

笼养肉鸡不同季节 CH₄ 和 CO₂ 排放研究

周忠凯, 董红敏*, 朱志平, 陈永杏

(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, 农业部畜牧环境设施设备质量监督检验测试中心(北京), 北京 100081)

摘要:为研究规模化肉鸡场温室气体排放系数, 给我国畜牧业温室气体清单编制和选择减排技术提供依据, 选择山东某商业化肉鸡养殖场, 对肉鸡生产过程中 CO₂ 和 CH₄ 的排放情况进行了研究。利用多功能气体分析仪对肉鸡舍 CH₄ 和 CO₂ 的浓度进行测定, 肉鸡舍通风量测定则采用风机风量现场测定系统, 根据不同季节连续 5 d 测试结果计算提出肉鸡的 CH₄ 和 CO₂ 排放因子。结果表明: 肉鸡在 36~42 d 龄间的 CH₄ 和 CO₂ 的排放因子分别为 $(0.276 \pm 0.19) \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ ($58.9 \pm 37.2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{AU}^{-1}$), $154.4 \pm 45.7 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ ($33.5 \pm 8.0 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{AU}^{-1}$), 不同季节 CH₄ 排放因子存在显著差异, 夏季最高为 $0.552 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$, 冬季最低为 $0.111 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$, 春季和秋季分别为 $0.187 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ 和 $0.254 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$; CO₂ 排放因子夏秋季节差异不显著, 分别为 $186.8 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ 和 $179.8 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$, 但显著高于春季 ($163.4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$) 和冬季 ($87.4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$); 分析表明, 鸡舍通风量与 CH₄ 排放因子呈现显著线性相关关系, 以 CO₂ 形式损失的碳(C)占总饲料碳(C)投入的 56.1%, 是碳(C)损失的主要部分, 仅有占饲料碳(C)投入 0.27% 的碳以 CH₄ 形式损失。

关键词: 笼养肉鸡; CH₄; CO₂; 排放因子; 碳损失

中图分类号: X511 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2011)09-1910-07

Methane, Carbon Dioxide Emissions from Caged Broilers Production Systems in Four Seasons

ZHOU Zhong-kai, DONG Hong-min*, ZHU Zhi-ping, CHEN Yong-xing

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Agricultural Environment and Climate Change, Ministry of Agriculture; Animal Environment Facility Surveillance, Inspection and Testing Center/Beijing, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: The objective of this research is to estimate broiler emission rates of methane and carbon dioxide, to support compilation of live-stock greenhouse gas inventories and potential mitigation options. Methane, carbon dioxide emissions from a commercial high-rise broiler house with mechanically-ventilation system were monitored during four seasons of one year. Gases concentrations of incoming and exhaust air streams were measured for five consecutive days in each season from broilers age about 36 d to 42 d by using INNOVA 1312 multi-gas monitor with multi-channel samplers. Building ventilation rates were determined by calibrated on site FANS measurement systems. The experiment results showed that average emission rates were $(0.276 \pm 0.193) \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ ($58.85 \pm 37.2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{AU}^{-1}$) of methane, $(154.4 \pm 45.7) \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ ($33.5 \pm 7.98 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{AU}^{-1}$) of carbon dioxide. Methane emission rates varied significantly in different seasons, methane emission rates in different seasons were $0.552 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in summer, $0.111 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in winter, $0.187 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in spring and $0.254 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in autumn, respectively. The estimated emission rates of carbon dioxide were slightly changed between $186.8 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ and $179.8 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in summer and fall, but significantly higher than $163.4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in spring and $87.4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$ in winter. There was a significant linear correlation between emission rates and ventilation rate for broilers. The percentage of feed C input recovered was as follows: $(56.1 \pm 12.5)\%$ in CO₂-C emissions, only $(0.27 \pm 0.14)\%$ feed C emitted in CH₄-C emissions.

Keywords: caged broilers; methane; carbon dioxide; emissions factor; carbon loss

收稿日期: 2011-02-16

基金项目: 公益性行业(农业)专项(200803036)

作者简介: 周忠凯(1984—), 男, 山东茌平人, 硕士研究生, 研究方向为畜禽舍环境控制与污染物排放监测。E-mail: zhongkaizhou@gmail.com

* 通讯作者: 董红敏 E-mail: donghm@mail.caas.net.cn

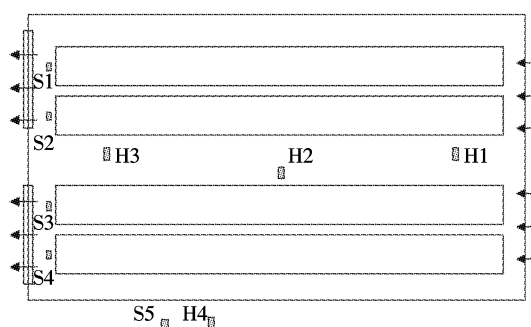
集约化畜禽生产过程产生大量的甲烷(CH_4)、二氧化碳(CO_2)等气体,这不仅对环境产生影响,也造成动物采食能量的损失。为了解动物生产过程中 CH_4 和 CO_2 排放,提高动物采食能量和碳利用效率,国内外在畜禽养殖气体排放方面做了一些研究。Safley和Casada等^[1]基于标准 CH_4 转换因子(MCF)估计了全球规模畜禽粪便 CH_4 排放,估计肉鸡 CH_4 排放约为 $0.09 \text{ kg} \cdot \text{bird}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$;Roumeliotis^[2]对肉鸡整个生产过程舍内 CH_4 排放因子的变化趋势进行了研究,实际监测与模拟 CH_4 排放比较研究表明,肉鸡生产过程产生较高的 CH_4 ;Wang等^[4]采用代谢控制箱法对不同品种肉鸡 CH_4 的排放因子进行了周期测定,不同品种肉鸡 CH_4 排放因子差别很大,从 $15.87 \text{ mg} \cdot \text{bird}^{-1}$ 到 $1500 \text{ mg} \cdot \text{bird}^{-1}$;Groot Koerkamp和Uenk^[5],Wathes^[6]研究了垫料平养肉鸡养殖系统 CH_4 的排放,同时由于肉鸡养殖地区气候和地形等条件存在差异,测试数据存在很大差异。国内关于畜禽舍的气体排放主要集中在氨气^[7-9],而关于 CH_4 和 CO_2 的排放研究集中在牛的肠道发酵和生猪粪便管理过程 CH_4 排放因子,如Dong等^[10]研究了猪生产过程的 CH_4 、 CO_2 排放因子,娜仁花等^[11]研究了奶牛生产过程中 CH_4 排放,游玉波等^[12]对肉牛生产和粪便堆积过程中的 CH_4 排放因子进行了研究,关于肉鸡生产过程的 CH_4 和 CO_2 监测刚刚起步。

本研究选择山东某商业化笼养肉鸡养殖场,通过对不同季节肉鸡生产过程中 CO_2 和 CH_4 的排放进行监测,研究获得的 CH_4 和 CO_2 的排放因子,为控制 CH_4 和 CO_2 排放,提高肉鸡生产过程能量的利用效率提供参考。

1 材料与方法

1.1 肉鸡饲养及设备

试验地选择山东某规模化养殖场,每栋鸡舍为



(a)采样点平面布置图

102 m×8 m×2.8 m(长×宽×高),饲养肉鸡 12 240 只;鸡舍采用负压纵向通风,通风系统由 4 台直径 140 cm 的风机组成,电机的额定功率 1.1 kW,单台风机额定风量为 $40\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$,工作静压 10~50 Pa,进气系统由 22 个天窗(0.8 m×0.8 m)和 17 个进风口(1.3 m×0.65 m)组成,不同饲养阶段通风量随气候条件和鸡群的日龄确定。采用刮板式清粪系统,每日清 1 次。

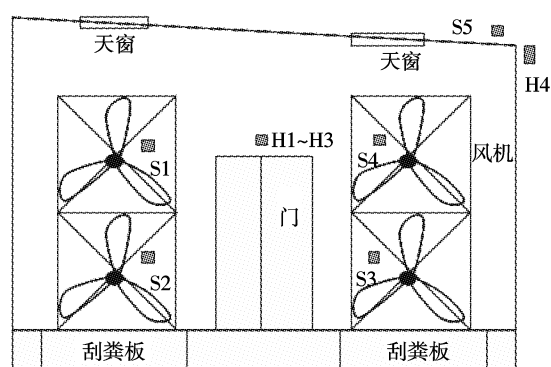
饲养肉鸡品种为 AA+白羽肉鸡,分三阶段饲养,0~17、18~28 d 和 29~42 d,按阶段饲喂不同配方的饲料。饲养方式采用 3 层叠层笼养、人工喂料,每天喂料 3 次,分别为 7:00,14:00,20:00。饮水采用乳头自动饮水系统。笼子大小为 150 cm×85 cm×57 cm,每笼饲养 15~20 只鸡,675~900 $\text{cm}^2 \cdot \text{只}^{-1}$ 。

1.2 鸡舍内气体浓度与温湿度的测定

为了测定排放因子的季节性变化,每个季节连续测定 5 d,2009 年春天 5 月 24—30 日,夏天 8 月 2—7 日,秋天 10 月 9—14 日,冬天 12 月 14—19 日。

为了保证气体测试的代表性,在每个风机前设置 4 个采样点作为排气口采样,4 个排气口采样点 S1~S4 距风机 1.85 m,高约 1.50~2.00 m,进气口采样点 S5 设在室外,距离鸡舍排气口 30 m,采样点高度为 3 m(图 1)。

气体采样测试系统由 INNOVA1312 多功能气体分析仪(Innova AirTech Instruments A/S,Denmark)、MS-I 多通道气体采样控制系统(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所研制)、PFA 采气管、过滤器、真空泵组成。各采样点气体通过真空泵将气体抽送到气体分析仪,在真空泵与气体分析仪之间通过三通阀和过滤器连接,每个点连续采样分析 3 次,以最后一次测试值作为计算值,系统循环周期为 30 min,每日测试 48 次。



(b)采样点立面布置图

图 1 气体与温度采样点布置图

Figure 1 Schematic of broilers house showing the end wall, floor plan and the sampling locations

在舍内 25、50、75 m 处分别设有 3 个温度采样点 H1~H3,舍外设 1 个温度采样点 H4,该采样点高度与气体采样点一致;肉鸡舍的温度和湿度数据由 HOB0(Hobo Pro T/RH, Onset Computer Corp, Bourne, Mass)温湿度计自动记录,温湿度每隔 30 min 采集 1 次。

1.3 通风量的测定

通风量利用经过标定的风机通风量现场测试系统(FANS)^[13-14]对鸡舍 4 台风机进行测定。每次试验前对风机进行标定,在标定过程中,利用 FANS 系统对每台风机在舍内静压分别为 5、10、20、40 Pa 和 60 Pa 条件下进行风量测定,依此绘制出风机风量与静压变化的关系曲线,在测试期间舍内的静压变化由微差压变送器(Modle-268,丹纳赫西特传感工业控制(天津)有限公司)和数据采集器(CR1000, Campbell Scientific, USA)实时记录,鸡舍的实际通风量通过风机的风量静压曲线计算得到。

1.4 气体排放系数的确定

通过对肉鸡舍 CH₄、CO₂ 浓度以及通风量的测定,肉鸡舍 CH₄ 和 CO₂ 的排放因子的计算公式如下:

$$ER_h = VR_h \times \frac{(C_{e,h} - C_{i,h})}{N} \quad (1)$$

$$ER_{AU} = \sum_{h=1}^{24} ER_h \frac{500}{BW} \quad (2)$$

式中: ER_h 为每只肉鸡的气体排放因子, $\text{mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{bird}^{-1}$; ER_{AU} 为每 500 kg 肉鸡活重的气体排放因子, $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{AU}^{-1}$; VR_h 为鸡舍的通风量, $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; N 为舍内肉鸡的数量, 只; $C_{e,h}$ 、 $C_{i,h}$ 为肉鸡舍排气口和进气口的气体浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; BW 为鸡平均体重, kg。

1.5 鸡的生产性能和饲料样品分析

在 4 个季节随机选取 60~80 只 36 d 龄的肉鸡分为 5 组饲养,每组 12~16 只。在 36 d 和 42 d 龄,分别对 5 组称重;在连续 5 d 试验期间,每日进行采食量和排粪量测定。每日在料车取饲料样品 1 个分析其含水率和全碳(TC)含量,用于计算采食碳量。含水率的测定采用行业标准方法 NY/T 302—1995, 105 °C 烘干称重法,饲料 TC 用元素分析仪(PerkinElmer Precisely 2400 Series II CHNS/O Analyzer)测定。

1.6 数据统计分析

数据统计分析采用 SAS8.01 软件和 Office 软件 Excel 工具,方差分析采用单因素方差分析(one-way ANOVA),Duncan 新复极差法检验不同试验间的显著性差异,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 环境条件

表 1 为不同季节舍内外温湿度的测试结果。不同季节舍内温度维持在 20 °C 以上,春、夏季舍内温度高于秋、冬季节,平均温度分别为 25.5、26.0 °C,昼夜间存在波动;秋、冬季节由于外界温度偏低,通风量偏低,舍内温度维持在恒定水平 23.2 °C,没有明显的昼夜变化;夏季湿度值最高为 79.6%,其他各季度的舍内湿度偏低维持在 44%~55%。

表 1 舍内外温湿度

Table 1 Temperature and relative humidity in house and outside

时间	温度/°C		湿度/%	
	舍内	舍外	舍内	舍外
春季	25.5±1.7	21.9±3.9	44.8±9.9	46.9±14.7
夏季	26.0±1.8	24.5±2.3	79.6±9.1	81.9±12.9
秋季	23.2±1.1	15.3±3.2	41.2±8.9	51.3±16.3
冬季	23.2±1.0	-2.2±4.6	51.5±5.0	55.7±23.7
平均值	24.5±1.5	14.9±12.0	54.3±17.4	58.9±15.7

2.2 肉鸡生产特性参数

表 2 为不同试验期间肉鸡生长参数数据,商品肉鸡出栏时体重最高为春季 2.68 kg·只⁻¹,最低为冬季 2.25 kg·只⁻¹,春季和夏季肉鸡体重显著高于秋、冬两季,全年平均值为 2.52 kg·只⁻¹·d⁻¹。在 35~42 d 龄间的平均日采食量为 0.183 kg·只⁻¹·d⁻¹,日采食量最高为春季 0.202 kg·只⁻¹·d⁻¹,最低夏季为 0.164 kg·只⁻¹,春季和秋季采食量显著高于夏季,但是夏季与冬季采食量差异不显著(秋季和冬季也不显著)。粪便日产生量平均为 0.212 kg·只⁻¹·d⁻¹,最高为夏季 0.238 kg·只⁻¹·d⁻¹,显著高于秋季和冬季的日产粪量,夏季虽然采食量降低但粪便产生量最大,这主要与夏季饮水增加和舍内高温高湿的环境有关。

2.3 鸡舍通风状况

为了保证鸡舍中环境温度稳定,不同季节鸡舍通风量存在很大差异(表 3),

从表 3 看出,夏季通风量最大,为 1 941 m³·h⁻¹·AU⁻¹,冬季最低,为 299 m³·h⁻¹·AU⁻¹,夏季通风量是冬季的 6.5 倍,春季和秋季差异不明显。夏季最大通风量和冬季最小通风量都在文献报道范围之内,具有可比性。

2.4 鸡舍气体浓度变化

肉鸡 4 个季节不同试验期间 CO₂、CH₄ 浓度变化见图 2。

表 2 试验肉鸡参数

Table 2 Performance of commercial broilers

时间	上市肉鸡数量/只	日龄/d	始重/kg·只 ⁻¹	末重/kg·只 ⁻¹	采食量/kg·只 ⁻¹ ·d ⁻¹	产粪量/kg·只 ⁻¹ ·d ⁻¹
春	11 872	42	2.08b	2.68a	0.202a	0.225a
夏	11 730	42	2.29a	2.64ab	0.164c	0.238a
秋	10 233	42	2.03b	2.49b	0.190ab	0.196b
冬	12 016	42	1.72c	2.25c	0.175bc	0.190b
平均			2.03±0.235	2.52±0.195	0.183±0.017	0.212±0.023

表 3 不同季节肉鸡舍通风量

Table 3 Ventilation rate in broilers house at different season

参数	春季	夏季	秋季	冬季	文献来源
体重/kg	N/A	1.38	N/A	1.05	Wathes(1997) ^[5]
通风量/m ³ ·h ⁻¹ ·AU ⁻¹		941±145		454±74	
体重/kg	N/A	2.7	N/A	2.7	Seedorf(1998) ^[14]
通风量/m ³ ·h ⁻¹ ·AU ⁻¹		1 853		278	
体重/kg	3.7	3.1	N/A	3.7	Casey(2004) ^[15]
通风量/m ³ ·h ⁻¹ ·AU ⁻¹	904±9.7	1 094±40		170±13.2	
体重/kg	2.38	2.46	2.26	1.98	本研究(2011)
通风量/m ³ ·h ⁻¹ ·AU ⁻¹	1 041±401b	1 941±106a	1 041±128b	299±13c	

注:m³·h⁻¹·AU⁻¹表示 500 kg 单位动物体重每小时的通风量。

从图 2 分析可知,不同季节鸡舍 CH₄ 和 CO₂ 的浓度存在一定差异,舍外 CH₄ 和 CO₂ 的浓度分别为 (2.50±0.36)mg·m⁻³, (712±39)mg·m⁻³。鸡舍 CO₂ 浓度的高低直接反映鸡舍通风换气的状况:夏季由于通风换气量最大,舍内 CO₂ 浓度最低,平均为 (1 522±97)mg·m⁻³,变化范围较小,冬季由于通风换气量最小,其浓度最高,平均浓度 (3 818±329)mg·m⁻³。冬季舍内 CO₂ 浓度高于春、夏、秋季,春季和秋季 CO₂ 浓度差异不显著 ($P>0.05$),全年舍内 CO₂ 浓度为 (2 433±923)mg·m⁻³。CH₄ 浓度变化除夏季外呈现与 CO₂ 浓度相同的变化趋势,冬季最高为 (6.25±1.59)mg·m⁻³,春季最低为 (4.26±1.03)mg·m⁻³,夏季和秋季分别为 (5.41±1.51)mg·m⁻³ 和 (4.35±1.76)mg·m⁻³。夏季虽然保持较高的通风量,舍内高温高湿的环境以及较高的粪便含水率利于贮存在舍内的粪便发酵产生 CH₄,夏季 CH₄ 浓度没有明显降低。全年舍内 CH₄ 平均浓度为 (5.07±0.95)mg·m⁻³,冬季舍内 CH₄ 浓度显著高于春、夏、秋季 ($P<0.05$)。

2.5 鸡舍 CH₄ 和 CO₂ 排放因子

肉鸡舍 CH₄ 和 CO₂ 排放因子汇总见表 4,其中 500 kg 动物体重 CH₄ 和 CO₂ 排放因子由肉鸡的实际体重估算(其体重见表 2)。本研究表明,CH₄ 排放因子的变化范围在 (0.96~45.38)mg·h⁻¹·bird⁻¹ 之间,年平均为 11.50 mg·h⁻¹·bird⁻¹ (0.276±0.19 g·d⁻¹·bird⁻¹),以 500

kg 动物体重计 CH₄ 的排放因子为 (58.85±37.2)g·d⁻¹·AU⁻¹。不同季节 CH₄ 的排放因子存在显著差异 ($P<0.05$),夏季最高为 0.552 g·d⁻¹·bird⁻¹,显著高于春、秋、冬季的 0.187、0.254 g·d⁻¹·bird⁻¹ 和 0.111 g·d⁻¹·bird⁻¹。肉鸡舍 CO₂ 的排放因子变化范围在 2.83~17.87 g·h⁻¹·bird⁻¹ 之间,年平均为 (6.43±1.90)g·h⁻¹·bird⁻¹ (154.4±45.7 g·d⁻¹·bird⁻¹),以 500 kg 动物体重计 CO₂ 的排放因子为 (33.5±8.0)kg·d⁻¹·AU⁻¹。夏、秋季 CO₂ 排放因子无显著差异,分别为 186.8 g·d⁻¹·bird⁻¹ 和 179.8 g·d⁻¹·bird⁻¹,但显著高于春季 (163.4 g·d⁻¹·bird⁻¹) 和冬季 (87.4 g·d⁻¹·bird⁻¹)。

CH₄ 和 CO₂ 排放折合成 CH₄-C 和 CO₂-C 计算,试验肉鸡不同季节平均每天通过饲料摄入的碳(C)量、通过 CO₂ 和 CH₄ 排放损失的碳量见表 5,不同季节总碳(C)的投入平均为 75.1 g·bird⁻¹·day⁻¹,CO₂ 中碳损失占总饲料碳(C)投入的 56.1%,是碳损失的主要部分,约 0.27%的饲料碳以 CH₄ 形式损失。

3 讨论

不同文献中肉鸡 CH₄ 排放因子由于养殖方式、气候条件和估算方法不同存在很大差异,Saffley 和 Casada 等^[1]基于缺省 CH₄ 转换因子(MCF)估计全球规模单只肉鸡 CH₄ 排放为 0.247 g·d⁻¹·bird⁻¹,Wang 等^[4]测定不同品种肉鸡 CH₄ 排放因子的变化范围为

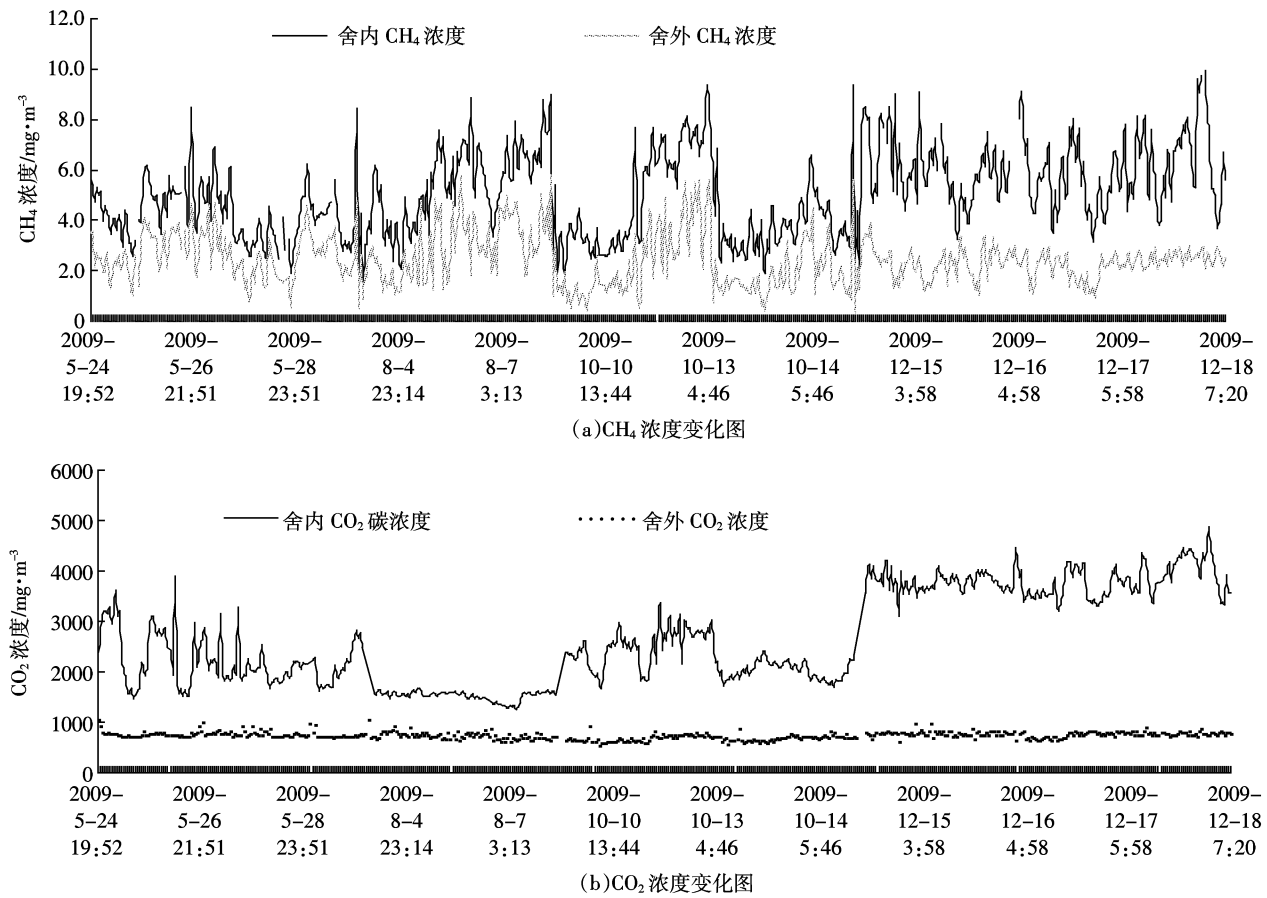


图 2 不同季节肉鸡舍内外 CH₄ 与 CO₂ 浓度变化图

Figure 2 Concentrations of CO₂ and CH₄ diurnal variation in different season

表 4 肉鸡 CH ₄ 和 CO ₂ 排放因子							
Table 4 Emission rates of methane and carbon dioxide							
气体	排放因子	统计	春季	夏季	秋季	冬季	全年
CH ₄	mg·h ⁻¹ ·bird ⁻¹	最大值	17.87	45.38	28.16	10.67	45.38
		最小值	2.59	1.91	0.96	0.93	0.93
		均值	7.79c	23.00a	10.57b	4.64d	11.50
		标准偏差	3.44	10.97	5.11	1.88	8.04
	g·d ⁻¹ ·bird ⁻¹		0.187c	0.552a	0.254b	0.111d	0.276±0.19
CO ₂	g·d ⁻¹ ·AU ⁻¹		39.3c	112.0a	56.1b	28.0d	58.9±37.2
	g·h ⁻¹ ·bird ⁻¹	最大值	17.28	10.38	11.54	5.02	17.28
		最小值	2.42	4.96	4.31	2.83	2.42
		均值	6.81b	7.78a	7.49a	3.64c	6.43
		标准偏差	2.11	1.07	1.47	0.40	1.90
	g·d ⁻¹ ·bird ⁻¹		163.4b	186.8a	179.8a	87.4c	154.4±45.7
	kg·d ⁻¹ ·AU ⁻¹		34.3b	37.9a	39.8a	22.0c	33.5±8.0

注:g·d⁻¹·bird⁻¹表示单只肉鸡每日排放因子。

(15.87~1 500)mg·bird⁻¹·life cycle⁻¹。Groot Koerkamp 和 Uenk^[5]测得鸡舍 CH₄ 的排放量为 13.70 g·day⁻¹·AU⁻¹, Wathes^[6]研究表明鸡舍 CH₄ 的排放量为 6.0 g·d⁻¹·AU⁻¹, Guiziou 等^[17]对鸡舍氨气和温室气体的排放进行了研究,但没有监测到 CH₄ 的排放。本研究中 CH₄ 的排放因子高于过去文献中模拟参考值,但是显著低于Roumeliotis 等^[2-3]测得的平均排放因子 197.0 g·d⁻¹·AU⁻¹。

表5 笼养肉鸡 CO₂-C 和 CH₄-C 损失
Table 5 CO₂-C and CH₄-C loss of broilers

时间	碳(C)投入/g·bird ⁻¹ ·d ⁻¹	碳(C)损失/g·bird ⁻¹ ·d ⁻¹	
	饲料	CO ₂ -C 损失	CH ₄ -C 损失
春季	76.1	44.6	0.140
夏季	78.0	51.0	0.413
秋季	78.6	49.1	0.190
冬季	67.8	23.9	0.083
平均值	75.1	42.1	0.207

鸡舍 CO₂ 主要产生于肉鸡消化饲料为自身提供能量的过程, 肉鸡粪便微生物代谢产生的 CO₂ 仅占 4%~7%^[18-19], Neser 等^[20]对笼养肉鸡和平养肉鸡生产系统 CO₂ 的排放因子进行了测试, 表明平养肉鸡生产系统 CO₂ 排放因子大于笼养肉鸡生产系统, 分别为 (16.8~31.2)、(9.6~28.8) kg·d⁻¹·AU⁻¹。本研究的肉鸡 CO₂ 排放因子稍高于文献报道, 但具有可比性。

图3显示的是 CH₄ 排放因子与通风量的相关关系, 随着通风量的增加, 肉鸡 CH₄ 排放因子增大, 两者呈现线性相关 ($r=0.860\ 9, P<0.000\ 1$); 经过线性回归分析得到经检验达极显著水平的不同季节肉鸡舍通风量与肉鸡 CH₄ 排放因子的线性回归方程:

$$ER_{CH_4}=0.145VR_h\times10^{-3}+1.346\ 4(r^2=0.741\ 2, P<0.000\ 1)$$

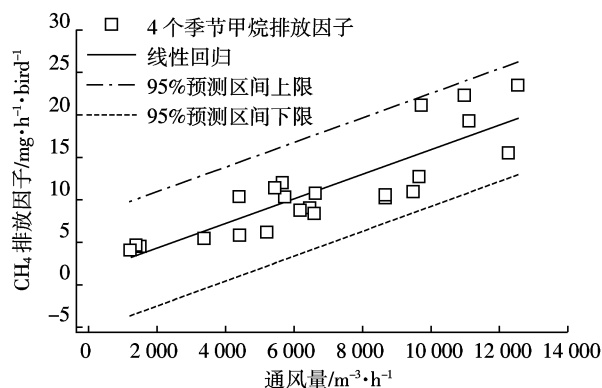


图3 肉鸡 CH₄ 排放因子与通风量的关系

Figure 3 CH₄ emission rates versus ventilation rate

4 结论

对笼养肉鸡不同季节 CO₂ 和 CH₄ 的排放监测表明:

(1) 日龄为 36~42 d 的笼养肉鸡 CH₄ 和 CO₂ 的平均排放因子分别为 (0.276±0.19) g·d⁻¹·bird⁻¹ (58.85±37.2 g·d⁻¹·AU⁻¹)、(154.4±45.7) g·d⁻¹·bird⁻¹ (33.5±8.0 kg·d⁻¹·AU⁻¹)。

(2) 不同季节 CH₄ 排放因子存在显著差异, 夏

季最高, 为 0.552 g·d⁻¹·bird⁻¹, 冬季最低, 为 0.111 g·d⁻¹·bird⁻¹, 春季和秋季分别为 0.187 g·d⁻¹·bird⁻¹ 和 0.254 g·d⁻¹·bird⁻¹。

(3) CO₂ 排放因子夏、秋季节差异不显著, 分别为 186.8 g·d⁻¹·bird⁻¹ 和 179.8 g·d⁻¹·bird⁻¹, 显著高于春季和冬季 (163.4 g·d⁻¹·bird⁻¹ 和 87.4 g·d⁻¹·bird⁻¹)。

(4) 随着通风量的增加肉鸡 CH₄ 排放因子增大, 两者呈现线性相关 ($r=0.860\ 9, P<0.000\ 1$); 4 个不同季节肉鸡舍通风量与肉鸡 CH₄ 排放因子的线性回归方程为: $ER_{CH_4}=0.145VR_h\times10^{-3}+1.346\ 4(r^2=0.741\ 2, P<0.000\ 1)$ 。

(5) 研究表明 4 个不同季节总碳(C)的投入平均为 75.14 g·bird⁻¹·d⁻¹, 其中约有 56.1% 以 CO₂ 形式损失, 肉鸡呼吸代谢过程是碳损失的主要途径, CH₄ 排放损失的碳约占饲料总碳投入的 0.27%。

参考文献:

- [1] Safley L M, Casada M E. Global methane emissions from livestock and poultry manure [R]//Washington, U. S. Environmental Protection Agency, Report 400/1-91/048, DC. 1992.
- [2] Roumeliotis T S, Dixon B J, Van Heyst B J. Characterization of gaseous pollutant and particulate matter emission rates from a commercial broiler operation part I: Observed trends in emissions[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44: 3770-3777.
- [3] Roumeliotis T S, Dixon B J, Van Heyst B J. Characterization of gaseous pollutant and particulate matter emission rates from a commercial broiler operation part II: Correlated emission rates[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, 44: 3778-3786.
- [4] Wang Shuyin, Huang Daji. Assessment of greenhouse gas emissions from poultry enteric fermentation [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2005, 18(6): 873-878.
- [5] Groot Koerkamp P W G, Uenk G H. Climatic conditions and aerial pollutants in and emissions from commercial production systems in the Netherlands[C]//Voermans J A M, Monteny G J. Proceedings of the international symposium on ammonia and odour control from animal production facilities, research station for pig husbandry (PV), rosmalen, 1997: 139-144.
- [6] Wathes C M, Holden M R, Sneath R W, et al. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses[J]. *British Poultry Science*, 1997, 38: 14-28.
- [7] Zhu Zhiping, Dong Hongmin, Zhou Zhongkai, et al. Ammonia concentration and emissions in a commercial broiler house at different seasons in China [C]// 2010 ASABE Annual International Meeting. Pittsburgh, Pennsylvania. ASABE Publication Number 1009292, 2010.
- [8] 朱志平, 董红敏, 尚斌, 等. 育肥猪舍氨气浓度测定与排放量的估算[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(4): 1076-1080.

ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, SHANG Bin, et al. Measurement of

- ammonia concentration and estimation on emission flux of finishing pig in pig house[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4): 1076-1080.
- [9] 朱志平, 董红敏, 尚 斌, 等. 妊娠猪舍氨气及氧化亚氮浓度测定与排放通量的估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊 2): 175-178.
ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, SHANG Bin, et al. Measurement of ammonia and nitrous oxide concentrations and estimation of the emission rates from gestation pig buildings[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(Suppl2): 175-178.
- [10] Dong Hongmin, Zhu Zhiping, Shang Bin, et al. Greenhouse gas emissions from swine barns of various production stages in suburban Beijing, China[J]. *Atmospheric Environment*, 2007b, 41: 2391-2399.
- [11] 娜仁花, 董红敏, 陶秀萍, 等. 不同类型日粮奶牛体外消化性能与甲烷产生量比较[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(8): 1576-1581.
NA Ren-hua, DONG Hong-min, TAO Xiu-ping, et al. Effects of diet composition on in vitro digestibility and methane emissions of cows[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(8): 1576-1581.
- [12] 游玉波, 董红敏, 朱志平, 等. 堆积肉牛粪便甲烷排放影响因子试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 167-172.
YOU Yu-bo, DONG Hong-min, ZHU Zhi-ping, et al. Experiments on influencing factors of methane emissions from beef cattle manure stack [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(12): 167-172.
- [13] Gates R S, Casey K D, Xin H, et al. Fan assessment numeration system (FANS) design and calibration specifications[J]. *Trans ASAE*, 2004, 47(5): 1709-1715.
- [14] Xin H, Tanaka A, Gates R S, et al. Ammonia emissions from U. S. poultry houses: Part 1 measurement system and techniques[C]// Proc. 3rd International Conference on Air Pollution from Agricultural Operations, ASAE. St. Joseph, Mich. 2003: 105-115.
- [15] Seedorf J, Hartung J, Schröder M, et al. A survey of ventilation rates in livestock buildings in northern Europe[J]. *J Agric Engng Res*, 1998, 70: 39-47.
- [16] Casey K D, Gates R S, Wheeler E F, et al, Ammonia emissions from kentucky broiler houses during winter, spring and summer[C]//CASANZ Conference-Linking Air Pollution, Science, Policy and Management-Newcastle, NSW Australia, 2003: 23-27.
- [17] Guiziou F, Béline F. In situ measurement of ammonia and greenhouse gas emissions from broiler houses in France[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96: 203-207.
- [18] Xin H, Li H, Burns R T, et al. Use of CO₂ Concentrations or CO₂ Balance to estimate ventilation rate of modern commercial broiler houses [C]//ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Oregon Convention Center Portland, St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006.
- [19] Van Ouwerkerk E N J, Pedersen S. Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock buildings [C]//XII CIGR World Congress on Agricultural Engineering, Milan. Proceedings, 1994. Volume 1: 516-529.
- [20] Naser S, Depta G, Stegbauer B, et al. Mass balance of the compounds nitrogen and carbon in housing systems for laying hens[C]//Voermans J A M, Monteny G. International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Facilities, The Netherlands, 1997: 129-137.