

# 反刍动物甲烷排放预测模型研究现状

樊 霞<sup>1</sup>, 董红敏<sup>2</sup>, 韩鲁佳<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业科学院环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

**摘 要:** 作为大气中一种重要的温室气体, 甲烷产生的温室效应已日益引起人们的关注, 而反刍动物是甲烷最大的人为排放源之一。该文就国内外对反刍动物甲烷排放预测模型的有关研究进行了分析和综述, 主要对反刍动物甲烷排放预测的经验模型和机理模型进行了分析比较。最后, 结合中国国内当前关于甲烷排放研究的实际情况, 对中国反刍动物甲烷排放需进一步研究的问题进行了探讨。

**关键词:** 反刍动物; 甲烷排放; 预测模型

中图分类号: S811

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)04-0250-05

## 0 引言

甲烷 (Methane, CH<sub>4</sub>) 是一种仅次于二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 的温室气体。虽然甲烷在大气中的含量远低于 CO<sub>2</sub>, 但其温室效应是 CO<sub>2</sub> 的 21 倍, 因此甲烷对全球气候变暖的效应占到了 15% ~ 20%<sup>[1]</sup>。近百年来, 甲烷每年正以 0.9% 的速度持续增长<sup>[4]</sup>。甲烷的主要来源有湿地、稻田和反刍动物。

反刍动物排放甲烷的机理是: 反刍动物瘤胃内的甲烷菌, 以微生物作用产生的氢和二氧化碳为基质合成甲烷, 但甲烷不被动物机体利用而通过暖气排出体外<sup>[3]</sup>。据资料介绍, 反刍动物在能量代谢过程中因产生甲烷而消耗的饲料能量约为 2% ~ 12%<sup>[4]</sup>。采食量和饲料质量是反刍动物排放甲烷最重要的影响因子<sup>[5]</sup>。因此, 有效地控制和减少反刍动物甲烷的排放量, 不仅能提高反刍动物对饲料的利用率和转化率, 提高生产率, 还有利于减轻甲烷产生的温室效应, 达到环境和经济的双重效益。

测定反刍动物甲烷排放量的方法主要有三大类: 呼吸代谢箱测定法<sup>[6]</sup>、示踪物测定法<sup>[7-13]</sup>和间接测定法。另外, 甲烷同位素测定技术正在被考虑应用于测定反刍动物甲烷排放量。

由于在世界各国家畜饲养业中, 牛和羊等反刍动物的饲养数量占有重要的位置, 因此目前对反刍动物甲烷排放量的研究, 主要集中在对牛和羊甲烷排放量的研究上, 人们试图通过大量相关的试验研究, 探索反刍动物的甲烷排放规律, 研究预测甲烷排放量的模型, 为控制甲烷排放提供依据。本文就目前该领域的研究现状作一阐述, 为在中国进一步开展甲烷排放预测模型的研究提供参考, 也为控制中国的反刍动物甲烷排放提供理论依

据。

## 1 甲烷排放量的预测模型

分析大量文献资料发现, 甲烷排放量的预测模型既有根据大量的测定数据结合能量平衡的原理建立的经验回归模型, 也有从营养代谢的角度建立的机理模型。

### 1.1 经验模型

国内外许多研究人员利用实际试验测量所得到的数据进行分析, 摸索出了反刍动物甲烷排放规律, 如: 美国马里兰州农业研究中心动物营养代谢研究室的研究证实, 在供给同一种饲料的情况下, 动物不同品种、年龄和性别的甲烷排放率相似, 摄入食物总能与甲烷排放损失能量成正比关系。在得到规律的基础上建立了关于预测甲烷排放的经验模型。

#### 1) 基于饲料组成的经验模型

国外对反刍动物甲烷排放预测经验模型的研究开展得较早, 主要的研究结果有:

Kriss<sup>[14]</sup>于 1930 年对 24 头牛 (包括 4 头母牛和 20 头公牛) 进行了试验, 对饲料组成中的干物质含量和动物所产生的热能进行了研究。在研究的过程中, Kriss 由得到的 131 组数据发现每头牛甲烷产量与干物质摄入量之间存在着一种线性关系

$$\text{CH}_4 (\text{g/d}) = 18 + 22.5 \times \text{DMI} \quad R^2 = 0.94$$

式中 DMI——干物质摄入量, kg/d; CH<sub>4</sub>——甲烷产量, g/d。

Axelsson 在 1949 年<sup>[15]</sup>发现牛的甲烷排放量可由以下模型预测:

$$\text{CH}_4 (\text{g/d}) = -37.47 + 47.71 \times \text{DMI} - 1.90 \times \text{DMI}^2 \quad R^2 = 0.78$$

式中 DMI——干物质摄入量, kg/d。

以上两个模型均为早期的经验公式, 主要考虑的影响因子是干物质摄入量 (DMI), 在后来的研究中逐步增加了饲料的一些特性参数。

美国农业部动物科学研究所的 Moe 和 Tyrell 等人于 1979 年对 404 头荷斯坦种乳牛进行了研究<sup>[16]</sup>, 利用开放式呼吸代谢箱对牛的甲烷排放量进行了测定, 经回归分析得到预测奶牛的甲烷排放量模型:

收稿日期: 2003-03-31 修订日期: 2004-03-24

基金项目: 联合国开发计划署和全球环境基金 (UNDP/GEF) 资助项目“反刍动物温室气体排放”

作者简介: 樊霞 (1977-), 女, 博士生, 北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学工学院农业工程系, 100083

通讯作者: 董红敏, 女, 研究员, 北京 中国农业大学科学院环境与可持续发展研究所, 100081

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 61.74 + 9.25\text{NDS} + 31.48\text{Hemi} + 48.01\text{Cel} \quad R^2 = 0.67$$

式中 NDS——摄入的中性洗涤可溶物, kg/d; Hemi——摄入的半纤维素, kg/d; Cel——摄入的纤维素, kg/d。

以上方程中的可变参数均为动物的采食量, 在此基础上, Moe 和 Tyrell 等人总结出了由消化量来预测甲烷排放量的模型:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 33.30 + 20.71\text{NDS} + 38.83\text{Hemi} + 105.66\text{Cel} \quad R^2 = 0.73$$

式中 NDS——可消化中性洗涤可溶物, kg/d; Hemi——可消化半纤维素, kg/d; Cel——可消化纤维素, kg/d。

分析结果表明由摄入的中性洗涤可溶物、半纤维素和纤维素的量和可消化的中性洗涤可溶物、半纤维素和纤维素的量均可以预测动物的甲烷排放量, 而前一个预测模型虽然其中的决定系数 ( $R^2 = 0.67$ ) 不及后一个预测模型的决定系数 ( $R^2 = 0.73$ ) 大, 但其自变量为各成分的摄入量, 该参数相对于后一个预测模型中各成分的可消化量而言更容易获得, 故前一个模型更具可行性。

此模型被认为是诸多甲烷排放量预测模型中最好的模型。1996年, 澳大利亚国家温室气体清单委员会 (NGGIC) 曾应用该模型对牛的甲烷排放进行了预测, 取得了较好的结果<sup>[12]</sup>。

Kirchessner 等人于 1991 年<sup>[17]</sup>在经过对 60 头肉牛的营养代谢试验的大量数据研究后分析得出了回归模型:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 0.76 + 1.03\text{CF} + 0.13\text{NFE} + 0.35\text{CP} - 0.81\text{EE} \quad R^2 = 0.69$$

式中 CF——粗纤维摄入量, kg/d; NFE——无氮浸出物摄入量, kg/d; CP——粗蛋白质摄入量, kg/d; EE——粗脂肪摄入量, kg/d。

该模型中的自变量均为摄入量, 在实际应用中比较容易获得, 这使得该模型有利于被真正地应用于生产实际。

日本的 Shibata 等人<sup>[18]</sup>在 1992 年用 6 头荷斯坦小母牛、10 头去势雄绵羊和 11 头去势雄山羊研究了三种不同精粗比日粮 (0:100, 70:30; 30:70) 对甲烷排放量的影响, 得出甲烷排放量与 DM I 的回归式为

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 21.87\text{DM I} - 3.18 \quad R^2 = 0.98$$

他们在研究不同的能量摄入水平对甲烷排放量的影响<sup>[19]</sup>时, 在得出相关结果的基础上, 对甲烷排放量和 DM I 进行了回归计算, 结果发现:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = -17.77 + 42.79\text{DM I} - 0.849\text{DM I}^2 \quad R^2 = 0.93$$

式中 DM I——干物质摄入量, kg/d。

与此同时, 他们还得出了甲烷排放量与饲料中的粗纤维、酸性洗涤纤维、淀粉等成分, 有着显著的线性关系。

日本国家动物和草地科学研究所的 Kurihara 和

Nishida 等人在 2000 年通过对 165 头牛的试验研究发现<sup>[20]</sup>, 牛的甲烷转化速率 ( $Y_m$ , 即每 100 MJ 的总能摄入量所产生的 MJ 甲烷能的数量) 受其摄入的能量和采食中营养成分的影响。在不同的营养水平下 (1.5M、1.5M < EL < 2.5M、2.5M, M 为维持营养水平, EL 为牛的能量摄入水平), 甲烷转化速率的回归方程为:

$$\text{EL } 1.5\text{M}: Y_m = 3.37 - 0.27\text{CP} + 0.12\text{DDM I} \quad R^2 = 0.70$$

$$1.5\text{M} < \text{EL} < 2.5\text{M}: Y_m = 6.34 - 0.43\text{CP} + 0.095\text{DDM I} \quad R^2 = 0.57$$

$$\text{EL } 2.5\text{M}: Y_m = 13.81 - 0.67\text{CP} + 0.20\text{DDM I} - 0.195\text{NFE} \quad R^2 = 0.76$$

式中  $Y_m$ ——甲烷转化速率, MJ/(100 MJ); CP——粗蛋白质, %; DDM I——可消化的干物质含量, %; NFE——无氮浸出物, %。

巴西的 Demarchi 等人<sup>[21]</sup>2002 年对 16 头 Nelore 牛利用 SF6 示踪技术进行了甲烷排放量的测定, 结果发现, 甲烷的排放量与季节有关, 同时与牛的体重 (BW) 和可消化的干物质摄入量 (DDM I) 之间存在显著的线性相关关系, 其关系如下:

$$\text{春季: } \text{CH}_4(\text{g/d}) = 0.30\text{BW} + 38.11 \quad R^2 = 0.95$$

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 36.31\text{DDM I} - 3.9 \quad R^2 = 0.92$$

$$\text{冬季: } \text{CH}_4(\text{g/d}) = 0.15\text{BW} + 55.81 \quad R^2 = 0.61$$

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 18.11\text{DDM I} + 53.64 \quad R^2 = 0.53$$

式中 BW——试验动物的平均体重, kg; DDM I——可消化的干物质摄入量, kg/d。

我国的研究人员参考国外研究, 在进行代谢试验的基础上也建立了一些预测甲烷排放量的数学模型:

韩继福<sup>[22, 23]</sup>在呼吸代谢箱内就不同日粮的纤维消化、瘤胃内 VFA 对甲烷产生量的影响进行了试验研究, 该试验是对 4 头装有瘤胃瘘管和真胃瘘管的成年阉牛进行的, 结果发现: 随着 DM I 的增加, 甲烷排放量也会随之增加, 不同饲养水平下的 DM I 和甲烷排放量之间的关系得到了如下回归关系式:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 14.56\text{DM I} + 44.92 \quad R^2 = 0.94$$

式中  $\text{CH}_4$ ——甲烷排放量, g/d; DM I——干物质摄入量, kg/d。

同时, 对 NDF 和 ADF 降解量与甲烷排放量的关系进行了回归分析, 从而得出成年阉牛在维持饲养水平下的回归方程。NDF 降解量与甲烷产生量的回归关系为:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 121.37 + 13.81\text{NDF} \quad R^2 = 0.76$$

式中  $\text{CH}_4$ ——甲烷排放量, g/d; NDF——中性洗涤纤维降解量, kg/d。

ADF 降解量与甲烷排放量的回归关系为:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 112.88 + 41.37\text{ADF} \quad R^2 = 0.96$$

式中  $\text{CH}_4$ ——甲烷产生量, g/d; ADF——酸性洗涤纤维降解量, kg/d。

由方程及其决定系数可知, 以 NDF 和 ADF 降解量来推断甲烷排放量具有较高的准确性。

该文作者在研究过程中发现: 随着精料比例增加,

甲烷排放量下降,维持饲养水平下乙酸、丙酸产量与甲烷排放量的回归关系为:

$$\text{CH}_4 = 60.47 + 5.19\text{C}_2 \quad R^2 = 0.94$$

$$\text{CH}_4 = 166.00 - 4.61\text{C}_3 \quad R^2 = 0.93$$

$$\text{CH}_4 = 22.58 + 7.03\text{C}_2 + 1.66\text{C}_3 \quad R^2 = 0.96$$

$$\text{CH}_4 = 120.25 + 5.94\text{C}_2/\text{C}_3 \quad R^2 = 0.78$$

式中  $\text{CH}_4$ ——甲烷排放量, g/d;  $\text{C}_2$ ——乙酸产量, mol/d;  $\text{C}_3$ ——丙酸产量, mol/d;  $\text{C}_2/\text{C}_3$ ——乙酸产量/丙酸产量。

冯仰廉、莫放等人用呼吸测热箱对消化道瘘管牛饲喂不同日粮的研究结果表明<sup>[24]</sup>, 8种日粮的甲烷排放量与瘤胃可发酵有机物质(FOM)中的可发酵中性洗涤纤维(FNDF)的含量呈显著线性相关:

$$\text{CH}_4(\text{L/kg FOM}) = 60.46 + 0.297(\text{FNDF}/\text{FOM}, \%) \quad R^2 = 0.97$$

该公式可简化为:

$$\text{CH}_4(\text{L/kg FOM}) = 48.13 + 0.54(\text{NDF}/\text{OM}, \%) \quad R^2 = 0.94$$

另外,消化能(DE)中的甲烷能量损失也与 FNDF/FOM 呈显著线性相关:

$$\text{CH}_4\text{E}/\text{DE}(\%) = 8.68 + 0.037(\text{FNDF}/\text{FOM}, \%) \quad R^2 = 0.97$$

该公式可简化为:

$$\text{CH}_4\text{E}/\text{DE}(\%) = 7.18 + 0.067(\text{NDF}/\text{OM}, \%) \quad R^2 = 0.90$$

式中  $\text{CH}_4\text{E}/\text{DE}$ ——消化能中的甲烷能量损失, %。

由于上式实测日粮的 FNDF/FOM 范围为 21.54% ~ 91.06%, 所以其适用面较宽。

以上方程中相关系数较高的方程多以可消化的 NDF 和 ADF、乙酸、丙酸等作为可变参数,而这些参数本身的测定比较烦琐,在实际生产应用中存在较大的局限性;而以干物质、粗蛋白和粗纤维等饲料成分的摄入量为参数的预测模型的相关系数则相对偏低,而且这些模型并不一定适合中国的实际生产,因此应考虑寻找合适的参数作为预测因子建立适合中国生产实际的预测模型,以便得出相关系数高而预测参数的测定又较简便的预测模型。

## 2) 基于能量摄入建立的经验模型

由于甲烷排放过程是一个能量损失的过程,甲烷排放量的大小与能量的摄入量存在一定的关系,为此,研究人员通过大量试验研究了能量的摄入量与甲烷排放量之间的关系。

Blaxter 和 Clapperton 于 1965 年<sup>[25]</sup>总结了从 1955 年至 1965 年期间所开展试验获得的大量数据,在此基础上(其中包括 55 个不同日粮组成, 615 个呼吸代谢试验),分析了 DM I 与甲烷排放量之间的关系,提供了估算动物采食能量转化为甲烷比例的计算公式如下:

$$Y_m = 1.30 + 0.112D + L(2.37 - 0.050D)$$

式中  $Y_m$ ——每 100MJ 的饲料摄入总能产生的甲烷量, MJ/(100MJ);  $D$ ——饲料的表现消化率;  $L$ ——采食水平, 摄入能量与维持能的比值。

该公式通过对 210 头羊和 129 头牛进行验证,估算效果较好。由以上公式可以根据动物采食的饲料能量和饲料的消化率来计算甲烷排放系数。

该公式是当前国际上最有影响力的估测反刍动物甲烷排放量的计算公式。经济合作开发组织(OECD)推荐使用该公式来估算甲烷转化系数。

OECD 于 1991 年<sup>[26]</sup>提供了单位动物甲烷排放量的计算公式:

$$M = GE(Y_m/100) \times 365 \times 0.018$$

式中  $M$ ——单位动物年甲烷排放量, kg/(a·头);  $GE$ ——总能, MJ;  $Y_m$ ——每 100MJ 的饲料摄入总能产生的甲烷量, MJ/(100MJ)。

该公式被各国较多地应用于国家甲烷排放清单的编制中,但其中的  $GE$  由部分试验动物的试验值类推而来,应用于所有动物,具有较大的不确定性。

A. Moss 等人<sup>[27]</sup>在 1994 年用去势羊研究饲料种类和甲烷产生量关系的过程中得出了如下的关系式:

$$\text{CH}_4\text{E}/\text{GEI}(\%) = 2.69 + 4.03\text{NDF} + 1.13\text{S} \quad R^2 = 0.75$$

式中  $\text{CH}_4\text{E}/\text{GEI}(\%)$ ——甲烷能占饲料总能的比例; NDF——饲料中 NDF 的消化率(%); S——饲料中的淀粉含量, %。

我国的研究人员也建立了一些基于能量摄入量来预测甲烷排放的数学模型:

孙家义<sup>[28]</sup>采用开放式呼吸面具对 9 只 3 至 7 月龄小尾寒羊进行了气体能量代谢试验,结果发现:当摄入代谢能为 10.9~20.1 MJ/kg DM 时,甲烷气( $\text{CH}_4$ )排放量为 17.2~23.7 g/d,甲烷能( $\text{CH}_4\text{E}$ )为 0.92~1.30 MJ/d,甲烷能占摄入总能的比例为 6%~9%。根据所得到的数据,作者还得出甲烷能与摄入总能(GEI)的回归关系为:

$$3\sim 5\text{月龄: } \text{CH}_4 = 6.25 + 0.89\text{GEI} \quad R^2 = 0.85$$

$$\text{CH}_4\text{E} = 330.64 + 50\text{GEI} \quad R^2 = 0.86$$

$$5\sim 7\text{月龄: } \text{CH}_4 = 8.26 + 0.77\text{GEI} \quad R^2 = 0.90$$

$$\text{CH}_4\text{E} = 455.87 + 42.8\text{GEI} \quad R^2 = 0.90$$

式中  $\text{CH}_4$ ——甲烷排放量, g/d;  $\text{CH}_4\text{E}$ ——甲烷能, MJ/d;  $\text{GEI}$ ——摄入总能, MJ/d。

由上述公式可知,使用  $\text{GEI}$  对甲烷排放及其能值进行估测较可靠,且公式中只涉及到  $\text{GEI}$  一个变量,使用方便。

## 3) 基于饲料成分和能量摄入建立的混合模型

德国洪保德大学的 Pelchen 和 Peters 等人<sup>[29]</sup>于 1998 年对所收集到的文献资料中大量的数据进行了分析,以前人对 1137 头不同年龄的羊进行试验所得到的数据,建立了羊的甲烷排放模型:

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 14.25 - 22\text{CPI} + 2\text{DEI} - 1.33\text{ME} \quad R^2 = 0.70$$

$$\text{CH}_4(\text{g/d}) = 16.15 - 64.5\text{EEI} - 2\text{DEI} - 14.9\text{CPI}/\text{DEI} - 1.33\text{ME} \quad R^2 = 0.72$$

式中  $\text{CPI}$ ——粗蛋白摄入量, kg/d;  $\text{DEI}$ ——消化能摄

入量, MJ/d; ME——单位日粮中的能量密度, MJ/kg; EEI——粗脂肪摄入量, kg/d。

该模型中包含了饲料的成分摄入量和能量摄入量, 在固定日粮的条件下这些参数较易获得, 可作为以后建立新预测模型的参考。国内目前未见相关报道。

## 1.2 机理模型

在建立了大量回归模型的同时, 研究人员也建立了一些机理模型。

1) 1987年, Baldwin 等人建立了反刍动物的瘤胃机理模型<sup>[30-32]</sup>, 利用该模型可根据饲料的化学成分来估算动物的甲烷排放量。

该模型可分以下几步来计算动物的甲烷排放量:

计算由碳水化合物、氨基酸发酵为VFA所产生的氢的数量:

$$H_{yHex} (\text{mol/d}) = (A_{CHex} \times 2.0) - (P_{rHex} \times 1.0) + (B_{uHex} \times 2.0) - (V_{lHex} \times 1.0)$$

式中  $H_{yHex}$ ——碳水化合物发酵过程中氢的产量;  $A_{CHex}$ 、 $P_{rHex}$ 、 $B_{uHex}$ 、 $V_{lHex}$ ——分别为碳水化合物发酵过程中产生的醋酸、丙酸、丁酸和戊酸(mol/d)。

$$H_{yAA} (\text{mol/d}) = (A_{CAA} \times 2.0) - (P_{rAA} \times 1.0) + (B_{uAA} \times 2.0) - (V_{lAA} \times 1.0)$$

式中  $H_{yAA}$ ——氨基酸发酵过程中氢的产量;  $A_{CAA}$ 、 $P_{rAA}$ 、 $B_{uAA}$ 、 $V_{lAA}$ ——分别为氨基酸发酵过程中产生的醋酸、丙酸、丁酸和戊酸, mol/d。

计算消耗于细胞单元组成的生物合成、不饱和脂肪酸的氢化过程中的氢的数量:

$$H_{yMiGr} (\text{mol/d}) = (M_{iGr1} \times (-0.42)) + (M_{iGr2} \times 2.71)$$

式中  $H_{yMiGr}$ ——用于细胞单元组成的生物合成所消耗的氢的数量;  $M_{iGr1}$ 、 $M_{iGr2}$ ——分别为依赖氨基酸生长和不依赖氨基酸生长的微生物的数量, kg/d。

$$H_{yFA} (\text{mol/d}) = 1.8 \times L_{ipidSing} \times H_{ySaFA}$$

式中  $H_{yFA}$ ——用于不饱和脂肪酸的氢化所消耗的氢的数量;  $L_{ipidSing}$ ——吸收的脂类, mol/d;  $H_{ySaFA}$ ——1 mol 不饱和脂肪酸氢化所消耗的氢的数量。

瘤胃内氢平衡的计算:

$$H_{yrumen} (\text{mol/d}) = H_{yHex} + H_{yAA} - H_{yMiGr} - H_{yFA}$$

反刍动物甲烷产量的计算:

$$CH_{4rumen} (\text{mol/d}) = H_{yrumen} / 4.0 \text{ (其中, 4.0 是产生 1 mol 甲烷所需要氢的数量 (mol))}$$

因此有:  $CH_{4rumen} (\text{MJ/d}) = CH_{4rumen} (\text{mol/d}) \times 0.882 (\text{MJ/mol})$

这是迄今为止最能为大家接受的机理模型, 但该公式估算的准确性还有待于进一步探讨。

2) 1992年, Dijkstra 等人<sup>[32, 33]</sup>建立了模拟瘤胃内营养物质的消化、吸收和流出物的动态机理模型, 该模型中包含 17 种可变参数如N、C、脂类和VFA等。

在以上机理模型中输入反刍动物的干物质摄入量、饲料的化学组成、饲料的降解率、蛋白质和淀粉的可溶率、瘤胃内的pH值等参数就可以预测出动物的甲烷排放量。

实测分析结果说明, 机理模型在一定程度上比简单

的回归模型要准确, 但机理模型中包含的参数数量较多且各参数的测定比较繁琐, 故在仅需要大概估计动物的甲烷排放量时, 优先考虑使用经验模型。目前未见中国有相关机理模型报道, 应建立适合中国生产实际的机理模型。

## 2 结 语

中国对反刍动物甲烷排放量的研究是从1987年正式开始的, 虽然现已利用“政府间气候变化专业委员会(IPCC)”提供的公式进行了排放清单的编制, 但相对于国外多年的研究历史及所取得的成果而言, 中国的研究还刚刚起步, 且目前只有一些零星的数据可供参考, 尚未建立合理的预测甲烷排放量模型和对应的减排措施。

建议在参考国外相关研究成果的基础上, 就我国目前的饲养现状, 在保证营养平衡的条件下, 针对不同品种、不同类型的反刍动物, 分别测定甲烷排放量, 建立数据库, 从而研究分析出最佳饲料配方及相关的减排措施。

### [参 考 资 料]

- [1] 王庚辰, 温玉璞 温室气体浓度的排放监测及相关过程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996
- [2] IPCC. Climate Change: The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992, 26-51.
- [3] 杨 凤. 动物营养学(第2版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [4] 林而达, 李玉娥. 全球气候变化和温室气体清单编制方法[M]. 北京: 气象出版社, 1998.
- [5] 李玉娥, 董红敏. 畜禽舍温室气体排放及控制[J]. 农业工程学报, 1999, 15(增): 89-95.
- [6] 程跃胜. 反刍动物甲烷排放量测定装置的试验研究[D]. 北京: 中国农业大学, 1998.
- [7] Kristen Johnson, Mark Huyler, Hal Westerg, et al. Measurement of methane emission from ruminant livestock using a SF6 tracer technique[J]. Environmental science & technology, 1994, 28(2): 359-362.
- [8] Lassey K R, Ulyatt M J, Martin R J, et al. Methane emission measured directly from grazing in New Zealand [J]. Atmospheric Environment, 1997, 31(18): 2905-2914.
- [9] Ulyatt M J, Baker S K, McCrabb G J, et al. Accuracy of SF6 tracer technology and alternatives for field measurements [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1999, 50(8): 1329-1334.
- [10] Johnson K A, Westberg H H, Lamb B K, et al. The use of sulfur hexafluoride for measuring methane emissions from farm animals[A]. Takahashi J. Proceedings of the 1st international conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture [C]. Hokkaido, Japan, 2001: 72-81.
- [11] Lassey K R, Walker C F, McMillan A M S, et al. On the performance of SF6 permeation tubes used in determining methane emission from grazing livestock [J].

- Chemosphere: Global Change Biology, 2001, 4 (18): 1-15
- [12] Harper L A, Denmead O T, Freney J R, et al Direct measurements of methane emissions from grazing and feedlot cattle [J]. Journal of Animal Science, 1999, 77 (6): 1392- 1401.
- [13] 董红敏, 李玉娥, 林而达, 等. 六氟化硫(SF<sub>6</sub>)示踪法测定反刍动物甲烷排放的技术[J]. 中国农业气象, 1996, 17 (4): 44- 46
- [14] Kriss M. Quantitative relations of the dry matter of the food consumed, the heat production, the gaseous outgo and the insensible loss in body weight of cattle [J]. Journal of Agricultural Research, 1930, 40: 283- 288
- [15] Axelsson J. The amount of produced methane energy in the European metabolic experiments with adult cattle [J]. Ann R Agriculture Coll Sweden, 1949, 16: 404- 409
- [16] Moe P W, Tyrrell H F. Methane production in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 1979, 62 (6): 1583- 1586
- [17] Kirchgessner M, Windisch W, Muller H L, et al Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle [J]. Agricultural Biological Research, 1991, 44: 91- 95
- [18] Shibata M, Terada F, Iwasaki K, et al Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate ratios [J]. Animal Science Technology (Jpn), 1992, 63 (12): 1221- 1227
- [19] Shibata M, Terada F, Kurihata M, et al Estimation of methane production in ruminants [J]. Animal Science Technology (Jpn), 1993, 64 (8): 790- 796
- [20] Kurihara M, Nishida A, Purnomoadi, et al The prediction of methane conversion rate from dietary factors [A]. Takahashi J. Proceedings of the 1st international conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture [C]. Hokkaido, Japan, 2001, 301- 304
- [21] Demarchi J J A A, Manella M Q, Lourenco A J, et al Preliminary results on methane emission by Nelore cattle in Brazil grazing Brachiaria brizantha cv. Marandu [A]. Proceedings of the 3rd International Methane and Nitrous Oxide Mitigation Conference (II) [C]. Beijing, 2003, 80- 84
- [22] 韩继福, 冯仰廉, 张晓明, 等. 阉牛不同日粮的纤维消化、瘤胃内VFA对甲烷产量的影响[J]. 中国兽医学报, 1997, 3: 278- 280
- [23] 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]. 北京: 北京农业大学, 1995
- [24] 冯仰廉. 肉牛营养需要和饲养标准[Z]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 18
- [25] Blaxter K L, Clapperton J L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants [J]. The British Journal of Nutrition, 1965, 19 (3): 511- 522
- [26] OECD. Emission of greenhouse gas emissions and sinks [R]. Final report from the OECD experts meeting, 1991, 5- 1- 5- 56
- [27] Moss A R, Givens D I, Gransworthy P C. The effect of alkali treatment of cereal straws on the digestibility and methane production by sheep [J]. Animal Feed Science and Technology, 1994, 49: 245- 259
- [28] 孙家义. 三至七月龄小尾寒羊营养代谢中甲烷气产量和能量的初步研究[J]. 动物营养学报, 1998, 10 (2): 27- 34
- [29] Pelchen, Arthur, Kurt J Peters, et al Prediction of methane emissions from lactating dairy cows [J]. Archiv fur tierzucht, 1998, 141 (6): 553- 563
- [30] Baldwin R, Lee, John H, et al Metabolism of the lactating cow. II Digestive elements of a mechanistic model [J]. Journal of dairy research, 1987b, 54 (2): 107 - 131
- [31] Baldwin R, Lee, James France, et al Metabolism of the lactating cow. III Properties of mechanistic models suitable for evaluation of energetic relationships and factors involved in the partition of nutrients [J]. Journal of dairy research, 1987c, 54 (3): 132- 145
- [32] Benchaar C, Rivest J, Pomar C, et al Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations [J]. Journal of Animal Science, 1998, 76 (2): 617- 627
- [33] Dijkstra J, Neal H D S C, David E, et al Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description [J]. Journal of Nutrient, 1992, 122: 2239- 2256

## Research progress of models for predicting ruminant methane emission

Fan Xia<sup>1</sup>, Dong Hongmin<sup>2</sup>, Han Lujia<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2 Institute of

Agro-Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract** Methane is an important greenhouse gas. The ruminants are one of the main methane sources. According to the information of literature, the author summarized the study on predictable models for methane emissions, especially analyzed and compared several regression equations and mechanistic models in this paper. Finally, based on the condition in China, some issues for further study were discussed.

**Key words:** ruminant; methane emission; prediction model