

牛甲烷排放量的估测

冯仰廉 李胜利 赵广永 张晓明 莫放 韩继福

(中国农业大学动物科技学院, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要: 反刍动物甲烷排放量的研究主要是根据能量转化过程中甲烷能量损失量来确定饲料的代谢能和能量需要。但由于甲烷是温室气体的一种来源, 其排放量的增加致使全球气温升高。因此, 近些年来国内外学者对反刍动物甲烷排放量的估测越来越重视。研究方法大多根据反刍动物甲烷排放量的实测结果, 运用统计方法建立甲烷排放量的估测模型。本文重点介绍中国农业大学以瘤胃瘘管阉牛作为试验动物, 用大型自控呼吸测热室持续测定不同日粮在全消化道内甲烷排放量所得出的估测模型。根据《奶牛营养需要和饲料成分》(2007)中现有参数, 选用上述估测模型进行甲烷排放量的估测。其中, 由于我国存栏产奶奶牛的平均产奶量较低, 故估测的甲烷排放量为 96.29 kg/(头·a)。但日产奶量为 20 kg/头的奶牛其甲烷排放量估测值为 114.6 kg/(头·a)。此外, 本文还利用上述模型对我国肉牛、役牛和牦牛的甲烷排放量作了初步估测。

关键词: 牛; 甲烷排放量; 估测模型

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)01-0001-07

饲料在反刍动物消化道中被微生物发酵, 产生甲烷(CH₄)并排出体外。牛的甲烷能量损失量较大, 约占进食总能(GE)的6%^[1]或消化能(DE)的12%^[2]。以往对甲烷排放量的研究主要针对日粮消化代谢过程中的甲烷能量损失, 为饲料能量价值评定和提高能量转化效率提供依据。但甲烷是重要的温室气体来源, 其排放量的增加致使全球气温升高。估计全世界家畜年排放甲烷量约8 000万 t, 其中牛的甲烷排放量约占73%^[3](表1)。可见, 甲烷的最大生物源是来自反刍动物消化道发酵^[3]。因此, 近年来反刍动物甲烷排放量的估测越来越被国内外学者所关注。

1 甲烷排放量的估测模型

牛甲烷排放量的测定主要采用呼吸测热室持续完整地收集从消化道排出的甲烷, 并测定其排放量; 也可用头罩法, 但只能收集到从瘤胃排出的甲烷。对于放牧饲养的动物, 甲烷排放量的测定

则主要采用示踪法, 如同位素法、六氟化硫(SF₆)法等^[5]。根据个体动物甲烷排放量的实测结果, 运用统计方法建立甲烷排放量的估测模型。

1.1 Blaxter 模型

早在1962年, 英国 Hannah 研究所的 Blaxter^[6]用呼吸测热室测定牛和绵羊的甲烷排放量, 得到以下模型:

$$\text{粗饲料日粮的甲烷能(kcal/100 kcal 日粮)} = 4.28 + 0.059D;$$

$$\text{颗粒料日粮的甲烷能(kcal/100 kcal 日粮)} = 6.05 + 0.020D。$$

式中: D 为动物维持能量水平下的日粮干物质消化率; 1 kcal = 4.184 kJ。

1.2 Moe 和 Tyrrell 模型

美国农业部的 Moe 和 Tyrrell^[7]用呼吸测热室测定牛的甲烷排放量, 得出日粮碳水化合物与甲烷排放量关系的模型:

甲烷能 (MJ/d) = 3.41 + 0.51NFC +
1.74HC + 2.65C。
式中: NFC 为非纤维碳水化合物 (kg/d); HC

为半纤维素 (kg/d); C 为纤维素 (kg/d); NFC 根据公式 $NFC(\%) = 100 - (\text{粗蛋白质} + \text{粗脂肪} + \text{灰分} + \text{中性洗涤纤维})$ 计算而来。

表 1 全世界不同来源的甲烷排放量估测

Table 1 Estimation of methane emission of the principal natural and anthropogenic global methane sources^[4] Tg/a

来源 Sources	排放量 Emission	来源 Sources	排放量 Emission	来源 Sources	排放量 Emission
天然 Nature		燃料/废弃物 Energy/refuse		农业 Agriculture	
湿地 Wetland	115	燃气和石油 Gas and oil	50	水稻 Rice	60
海洋 Ocean	15	煤 Coal	40	家畜 Livestock	80
白蚁 Termites	20	木炭 Charcoal	10	厩肥 Manure	10
燃烧 Burning	10	填地 Landfills	30	燃烧 Burning	5
		废水 Wastewater	25		
合计 Total	160	合计 Total	155	合计 Total	155

1 Tg = 100 万 t = 1 million metric tons.

1.3 Molly 模型

美国加州大学 Davis 中心的 Kebreab 等^[3]提出了牛瘤胃甲烷排放量较复杂估测模型,以氢平衡为基础,瘤胃发酵过剩的氢被用于形成甲烷。

1.4 法国 INRA 模型

法国农科院 (Institut National de Recherche Agronomique, INRA) 的 Vermorel 等^[8]提出的甲烷排放量估测方法是根据法国《反刍动物营养推荐量和饲料表》(Ruminant nutrition: recommended allowances and feed tables, 1989) 所采用的净能体系中的所需净能量,推算出代谢能 (ME) 给量和代谢能的甲烷排放量模型:

$$\text{奶牛的甲烷能 (MJ/d)} = 8.25 + 0.07(\text{ME, MJ}), \\ R^2 = 0.55, n = 20;$$

$$\text{肉用牛的甲烷能 (MJ/d)} = 0.38 + \\ 0.123(\text{ME, MJ}), R^2 = 0.64。$$

1.5 IPCC 模型

政府间气候变化委员会 (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC)^[4]的甲烷估测方法是将饲料在消化道内发酵分成 3 个水平进行估测。用进食 GE [MJ/(头·d)] 去估测甲烷的排放量。对中等生产水平的奶牛,甲烷排放量为 GE 的 (6.5 ± 1.0)%; 对肥育肉牛,甲烷排放量为 GE 的 (3.0 ± 1.0)%。饲料进食量根据体重、产奶量、日增重确定。高产奶牛平均产奶量为 8 400 kg/(头·a), 其甲烷排放量为 121 kg/(头·a)。肥育肉牛甲烷排放量为 53 kg/(头·a)。用进食

量 GE 去评定甲烷排放量,会由于 GE 在消化道的消化率变异很大而造成误差。

1.6 中国农业大学模型

中国农业大学 (China Agricultural University, CAU) 以成年阉牛作为试验动物,采用拉丁方试验设计,用大型自控呼吸测热室持续测定了不同日粮在全消化道内甲烷排放量^[2,9-11]。由于日粮主要在瘤胃发酵过程中产生甲烷,故瘤胃可发酵有机物质 (FOM) 与甲烷排放量呈显著相关性。此外,因瘤胃 FOM 是《奶牛营养需要和饲料成分》(2007) 中列出的重要参数,故能比较方便地用进食的 FOM 作为估测甲烷排放量的基础,但甲烷排放量受瘤胃可发酵中性洗涤纤维/可发酵有机物质比值 (FNDF/FOM) 或中性洗涤纤维/有机物质比值 (NDF/OM) 的影响,故得出以下模型:

$$\text{甲烷排放量 (L/FOM, kg)} = 60.456 2 + \\ 0.296 7(\text{FNDF/FOM, \%}), R = 0.984 2, n = 8 \quad (1)$$

式中: 日粮的 FNDF/FOM 覆盖范围为 21.54% ~ 91.06%, 包括日粮的精粗料比值范围 (0:100) ~ (75:25) 及粗饲料的不同加工细度; n 为 8 种日粮, 这 8 种日粮的甲烷平均排放量为 (81.13 ± 8.96) (L/FOM, kg)。

在缺少 FNDF/FOM 参数时,亦可用以下模型去估测:

$$\text{甲烷排放量 (L/FOM, kg)} = 48.129 0 + \\ 0.535 2(\text{NDF/OM, \%}), R = 0.967 5, n = 8 \quad (2)$$

因甲烷是在全消化道中由饲料消化产生的,不同日粮的呼吸测热室测定甲烷能/DE 平均值为 $(11.71 \pm 1.60)\%$ 。而 DE 是饲养标准中常列的参数,容易查阅。甲烷能/DE 与 FNDF/FOM 或 DE/GE 呈线性相关,得到以下模型:

$$\text{甲烷能/DE}(\%) = 8.6804 + 0.0373(\text{FNDF}/\text{FOM}, \%), R = 0.9845, n = 8 \quad (3)$$

$$\text{甲烷能/DE}(\%) = 17.3437 - 0.1086(\text{DE}/\text{GE}, \%), R = -0.9363, n = 8 \quad (4)$$

式中:DE/GE 覆盖范围为 $49.03\% \sim 74.3\%$ 。

牛对 23 种不同日粮的呼吸测热室测定甲烷能/DE 的平均值为 $(11.71 \pm 1.60)\%$ 。虽然个体牛的甲烷排放量能用呼吸测热室持续测定,但对牛群体的甲烷排放量则只能用甲烷排放模型进行估测。为估测的方便和准确起见,对排放模型的选择可与饲养标准中现有参数相对应。

2 我国不同种类牛甲烷排放量的估测

据《中国畜牧业年鉴》(2010)^[12]统计,2009 年我国存栏奶牛 1 260.3 万头、肉牛 5 918.8 万头、役牛 2 631.5 万头、牦牛 917.0 万头。现用上述中国农业大学模型分别对该 4 类牛的甲烷排放量进行估测。

2.1 奶牛甲烷排放量的估测

因存栏奶牛包括成年奶牛和生长奶牛,本文对其甲烷排放量分别进行了估测。存栏奶牛年甲烷排放量总计为 93.331 4 万 t。

2.1.1 成年奶牛甲烷排放量的估测

由于《奶牛营养需要和饲料成分》(2007)采用的是产奶净能体系,而产奶净能评定的基础是消化能,饲料成分表中列有 GE 和 DE,故对群体奶牛的甲烷排放量的估测选用上述中国农业大学模型。2009 年我国存栏奶牛 1 260.3 万头,其中成年奶牛约占存栏数的 60%,为 756.2 万头。成年奶牛平均年产奶量 4 804.6 kg,日平均产奶量 13.16 kg^[13]。

根据我国奶牛饲养标准,600 kg 体重奶牛维持需要 43.10 MJNEL(产奶净能),NEL/DE 按平均值 0.56 计算,则 $43.1/0.56 = 76.96$ MJDE^[14];日产奶 13.16 kg 需要 38.56 MJNEL,则 $38.56/0.56 = 68.86$ MJDE,那么总需要为 145.82 MJDE/(头·d)。日粮中精料:粗料 = 50:50,则 DE/GE 平均值为 67.36% ^[9],用中国农

业大学模型式(4)计算,则

甲烷能/DE = $17.3437 - 0.1086 \times 67.36\% = 10.03\%$;甲烷能 = 145.82 MJDE/(头·d) $\times 0.1003 = 14.63$ MJ/(头·d)。因 1 L 甲烷 = 39.75 kJ = 0.71682 g^[6],故甲烷排放量 = 14.63 [MJ/(头·d)]/ 0.03975 MJ = 368 L/(头·d);甲烷排放量 = 368 L/(头·d) $\times 0.00071682$ kg = 0.2638 kg/(头·d);甲烷排放量 = 0.2638 kg/(头·d) $\times 365$ d = 96.29 kg/(头·a);成年奶牛总头数甲烷排放量 = 0.09629 t/(头·a) $\times 756.2$ 万头 = 72.8145 万 t/a。

2.1.2 生长奶牛甲烷排放量的估测

生长奶牛头数按存栏奶牛 1 260.3 万头的 40% 估算,则有 504.1 万头。由于难以统计出不同体重的头数,故按平均体重 250 kg、平均日增重 700 g 估算,日需产奶净能 34.56 MJ,或 61.71 MJDE,精料:粗料 = 50:50,则 DE/GE 平均值为 67.36%,用中国农业大学模型式(4)计算:甲烷能/DE 为 10.03%;甲烷能 = 61.71 MJDE $\times 0.1003 = 6.19$ MJ/(头·d);甲烷排放量 = 156 L/(头·d) = 0.1116 kg/(头·d) = 40.73 kg/(头·a);生长奶牛总头数甲烷排放量 = 0.0407 t/(头·a) $\times 504.1$ 万头 = 20.5169 万 t/a。

2.2 肉牛甲烷排放量的估测

2009 年存栏肉牛 5 918.8 万头^[12],其中适繁母牛和生长肥育牛各按 50% 估算,均为 2 959.4 万头。肉牛总头数甲烷排放量估测为 283.987 7 万 t/a。

2.2.1 适繁母牛甲烷排放量的估测

平均体重按 450 kg,维持需要 34.73 MJNEL/(头·d)或 62.02 MJDE/(头·d),哺乳需 7.85 MJ/(头·d)或 14.02 MJDE/(头·d),总共需要 42.58 MJNEL/(头·d),这相当于 76.04 MJDE/(头·d)^[14]。由于粗饲料的质量较差且占日粮的比例较高,故 DE/GE 平均值为 57%。用中国农业大学模型式(4)计算,维持的甲烷排放量为:甲烷能/DE = $17.3437 - 0.1086 \times 57\% = 11.15\%$;甲烷能 = 62.02 MJDE/(头·d) $\times 0.1115 = 6.9152$ MJ/(头·d);甲烷排放量 = 174 L/(头·d) = 0.1247 kg/(头·d) = 45.52 kg/(头·a)。

泌乳母牛的甲烷排放量为 0.1527 kg/(头·d),

头数按适繁母牛的70%计算,即2 071.6万头,其总头数甲烷排放量为115.461 7万 t/a;非泌乳母牛约为887.82万头,其甲烷排放量为45.52 kg/(头·a),总头数甲烷排放量为40.413 6万 t/a。那么,适繁母牛总头数甲烷排放量 = 115.461 7万 t/a + 40.413 6万 t/a = 155.875 3万 t/a。

2.2.2 生长肥育牛甲烷排放量的估测

生长肥育牛按平均体重250 kg、日增重600 g,需综合净能26.44 MJ/(头·d)^[15],肉牛饲料消化能对维持和增重的综合效率(Kmf)平均为0.45。DE = 26.44 MJ/(头·d)/0.45 = 58.76 MJ/(头·d),日粮DE/GE平均值为57%,用中国农业大学模型(4)计算:甲烷能/DE为11.19%;甲烷能 = 58.76 MJ/(头·d) × 0.111 9 = 6.57 MJ/(头·d);甲烷排放量 = 165.57 L/(头·d) = 0.118 6 kg/(头·d) = 43.29 kg/(头·a) = 0.043 29 t/(头·a);生长肥育牛约占总肉牛的50%,为2 959.4万头,其总头数甲烷排放量为128.112 4万 t/a。

2.3 役牛甲烷排放量的估测

2009年我国有役牛2 631.5万头^[13]。平均体重按300 kg,役量294 kg/km^[16]。进食量ME 52.93 MJ/d^[16],相当于64.55 DEMJ。用中国农业大学模型(4)计算:甲烷能/DE为11.19%;甲烷能 = 64.55 DEMJ × 0.111 9 = 7.22 MJ/(头·d);甲烷排放量 = 182 L/(头·d) = 0.136 5 kg/(头·d) = 49.82 kg/(头·a);其总头数甲烷排放量为131.107 9万 t/a。

2.4 牦牛甲烷排放量的估测

2009年我国有牦牛917.0万头^[12]。据青海省统计,适龄母牛占34%,生长牛占32%,公阉牛占34%^[17]。饲养方式以放牧为主^[17]。其总头数甲烷排放量为33.381 1万 t/a。

2.4.1 适繁母牦牛甲烷排放量的估测

适繁母牦牛有311.8万头,平均体重256 kg,日进食牧草干物质5 kg^[17],牧草干物质的消化能为10 MJ/kg,则:日进食DE = 5 kg × 10 MJ/kg = 50 MJ;甲烷能/DE为11.19%,则:甲烷排放量 = 50 MJ × 0.111 9 = 5.60 MJ/(头·d) = 140.88 L/(头·d) = 0.101 kg/(头·d) = 36.865 kg/(头·a);其总头数甲烷排放量 = 0.036 86 t/(头·a) × 311.8万头 = 11.492 9万 t/a。

2.4.2 成年公阉牦牛甲烷排放量的估测

成年公阉牦牛有311.8万头,平均体重408 kg,日进食牧草干物质6 kg^[17],牧草干物质的DE为10 MJ/kg,则:日进食DE = 6 kg × 10 MJ/kg = 60 MJ;甲烷能/DE = 11.19%,则:甲烷排放量 = 60 MJ × 0.111 9 = 6.714 MJ/(头·d) = 168.91 L/(头·d) = 0.121 kg/(头·d) = 44.165 kg/(头·a);成年公阉牦牛总头数甲烷排放量 = 0.044 17 t/(头·a) × 311.8万头 = 13.772 2万 t/a。

2.4.3 生长牦牛甲烷排放量的估测

生长牦牛有293.4万头,按平均体重145 kg,日进食牧草干物质2.7 kg^[17],牧草干物质的DE为10 MJ/kg,则:日进食DE = 2.7 kg × 10 MJ/kg = 27 MJ/头;甲烷能/DE = 11.19%,则:甲烷排放量 = 27 MJ/头 × 0.111 9 = 4.140 3 MJ/(头·d) = 104.16 L/(头·d) = 0.074 7 kg/(头·d) = 27.265 5 kg/(头·a);生长牦牛总头数甲烷排放量 = 0.027 66 t/(头·a) × 293.44万头 = 8.116 万 t/a。

2.5 我国牛甲烷排放量的估测汇总

对我国2009年牛甲烷排放量的估测进行汇总,见表2。

3 牛甲烷排放量估测的国内外比较

法国是欧洲的养牛大国,据法国农科院统计^[8],2007年法国牛存栏2 051.4万头(不包括犊牛肉生产),其中成年奶牛有379.9万头,占20.2%,而我国成年奶牛头数仅占牛总头数的7%。法国的肉用母牛和生长肥育牛占牛总头数的78.5%,而我国肉牛占牛总头数的55.2%。因此,法国牛进食的ME或DE较高,从而导致法国农科院估测的总存栏牛甲烷平均排放量为68.1 kg/(头·a),高于我国估测的50.5 kg/(头·a)(表3)。

由于我国产奶牛的平均产奶量较低,故日粮进食DE低于法国牛的日粮进食量DE,使甲烷排放量较低。但我国产奶量为20 kg/(头·d)的奶牛,按日进食有机物质13.5 kg,瘤胃发酵率40%估算,则FOM为5.4 kg/(头·d)。按中国农业大学用瘻管牛呼吸测热室的平均测定结果81.13 (L/FOM,kg)计算^[2]:甲烷的排放量 = 5.4 kg/(头·d) × 81.13 (L/FOM, kg) =

438 L/(头·d) = 0.314 kg/(头·d) = 114.6 kg/(头·a)。该估测结果与法国农学院的估测结果 117.7 kg/(头·a) 相似^[8,18]。中国农业大

学估测的生长肥育牛甲烷排放量与法国农学院估测的相似,分别为 43.3 和 43.0 kg/(头·a)。

表 2 2009 年我国牛甲烷排放量的估测汇总

Table 2 Emission of methane by cattle in China in 2009

项目 Items	总头数 Total number/ 万头	甲烷排放量 Emission of methane		
		日排放量 Day emission/(kg/头)	年排放量 Year emission/(kg/头)	总头数年排放量 Total emission/万 t
成年奶牛 Dairy cow	756.2	0.263 8	96.290	72.814 5
生长奶牛 Dairy heifer	504.1	0.111 6	40.730	20.516 9
肉牛 Beef cattle*	5 918.8	0.122 0	47.980	283.987 7
役牛 Draught cattle	2 631.5	0.136 5	49.820	131.107 9
牦牛 Yak	917.0	0.099 7	36.370	33.381 1
平均值 Mean value		0.138 4	50.516	
合计 Total	10 727.6			541.808 1

* 包括适繁母牛和生长肥育牛。Including beef cows and growing finishing beef cattle.

表 3 我国与法国牛甲烷排放量估测的比较

Table 3 Comparison of the estimation for methane emission by cattle between China and France

项目 Items	中国农业大学 CAU ^[2]	法国农科院 INRA ^[8]
成年奶牛甲烷排放量 Methane emission of dairy cows		
产奶量 Milk yield/[kg/(头·d)]	13.16	17.26
日排放量 Day emission/(kg/头)	0.263 8	0.322 5
年排放量 Year emission/(kg/头)	96.287	117.700
每千克奶产甲烷量 Methane emission per kg milk/(kg/kg milk)	0.020 00	0.018 68
生长奶牛甲烷排放量 Methane emission of dairy heifers		
日排放量 Day emission/(kg/头)	0.111 6	0.114 8
年排放量 Year emission/(kg/头)	40.73	41.90
生长肥育牛甲烷排放量 Methane emission of growing finishing cattle		
日排放量 Day emission/(kg/头)	0.118 6	0.117 8
年排放量 Year emission/(kg/头)	43.3	43.0
所有牛的甲烷排放量 Methane emission by total cattle		
年平均排放量 Mean of year emission/(kg/头)	50.5	68.1
总头数 Total number/万头	10 727.6	2 051.4
总头数年排放量 Total emission/万 t*	541.8	127.7

* 不包括犊牛肉生产。Exclude veal calves.

加拿大农业和食品研究中心的 Beauchemin 等^[18]对 16 头产奶牛用呼吸室进行了 4 种日粮的甲烷排放量测定试验,在牛平均体重为(619.0 ± 2.9) kg、产奶量(23.70 ± 0.39) kg/(头·d)、日粮干物质进食量(18.30 ± 0.54) kg、日粮有机物质消化率 64.3% ~ 52.0% 的条件下,甲烷排放量为 293 ~ 241 g/(头·d),与表 3 中中国农业大学和法国农学院估测的甲烷排放量相似。对产奶量

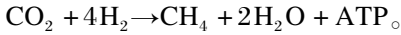
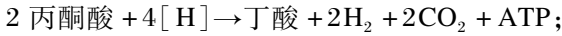
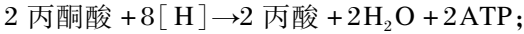
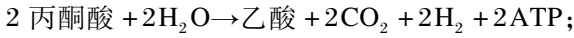
为 14.5 kg/(头·d)、体重为 590 kg、日干物质进食量为 16.8 kg 的美国奶牛甲烷排放量估测,结果为 278 g/(头·d)^[19],亦与表 3 的结果相似。

4 影响牛甲烷排放量的因素

4.1 碳水化合物发酵

甲烷由碳水化合物在瘤胃中被微生物发酵产生的 CO₂ 和 H₂ 所合成。碳水化合物在瘤胃中发

酵产生丙酮酸,继而由丙酮酸产生各种挥发性脂肪酸(VFA)、 H_2 及 CO_2 ,反应式如下:



可根据瘤胃发酵产生的VFA去估测甲烷产生量,但这种估算方法的主要缺点是仅根据己糖的发酵计算产生量,而未对戊糖的发酵进行计算。此外,假定发酵产生的氢全部被转化为甲烷,而忽略瘤胃中氢化不饱和脂肪酸所消耗的氢和其他途径消耗的氢,那么将高估甲烷的产生量。

从上述反应式可见,当发酵产生的VFA中乙酸比例较高时,相应的氢量亦较高,从而使甲烷的产生量相应增加。因此,丙酸与乙酸的比例是影响甲烷产生量的重要因素。饲料的NDF在瘤胃发酵会产生较高的乙酸与丙酸的比例,故导致产生较多的甲烷。因此,中国农业大学用呼吸测热室法测定牛的甲烷排放量,试验结果得出了FNDF/FOM和甲烷(L/FOM)高度相关($R=0.9842$)的线性模型式(1)。

4.2 饲料加工

粉碎或颗粒的粗饲料会降低甲烷产生量,但当限量饲喂时,这种降低效果则不明显^[20]。据中国农业大学^[2]研究表明,在维持饲养条件下,羊草的工细度(分别为7.5、15.0和35.0 mm)和长草的 CH_4 /FOM相同(分别为88.93、86.90、88.14和88.03 L/kg)^[9]。

由于高淀粉精饲料的瘤胃发酵率很高,虽然其FOM的甲烷产生量较低,但在不影响对微生物供能的情况下,特别是对肉用牛,可采用过瘤胃淀粉技术,减少其在瘤胃中发酵,使更多的淀粉在小肠中消化,以降低甲烷产生量并提高能量转化效率。

4.3 添加脂肪

对反刍动物添加不饱和脂肪酸含量高的脂肪会降低甲烷的产生,其主要原因是瘤胃不饱和脂肪酸的生物氢化作用会消耗氢^[21]。

4.4 添加离子载体

莫能菌素是常用的抑制甲烷菌的离子载体,已被用作抑制甲烷产生的添加剂。但研究表明其抑制甲烷产生的效果是暂时的,在2周内又恢复到原来的甲烷产生量^[1]。

4.5 降低每单位奶量的甲烷产生量

牛在维持饲养水平下仍有甲烷排放,体重600 kg牛的维持甲烷排放量估测为7.29 MJ/(头·d),表明每千克产奶量的甲烷排放量随产奶量的提高而下降,因此,积极意义的甲烷排放量调控应着眼于降低每千克奶的甲烷排放量。目前,我国奶牛的平均产奶量较低,需提高单产而降低存栏头数。从表2估测的甲烷排放量可见,日产奶量为13.16 kg的奶牛甲烷排放量为0.2658 kg/(头·d),其每产1 kg奶的甲烷排放量为19.2 g,但日产奶量为20 kg时,则每产1 kg奶所产生的甲烷仅为15.7 g^[11]。因此,提高奶牛的单产会降低产奶的甲烷排放量,这是更为积极的甲烷减排措施。目前,我国奶牛的平均单产较低,提高单产有很大潜力,这不仅能提高饲料转化效率,同时能降低产奶的甲烷排放量。

4.6 粪便处理

牛排泄的粪便中仍含有大量的有机物质,其中碳水化合物还会继续发酵而排放甲烷。我国正在推广应用沼气池发酵产生并收集沼气用作农村燃料,这不仅减少了甲烷的排放,还节约了大量燃煤,而发酵的残余物可再用作肥料和改良土壤。

参考文献:

- [1] JOHNSON K A, JOHNSON D E. Methane emissions from cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(8):2483-2492.
- [2] 冯仰廉. 反刍动物营养学[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- [3] KEBREAB E, JOHNSON K A, ARCHIBEQUE S L, et al. Model for estimating enteric methane emissions from United States dairy and feedlot cattle [J]. *Journal of Animal Science*, 2008, 86(10):2738-2748.
- [4] IPCC. The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment [M]. New York: Cambridge University Press, 1992.
- [5] GRAINGER C, CLARKE T, MCGINN S M, et al. Methane emission from dairy cows measured using the sulfur hexafluoride (SF_6) tracer and chamber techniques [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(6):2755-2766.
- [6] BLAXTER K L. The energy metabolism of ruminants [M]. London: Hutchinson, Scientific and Technical, 1962.

- [7] MOE P W, TYRRELL H F. Methane production in dairy cattle[J]. *Journal of Dairy Science*, 1979, 62 (10):1583 - 1586.
- [8] VERMOREL M, JOUANY J P, EUGÈNE M, et al. Evaluation quantitative émissions de méthane entérique par les animaux d'élevage en 2007 en France[J]. *INRA Production Animals*, 2008, 21 (5):403 - 418.
- [9] 韩继福. 粗饲料加工细度和日粮结构对肉牛能量代谢及消化规律的研究[D]. 博士学位论文. 北京:北京农业大学,1995.
- [10] 李爱科. 肉牛对低质粗饲料能量转化效率的研究[D]. 博士学位论文. 北京:北京农业大学,1990.
- [11] 冯仰廉. 提高农村奶牛饲料利用效率及甲烷排放量的估测[C]//饲料营养研究进展论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2010.
- [12] 中国畜牧业年鉴编辑委员会. 中国畜牧业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2010.
- [13] 刘成果. 中国奶业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [14] 冯仰廉,陆治年. 奶牛营养需要和饲料成分[M]. 北京:中国农业出版社,2007.
- [15] 冯仰廉. 肉牛营养需要和饲养标准[M]. 北京:中国农业大学出版社,2000.
- [16] FENG Y L. The use of draught cattle for rice cultivation in China[J]. *International Rice Commission Newsletter*, 1984, 2:30 - 34.
- [17] 刘海波,贲正坤,雷焕章,等. 中国牦牛学[M]. 成都:四川科学技术出版社,1989.
- [18] BEAUCHEMIN K A, MCGINN S M, BENCHAAAR C, et al. Crushed sunflower, flax, or canola seeds in lactating dairy cow diets: effects on methane production, rumen fermentation, and milk production[J]. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92 (5): 2118 - 2127.
- [19] WESTBERG H, LAMB B, JOHNSON K A, et al. Inventory of methane emissions from U. S. cattle [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2001, 106 (12):12633 - 12642.
- [20] BLAXTER K L. Energy metabolism in animals and man[M]. New York: Cambridge University Press, 1989.
- [21] CZERKAWSKI J W. An Introduction to rumen studies[M]. New York: Pergamon Press, 1986.

Estimation of Methane Emissions by Cattle in China

FENG Yanglian LI Shengli ZHAO Guangyong ZHANG Xiaoming MO Fang HAN Jifu

(State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology,
China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: The assessment of methane emissions by cattle were generally for the study of energy metabolism, but the methane is one of the major sources of anthropogenic greenhouse gas emission in the world and we should pay more attention to estimate the methane emissions with the models by former research results of energy metabolism in cattle with different diets using automated respiration large chambers sited in China Agricultural University (CAU). The required parameters for calculation could be searching in *nutritional allowances and feed composition for dairy cattle* (2007). Methane emissions have been assessed using the CAU model. The emission averaged 92.29 kg CH₄/cow/year with lower milk yield, but the emission of the higher yielding herd with 20 kg milk/cow/day was 114.6 kg CH₄/cow/year. The methane emissions of draught cattle and yaks were also assessed by the CAU models. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(1):1-7]

Key words: cattle; methane emission; models for evaluation