

开放式呼吸测热系统的研制

李玉芝 李茫雪 孙 黎 栾冬梅 单玉兰 张振斌 王庆稿

(东北农业大学, 哈尔滨, 150030)

摘要 东北农业大学研制的猪鸡用开放式呼吸测热装置由 4 个呼吸小室并联构成, 可同时测定 4 头(或 4 组)动物的代谢产热量。注入氮气的系统检验结果表明, 4 个呼吸小室的氮气回收率分别为 92.9%, 93.1%, 100.7% 及 100.2%, 其重复误差(标准差)为 0.08%~3.59%。利用该装置对 4 头体重 20kg 的长哈生长猪进行呼吸测热, 其代谢产热率为 $27.0 \pm 0.74 \text{ kJ} / \text{kg}^{0.75} \cdot \text{h}$ 。系统检验及动物实验结果均表明该装置性能良好。

关键词 呼吸测热 产热量 猪

呼吸测热装置作为畜禽能量代谢研究手段被广泛应用。与比较屠宰法相比, 呼吸测热法避免屠宰实验动物, 简便易行, 节省人力物力, 并可进行连续测定。呼吸测热装置可分为 3 种类型, 即密闭式、开放式和开启式。其中密闭式要求整个呼吸测热系统完全密闭, 且需配有补充氧气装置。开启式亦要求呼吸测热小室完全密闭, 有自动开启装置。这两种类型一般都有空调系统要求呼吸测热小室既要密封, 又要隔热, 因此设计复杂, 造价高, 维护费用亦高。开放式的特点是整个系统为一开路, 对呼吸测热小室的密闭性要求不高, 设计简单, 造价低, 操作方便。

1 材料与方 法

1.1 系统构成

呼吸测热装置的结构如图 1。该装置由呼吸测热小室、高精度气体浮子流量计(上岛 DS-1110)、采气泵(4L/min)、抽气泵(2.5m³/min)、顺磁式氧气分析仪(Morgan 500D)及数据记录仪(横川 4806 RG)构成。呼吸测热小室由透明有机玻璃板和铝合金框架制成, 容积为 450×900×1200mm³。小室顶内面安装小型轴流风扇, 使小室内形成稳定均匀的气流, 使空气成分稳定均匀。为避免气流直接吹向实验动物, 风扇的气流流出方向指向小室顶以内。每个小室内壁安装一对热电偶以测小室内气温。呼吸测热小室的入、出气口分别在两侧壁上, 入气口偏上, 出气口偏下。入气口直径为 29mm, 出气口与出气管内径相等均为 30mm。4 个呼吸测热小室由三通管接头及单向电磁阀连接, 每个小室的出气管通过两个电磁阀分别与流量计及排气管相连。电磁阀由开关控制。测量时, 打开通向流量计的电磁阀, 关闭通向排气管的电磁阀。处于关闭状态时, 打开通向排气管的开关, 关闭通向流量计的开关。当某一小室处于测量状态时, 其他小室均处于关闭状态。如此依次测定 4 小室内动物的代谢产热量。

该系统的流量控制在 110~60L/min, 依实验动物种类、数量及体重而定。流量计的气流

收稿日期: 1996-07-08

出口处设置热电偶以测流出气体温度,用于气体体积校正。采气管插入流量计的流出管内,采气泵以 200ml/min 的流速将气样经干燥剂瓶送入氧气分析仪。氧气分析仪内的气泵流量为 150ml/min,故采气泵与氧气分析仪间气路为正压。主抽气泵通过气体缓冲调节容器连接各小室的排气管及流量计的流出管,使 4 个小室始终处于负压气体循环状态。

所用氧气分析仪的测量范围为氧气浓度 0~100%,其精确度为最大测量值的 0.2%。通过氧气分析仪的信号输出端将氧气浓度实测值输入数据记录仪,每分钟打印输出一次;各热电偶所测温度亦同时打印输出。

1.2 系统检验

用氮气注入法校正检验该呼吸测热装置。所用含氮量 99.9% 的高纯氮气,以 0.6~0.8L/min 的流速注入呼吸测热小室内。根据所测小室的排出气体流量确定注入时间,当气体排出量达小室容积的三倍后,排出气体的氧气浓度趋于平稳,再测量 5 分钟,取其平均值作为小室出气氧气浓度。氮气注入期间,每分钟记录一次该系统的排出气体流量。注入氮气前后测量测定室内空气中氧气浓度,其平均值为入气氧气浓度。按 Maclean 和 Tobin(1987) 报道,根据氮气注入时间及入、出气氧气浓度差及呼吸小室排气流量,用下列公式计算注入氮气回收量:

$$V' = tF(O_{2in} - O_{2out}) / O_{2in}$$

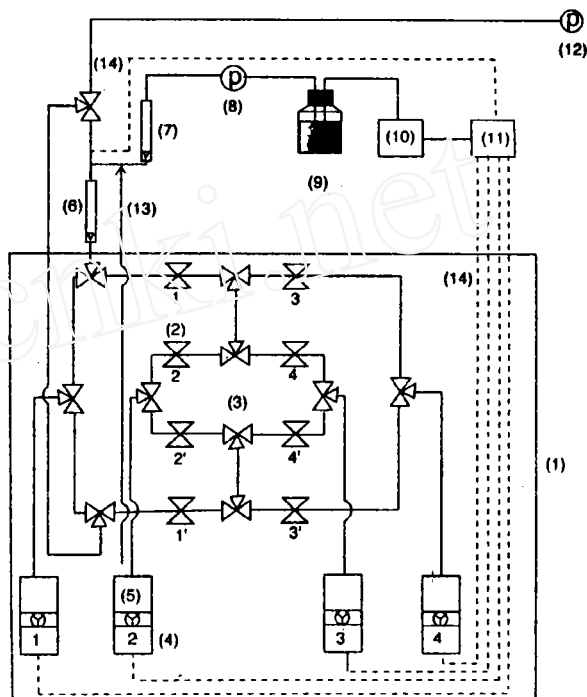
式中: V' ——氮气回收量(Recovery volume of the injected nitrogen, L)

t ——氮气注入时间(Time spent on nitrogen injection, min)

F ——标准状态下呼吸小室排出气体流量(Air flow rate of the respiratory chamber at standard status, L/min)

O_{2in} , O_{2out} ——分别为入、出气氧气浓度(Oxygen concentration of inlet and outlet air respectively, %)

用高精度电子天平称量注入前、后氮气瓶重量,其差值为注入氮气体量,根据注入氮气体量及测量的氮气回收量得出该系统的氮气回收率(R),其倒数(K)为该系统校正系数:



- (1) 测试间 (Experiment room) (2) 单向电池阀 (One-way valve) (3) 塑料三通管 (Plastic tee pipe) (4) 呼吸测热小室 (Chamber) (5) 小风扇 (Fan, 18W) (6) 高精度气体流量计 (Flow rate meter) (7) 浮子小流量计 (Small flow rate meter) (8) 采样气泵 (Sampling pump) (9) 干燥瓶 (Absorber, CaCl_2) (10) 顺磁式氧气分析仪 (Oxygen analyser) (11) 数据记录仪 (Datalogger) (12) 主抽气泵 (Main pump) (13) 入气管 (Inlet pipe) (14) 铜镍热电偶 (Thermocouple)

图 1 呼吸测热系统结构示意图
Fig1. Composition of Respiratory Calorimetry System

$$R = V / V \times 1 / C$$

式中: V ——氮气注入量(Total weight of the injected nitrogen, g)

C ——标准状态下氮气比重(Specific gravity of nitrogen at standard status, g / L)

$$K = 1 / R$$

K ——呼吸测热装置回收率(Recovery rate of the indirect calorimetry, %)

1.3 动物实验

利用该系统对4头体重为20kg的长×哈生长猪在18℃室温下进行呼吸测热。每个小室分别测20分钟为1次循环,共测6次循环。测试过程中,动物自由饮水不采食。产热量计算公式为:

$$HP = 20.47 \times \Delta O_2 \times F \times STP \times 60 / BW^{0.75} \text{ (Mclean 和 Tobin, 1987)}$$

式中: HP ——代谢产热量(Metabolic heat production, KJ / g^{0.75}h)

ΔO_2 ——排、入气氧气浓度差(Difference in oxygen concentration between the inlet and outlet air, %)

F ——呼吸小室排气流量 (Air flow rate of the respiratory chamber at standard status, L / min)

$BW^{0.75}$ ——代谢体重(Metabolic body weight, kg^{0.75})

2 结果与分析

图2是呼吸小室(No1)出气流量为110L / min时氧气含量随氮气注入时间的变化曲线。由图2可见,在注入氮气达14分钟时,呼吸小室内氧气浓度趋于平稳。14分钟内呼吸小室的气体总排出量为1540L,是呼吸小室容积的3.2倍。与McLean和Tobin(1987)提出的排气量达到呼吸小室3倍时呼吸小室内各气体浓度达平衡状态的理论相符。

系统检验中呼吸小室的出气流量均在96~110L / min范围内,此流量使呼吸小室排气量达到其容积3倍的时间为13~15分钟,故系统检验的氮气注气时间定为19~20分钟。该装置各呼吸小室的系统检验结果见表1。

由表1可见,各小室的回收率重复性很高,且接近100%,说明该系统测试功能较好。第二呼吸小室两次回收率偏差值较大,可能是由操作误差所致。

动物实验结果见表2。生长猪代谢产热量均值为27.0kJ / kg^{0.75} · d,以此推测的24小时产热量为648kJ / kg^{0.75} · d。

3 讨论

3.1 呼吸测热系统性能

根据McLean和Tobin(1987)报道,开放

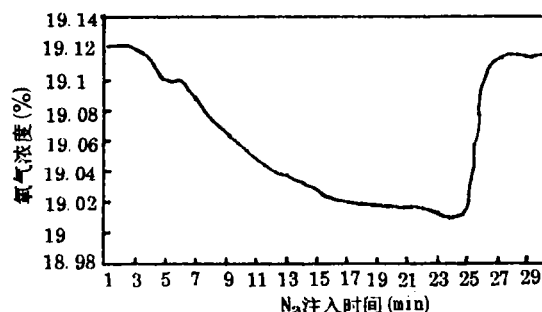


图2 呼吸小室内氧气浓度变化曲线

Fig2. Variations of oxygen concentration in the respiratory chamber with nitrogen injection time

表 1 氮气校正结果

Table 1. Result of nitrogen calibration

呼吸小室 Respiratory chamber	N ₂ 注入速率 Nitrogen injection rate(g / min)	N ₂ 气注入时间 Nitrogen injection time(min)	小室出气流量 Air flow rate of the respiratory chamber(L / min)	回收率(R) Recovery rate(%)
1	0.77	19	110	92.54
	0.65	20	109	93.33
XD ± S.D				92.94 ± 0.56
2	0.66	20	97	90.57
	0.77	20	97	95.65
XD ± S.D				93.11 ± 3.59
3	0.70	20	104	100.41
	0.69	20	105	100.99
XD ± S.D				100.7 ± 0.41
4	0.70	19	106	100.25
	0.72	20	96	100.14
XD ± S.D				100.19 ± 0.08

表 2 生长猪代谢产热量

Table 2. Metabolic heat production of growing pigs

猪 号 Animal ID	体 重 Body weight(kg)	采食量 Feed intake(g / d)	代谢产热量 Metabolic heat production(kJ / kg ^{0.75} · h)
1	24.0	956	28.0
2	27.3	1042	27.0
3	25.3	992	26.9
4	26.1	1016	26.2
Mean ± S.D	25.7 ± 1.39	1002 ± 36.6	27.0 ± 0.74

式呼吸测热装置的系统校正系数应在 100% ± 20% 范围内, 重复误差 < 3.0%。本装置各呼吸小室的校正系数在 99.3% ~ 107.6% 范围内。校正系数接近 100%, 说明系统合理、准确。与校正系数的绝对值相比, 重复误差更能说明系统的可靠性。在本系统中, 除第二呼吸小室外, 其余小室均重复性很高。由于条件所限, 本次氮气校正重复次数较少。但从所得结果看, 本系统准确度及可靠性都很高。呼吸小室内气体达到平衡状态的时间符合规律亦说明本系统性能良好。

动物实验结果进一步证实了本系统的可靠性。本实验结果与 Close(1978), Camball 和 Taverner(1988), Van Diemen 等(1995)的报道结果相近。

3.2 系统结构设计

开放式呼吸测热装置结构设计的关键在于要求由呼吸小室出气口至气样采集段密封, 不漏气。采样气泵要以一定的流量将主气路气样送至气体分析仪。在采样气泵与气体分析仪之间的气路应保持正压。呼吸小室不要求密封, 但要维持负压, 以免气体外漏, 导致回收率过低。

本系统采用了4个呼吸测热小室并联方式。和Farrell(1975), Lundy等(1978)采用的呼吸测热系统近似。这种方式能在同一时间内先后单独测试4头实验动物,提高了整个系统的利用率。在进行并联设计时,应尽可能使各呼吸小室的气路等长,从而使各气路气体的阻力、流量相近。

参考文献

- Campbell R G, M R Taverner. 1988. Relationships between energy intake and protein and energy metabolism, growth and body composition of pigs kept at 14 or 32°C from 9 to 20 kg. *Livestock Production Science*, 18:289~303
- Close W H, Mount L E. 1973. The effects of plane of nutrition and environmental temperature on the energy metabolism of the growing pig. I Heat loss and critical temperature. *British Journal of Nutrition*, 40 (3):413~421
- Farrell D J. 1975. A comparison of the energy metabolism of two breeds of hens and their cross using respiration calorimetry. *Br. Poult. Sci.*, 16:103~113
- Lundy H, Macleod M G, Jewitt T R. 1978. An automated multicalorimeter system: preliminary experiments on laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 19:173~186
- McLean J A, Tobin G. 1987. Animal and human calorimetry, p 108~111 (Cambridge University Press).
- Van Diemen P M, Schrama J W *et al.* 1995. Effects of atrophic rhinitis and climatic environment on the performance of pigs. *Livestock Production Science*, 43(3):275~284
- Yamanoto S, Sumida M, Kosako T. 1985. Evaluation of fast-response calorimetry, used for calibration of the relationship between heart rate and heat production in farm animals. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 56:947~953

《中国粮油学报》征稿简则

《中国粮油学报》是中国粮油学会主办的学术性期刊,1996年被评为中文核心期刊,是全国重点期刊之一,从1996年起在美国《化学文摘》上作索引和文摘。主要登载研究报告、学术论文、综合评述,辟出少量篇幅登载重要信息和科技动态。其中,基础研究必须代表我国的科研水平,应用技术必须确有创造性的推广价值。

一、征稿内容

1. 粮、油、粮油食品、饲料方面的研究报告、学术论文、综合评述;
2. 粮油加工、粮油、饲料储藏、粮油食品、营养卫生、谷物化学、油脂化学、饲料加工、饲料添加剂、工艺设备、仓厂建筑等方面的新技术和新方法;
3. 粮油副产品的综合利用途径和研究成果;
4. 粮油和饲料工业中的高新技术、生物工程和生化技术等;
5. 国内外最新学术动态、科技信息、重要会议消息。

二、对稿件的具体要求

1. 来稿论点明确、文字简练、数据可靠;每篇论文(包括图表)不超过六千字,并附中、(见下页)

STUDY ON AN OPEN CIRCUIT RESPIRATORY CALORIMETRY SYSTEM

Li Yuzhi Li Mangxue Sun Li Luan Dongmei

Shan Yulan Zhang Zhenbin Wang Qinghao

(Dept. of Animal Science, Northeast Agricultural University, Harbin, 150030)

ABSTRACT

An open circuit respiratory calorimetry system in Northeast Agricultural University was established. The system was consisted of four respiratory chambers, which made it possible to measure heat production of four individual animals or four groups of chickens simultaneously. The result of nitrogen injection calibration showed that the nitrogen recovery rate of the four chambers were 92.9%, 93.1%, 100.7% and 100.2% respectively with the standard error in the range of 0.08%~3.59%. When the system was used to measure the heat production of four growing pigs (with the average body weight of 20kg), the average heat production was $27.0 \pm 0.74 \text{ KJ / kg}^{0.75}\text{h}$. Therefore, the results from both nitrogen calibration and animal test suggested that the system was working well.

Key words: Respiratory calorimetry, Heat production, Pigs

(接上页)英文摘要、关键词;作者姓名、性别、年龄、技术职称、研究专业方向、单位、通讯地址、联系电话;同时要有英文题目;作者的英文姓名、工作单位及地址。

2. 来稿一律用钢笔在稿纸上誊清最好打印(英文部分一定要打印),稿件中的外文字母、符号必须分清大、小写及正、斜体;上、下角注的字母、数码和符号,其位置高低应区别明显;容易混淆的外文字母、符号请用铅笔写清。

3. 插图用绘图纸按制图标准绘制,图中文字符号须与正文一致,图中文字一律用铅笔标注;文中表格用三线表。

4. 参考文献需另起一页,并按在文中出现的先后顺序编排。a. 文献引自期刊,按下例顺序排列:作者. 题目. 刊名. 年份. 卷(期)号:页码 b. 引自图书,则按下例顺序排列:作者. 书名. 版次. 出版地. 出版单位, 出版年, 页码。文章的作者署名不得超过 3 人。参考文献不得引用非正式刊物。

5. 稿件要一式两份,退稿只写退稿通知,不退稿件。来稿被采用,编辑部出具版面费收据,作者以此报销作为稿费。

6. 来稿请寄:北京市宣武区报国寺 1 号《中国粮油学报》编辑部 邮编 100053。