

# 团体标准

T/LCAA XXX—XXXX

## 奶牛肠道甲烷排放监测技术规范

Measurement Techniques Specification of Enteric Methane Emissions

文稿版次选择

征求意见稿

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市低碳农业协会发布



目 次

前言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 监测流程.....2

5 监测对象.....2

6 检测方法.....2

7 结果计算与表示.....9

8 质量保证和质量控制.....9

9 监测报告.....9

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由北京低碳农业协会提出并归口。

本标准起草单位：北京市畜牧总站、中国农业科学院畜牧兽医研究所、中国农业科学院饲料研究所、北京农学院、北京低碳农业协会、国家市场监督管理总局认证认可技术研究中心。

本标准起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

# 奶牛肠道甲烷排放监测技术规范

## 1 范围

本标准规定了奶牛肠道甲烷排放监测过程中术语和定义、监测流程、动物要求、检测方法与步骤、数据收集处理、结果表示、质量控制和报告内容等通用要求，描述了对应的试验方法。

本标准适用于奶牛肠道甲烷排放监测。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5274-2008/ISO6142:2001 气体分析 校准用混合气的制备 称量法

HJ 604-2017 环境空气 总烃、甲烷和非甲烷总烃的测定 直接进样-气相色谱法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**反刍动物** ruminants

偶蹄目中的一个亚目。其中的动物均是食草性动物，拥有分为多个胃室的胃进行反刍的动作。通过这个结构反刍亚目的动物，可以通过微生物消化其他只有一个胃的哺乳动物无法消化的糖类（比如纤维素）。

### 3.2

**标准气体** calibrating gas

标准气体为气体工业名词。标准物质是浓度均匀的，良好稳定和量值准确的测定标准，它们具有复现，保存和传递量值的基本作用，在物理，化学，生物与工程测量领域中用于校准测量仪器和测量过程，评价测量方法的准确度和检测实验室的检测能力，确定材料或产品的特性量值，进行量值仲裁等。

### 3.3

**渗透管** Permeation Tube

是不锈钢或铜质胶囊状小容器，内装纯化合物，处于气液两相平衡状态。渗透管置于适当的惰性聚合材料中并处于恒温状态，化学成分以恒定速率从渗透管壁渗出，可实现精确、稳定的渗透速率，范围为20-500ng/min。

### 3.4

### RFID 电子耳标 RFID Ear Tag

是利用无线射频识别技术对动物进行个体标识的动物电子标签。具有非接触、远距离自动识别并测量、计量动物体的特点。其内置电子芯片和天线，承载了牲畜个体信息，是证明牲畜身份的身份证。

## 3.5

### 传感器 Sensor

是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

## 4 监测流程

反刍动物胃肠道甲烷排放监测流程如下：

- a) 确定监测目的：宜明确监测意图、监测理由、监测结果的应用；
- b) 选择监测对象；
- c) 选择检测方法；
- d) 实施检测分析；
- e) 数据收集处理；
- f) 质量保证；
- g) 撰写报告。

## 5 监测对象

根据监测目的要求，选择监测对象，包括但不限于以下内容：

- a) 动物品种；
- b) 年龄；
- c) 数量；
- d) 健康状态；
- e) 生产性能；
- f) 养殖条件；
- g) 其他要求。

## 6 检测方法

### 6.1 选择原则

检测方法选择遵循如下原则：

- a) 可行性：应根据可提供的监测条件（例如，场地、设备和监测成本等）选择检测方法；
- b) 科学性：应符合行业或本领域要求；
- c) 一致性：应能够实现检测结果的重复；
- d) 准确性：应减少不确定性，检测结果可信度高，能够满足监测要求。

### 6.2 检测流程

## 6.2.1 甲烷排放量检测

### 6.2.1.1 呼吸测热室法

#### 6.2.1.1.1 方法原理

利用高精度甲烷在线分析仪（非发散性红外线传感器，显示精度为PPM级）连续测定呼吸测热室中奶牛排放的甲烷。根据朗伯-比尔定律，每种具有极性分子结构的气体都有对应的红外线特征吸收波，在光程和发射系数不变的情况下，气体浓度与吸收率成正比关系。

#### 6.2.1.1.2 设备与材料

- a) 呼吸代谢舱；
- b) 进气，排气系统。包括管道内的气体流量传感器；
- c) 高精度甲烷在线分析仪系统（非发散性红外线传感器），显示精度为PPM级；
- d) 数据采集控制系统及软件工作站。包括上位机，温度，湿度，光照和气压传感器；
- e) 自动变频智能温控除湿系统；
- f) 监控室；
- g) 标准气体按GB/T 5274-2008/ISO6142:2001制备，或从经国家认证的生产单位购买。氮气浓度不小于99.9%。甲烷标准气体浓度应为50-500PPM范围。

#### 6.2.1.1.3 人员

- a) 操作者应了解奶牛胃肠道甲烷排放监测基本知识和动物福利法案；
- b) 操作者应能够熟练操作6.2.1.2中的仪器设备和配套电脑软件。

#### 6.2.1.1.4 检测

- a) 监测动物进行预饲准备；
- b) 甲烷分析仪调零和校准。

——打开甲烷分析仪预热后，往甲烷分析仪内通入高纯氮气（>99.9%）作为调零气体对分析仪进行清洗，直至读数稳定。若甲烷读数为零，则无需校正。若读数非零，则按下调零键，将甲烷浓度确认为零。

——往甲烷分析仪内通入已知浓度的甲烷标准气体作为校准气体。若分析仪显示读数与甲烷标准气体标示浓度一致，则无需校准。若分析仪显示读数与甲烷标准气体标示浓度不一致，则需进入分析仪校准界面，手动调高或调低仪器显示数值，直至其与标准气体标示浓度一致，而后按下确认键进行校准。

——调零和校准需每周进行一次。

- c) 呼吸代谢舱气体回收率检验。

——往呼吸代谢舱内通入已知浓度的甲烷标准气体，用高精度质量流量计控制并测定通入呼吸代谢舱内甲烷气体的流速，用经过校准的甲烷分析仪连续测定24小时甲烷排放量。

——呼吸代谢舱甲烷回收率（%）= 甲烷标准气体实际测定排放量×100/甲烷标准气体释放量。

——系统回收率应维持在95%-100%范围内，否则应检修管道系统气密性和（或）调试分析仪器准确性。

- d) 呼吸代谢舱检测所用饲料和饮水等材料准备。
- e) 打开呼吸代谢舱空气循环系统和温湿控制系统。
- f) 打开电脑配套软件，点开测定程序。
- g) 监测动物进入代谢舱。

- h) 监测动物饲养管理。
  - 动物在代谢舱内，需要每天定期清粪或收集粪尿。
  - 针对泌乳期的奶牛需要配套挤奶设备和相应输奶管道或奶桶。
  - 采取每天多次饲喂方式时，或需收粪尿及挤奶时，应记录人员进出代谢舱的时间。进行数据统计时，应将该段时间扣除。或者进入代谢舱人员佩戴呼吸口罩。
- i) 数据收集。
  - 奶牛进入代谢舱内第1天为适应期，不收集数据，从进入第2天采集数据。
  - 检测过程中，应及时观察甲烷测定值是否合理，代谢舱内温湿度，气压和空气流速是否合理。
- j) 检测结束后，动物离开代谢舱。关闭甲烷测定软件，保存好实验数据。关闭甲烷分析仪，关闭呼吸代谢舱空气循环系统和温湿控制系统。对代谢舱进行彻底卫生清洁。
- k) 检测结束后第2天，应再次进行呼吸代谢舱气体回收率检验。将检测前后两次回收率取平均值，作为该次检测的呼吸代谢舱气体回收率。
- l) 对采集甲烷排放数据进行统计分析。

6.2.1.1.5 排放计算

甲烷气体采样系统对多个呼吸测热室内气体和外界空气进行循环采样，每个呼吸测热室采样P分钟，甲烷分析系统软件每P分钟自动记录一个气体浓度数据。

第i个呼吸测热室内每天甲烷排放量按式(1)计算。

甲烷排放量 (L/d) =  $\sum (C_n - C_{An}) / 10^6 \times S_n \times (T_{(n+1)} - T_n)$  ..... (1)

式中：

n---为第i号舱一天内数据个数， $n = (24h \times 60min/h) / [(Y+1) \times P]$ ；

(Y+1) × P---为每次监测第i号呼吸测热室之前的时间间隔，等于（舱体个数+1个环境空气）×每个舱体采样时间。

表1 表 1 呼吸测热室数据记录表

时间 (min)	呼吸测热室编号 i	呼吸测热室 i 内甲烷 浓度 (C, ppm)	外界空气甲烷浓 度 (CA, ppm)	呼吸测热室气体流速 (S, L/min)
T <sub>1</sub>	i	C <sub>1</sub>	CA <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>
T <sub>2</sub>	i	C <sub>2</sub>	CA <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>
...	...	...	...	...

6.2.1.2 六氟化硫（SF<sub>6</sub>）示踪法

6.2.1.2.1 方法原理

利用六氟化硫（SF<sub>6</sub>）的物理特性与甲烷（CH<sub>4</sub>）类似，将已知渗透速率的六氟化硫渗透管置入动物瘤胃，使其以稳定低速率释放六氟化硫，且在奶牛的呼吸和换气过程中随甲烷一起排出。由于六氟化硫的排放速率已知，当测得六氟化硫和甲烷浓度后，就可计算出甲烷的排放速率。

6.2.1.2.2 设备与材料



## a) 六氟化硫渗透管制备。

——渗透管为一端封闭的小胶囊状不锈钢管或铜管。在用液态氮冷却状态下，注入六氟化硫，而后用特氟龙垫将开放端封闭，并用螺栓拧紧固定。

——将六氟化硫渗透管置于39℃恒温温箱中，使其平衡，并测定其渗透速率。一般需在六个周内，每周两次，反复准确称量渗透管重量，从而计算出单位时间内渗透管重量减少值，而后与测定时间相除，得出六氟化硫渗透速率，典型的渗透速率约为5mg每天。

## b) 气体采样器设计和使用。

——气体采样器根据安放部位不同有瓶式、轭式和鞍式。瓶式如气瓶悬挂于动物颈下，轭式如衣领佩戴于动物颈上，鞍式如马鞍驮于动物背部。

——气体采样器根据所需大小和形状，由PVC聚氯乙烯塑料或不锈钢制成。通过对其进行抽真空，形成容器内负压，起到抽气泵的作用，同时保存采集的气体样本。采样器容积一般为2-3L，其大小应能满足采样需求，并具有气密性，能承受真空。

——采样器应安装有密封阀，使用前，首先将采样器内抽真空，并将密封阀关好。

## c) 笼头和采样毛细管制备。

——采样器和动物鼻镜上方采样处之间由毛细采样管连接，毛细采样管需固定于笼头之上。毛细采样管的直径和长度取决于所要求的采样速率，典型的直径约为0.1mm左右。

——将一小块塑料泡沫或皮革垫固定在笼头缰绳的鼻子上方，作为采样线的固定点。采样线的进气口为一小塑料管，用以保护毛细采样管和流量调节器不被阻塞。进气口小塑料管应该装有过滤纱布，防止灰尘进入。同时管壁应有1mm直径小孔，以防止水珠进入气体采样线。

## d) 气相色谱仪。

按照HJ 604-2017 准备。

## 6.2.1.2.3 人员

a) 操作者应了解奶牛胃肠道甲烷排放监测基本知识和动物福利法案；

b) 操作者应能够熟练操作6.2.2.2中的仪器设备和配套电脑软件。

## 6.2.1.2.4 检测

a) 监测动物进行预饲准备；

b) 投置六氟化硫渗透管。

——检测开始前一周，将渗透管置入动物瘤胃，以便达到稳定状态。

——置入渗透管可以使用投药枪，采取与置入大药丸于瘤胃相类似的方法来完成。

——记录渗透管编号和对应的动物编号。

c) 采样器准备。

——检测开始前一天，将采样器抽真空，容器内相对真空度应大于90kPa。

——对于重复使用的气体采样器，使用完毕后，需用高纯氮气（>99.9%）在高压（约150 kPa）下冲洗3次，而后才可以重新使用。

——检测开始当天，应检查采样器内真空度。若真空度低于87kPa，则需弃用并进行气密性检查。

d) 气体采样器安装。

——将气体采样器安放于动物身上，并调试笼头和采样线。采样线的进气口应安放于动物口鼻处上方中间，接近或置于毛发与鼻镜分界处。

——除在动物身上安放气体采样器外，还需要同步设置至少两个气体采样器用来测定空气中的甲烷和六氟化硫浓度作为实验的对照组。若为室外放牧环境下，对照组气体采样器应置于上风向位置。若为室内舍饲环境下，对照组气体采样器应置于通风口处。

e) 采集动物气体排放数据。

---打开气体采样器密封阀,开始采集动物气体排放数据,并记录下开始采样的时间。

---气体采样时,毛细管内的空气流速应维持在0.45-0.55 mL/min之间,并确保采样器内压强在24小时连续采样后处于50-75kPa范围内。

---采样24小时后,将动物身上和环境对照组的气体采样器取下,并更换全新一套气体采样器进行第二天的气体样品采集。

---检测结束时,关闭气体采样器密封阀,并记录下结束采样的时间。同时,需要记录采样器编号和其所采实验动物编号。

---取下的气体采样器需要进行气压测定和记录。如果取样后的气体采样器内真空度高于75kPa或者不足50kPa,或者动物在实验过程中已将采样线严重破坏,均需重测,并更换和调试全新的采样系统。

---气体采样过程一般需要连续重复4天,以减少动物在不同时间段的个体差异。

f) 样品保存。

---收集完气体的采样器,在用气相色谱测定气体浓度之前,需冲入高纯氮气,使容器中压强达到约1.5个标准大气压。

---充入氮气后的采样器可以存放几天时间。但应尽快对采样器内气体浓度进行测定,以减少检测误差。。

g) 样品检测分析。

---采样器中的收集的甲烷和六氟化硫浓度用气相色谱进行分析,可参照HJ 604-2017执行。

---甲烷使用FID火焰离子检测器,色谱柱为1/8英寸PQ填充柱,长约1.5-2m。进气量为5mL。

---六氟化硫使用ECD电子俘获检测器,色谱柱为1/8英寸5A分子筛填充柱,长约2m。进气量为5mL。

#### 6.2.1.2.5 排放计算

甲烷排放量按式(2)计算。

$$\text{甲烷排放量 (L/d)} = Q_{\text{CH}_4} \text{ (L/h)} \times 24 \text{ (h/d)} \dots\dots\dots (2)$$

甲烷的排放速率按式(3)计算。

$$Q_{\text{CH}_4} = Q_{\text{SF}_6} \times [\text{CH}_4]/[\text{SF}_6] \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$Q_{\text{CH}_4}$ ---甲烷每小时以升为单位的排放速率 (L/h);

$Q_{\text{SF}_6}$ ---已知的 $\text{SF}_6$ 从渗透管中的释放速率(g/min);

$[\text{CH}_4]$ ---气相色谱仪测得的甲烷浓度;

$[\text{SF}_6]$ ---气相色谱仪测得的六氟化硫浓度。

#### 6.2.1.3 Greenfeed 法

##### 6.2.1.3.1 方法原理

本方法将奶牛精料电子饲喂站和高精度甲烷在线分析仪(非发散性红外线传感器,显示精度为PPM级)相结合,通过动物采食精料时间同时测定甲烷排放。系统融合了动物头部位置传感器,RFID动物耳

标读取器，自动下料装置，高精度甲烷在线分析仪，温度，湿度和气压传感器，动物采食监控摄像头以及Wi-Fi实时无线数据传输装置。

#### 6.2.1.3.2 设备与材料

a) Greenfeed仪器设备。包括食槽，颗粒饲料储料料斗，气体收集管路，气泵，气体流量计，空气滤清装置，动物头部位置传感器，RFID动物耳标读取器，自动下料装置，高精度甲烷在线分析仪系统（非发散性红外线传感器，显示精度为PPM级），温度，湿度和气压传感器，动物采食监控摄像头以及Wi-Fi实时无线数据传输装置。

b) 软件工作站。包括配套的电脑测定，记录和计算软件，网上在线用户界面，云端数据服务器和可以实时监控的手机应用客户端。

c) 电源转换器。可将120或240伏交流电源转换为12伏直流电源。

#### 6.2.1.3.3 人员

a) 操作者应了解奶牛胃肠道甲烷排放监测基本知识和动物福利法案；

b) 操作者应能够熟练操作6.2.2.2中的仪器设备和配套电脑软件。

#### 6.2.1.3.4 检测

a) 监测动物进行预饲准备；

b) Greenfeed系统准备。

——舍饲环境下，Greenfeed系统应安装在畜舍的一端，并在两边安装可拆卸畜栏，以限制每次仅一头动物进入采食。畜舍内通风设备需要打开，以保持环境中稳定的低甲烷水平。

——室外放牧环境下，Greenfeed系统应放置在靠近水槽的位置，以便增加动物进入系统测定的次数。Greenfeed仪器站上应安装有篷伞用来遮阳遮雨。在测定站两边应安装可拆卸畜栏，以限制每次进入系统测定的动物仅有一头。

——提前配制好的颗粒精饲料，存于Greenfeed料斗。料斗容积分为25kg和50kg两种规格，每次下料可精细控制在30g-50g之间。

——按需求确定每头动物每天所需的颗粒饲料量。

——通过Greenfeed自带的软件系统对下料次数和下料间隔进行设置。

——通过RFID耳标识别系统，控制下料，限制每头动物一天内最多可以访问4次Greenfeed测定站，并且两次访问间隔时间为至少4小时。通过这种方式将每头动物的4次甲烷测定时间平均分布到一天24小时内。

——Greenfeed系统可以自动识别动物RFID耳标，并带有动物头部位置传感器。当有动物进入系统采食时，系统自动记录动物身份信息信息和访问时间。并启动下料装置。

c) 甲烷分析仪调零和校准。

——打开Greenfeed系统中的甲烷分析仪预热后，往甲烷分析仪内通入高纯氮气（>99.9%）作为调零气体对分析仪进行清洗，直至读数稳定。若甲烷读数为零，则无需校正。若读数非零，则按下调零键，将甲烷浓度确认为零。

——往甲烷分析仪内通入已知浓度的甲烷标准气体作为校准气体。若分析仪显示读数与甲烷标准气体标示浓度一致，则无需校准。若分析仪显示读数与甲烷标准气体标示浓度不一致，则需进入分析仪校准界面，手动调高或调低仪器显示数值，直至其与标准气体标示浓度一致，而后按下确认键进行校准。

——调零和校准需每周进行一次。

d) Greenfeed系统气体回收率检验。

- 将已知浓度的甲烷标准气体通入Greenfeed系统,用高精度质量流量计控制并测定释放的甲烷气体的流速,用经过校准的Greenfeed甲烷分析仪连续测定24小时甲烷排放量。
- Greenfeed甲烷回收率 (%) = 甲烷标准气体实际测定排放量×100/甲烷标准气体释放量。
- 系统回收率应维持在95%-100%范围内, 否则应检修管道系统气密性和(或)调试分析仪器准确性。
- e) 实施气体检测
  - 监测动物进入Greenfeed系统,甲烷分析仪自动开始采样,测定动物呼出气体中的甲烷浓度。排气管道中的气体流量计记录气流速率。
  - 当动物离开Greenfeed系统,设备自动停止气体循环,结束一次甲烷测定过程。
  - 通常一次实验需要连续测定4-7天。以便系统充分捕捉24小时不同时间段内,每头动物的甲烷排放量。
- f) 数据收集统计分析。

6.2.1.3.5 排放计算

甲烷排放量按式(4)计算。

甲烷排放量(L/d)=  $[\sum(C_n-C_{An})/10^6 \times S_n \times (P_n)]/(P_1+P_2+\cdots P_n) \times 60(\text{min/h}) \times 24(\text{h/d})$ .....(4)

式中:

n---为第i头动物一天内测定数据的个数(通常为4次左右);

P---为每次测定时长(min)。

表2 表 2 Greenfeed 甲烷气体采样数据记录表

时间段 (min)	动物编号 i	动物 i 单次甲烷浓度 (C, ppm)	外界空气甲烷浓 度 (CA, ppm)	Greenfeed 气体流速 (S, L/min)
P <sub>1</sub>	i	C <sub>1</sub>	CA <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>
P <sub>2</sub>	i	C <sub>2</sub>	CA <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>
...	...	...	...	...

6.2.1.4 其他检测方法

其他检测方法依据其原理和检测流程进行。

6.2.2 总能采食量检测

动物总能采食量按照公式(5)计算。

总能采食量 (MJ/d) = 干物质采食量 (kg/d) × 总能含量 (MJ/kg) ..... (5)

6.2.2.1 干物质采食量检测方法

干物质采食量按照公式(6)计算。

干物质采食量(kg/d) = (日粮饲喂量(kg) - 日粮剩余量(kg)) × 日粮干物质含量(%) ..... (6)  
日粮干物质含量测定按GB T6435 规定执行。

### 6.2.2.2 总能检测方法

日粮制备成一定质量的测定试样，装于充有(25±5) kg·cm<sup>-2</sup>纯氧氧弹中进行燃烧。燃烧所产生的热量为氧弹周围已知质量的蒸馏水及热量计整个体系所吸收，并由贝克曼温度计读出水温上升的度数。该上升的温度乘以热量计体系和水的热容量之和，即可得出试样的燃烧热，即为总能。

## 7 结果计算与表示

### 7.1 结果计算

动物甲烷转化率按照公式(7)计算。

$Y_m = \text{甲烷能 (MJ/d)} / \text{总能采食量 (MJ/d)} \times 100\%$  ..... (7)

式中：

$Y_{m,i}$  ——第*i*种动物甲烷转化率，即采食饲料中总能转化成甲烷能的比例，单位为百分比(%)；

甲烷能按照公式(8)计算。

甲烷能 (MJ/d) = 甲烷排放量 (L/d) × 39.54KJ/L/1000 ..... (8)

### 7.2 结果表示

结果以动物甲烷转化率( $Y_{m,i}$ )，即采食饲料中总能转化成甲烷能的比例，进行表示，单位为百分比(%)。

## 8 质量保证和质量控制

奶牛胃肠道甲烷排放监测质量保证和质量控制工作，包括但不限于：

- 建立奶牛胃肠道甲烷排放监测规章制度，包括负责机构和人员、工作流程和内容、工作周期和时间节点等；指定专职人员负责奶牛胃肠道甲烷排放监测工作；
- 对现有监测条件进行评估，不断提高自身监测能力，并制定相应的监测计划，包括对专业技术人员的培训和监测技术的完善；定期对计量器具、检测设备和在线监测仪表进行维护管理，并记录存档；
- 建立健全奶牛胃肠道甲烷排放监测数据记录管理体系，包括样本信息、数据来源、数据获取时间及相关责任人等信息的记录管理；
- 建立监测内部审核制度，定期对监测数据进行交叉校验，对可能产生的数据误差风险进行识别，并提出相应的解决方案。

## 9 监测报告

奶牛胃肠道甲烷排放监测报告至少应包括以下内容：

- a) 基本信息：包括监测对象基本信息（动物品种、年龄、数量、健康状态、生产性能、养殖条件等）和监测机构信息（监测时间、地点、人员等）；
- b) 监测方法：报告中应明确检测方法；
- c) 数据收集：说明数据的来源、数据质量和为提高数据质量而采取的努力；
- d) 监测结果：应包括监测对象及其对应的动物甲烷排放量、甲烷转化率。

