12：生猪不同生长阶段、粪便管理方式 N_2O 直接排放量 (t N_2O 年⁻¹)

粪便管理方式 生长阶段	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	槽式堆肥	合计
保育	0.042	0.000	3.182	3.220
育肥	0.208	0.000	15.614	15.820
繁殖母畜	0.052	0.000	3.903	3.960
合计	0.303	0.000	22.699	23.000

3.2.2 生猪粪便管理 N_2O 间接排放

动物粪便管理 N_2O 间接排放包括粪便施入土壤之前，动物粪便贮存和处理中产生的氨气和氮氧化物气体排放，氨气和氮氧化物又以干湿沉降的方式降落到

地面或者水体造成 N₂O 间接排放，也包括生猪粪便在贮存和处理中通过淋溶和径流过程的氮流失造成的 N₂O 间接排放。动物粪便管理 N₂O 间接排放的计算公式如公式（5）。

$$E_{N_2O_ID,MM} = N_2O_{volatilization,MM} + N_2O_{leach,MM} \quad (5)$$

式中：

$E_{N_2O_ID,MM}$ ：粪便管理的 N₂O 间接排放量，t N₂O 年⁻¹；

$N_2O_{volatilization,MM}$ ：粪便管理中由于 N 挥发导致的 N₂O 间接排放，t N₂O 年⁻¹；

$N_2O_{Leach,MM}$ ：粪便管理中由于淋溶径流导致的 N₂O 间接排放，t N₂O 年⁻¹。

3.2.2.1 活动水平数据

● 生猪活动水平：

案例猪场在不同生长阶段的生猪活动水平与 3.1.1 相同，见表 1。

● 氮排泄量：

案例猪场不同生长阶段下的生猪氮排泄量与 3.2.1.1 节相同（表 9）

● 以氨气和 NO_x 形式损失的 N 量（即氮沉降量）：

不同饲养方式、不同生长阶段、不同粪便处理方式下氨挥发和 NO_x 排放量的计算方法如公式（6）。

$$N_{volatilization,MM} = \sum_S \left[\sum_{T,P} \left[\left(\left(N_{(T,P)} \cdot Nex_{(T,P)} \right) \cdot \frac{MS_{(T,P,S)}}{100} \right) \cdot \left(\frac{Frac_{Gas} MS_{(T,S)}}{100} \right) \right] \right] \quad (6)$$

式中：

$N_{volatilization,MM}$ ：动物粪便中通过 NH₃ 和 NO_x 挥发导致的 N 损失量，kg N 年⁻¹；

$N_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段生猪在第 P 种饲养方式下活动水平数据，头；

$Nex_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段生猪在第 P 种饲养方式下每年氮的排泄量，kg N 头⁻¹年⁻¹；

$MS_{(T,S)}$ ：第 T 生长阶段，在粪便管理方式 S 下处理粪便的比例，%；

P : 饲养方式的符号;

$Frac_{GasMS}$: 不同粪便管理方式由于氨挥发和 NO_x 排放造成氮损失的比例, %;

不同粪便处理方式的生猪粪便中的N以氨和 NO_x 形式损失比例
参数值来源于 2006 IPCC 清单指南的表 10.22, 结果如表 13。

表 13: 不同粪便处理方式生猪粪便氨和 NO_x 损失比例

粪便处理方式	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	槽式堆肥
氨和 NO_x 损失比例 (%)	28	40 ^a	20 ^b

注: a: 沼渣沼液的氨挥发和 NO_x 排放的比例参照液体贮存处理方式;

b: 取默认值 20

依据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》, 根据公式 (6) 计算获得了案例猪场不同生长阶段、不同粪便处理方式下的生猪粪便氨和 NO_x 损失量, 计算结果见表 14。

表 14: 生猪不同生长阶段、粪便管理方式氨和 NO_x 形式损失量

粪便管理方式 生长阶段	舍内粪坑贮存 (<1 月)	沼气处理	槽式堆肥	合计
保育 ($kg\ N\ 年^{-1}$)	3780	13500	4050	21330
育肥 ($kg\ N\ 年^{-1}$)	18547	66240	19872	104659
繁殖母畜 ($kg\ N\ 年^{-1}$)	4637	16560	4968	26165
合计	26964	96300	28890	152154

● 氮的淋溶和径流损失量:

由于河北省降水量小于蒸发量, 本案例中, 各种粪便管理方式的氮淋溶和径流损失比例假设为零。根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》, 不同饲养

方式、不同生长阶段、不同粪便处理方式下的生猪粪便中的 N 淋溶和径流损失量计算方法如公式 (7)。因 $Frac_{Leach,MS(T,P,S)}=0$ ，所以不同饲养方式、不同生长阶段、不同粪便处理方式下的生猪粪便中的 N 淋溶和径流损失量为 0。

$$N_{leach,MM} = \sum_S \left[\sum_{T,P} \left[\left(\left(N_{(T,P)} \cdot Nex_{(T,P)} \right) \cdot \frac{MS_{(T,P,S)}}{100} \right) \cdot \left(\frac{Frac_{Leach,MS(T,P,S)}}{100} \right) \right] \right] \quad (7)$$

式中：

$N_{leach,MM}$ ：动物粪便中通过淋溶和径流导致的 N 损失量，kg N 年⁻¹；

$N_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段生猪在第 P 种饲养方式下活动水平数据，头；

$Nex_{(T,P)}$ ：第 T 生长阶段生猪在第 P 种饲养方式下每年氮的排泄量，kg N 头⁻¹年⁻¹；

$MS_{(T,P,S)}$ ：第 T 生长阶段生猪在第 P 种饲养方式下，在粪便管理方式 S 下，总年均 N 排泄量的比例，%；

$Frac_{Leach,MS(T,P,S)}$ ：第 T 生长阶段生猪在第 P 种饲养方式，本省蒸发大于降水的省份此值为 0。

根据公式 (7)，计算生猪粪中氮的径流和渗漏量为 0。

3.2.2.2 生猪粪便管理氮沉降 N₂O 间接排放因子

根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，生猪粪便管理氮沉降 N₂O 间接排放因子为 0.01 kg N₂O-N kg⁻¹N，粪便管理淋溶和径流的 N₂O 间接排放因子为 0.0075 kg N₂O-N kg⁻¹N。

3.2.2.3 生猪粪便管理 N₂O 间接排放量

依据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》，利用公式 (8) 和公式 (9) 分别计算粪便管理氮沉降 N₂O 间接排放、淋溶和径流的 N₂O 间接排放。

$$N_2O_{volatilization,MM} = (N_{volatilization,MM} \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28}/1000 \quad (8)$$

式中：

$N_2O_{volatilization,MM}$ ：粪便管理中由于 N 挥发导致的 N₂O 的间接排放，t N₂O

年⁻¹;

$N_{volatilization,MM}$: 生猪粪便中以 NH₃ 和 NO_x 挥发导致的 N 损失量, kg N 年⁻¹; 计算结果见表 14。

EF_4 : 在土壤和水体表面的大气沉降氮的 N₂O 排放因子, kg N₂O-N (kg 挥发的 NH₃-N + NO_x-N)⁻¹。本指南 IPCC 推荐的默认值, 0.01。

$$N_2O_{Leach,MM} = (N_{Leach,MM} \cdot EF_5) \cdot \frac{44}{28} / 1000 \quad (9)$$

式中:

$N_2O_{Leach,MM}$: 粪便管理中由于 N 淋溶和径流导致的 N₂O 的间接排放, t N₂O 年⁻¹;

$N_{Leach,MM}$: 粪便中由于淋溶和径流导致的 N 损失量, kg N 年⁻¹; 生猪粪中氮的径流和渗漏量为 0。

EF_5 : 在土壤和水体表面淋溶和径流的 N₂O 排放因子, kg N₂O-N (kg 淋溶和径流 N)⁻¹。本指南采用 IPCC 推荐的默认值为 0.0075。

根据公式 (5) 和确定的相关参数、公式 (8) 和公式 (9), 案例猪场粪便管理 N₂O 间接排放量见表 15。

表 15: 生猪粪便管理 N₂O 间接排放量

	氮沉降	淋溶和径流	合计
粪便管理 N ₂ O 间接排放量 (tN ₂ O 年 ⁻¹)	2.39	0.00	2.39

3.2.3 案例猪场粪便管理 N₂O 排放总量

生猪粪便管理 N₂O 排放总量等于规模化饲养 N₂O 直接排放和 N₂O 间接排放量之和 (表 16)。2018 年案例猪场粪便管理 N₂O 排放总量为 25.39 tN₂O 年⁻¹。

表 16: 生猪粪便管理 N₂O 排放总量

排放源	直接排放	间接排放	合计
N ₂ O 排放总量 (tN ₂ O 年 ⁻¹)	23.0	2.39	25.39

3.3 案例猪场温室气体排放总量

案例猪场粪便管理温室气体排放总量等于生猪粪便管理 CH₄ 排放、生猪粪便管理 N₂O 排放量之和，根据《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》CH₄ 和 N₂O 的增温潜势值（GWP）取值分别为 25 和 298，折算成二氧化碳当量的排放量如表 17。

表 17：生猪粪便管理温室气体排放总量

排放源	生猪粪便管理 CH ₄ 排放	生猪粪便管理 N ₂ O 排放量	合计
排放量 (tCO ₂ e)	3879.8	7567.1	11446.9

案例猪场 2018 年粪便管理温室气体排放量为 11446.9 吨二氧化碳当量（CO₂e）。从排放源分析，以粪便管理氧化亚氮排放为主，排放量为 7567.1 吨 CO₂e，占比为 66.1%，粪便管理 CH₄ 排放为 3879.8 吨 CO₂e，占比为 33.9%。从生长阶段分析，以育肥猪排放为主，排放量为 8057.0 吨 CO₂e，占比为 70.4%，其次是繁殖母畜，排放量为 2023.2 吨 CO₂e，占比为 17.7%，保育猪排放量为 1366.7 吨 CO₂e，占比仅为 11.9%。

3.4 不确定性分析

由于案例计算为单个养殖场数据，相关活动数据和排放因子数据都是实际数据，相关参数无误差分析结果，单个养殖场的温室气体排放量核算结果不开展不确定性分析。

3.5 减排效果评估

通过分析案例猪场的粪便管理温室气体排放来源，粪便管理氧化亚氮是最主要的排放来源，在减排技术上应优先考虑粪便管理的氧化亚氮减排，而影响粪便

管理氧化亚氮排放的一个关键因素是氮排泄量。目前中国在推广使用低蛋白日粮技术,该计算可提高饲料转化效率和降低粪便氮排泄量。本案例如果推广该技术,在猪场现有蛋白日粮的基础上可以降低 1%的粗蛋白含量,研究发现可以降低 10%的氮排泄量,按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》方法测算,粪便管理氧化亚氮排放可以减少 10%,养殖场粪便管理总的温室气体排放量可以减少 6.8%。

4. 规模化猪场温室气体排放核证

按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》核证的要求和核证清单,温室气体排放核算单位对河北省某规模化猪场的温室气体清单编制过程所采取的方法、活动水平数据、排放因子的计算、相关参数的计算与取值、各温室气体排放源的排放量计算、温室气体排放报告等进行了内部审核,修正了数据处理和核算过程中存在的问题。课题组汇总了对本报告的最终版本的核证结果(表 18)。

核证表明,河北省某规模化猪场粪便管理温室气体清单按照《省级畜牧业温室气体排放 MRV 指南》要求,核算方法采用指南推荐的方法,活动数据正确,根据养殖场现场实际情况获得相关数据,排放因子与国家清单有关生猪粪便管理温室气体排放因子等具有可比性。

表 18：温室气体排放报告的核证清单

序号	核证内容	详细核证清单	核证结论	修改意见	完善修改状态
1.方法学选择					
1.1	方法学选择	● 是否符合省级 MRV 指南的方法学要求？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 粪便管理甲烷排放方法学的层级是否合理？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>

		<ul style="list-style-type: none"> ● 粪便管理氧化亚氮排放方法学的层级是否合理？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 肠道发酵甲烷排放方法学的层级是否合理？ 	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 本案例不适用	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
2、活动水平数据					
2.1	活动水平数据来源	<ul style="list-style-type: none"> ● 存栏量数据来源是否清晰描述？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 存栏量数据是否正确？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
2.2	详细分类描述及存栏量数据	<ul style="list-style-type: none"> ● 是否清晰描述了动物详细分类及依据？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 详细分类的中动物饲养方式是否符合指南分类、放牧饲养、农户饲养细化分类是否有依据，是否正确？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 详细分类中生长阶段划分是否合理？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 详细分类的动物存栏量数据获取的方法是否正 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/>

		确？	存在问题？		没有 <input type="checkbox"/>
2.3	利用出栏量计算存栏量	<p>如果依据出栏量计算存栏量，</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 存栏量的计算方法是否清楚地进行了描述？ ● 出栏量的数据是否正确？ ● 饲养天数数据是否合理？ 	<p>是<input type="checkbox"/>否<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p> <p>直接调查的存栏数据</p>	建议：	<p>解决<input type="checkbox"/></p> <p>部分<input type="checkbox"/></p> <p>没有<input type="checkbox"/></p>
2.4	存栏量的交叉核对	● 详细分类的存栏量总和是否等于总的饲养量	<p>是<input checked="" type="checkbox"/>否<input type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p>	建议：	<p>解决<input type="checkbox"/></p> <p>部分<input type="checkbox"/></p> <p>没有<input type="checkbox"/></p>
		● 各排放源之间取值是否一致？	<p>是<input checked="" type="checkbox"/>否<input type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p>	建议：	<p>解决<input type="checkbox"/></p> <p>部分<input type="checkbox"/></p> <p>没有<input type="checkbox"/></p>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 与往年活动水平数据是否可比？ ● 如果有较大的变化，清单报告中是否有详细的解释？ 	<p>是<input type="checkbox"/>否<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p>	建议：	<p>解决<input type="checkbox"/></p> <p>部分<input type="checkbox"/></p> <p>没有<input type="checkbox"/></p>
		● 存栏量是否与国家统计年鉴、中国畜牧兽医年鉴、本省县市年鉴的数据可比	<p>是<input type="checkbox"/>否<input checked="" type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p> <p>不适用，直接从养殖场获取</p>	建议：	<p>解决<input type="checkbox"/></p> <p>部分<input type="checkbox"/></p> <p>没有<input type="checkbox"/></p>

3.排放因子					
3.1	综合排放因子 (IEF)	● 推算的肠道发酵甲烷综合排放因子是否与IPCC默认值、国家或其他省份的排放因子具有可比性？ IEF是否等于总的肠道发酵甲烷排放量除以总的奶牛数量	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，生猪不采用方法2计算肠道甲烷排放	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 推算粪便管理甲烷综合排放因子(IEF)是否与IPCC默认值、国家或其他省份的排放因子具有可比性？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？		解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 推算粪便管理氧化亚氮综合排放因子(IEF)是否与IPCC默认值、国家或其他省份的排放因子具有可比性？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？		解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
3.2	肠道发酵甲烷排放因子计算方法	● 维持净能、活动净能、生长净能、泌乳净能、劳动净能、妊娠需要的净能、日粮中维持净能与可消化能之比、日粮中生产净能与可消化能之比、总能、排放因子等计算公式、单位是否正确？	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，生猪不采用方法2计算肠道甲烷排放	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>

		<ul style="list-style-type: none"> ● 维持净能、活动净能、生长净能、泌乳净能、劳动净能、妊娠需要的净能、粮中维持净能与可消化能之比、日粮中生产净能与可消化能之比、总能、排放因子等计算公式中的参数选取是否有依据？ 	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，生猪不采用方法 2 计算肠道甲烷排放	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
3.3	奶牛肠道发酵甲烷排放因子关键参数获取方法	<ul style="list-style-type: none"> ● 是否清晰描述了甲烷排放因子计算过程中所涉及的动物特征参数、饲料特征参数，如奶牛体重、成年奶牛体重、日增重、采食量、饲料消化率、产奶量等参数的取值？ 	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，生猪不采用方法 2 计算肠道甲烷排放	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 如果是通过调研获得的动物特征参数、饲料特征参数，是否详细描述了调研方法？ ● 是否论证调研方法和结果的代表性？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input checked="" type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 如果是通过文献获得的动物特征参数、饲料特征参数，是否提供了参考文献？ ● 是否论证了文献结果的代表性和适用性？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input checked="" type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>

3.4	肠道发酵 甲烷排放 因子关键 参数的可 比性	<p>● 奶牛体重、成年奶牛体重、日增重、产奶量、采食量、饲料消化率等参数与 IPCC 默认值、国家清单参数、其他类似省份和地区参数是否具有可比性？</p>	<p>是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p> <p>不适用，生猪不采用方法 2 计算肠道甲烷排放</p>	建议：	<p>解决 <input type="checkbox"/></p> <p>部分 <input type="checkbox"/></p> <p>没有 <input type="checkbox"/></p>
		<p>● 维持净能、活动净能、生长净能、泌乳净能、劳动净能、妊娠需要的净能、粮中维持净能与可消化能之比、日粮中生产净能与可消化能之比、总能的计算结果，与 IPCC 默认值、国家清单参数、其他省份参数是否具有可比性？</p>	<p>是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p> <p>不适用，生猪不采用方法 2 计算肠道甲烷排放</p>	建议：	<p>解决 <input type="checkbox"/></p> <p>部分 <input type="checkbox"/></p> <p>没有 <input type="checkbox"/></p>
		<p>● 泌乳奶牛奶单产产量与 FAO、国家统计年鉴等数据的是否可比？</p>	<p>是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p> <p>不适用，生猪不采用方法 2 计算肠道甲烷排放</p>	建议：	<p>解决 <input type="checkbox"/></p> <p>部分 <input type="checkbox"/></p> <p>没有 <input type="checkbox"/></p>
3.5	粪便管理 甲烷排放 因子计算	<p>● 易挥发固体排泄量、排放因子公式、单位是否正确？</p>	<p>是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/></p> <p>存在问题？</p>	建议：	<p>解决 <input type="checkbox"/></p> <p>部分 <input type="checkbox"/></p> <p>没有 <input type="checkbox"/></p>

	方法	● 易挥发固体排泄量、排放因子公式中的参数选取是否有依据？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 奶牛摄取饲料总能量、饲料消化率的取值是否与计算奶牛肠道发酵甲烷排放因子时的取值一致	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，生猪不采用方法 2 计算肠道甲烷排放	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
3.6	粪便管理 甲烷排放 因子关键 参数获取 方法	● 粪便管理方式的分类和描述是否清晰、正确？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 不同粪便管理方式利用率数据获得方法是否清晰描述？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 粪便管理方式利用率数据是否与国家清单、临近省份、IPCC 推荐的默认值、国家污染普查数据、直连直报系统数据有可比性？	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，养殖场特有数据	建议：	解决 <input checked="" type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 当地温度的获取方法和取值是否描述？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
3.7	粪便管理 甲烷排放	● 挥发性固体含量数据值与与 IPCC 默认值、国家	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/>	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/>

	因子关键参数获取方法	清单参数、其他省份参数是否具有可比性	存在问题？ 不适用，养殖场特有数据		没有 <input type="checkbox"/>
		● 甲烷潜力参数与 IPCC 默认值、国家清单参数、其他省份参数是否具有可比性	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 甲烷转化系数与 IPCC 默认值、国家清单参数、其他省份参数是否具有可比性	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
3.8	动物粪便氧化亚氮排放因子计算方法	● 粪便管理氧化亚氮直接和间接排放计算公式、单位是否正确？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 粪便氮排泄量、挥发性氮、径流和淋溶氮的计算公式、单位是否正确？	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 粪便管理氧化亚氮直接和间接排放的排放因子的选取和依据是否清晰描述	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		● 动物粪便氮排泄量、各种系数获取的方法和来源是否清晰描述	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>

		<ul style="list-style-type: none"> ● 动物粪便氮排泄量、直接排放、间接排放相关系数是否与 IPCC 默认值、相关文献数据具有可比性 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 粪便管理氧化亚氮直接排放使用分粪便管理系统比例是否与计算粪便管理甲烷排放时一致？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
4、排放量计算及不确定性					
4.1	排放量计算	<ul style="list-style-type: none"> ● 排放量计算是否可重复、正确 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
4.2	确定性确定	<ul style="list-style-type: none"> ● 是否报告了不确定性 ● 不确定性计算方法是否合理 	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，单个养殖场数据，无法计算不确定性	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
		<ul style="list-style-type: none"> ● 是否对不确定性计算参数的来源、选择的依据进行了描述 	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，单个养殖场数据，无法计算不确定性	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
5、温室气体排放报告					

5.1	温室气体 排放报告	<ul style="list-style-type: none"> ● 是否依据 MRV 指南的报告要求？ ● 排放源是否报告完整？ 	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> 存在问题？	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>
5.2	通用报告 表(Excel)	<ul style="list-style-type: none"> ● 与清单报告数据是否一致？ ● 是否对不报告的数据进行了注明 	是 <input type="checkbox"/> 否 <input checked="" type="checkbox"/> 存在问题？ 不适用，单个场数据单一	建议：	解决 <input type="checkbox"/> 部分 <input type="checkbox"/> 没有 <input type="checkbox"/>

5. 附表

附表 1 案例猪场不同饲养阶段生猪基本性能参数

项目		保育	育肥	繁育母畜
平均存栏量（头）		15000	44160	7200
饲养期（天数）		42	120	365
平均体重（公斤）		25	70	220
日增重（公斤/天）		0.40	0.71	0
饲料组成	全价饲料（公斤/天）	0.6	1.9	2.95
	饲料含水量（%）	13.5	13.5	13.5
干物质摄入量（kg/头/d）		0.52	1.64	2.55
采食总能量（MJ/头/d）		9.58	30.32	47.08
饲料消化率（%）		75	75	75