

规模化猪场沼气工程 CDM 项目的减排及经济效益分析

李玉娥,董红敏,万运帆,秦晓波,高清竹

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境与气候变化重点实验室,北京 100081)

摘要:以新疆阿克苏某养猪场为案例,利用《气候变化框架公约》清洁发展机制执行理事会批准的方法(ASM III.D),国家发改委提供的计算消耗电能的 CO₂ 排放因子参数,分析了利用沼气工程处理猪场粪便及污水和沼气发电替代化石燃料的温室气体减排潜力。结果表明,项目每年可减排温室气体 49 193 t CO₂ 当量,其中改变粪便管理方式减少甲烷排量占项目活动减排总量的 89%,沼气发电能源替代避免的 CO₂ 排放量占减排总量的 11%。项目的实施可使养殖企业每年从减排温室气体中获益 502 万元,使项目的投资收回年限由原来的 11.5 a 缩短为 5 a。因此,如果将此类型项目开发为 CDM 项目,在很大程度上可提高规模化养殖企业建设沼气工程的积极性,并改善养殖企业的周边环境。

关键词:规模化养猪场;CDM 项目;减排潜力;经济分析

中图分类号: X511 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)12-2580-04

Emission Reduction and Financial Analysis of Intensive Swine Farm Using Biogas Digester to Treat Manure and Developed as a CDM Projects

LI Yu-e, DONG Hong-min, WAN Yun-fan, QIN Xiao-bo, GAO Qing-zhu

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Key Ministerial Laboratory of Environment and Climate Change, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract This paper, taking a swine farm in Akesu, Xinjiang as a case, using methodology for small scale CDM project(ASM III.D-version 14) approved by Executive Board(EB) of Clean Development Mechanism(CDM) under United Nation Framework Convention on Climate Change, and the parameters applied for calculating CO₂ emission factor of electricity consumption, provided by National Development and Reform Commission(NDRC), analyzed greenhouse gas emission reduction by improving swine manure management and utilizing a biogas power generation system to supply electricity and displace electricity from a grid-based conventional energy source. The baseline scenario of the project was using open lagoon to treat swine manure. The project constructed biogas digester, instead of open lagoon, to treat the swine manure and installed power generation system to produce electricity using biogas. Emission reduction equals total emissions under baseline scenario minus total emissions under project conditions. The emission reduction was estimated to be 49 193 t CO₂ equivalent a year. The improvement of manure management system contributed 89% of the total emission reduction. Energy displacement contributed 11%. The revenue from sale of carbon credit would be 5.02 million Yuan a year. The payback period of investment would be 11.5 years if no revenue from carbon credit included. The payback period of investment would be 5 years if the revenue from carbon credit included. Therefore, to develop CDM project in intensive swine farms with the construction of biogas digester at intensive swine farms to treat swine manure and installation of power generation system, can provide positive incentives to livestock farmers and improve the environment nearby.

Keywords intensive swine farm; CDM project; emission reduction; financial analysis

全球农业源温室气体排放总量约为 6.8 Gt CO₂ 当量·a⁻¹,占全球温室气体排放总量的 10%~12%。农

业源温室气体增加速度快,在 1990—2005 年期间增加了 17%,预计未来几十年仍呈增加趋势^[1]。动物粪便有机物在厌氧环境下分解产生大量的甲烷(CH₄),特别是随着集约化养殖业的发展,粪便管理方式更有利于 CH₄ 的产生和排放^[2]。目前粪便管理温室气体排放占农业源温室气体排放的 7%^[1]。减少动物粪便 CH₄ 排放的技术包括覆盖氧化塘并收集燃烧 CH₄、厌氧发

收稿日期 2009-07-25

基金项目 国家“十一五”科技支撑计划课题:“减缓气候变化关键技术研究”(2007BAC03A03)

作者简介 李玉娥(1963—),女,研究员,主要从事农业源温室气体排放研究。E-mail: yueli@ami.ac.cn

酵并收集产生的 CH_4 [3-5], 厌氧处理粪便收集产生的 CH_4 作为可再生能源[6-9]。

1997 年的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 第三次缔约方会议通过谈判制定了《京都议定书》, 其主要内容是为 UNFCCC 附件一所列的国家(发达国家和经济转轨国家, 以下简称“附件一国家”)规定了量化的减少温室气体排放的指标。为了降低减排成本和帮助发展中国家实现可持续发展,《京都议定书》还规定附件一国家可以采用清洁发展机制(CDM)、联合履约(JI)和排放贸易(ET) 3 种灵活的履约机制。JI 和 ET 两种灵活机制是附件一国家内部开展的减排合作机制, CDM 允许附件一国家在非附件一缔约方(发展中国家)投资或者转让具有减排效果的技术, 实施温室气体(GHG)减排项目并据此获得所产生的经核证的减排量, 以便帮助其履行他们在《京都议定书》中所承诺的约束性温室气体减排义务[10]。在《联合国气候变化框架公约》秘书处设立了清洁发展机制理事会以审核批准 CDM 项目和签发项目产生的减排量。截至到 2009 年 6 月 20 号, 全球共有 1 677 个 CDM 项目在 CDM 执行理事会获得注册, 其中与动物粪便管理有关的 CDM 项目 88 个, 主要分布在墨西哥、巴西、印度和菲律宾。中国有 576 个项目获得注册。由于动物粪便管理开发成为 CDM 项目的难度较大, 目前中国只有 3 个与动物粪便管理有关的项目在 CDM 执行理事会获得注册[11]。

我国规模化养猪发展迅速, 2007 年全国万头以上的规模猪场有 1 800 多个, 规模化养猪场和养殖小区正成为生猪规模化养殖的新趋势[12]。由于沼气工程缺乏规模效益, 融资困难, 以及存有技术问题和服务障碍, 造成处理大中型养殖场粪便的沼气工程发展缓慢[13], 商业竞争力差[14]。养猪业污染问题已被广为关注, 环保压力日益增大, 排污投入不断增加[12]。本文的目的是以新疆阿克苏某规模化养猪场为例, 分析规模化养猪场利用沼气工程处理猪粪和沼气发电上网作为 CDM 项目的经济效益和温室气体减排量, 为推动规模化养殖场沼气工程的发展和中国开发此类型 CDM 项目提供借鉴。

1 项目基本情况及减排量的计算方法

1.1 项目基本情况

规模化养猪场地处新疆阿克苏, 常年平均气温 $11.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。生猪常年平均存栏量为 70 630 头, 其中母猪 12 000 头、公猪 476 头、仔猪 12 424 头、小猪 16 987

头、育肥猪 28 743 头。日均粪便及尿液排泄量为 304 t, 日均冲洗水 127 t。在建设沼气工程之前, 猪场粪便及污水储存在厌氧氧化塘内, 上清液作为肥料用于猪场周围的农田和果树, 3~4 a 清理一次氧化塘内的沉淀物, 沉淀物作为肥料施到农田。在粪便厌氧储存过程中产生了大量 CH_4 气体, 猪场周围也因恶臭气味和蚊蝇的大量繁殖等现象存在严重的环境卫生隐患。

为了减少猪粪温室气体排放和改善环境, 养殖场拟建 6 座 $1\ 000\ \text{m}^3$ USR 型厌氧反应器处理粪便及废水, 预计年产沼气 394 万 m^3 , 所产沼气用于发电, 年均输出 610 万 kWh。发电余热用于发酵装置增温, 使发酵装置内的温度达到 $36\sim 39\text{ }^{\circ}\text{C}$, 保证中温沼气发酵装置的正常运行和提高产气率。年产沼液 14.4 万 t, 经过固液分离年产沼渣 7 154 t, 沼液采用管道输送到邻近的农田和果树中喷灌、渗灌和滴灌。工程总投资 2 502.5 万元, 其中建筑工程直接费 1 189.6 万元, 设备安装工程直接费 772.8 万元, 电气、工艺管道安装工程直接费 268.0 万元, 其他基建费用 272.1 万元。

1.2 方法学选择

CDM 执行理事会已经批准了 67 个方法学和 14 个整合方法学计算项目的减排量。本项目满足 CDM 执行理事会批准的“小规模 CDM 项目简化方法学——动物粪便管理甲烷回收 (AMS .D-版本 14)”[15]。AMS .D-版本 14 的适用条件为: (1) 规模化饲养牲畜, 处理后的粪便不会向自然水体(如河流或者河口)中排泄粪便污水; 饲养场的年平均温度高于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 在基线情况下, 粪便在厌氧条件下存留的时间要超过 1 个月, 如果氧化塘为基线情景, 氧化塘的深度应超过 1 m; 在基线情况下, 没有采取甲烷回收的措施和利用火炬燃烧甲烷, 也没有作为能源燃烧或者利用甲烷的情况。(2) 好氧处理沼渣, 如果沼渣作为肥料施到农田, 应采取适当的措施保证不产生甲烷, 应采取措施(如安装火炬和燃烧)保证产生的沼气完全被利用或者燃烧。收集的甲烷也可以用于以下方面: (a) 直接产生热能或者电能; (b) 沼气提纯罐装之后直接产生热能或者电能; (c) 沼气提纯运输后产生热能或者电能; (d) 沼气提纯并加入到天然气网; (e) 提纯和通过管道运输到终端用户。(3) 项目每年产生的减排量低于 6 万 t CO_2 当量。

如上节所述, 本项目将目前的规模化养猪场粪便的厌氧氧化塘粪便处理方式改变为利用沼气池处理粪便, 收集甲烷并利用沼气发电上网, 项目地点的年平均温度、粪便在氧化塘中储存的时间、氧化塘的深

度、沼渣和沼气的利用方式以及项目可能产生的减排量等都符合 AMS .D-版本 14 方法学的要求。

1.3 减排量计算方法

项目减排量等于基线情景下(在建设沼气工程之前)的温室气体排放量,减去项目活动造成的温室气体排放量,加上沼气发电上网能源替代避免的温室气体排放量。

1.3.1 基线情景下温室气体排放

本项目在基线情景下温室气体排放只包括氧化塘处理粪便的甲烷排放。根据 AMS .D-版本 14 利用公式(1)计算氧化塘处理粪便的甲烷排放:

$$BE_y = GWP_{CH_4} \times D_{CH_4} \times UF_b \times \sum_j MCF_j \times B_0 \times N_y \times VS_y \times MS\%_{BL,j} \quad (1)$$

式中: BE_y 为基线情景下的排放量, $t\ CO_2e$; GWP_{CH_4} 为甲烷的增温潜势, $t\ CO_2e \cdot t^{-1}CH_4$; D_{CH_4} 为在 1 个大气压下, 环境温度为 $20\ ^\circ C$ 时的甲烷密度, $0.000\ 67\ t\ CH_4 \cdot m^{-3}\ CH_4$; LT 为动物种类(猪); j 为粪便管理方式, 本项目为厌氧氧化塘; MCF_j 为厌氧氧化塘的甲烷转化因子, 数据来源于 2006IPCC 清单编制指南; B_0 为生猪易挥发固体的甲烷生产最大潜力, 默认值来源于 2006IPCC 清单编制指南, $m^3\ CH_4 \cdot kg^{-1} \cdot dm^{-1}\ VS$; N_y 为年平均生猪存栏量; VS_y 为每年进入厌氧氧化塘的易挥发性固体量, 单位为 $kg\ 干物质 \cdot 头^{-1} \cdot a^{-1}$ 。利用公式(2)对项目的 VS_y 进行调整。默认值来源于 2006IPCC 清单编制指南第 4 卷第 10 章; $MS\%_{BL,j}$ 为猪场利用厌氧氧化塘处理粪便的比例; UF_b 为不确定性的保守因子, 0.94, AMS- .D 方法学提供。

根据 AMS .D-版本 14 根据 IPCC 推荐的默认值和养殖场各种生猪实际平均体重计算 $VS_{LT,y}$:

$$VS_y = \left[\frac{W_{site}}{W_{default}} \right] \times VS_{default} \times nd_y \quad (2)$$

式中: W_{site} 为拟议项目猪场的生猪平均体重, $kg \cdot 头^{-1}$; $W_{default}$ 为生猪默认体重, $kg \cdot 头^{-1}$, 数据来源于 2006IPCC 清单编制指南提供的亚洲区域的猪的平均体重; $VS_{default}$ 为生猪每天排放的易挥发性固体量的默认值, $kg\ 干物质 \cdot 头^{-1} \cdot d^{-1}$ 。

根据公式(3)计算年平均猪存栏量 (N_y)

$$N_y = N_{day} \times \left[\frac{N_{py}}{365} \right] \quad (3)$$

式中: N_{day} 为猪生长天数, d ; N_{py} 为生猪出栏量, 头。

1.3.2 项目活动过程中温室气体排放

项目活动过程中温室气体排放包括沼气池泄漏造成的 CH_4 排放、项目活动耗电造成的 CO_2 排放。利用公式(4)计算沼气池泄漏产生的 CH_4 排放:

$$PE_{PL,y} = 0.10 \times GWP_{CH_4} \times D_{CH_4} \times B_0 \times N_y \times VS_y \times MS\%_{i,j} \quad (4)$$

式中: 0.10 为厌氧沼气池的泄漏比例; i 为粪便管理系统, 本项目为厌氧沼气池; $MS\%_{i,j}$ 为沼气池处理粪便的比例。

利用公式(5)和(6)计算项目活动耗电产生的 CO_2 排放:

$$PE_{power,y} = electricity_{consumed} \times EF_{CO_2} \quad (5)$$

$$EF_{CO_2} = 0.50 \times EF_{OM,y} + 0.50 \times EF_{BM,y} \quad (6)$$

式中:

$electricity_{consumed}$ 为耗电量, MWh ; EF_{CO_2} 为耗电的 CO_2 排放因子, $EF_{BM,y}$ 为容量边际排放因子, $0.643\ 3\ tCO_2 \cdot (MWh)^{-1}$; $EF_{OM,y}$ 为运行边际排放因子, $1.024\ 6\ tCO_2 \cdot (MWh)^{-1}$ 。

国家发展与改革委员会^[16]气候变化协调办公室 2009 年 7 月 2 日提供了西北电网的容量边际排放因子($EF_{BM,y}$)和运行边际排放因子($EF_{OM,y}$)。计算得出西北地区耗电的 CO_2 排放因子为 $0.834\ 0\ tCO_2 \cdot (MWh)^{-1}$ 。

1.3.3 沼气发电上网避免的 CO_2 排放

沼气发电上网避免的 CO_2 排放等于沼气发电上网数量乘以耗电的 CO_2 排放因子。利用公式(5)和公式(6)计算沼气发电上网避免的 CO_2 排放因子。

2 减排及经济效益分析

根据上述描述的方法和提供的参数, 计算得出基线情况下厌氧氧化塘 CH_4 排放为 $51\ 751\ t\ CO_2$ 当量 $\cdot a^{-1}$, 由于沼气发电避免的 CO_2 排放总量为 $5\ 921\ t\ CO_2 \cdot a^{-1}$, 基线情况下的总排放量为 $57\ 672\ t\ CO_2$ 当量 $\cdot a^{-1}$ 。项目耗电产生 CO_2 排放量为 $383\ t\ CO_2 \cdot a^{-1}$, 沼气池泄漏产生的 CH_4 排放量为 $8\ 096\ t\ CO_2$ 当量 $\cdot a^{-1}$, 项目活动温室气体排放总量为 $8\ 479\ t\ CO_2$ 当量 $\cdot a^{-1}$ 。因此, 项目产生的减排量为 $49\ 193\ t\ CO_2$ 当量 $\cdot a^{-1}$ 。本项目可以从两个方面产生减排量, 一是改变粪便管理方式避免 CH_4 排放, 另一是沼气发电能源替代避免化石燃料燃烧排放的 CO_2 。项目活动产生的减排量主要是由于改变粪便管理方式减少 CH_4 排放, 减排量占项目活动减排总量的 89%, 沼气发电能源替代避免的 CO_2 排放量仅占减排总量的 11%。

CDM 项目为实施沼气工程项目带来额外的经济效益。本项目已经与世界银行签订了 10 a 的减排量

购买协议,每吨 CO₂ 当量的价格为 15 美元,出售减排量每年可获得 502 万元人民币。养殖场每年售电获利 426 万元[可再生能源发电上网价格为 0.6 元·(kWh)⁻¹]。项目的运行成本为 424 万元·a⁻¹,用于监测和核证 CDM 项目减排量的成本约为 27.2 万元·a⁻¹。如果不参与 CDM 项目,投资回收年限为 11.5 a,如果出售项目产生的温室气体减排量,投资回收年限仅为 5 a。因此,如果将此类型的项目开发为 CDM 项目获得额外资金,则可在很大程度上缩短投资回收年限,提高规模化养殖企业建设沼气工程的积极性,也可以在一定程度上改善养殖场建设大中型沼气工程的融资环境。

3 小结

从本研究可以看出,规模化养猪场建设沼气池并利用沼气发电,既能减少目前粪便管理方式造成的 CH₄ 排放和对周边环境的污染,又能充分利用可再生能源,减少化石燃料的使用和温室气体排放。根据 2009 年农业部全国生猪优势区域布局规划(MoA, 2009),2007 年全国万头以上的规模猪场有 1 800 多个,如果在这些规模猪场推广建设沼气工程并开发成为 CDM 项目,每年可获得上千万吨 CO₂ 当量的减排量,改善沼气工程的效益,减排量的收入可以用于沼气工程的维护和保证沼气工程的正常运行,并可进一步推动养殖企业建设沼气工程的积极性。

参考文献:

- [1] IPCC, 2007. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [2] IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories [S]. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute of Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan. 2006.
- [3] Amon B, V Kryvoruchko, T Amon, et al. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, 112 :153–162.
- [4] Lokey E. The status and future of methane destruction projects in Mexico[J]. *Renewable Energy*, 2009, 34 :566–569.
- [5] Sneath R W F Beline, M A Hilhorst. Monitoring GHG from manure stores on organic and conventional dairy farms[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 112 :122–128. UNFCCC, 2009. <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>
- [6] Clemens J, M Trimbom P Weiland, B Amon. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 112 :171–177.
- [7] J B Holm-Nielsen, T Al Seadi, P Oleskowicz-Popiel. The future of anaerobic digestion and biogas utilization[J]. *Bioresource Technology* (in press), 2009.
- [8] Monteny G-J, A Bannink, D Chadwick. Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 112 :163–170.
- [9] 李玉娥,董红敏,万运帆,等. 规模化养鸡场 CDM 项目减排及经济效益估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1) :194–198.
LI Yu-e, DONG Hong-min, WAN Yun-fan, et al. Emission reduction from Clean Development Mechanism projects on intensive livestock farms and its economic benefits[J]. *Transaction of the CSAE*, 2009, 25 (1) :194–198.
- [10] UNFCCC, 1997. 《The Kyoto Protocol》to the Convention of Climate change[R]. <http://www.unfccc.de>.
- [11] UNFCCC. CDM Statistics. 2009. <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>
- [12] 农业部. 全国生猪优势区域布局规划. 2009. <http://www.cav.net.cn/news/news.php?id=24957> MoA. 2009. Planning of priority area for swine industry development. <http://www.cav.net.cn/news/news.php?id=24957>.
- [13] 李景明,孙玉芳. 大中型畜禽养殖场沼气工程发展的障碍因素分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(增刊) :163–167.
LI Jing-ming, SUN Yu-fang. Analysis on barriers for the development of biogas plants on large and medium-scale husbandry farms[J]. *Transaction of the CSAE*, 2003, 19 :163–167.
- [14] Lantz M, Svensson M, Björnsson L, et al. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden—Incentives, barriers and potentials[J]. *Energy Policy*, 2003, 35 :1830–1843.
- [15] UNFCCC. Approved Baseline and Monitoring Methodologies. <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>.
- [16] 国家发展与改革委员会. 中国电网基准线排放因子计算. 2009. http://qhs.ndrc.gov.cn/qjzjzt20090703_289357.htm
National Development and Reform Commission. 2009. China grid base-line emission factor. http://qhs.ndrc.gov.cn/qjzjzt20090703_289357.htm