

泌乳羊气体能量代谢研究方法

金功亮 张卫军

顾熟琴 张兵 李碧春 牟明堂

(西北农学院牧医系)

前 言

本试验是在1981、1982年研究的基础上,选用18头健康西农莎能奶山羊进行气体能量代谢试验,旨在通过测定奶山羊泌乳期耗氧量与二氧化碳产量,求得呼吸商(RQ),计算产热量(HP)、甲烷能(E_{CH_4})、产乳代谢能(ME_L)、食后体增热(HI)、维持代谢能(ME_m)和维持净能(NE_m),进而求出 $K_m(NE_m/ME_m)$ 和 $K_L(NE_L/ME_L)$ 等参数,为评定奶山羊饲料(日粮)营养价值和研究能量需要提供方法。

应用本方法测定泌乳家畜(例如奶山羊)的能量代谢,在我国未见报导,特别是在测定体增热和转化热(Transforming heat),并进而揭示能量代谢的真实分配方面,在国外也罕见。这一方法应用在反刍动物方面,可以不用昂贵的呼吸室装置,简而易行地为制定反刍动物的能量需要和评定饲料(日粮)的营养价值提供可行的方法。

本方法同时揭示了一个新的概念,即生产条件下畜体的产热量(Heat production),既非代谢能,又非净能,而是一种生产能(作者暂定名),这无疑会引起国内外营养工作者的兴趣。

本方法所测得的能量代谢率为54%,与饲养试验的实测值54%完全一致。

一、材料与方 法

(一) 时间: 1983年4月至6月。

(二) 地点: 西北农学院教学实验牧场消化代谢室暨牧医系饲养分析室。

(三) 试畜: 选18头体重相近、产奶量不同的二至三胎(二胎占77.8%; 三胎占22.2%)纯种成年西农莎能泌乳羊。试羊已泌乳 62 ± 10 天,兽检体况佳良,试前每隔一月驱虫一次。待试羊适应性、泌乳量和采食量稳定时,进行面具法呼吸测热试验。

(四) 试验室温度: 试期温度范围为 $10-23^{\circ}C$,平均 $15.9^{\circ}C$ 。

(五) 试验日粮: 试验日粮的组成见表1。

(六) 饲养管理: 试羊均按照西农牧场饲管方式和饲养制度进行。试验期每天在运动场进行5—6小时的逍遥运动。

(七) 采气时间及方法: 分二步进行。

表 1

试验日粮的组成及给量表

单位: 公斤、%

料名	青贮玉米	青干草	玉米粉维持精料	产 乳 料 组 成					
				玉米粉	麸皮	黑豆饼	磷酸氢钙	碳酸钙	食盐
供量及组成	2.40	0.40	0.38	64.64	14.88	19.83	0.08	0.06	0.69

①预试期共15天。用6头羊分别在采食前采气一次,采食后每隔一小时采气一次,连续四次,共计五次,以研究HP和HI的产生与消失规律,为准确测定各项指标提供方法和为正试期提供依据。

②正试期45天。用18头羊分别于早饲前7:00—7:30,早饲后8:40—10:10.00,午饲前15:00—15:30,午饲后16:30—17:00,晚饲前21:00—21:30和晚饲后21:40—22:00采气,每次采气五分钟。采气时试羊情态平稳,无任何异常反应。

(八)用呼吸面具采气,气体收集在容积为95×60×50立升贮气囊内。用国产Sol-2型湿式气体流量计测定气体体积,用半自动气体分析仪(沈阳玻璃仪器厂,SB 67—7型)分析呼出气体中CO₂和O₂含量。

二、结果与分析

(一) 体重与产乳量

①体重:试验始末,18头试羊体重变化甚微,这为准确评定能量分配提供了方便(见表2)。

表 2

试羊试验始末体重

羊 号	试验始体重 (kg)	试验末体重 (kg)	羊 号	试验始体重 (kg)	试验末体重 (kg)
714	59.5	61.0	618	54.0	57.0
561	60.0	57.5	695	53.5	53.5
558	60.5	63.0	687	56.5	56.0
653	58.5	59.0	706	61.0	61.0
639	55.0	55.0	665	49.5	50.0
698	60.0	60.0	689	55.5	56.0
682	61.0	56.5	644	55.5	57.5
552	57.0	54.0	674	60.0	64.0
691	57.0	56.5	Σx	1027.26	1030.86
649	53.3	53.5	\bar{x}	57.07	57.28

②产乳量：试验期每羊每天平均产乳量见表3。

表3 每羊每天平均产乳量

羊号	产乳量 (kg/头/天)	羊号	产乳量 (kg/头/天)	羊号	产乳量 (kg/头/天)
714	2.99	552	2.97	665	2.88
561	3.08	691	3.28	689	2.64
558	2.90	649	2.56	644	2.93
653	3.17	618	2.91	674	2.50
639	3.21	695	2.49	Σx	50.80
698	2.87	687	2.99	\bar{x}	2.82
682	3.07	706	1.36	$S_{\bar{x}}$	0.43

由表3可见，试羊每天平均产乳量在1.36—3.28公斤之间，平均为2.82公斤。18头羊每旬每天平均产乳量经方差分析，差异不显著 ($P>0.05$)。

(二)干物质和总能采食量：试验期日粮干物质(DM)与总能(GE)采食量见表4。

表4 试验羊每日每头平均DM和GE采食量

羊号	DM (kg/头/天)	GE (kcal/头/天)	羊号	DM (kg/头/天)	GE (kcal/头/天)
714	2.163	9459	695	1.993	8711
561	2.170	9490	687	2.103	9204
558	1.969	8629	706	1.447	6284
653	2.145	9404	665	1.977	8642
639	2.153	9455	689	1.925	8415
698	2.093	9153	644	2.045	8953
682	2.169	9532	674	1.909	8353
552	2.198	9610	Σx	36.65	160,426
691	2.132	9347	\bar{x}	2.036	8913
649	1.986	8676			
618	2.069	9079			

(三) 气体分析数据处理:

①HP计算: 根据面具法测得呼出气体中CO₂与O₂含量的数据, 几经校正, 按所得百分比求出RQ。再根据单位时间内呼出气体的总量, 用气态方程换算成标准状态体积, 求出CO₂产量和O₂耗量。根据每升O₂与RQ值相对应的氧热价, 求出被试羊在单位

表 5 试验羊平均体重与HP

羊 号	W ^{0.76} (kg)	HP	
		(kcal/头/天)	(kcal/W ^{0.76} kg/天)
714	21.49	2569	120
561	20.95	2792	133
558	22.25	3492	157
653	20.83	2632	126
639	20.29	3761	185
698	21.15	2527	119
682	20.97	3083	147
552	20.17	2953	146
691	20.38	2993	147
649	19.52	3131	160
618	20.04	2858	143
659	19.57	2888	148
687	19.87	2890	145
706	21.67	1538	71
665	18.94	2703	143
689	20.22	2671	132
644	20.29	2423	119
674	22.18	3218	145
Σx	370.78	51122	2486
\bar{x}	20.60	2840	138

时间内的HP (结果见表5)。

由表5可见, 每羊每日与每公斤代谢体重HP变化范围较大, 前者在1538—3761 (kcal) 之间, 平均为2840 (kcal); 后者在71—185 (kcal) 之间, 平均138 (kcal)。说明畜体HP除与代谢体重有关外, 同时也受家畜生产 (产乳量) 水平、个体类型和生理状态等因素的影响。

②代谢能进食量 (MEL) 的计算:

代谢能 = 总能 - 粪能 - 尿能 - 甲烷能。

(ME) (GE) (FE) (UE) (ECH₄)

在大多数情况下, 根据析因法通过消化代谢试验测得总能、粪能、尿能和甲烷能的数据, 计算代谢能。众所周知, 用面具法不能测得甲烷能, 而且消化代谢实验又费时费工。故试验根据呼吸测热的数据以及实测产奶净能 (NEL) (每羊每天平均产2.82公斤奶), NEL = 701kcal/kg 的数据, 即可直接计算出MEL。

∴ GE = FE + UE + ECH₄ + HP + NEL

ME_i = GE - FE - UE - ECH₄

∴ ME_i = HP + NEL

(公式1)

将测定结果代入公式1, 计算出ME_i。

ME_i (kcal/头/天) = 2840 + 1977 = 4817

ME_i (kcal/W^{0.75}kg/天) = 4817/20.60 = 234

* 20.60是试羊平均代谢体重。

③生产产热 (PE) 或 (TE) 的计算: 据国外有关文献报道, PE 为 HI 的组成部分, 实际并非如此。HI 乃是家畜进食后机体产热量的增加部分。但是在正常生产条件下, 畜体为了产乳, 不论食前或食后, 总有一部分化学能以废热的形式排出。若将 HI 与 PE 混淆, 与理不通 (此处暂不赘述), 势必会过高估计维持代谢能 (ME_m) 而过低地估计代谢能转化为维持净能 (NE_m) 的转化效率 (K_m)。为此本文采用回归法区别 HI 与 PE, 以便准确评价 ME_m、K_m 以及 ME 转化为 NEL 的转化效率 (K_L)。

PE (kcal) = MEL - NEL

(公式2)

(1) MEL 的计算: 以试验期每羊每日平均产奶量为自变量 (X), 每羊每日 ME_i 为因变量 (Y), 进行统计分析, 求出相关系数。经检验, 相关系数 (r = 0.803) 极显著 (P < 0.01)。在相关显著的基础上, 制定出推算 MEL 需要量的回归公式为:

$\bar{Y} = a + b\bar{X}$ 即

$\bar{Y} = 2585 + 802\bar{X}$

(公式3)

式中 b 值 (斜率) 即为每产公斤乳 MEL 需要量。

将试羊日平均产奶量数据代入公式3, 计算出每羊每日 MEL 需要量。

MEL (kcal/头/天) = 802 × 2.82 = 2262

(2) NEL 的计算: 用实测每公斤乳净能值 (701kcal) 乘每羊每日平均产奶量 (2.82kg), 得每羊每日 NEL 需要量。

NEL (kcal/头/天) = 701 × 2.82 = 1977

(公式4)

把上述MEL与NEL的数据代入公式2，计算出每羊每日与每日每公斤代谢体重PE量。

$$PE \text{ (kcal/头/天)} = 2262 - 1977 = 285$$

$$PE \text{ (kcal/W}^{0.75}\text{kg/天)} = \frac{2262 - 1977}{20 \cdot 60} = 14$$

④KL的计算:

$$KL = NEL/MEL \quad \text{(公式 5)}$$

$$= 1977/2262 = 0.87$$

⑤ME_m的计算:

$$ME_m = ME_1 - MEL \quad \text{(公式 6)}$$

$$ME_m \text{ (kcal/头/天)} = 4817 - 2262 = 2555$$

$$NE_m \text{ (kcal/W}^{0.65}\text{kg/天)} = \frac{4817 - 2262}{20 \cdot 60} = 124$$

或用公式3常数项(截距)亦可。

⑥HI计算:

以682号羊4月26日结果为例说明(见下图)

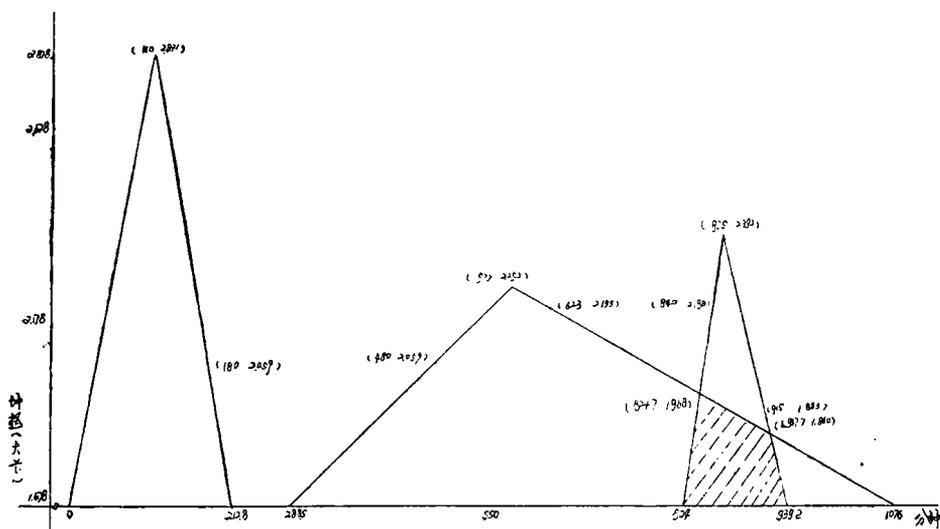


图 21

根据H₁产生与消失的变化规律，以采气时间为横轴(X)，HP为纵轴(Y)作图。一日9次的采气时间及HP的座标分别为(0, 1.678)、(110, 2.871)、(180, 2.059)、(480, 2.059)、(577, 2.552)、(623, 2.199)、(840, 2.182)、(885, 2.392)、(915, 1.883)，以早上采食前的每分钟HP为基线，然后根据二点式求直线方程：Y₁、Y₂、Y₃、Y₄、Y₅。当Y=1.678时，这五条直线方程与相应的X点(即HP降至基点1.678时，其相应的时间为多少)。然后分别求Y₃与Y₄的交点(x₀, y₀)、y₃与y₄交点

(x_7, y_7)，用行列式求解不规则三角形面积，其面积总和即为682号羊4月26日一天的HI量。

a. 用两点式求直线方程： $\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

得： $y_1 = 4.147 - 0.0116x$ $y_1 = 1.678$ $x_1 = 212.8$
 $y_2 = 0.00199x + 1.104$ $y_2 = 1.678$ $x_2 = 288.5$
 $y_3 = 2.915 - 0.00115x$ $y_3 = 1.678$ $x_3 = 1075.0$
 $y_4 = 0.014x - 9.578$ $y_4 = 1.678$ $x_4 = 804.0$
 $y_5 = 9.642 - 0.00848x$ $y_5 = 1.678$ $x_5 = 939.2$

b. 解联立方程，求二条直线的交点：

$$\begin{cases} y = 2.915 - 0.00115x \\ y_6 = 0.014x - 9.578 \end{cases} \quad \begin{cases} y = 2.915 - 0.00115x \\ y = 9.642 - 0.00848x \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} x_6 & y_6 \\ 824.7 & 1.968 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} x_7 & y_7 \\ 917.7 & 1.860 \end{pmatrix}$$

c. 根据行列式，求不规则三角形面积，其面积总和即为一天的HI。

$$S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$$S = \frac{1}{2} |x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_1 - x_1y_3 - x_2y_1 - x_3y_2|$$

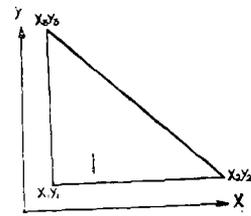


图 22

- $S_1 (0, 1.678) \quad (110, 2.871) \quad (212.8, 1.678)$
- $S_2 (288.5, 1.678) \quad (577, 2.871) \quad (1076.0, 1.678)$
- $S_3 (804.0, 1.678) \quad (855, 2.392) \quad (939.2, 1.678)$
- $S_4 (804.0, 1.678) \quad (824.7, 1.968) \quad (1076.0, 1.678)$
- $S_5 (939.2, 1.678) \quad (917.7, 1.860) \quad (1076.0, 1.678)$

$\because y_1$ 与 y_3 数值相同， $\therefore S$ 可简化为：

$$S = \frac{1}{2} |y_1(x_3 - x_1) + y_2(x_1 - x_3)|$$

$S_{总} = S_1 + S_2 + S_3 + S_5 - S_4 = 374$

HI (kcal/头/天) = 374

HI (kcal/W^{0.75}/天) = 374/21.26 = 18

根据计算，每羊每天HI均值为20 (kcal)。

⑦NEM的计算：

$NEM = MEM - HI$

(公式7)

$$NE_m (\text{kcal}/W^{0.75}\text{kg}/\text{天}) = 124 - 20 = 104$$

③ K_m

$$K_m = NE_m / ME_m$$

(公式 8)

$$K_m (\text{kcal}/W^{0.75}\text{kg}/\text{天}) = 104 / 124 = 0.84$$

试验羊能量分配见表 6。

表 6 试验羊能量分配表

$W^{0.75}$ (kg)	GE (kcal/ $W^{0.75}$ /天)	MEL (kcal/ $W^{0.75}$ /天)	维 持		生产 (产乳)	
			ME _m (kcal/ $W^{0.75}$ /天)	NE _m (kcal/ $W^{0.75}$ /天)	MEL (kcal/ $W^{0.75}$ /天)	NEL (kcal/ $W^{0.75}$ /天)
			20.60	433	234	124

三、 讨 论

(一) 关于 ECH_4 问题: 用面具法采气的特点是时间短 (五分钟), 其时试畜暖气与反刍停止, 所采气体系由试畜肺部呼出, 其中几乎不含甲烷气, 故我们认为, 用面具法测定 ECH_4 是不可能的。

试畜体重不变时, 体内能量收支处于平衡条件下, 可根据呼吸测热所测出的 HP 以及实测 NEL 的数据, 并借助消化、代谢试验的资料, 计算出 ECH_4 。

$$\therefore GE = FE + UE + \underbrace{HP + NEL + ECH_4}_{ME}$$

ME

$$\therefore ECH_4 = GE - FE - UE - HP - NEL$$

$$\text{或 } ECH_4 = DE - UE - HP - NEL$$

• DE——消化能

将本试验测得 HP 和 NEL 与 1982 年实测能量消化率代入上式, 得:

$$DE = GE \times 0.68 = 8912 \times 0.68 = 6060$$

$$ECH_4 = 6060 - 236 - 2840 - 1977 = 1007$$

$$ECH_4 / GE (\%) = 11.3\%$$

此值与 Church (1974) 报道的结果基本相同。

• 236 为 UE (按 1982 年实测 UE 占 GE 2.65% 计算)。

按照本文公式 1 计算 ME_1 , 可省去测定 ECH_4 的麻烦, 同理可不必进行消化代谢试验。

(二) $MEL = HP + NEL$ 公式可靠性检验

$$\therefore MEL = HP + NEL$$

$$\therefore \text{代谢率 (GE 转化为 ME \%)} = MEL / GE \times 100\%$$

本试验测得, 每羊每日平均 HP 为 2840 (kcal), NEL 为 1977 (kcal), 故 MEL 为

4817 (kcal) (2840 + 1977 = 4817), GE为8912 (kcal)。

将数据代入上式, 得:

$$4817/8912 \times 100\% = 54\%$$

1981年实测西农莎能奶山羊能量消化率为67.55, DE转化为ME的转化效率为80.02%, 能量代谢率为54% (67.55/80.02 × 100%), 1981年实测值与本试验计算值完全相同。由此说明, 用呼吸面具法测得西农莎能羊泌乳期MEL是可靠的。

(三) 关于瘤胃发酵热 (HF) 问题: 据报道, 反刍动物瘤胃微生物分解饲料, 放出热能 (HF), 在计算畜体HP时应扣除这一部分热。我们认为, 瘤胃细菌属厌氧菌属, 发酵乃借助其体内无氧酵解酶系进行, 产生乙、丙、丁和乳酸等一系列中间代谢产物, 同时放出热能。但是, 在发酵过程中CO₂产量很少。所以说用直接法测热时须考虑HF问题, 而用间接法 (呼吸面具法) 测定时可不予以考虑。

(四) 目前有关畜体HP是净能还是代谢能问题仍有争议, 我们认为, 在不同的条件下, 所测畜体HP在概念上亦不尽相同。

1. 在绝食代谢情况下, 机体以消耗体贮来维持生命, HP为净能。

2. 在维持条件下, 家畜食后HP明显地高于食前, 这种因采食增加的产热量为HI, HP为代谢能, 即: $HP = Bm + HA + HI$

• HA—活动产热, Bm—基础代谢

3. 在生产状态下, HP除包括上述维持条件下各组分的热量外, 而且还包括PE (HP = Bm + HA + HI + PE), 所以生产条件下畜体的HP既非代谢能又非净能, 可认为是一种生产代谢能。

参 考 资 料

1. 金公亮等: 西农莎能奶山羊泌乳期能量消化率和代谢率的测定 (续)。《陕西畜牧兽医》杂志, 1982.2。

2. Church et al: 1979, Animal Nutrition and feeding.

3. Thorbeck, G, 1981, Energy and protein metabolism.

4. Federal Republic of Germany, 1982, Animal Research And Development.

On The Research Method of Metabolizable Energy of Respiratory Quotient In Milk Goats In Their Lactation Period

Jin Gong-Liang Zhang Wei-jun
Gu Shu-qim Zhang Bing
Li Bi-chun Mou Ming-tang

Abstract

The 18 saanen milk goats of the Northwestern College of Agriculture were studied to determine Respiratory Quotient(RQ), Heat Production (HP), Energy of Methane (E_{CH_4}), Metabolizable Energy of Lactation (MEL), Heat Increment_l(HI), Metabolizable Energy of Maintenance (ME_m), Net Energy of Lactation(NEL), Net Energy of Maintenance(NEm) as well as K_m (NEm/ME_m) and K_l (NE_l/ME_l), based on the open-air current procedure. The method can be applied to the measurement of feed nutrient values and estimation of energy requirements for milk goats.

The formulas used to calculate different energy values and the results are as follows:

1. ME

$$ME(\text{as kcal/h/d}) = HP + NE_l = 2840 + 1977 = 4817$$

2. MEL The equation estimated MEL:

$$\bar{y} = a + b\bar{x} = 2565 + 802\bar{x}$$

where, b was requirement of MEL produced per lkg. milk

3. PE or TE

$$PE(\text{as kcal/h/d}) = MEL - NEL = 2262 - 1977 = 285$$

4. K_l $K_l = NEL/MEL = 1977/2262 = 0.87$

5. HI $HI(\text{as kcal/h/d}) = 412$

6. ME_m $ME_m(\text{as kcal/h/d}) = ME - MEL = 4817 - 2262 = 2555$

7. NE_m $NE_m(\text{as kcal/h/d}) = ME_m - HI = 2555 - 412 = 2143$

8. K_m $K_m = NE_m/ME_m = 2143/2555 = 0.84$