

## 反刍动物气体能量代谢研究 IV. 肥育藏系绵羊能量转化效率 及能量需要量测定\*

皮南林 赵新全

(中国科学院西北高原生物研究所)

藏系绵羊是青藏高原分布最广、数量最多的特有家畜品种,是高寒草甸草场生态系统中最主要的次级生产者。研究肥育藏系绵羊(以下简称肥育羊)在自然放牧状态下的能量转化效率和能量需要量,可为制定肥育羊在放牧状态下的能量营养标准以及合理地利用天然草场提供科学依据。

本研究在海拔高寒草甸生态系统定位站进行。试验从 1977 年开始,历经 7 年时间,分别用口罩——称重法,间接测热法,测定了肥育羊的摄入总能(GE)、消化能(DE)、代谢能(ME)、维持代谢能(ME<sub>m</sub>)、生产净能(NE<sub>p</sub>)、维持净能(NE<sub>m</sub>)以及基础代谢(BM)。在此基础上,分别求得肥育羊从摄入总能到生产净能能量在绵羊体内的转化效率,以此可求出不同体重,不同增重速率肥育羊的净能、代谢能、消化能和摄入总能。

### (一) 肥育藏系绵羊的能量转化效率

肥育羊采食牧草经消化,部分牧草的能量以粪能的形式损失。粪能中除包括未被消化的牧草外,尚包含肠道微生物产物、消化道脱落的细胞以及消化道分泌物中所含的能量。摄入总能减去粪能称为消化能。另外,消化吸收后,其中蛋白质部分的能量在体内不能充分的氧化利用,这种未氧化的能量从尿中排出,称为尿能(U<sub>E</sub>)。消化能减去甲烷气体能及尿能称为代谢能。关于肥育羊从摄入总能到消化能及消化能到代谢能的能量转化效率已有报道(皮南林,1982),其结果为:

$$\text{摄入总能 (GE)} \xrightarrow{0.61} \text{消化能 (DE)} \xrightarrow{0.79} \text{代谢能 (ME)}$$

代谢能中部分能量以营养物质代谢引起的热增耗(HI)以及消化道微生物发酵产生的热经体表散失,余下的称为净能(NE)。净能用于基础代谢、维持动物的体温及动物活动并以化学能的形式贮存于畜产品中,其中前 3 者称为维持净能,而后者称为生产净能。也就是说净能有一部分用于维持,另一部分用于生产。如果我们把维持状态下代谢能用于维持的效率用 K<sub>m</sub> 表示,则有公式:

\* 本项研究工作得到海北定位站王德须、王启基、张松林、翟志刚、林亚平、张兴琪等同志帮助,特此致谢。

$$K_m = \frac{NE_m}{ME_m}$$

式中:  $NE_m$  表示维持净能

$ME_m$  表示维持代谢能

同样,代谢能用于生产的效率用  $K_p$  表示,则有  $K_p$  公式:

$$K_p = \frac{NE_p}{ME_p}$$

式中:  $NE_p$  表示生产净能

$ME_p$  表示生产代谢能

实验表明,肥育羊维持代谢能为 105.82 千卡/ $W^{0.75}$ /日,维持净能为 83.48 千卡/ $W^{0.75}$ /日,那么,

$$K_m = \frac{NE_m}{ME_m} = \frac{83.48}{105.82} = 0.79$$

肥育羊的日增重 (G) 与产热量 (H) 呈直线相关,其方程式为:

$$H = 99.90 + 0.3854 \times G \quad (6 \text{ 月份测定})$$

$$H = 111.72 + 0.3578 \times G \quad (9 \text{ 月份测定})$$

式中 H 的单位为千卡/ $(W^{0.75} \cdot \text{日})$ , G 为肥育羊日增重克。

由方程可知,肥育羊体重每增加 1 克,每公斤代谢体重每日产热增加 0.3854 千卡和 0.3578 千卡。我们取其 2 次试验的平均值 0.3716 千卡代表年水平。它的含义是肥育羊在进行体内物质合成时的热量损失,其大部分为生产产热 (HP)。因此,我们可以把它看作是用于生产的代谢能向生产净能转化时的能量损耗。据测定(许振英, 1979)随着绵羊体重的增加,增重成分中水份和蛋白质的比例下降,脂肪上升。所以,体重为 30、40、50 公斤的肥育羊每增加 1 克热值分别为: 3.94、4.45、4.97 千卡。这样,体重为 30 公斤(代谢体重为 12.82)的肥育羊,体重每增加 1 克时生产净能 ( $NE_p$ ) 为 3.94 千卡,而在该体重时每增重 1 克多消耗的热量为  $12.8 \times 0.3716 = 4.76$  千卡。因此,生产代谢能 ( $ME_p$ ) 为  $4.76 + 3.94 = 8.70$  千卡,这时,

$$K_p = \frac{NE_p}{ME_p} = \frac{3.94}{8.70} = 0.45$$

这样,我们就可以系统地列出肥育羊各步的能量转化效率(图 1),图中的数字,分别代表每一步的能量转化效率。

## (二) 肥育藏系绵羊的能量需要量

肥育羊的能量需要主要用于维持和生产两大部分。维持需要受绵羊体重大小的影响,本次试验测得维持代谢能为 105.82 千卡/ $(W^{0.75} \cdot \text{日})$ ,且知道从摄入总能到消化能、代谢能、净能的转化效率依次为 0.61、0.79、0.79。这样,可分别求出体重为 30、40、50 公斤肥育羊的维持状态下的净能、代谢能、消化能、摄入总能的需要量(表 1)。肥育羊的生产需要,主要指体内沉积脂肪的能量需要。它受绵羊生产水平(增重速率)的影响。例如,体重为 30 公斤肥育羊维持代谢能为 1356.61 千卡/日,如果日增重为 40 克,用于生产的代谢能则为:  $40 \times 3.94/0.45 = 350.22$  千卡/日,总代谢能的需要为二者之和,即 1706.83 千卡/日。该值再分别除以 0.61 和 0.79 就为消化能、摄入总能的需要

量 表 3 高 味 草 高 素 草 丛 草 羊 育 肥 平 水 重 同 不 重 同 不 了 举 反 2 素 量

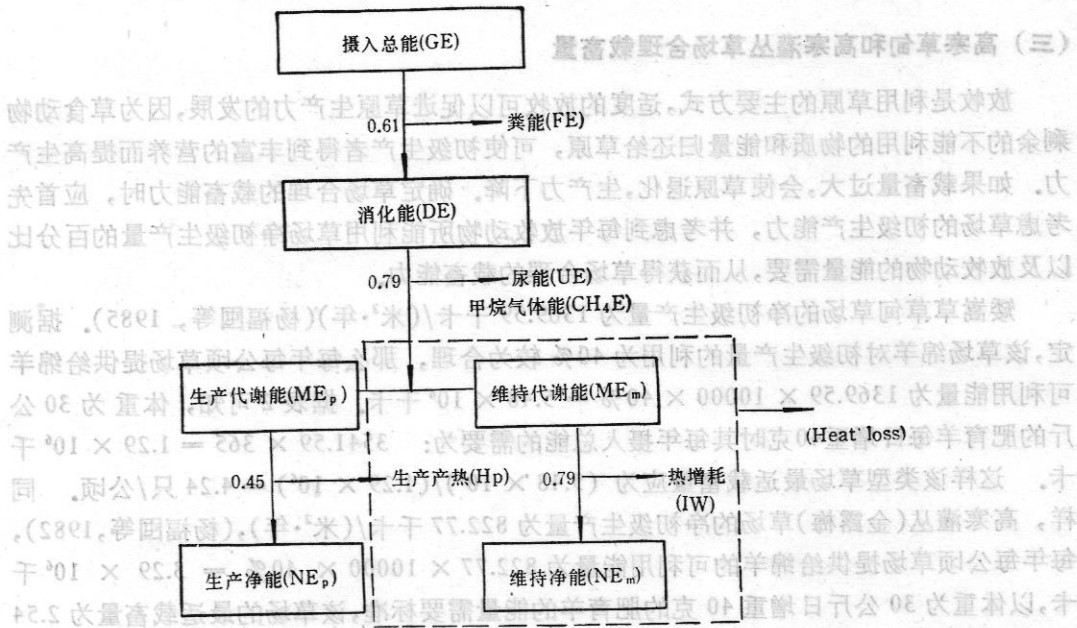


图 1 肥育藏系绵羊能量分配图

Fig. 1 The chart of the partition of food energy during digestion and metabolism by fattening Tibetan sheep.

摄入总能 Gross energy (GE)      粪能 Faeces energy (FE)  
 消化能 Digestible energy (DE)      尿能 Urine energy (UE)  
 生产代谢能 Metabolic energy of production (ME<sub>p</sub>)      甲烷能 Methane energy (CH<sub>4</sub>E)  
 维持代谢能 Metabolic energy of maintenance (ME<sub>m</sub>)      生产产热 Heat of production (HP)  
 生产净能 Net energy of production (NE<sub>p</sub>)      热增耗 Heat increment (IH)  
 维持净能 Net energy of maintenance (NE<sub>m</sub>)

表 1 肥育藏系绵羊维持能量需要(千卡/日)  
 Table 1 The energy requirement of maintenance for fattening Tibetan sheep (kcal/day).

体重(公斤) BW(kg)	代谢体重 W <sup>0.75</sup>	维持净能 NE <sub>m</sub>	维持代谢能 ME <sub>m</sub>	维持消化能 DE <sub>m</sub>	维持总能 GE <sub>m</sub>
30	12.28	1070.72	1356.61	1717.23	2815.23
40	15.91	1328.40	1683.60	3131.14	3493.67
50	18.80	1569.42	1989.62	2581.51	4128.70

表 2 肥育藏系绵羊的能量需要量

Table 2 The energy requirement for fattening Tibetan sheep.

增重(克/日) Body weight gain(g/day)	20			40			60		
	代谢能 ME	消化能 DE	摄入总能 GE	代谢能 ME	消化能 DE	摄入总能 GE	代谢能 ME	消化能 DE	摄入总能 GE
30	1531.85	1939.05	3178.77	1706.83	2160.37	3541.59	1881.80	2382.03	3904.96
40	1890.55	2393.10	3923.12	2097.99	2655.68	4353.58	2305.44	2918.28	4784.06
50	2232.17	2825.53	4632.02	2474.61	3132.42	5135.11	2717.05	3439.30	5638.20

量。表 2 列举了不同体重、不同增重水平肥育羊的代谢能、消化能及摄入总能。

### (三) 高寒草甸和高寒灌丛草场合理载畜量

放牧是利用草原的主要方式,适度的放牧可以促进草原生产力的发展,因为草食动物剩余的不能利用的物质和能量归还给草原,可使初级生产者得到丰富的营养而提高生产力。如果载畜量过大,会使草原退化,生产力下降。确定草场合理的载畜能力时,应首先考虑草场的初级生产能力,并考虑到每年放牧动物所能利用草场净初级生产量的百分比以及放牧动物的能量需要,从而获得草场合理的载畜能力。

矮嵩草草甸草场的净初级生产量为 1369.59 千卡/(米<sup>2</sup>·年)(杨福囤等, 1985)。据测定,该草场绵羊对初级生产量的利用为 40% 较为合理,那么每年每公顷草场提供给绵羊可利用能量为  $1369.59 \times 10000 \times 40\% = 5.48 \times 10^6$  千卡。据表 2 可知,体重为 30 公斤的肥育羊每日增重 40 克时其每年摄入总能的需要为:  $3541.59 \times 365 = 1.29 \times 10^6$  千卡。这样该类型草场最适载畜量应为  $(5.48 \times 10^6)/(1.29 \times 10^6) = 4.24$  只/公顷。同样,高寒灌丛(金露梅)草场的净初级生产量为 822.77 千卡/(米<sup>2</sup>·年),(杨福囤等,1982),每年每公顷草场提供给绵羊的可利用能量为  $822.77 \times 10000 \times 40\% = 3.29 \times 10^6$  千卡,以体重为 30 公斤日增重 40 克的肥育羊的能量需要标准,该草场的最适载畜量为 2.54 只/公顷。表 3 列举了高寒草甸(矮嵩草草甸)和高寒灌丛(金露梅灌丛)草场对不同体重不同增重速率肥育羊的最适载畜量。

表 3 高寒草甸和高寒灌丛草场对不同体重及增重肥育藏系绵羊的合理载畜量(只/公顷)  
Table 3 The optimum stocking rate (animals/ha) of alpine meadow and alpine shrub pasture for different body weight and different body weight gain of fattening Tibetan sheep.

体重(公斤) BW. (kg)	30		40		50	
	矮嵩草草甸 <i>Kobresia humilis</i> meadow	金露梅灌丛 <i>Dasiphora fruticosa</i> shrub	矮嵩草草甸 <i>Kobresia humilis</i> meadow	金露梅灌丛 <i>Dasiphora fruticosa</i> shrub	矮嵩草草甸 <i>Kobresia humilis</i> meadow	金露梅灌丛 <i>Dasiphora fruticosa</i> shrub
日增重(克) Body weight gain (g/day)						
20	4.72	2.84	3.82	2.30	3.42	1.94
40	4.24	2.54	3.45	2.07	2.92	1.76
60	3.84	2.31	3.14	1.88	2.66	1.60

### (四) 肥育藏系绵羊各级能量转化效率的评价

如上所述,肥育羊能量的消化率、代谢率及代谢能用于维持的效率 ( $K_m$ ) 分别为 0.61、0.79 及 0.79。就肥育羊的消化率而言较 0.65 (Bickel and Durrer, 1974) 低,而较 0.53 (王钦, 1984) 高;代谢率较公认值 0.82 低。 $K_m$  较 0.73 (Bickel 和 durrer, 1974) 高。Bickel and Durrer 将代谢用于生产的效率分为  $K_f$  和  $K_p$ ,二者分别表示代谢能用于生产脂肪和蛋白质的效率,他们的测定  $K_f$  和  $K_p$  分别是 0.58 和 0.35 (Bickel 和 Durrer, 1974)。本次试验我们测定了代谢能用于生产的总效率,而未能把生产脂肪和蛋白质分开,其平均值为 0.45。另外,衡量家畜对牧草能量利用效率还可用能量利用的总效率表示,其计算公式为:

$$\text{能量利用总效率} = \frac{\text{产品能(生产净能)}}{\text{摄入总能}}$$

例如,体重为 30 公斤的肥育羊每日增重 40 克,其生产净能为  $40 \times 3.94 = 157.60$  千卡,其摄入总能为 3541.59 千卡,则能量利用总效率为  $157.60/3541.59 = 4.45\%$ 。即体重为 30 公斤日增重 40 克的肥育羊摄入总能经粪、尿、甲烷气体及体热损失,最后只有 4.45% 的能量沉积于体内。表 4 列举了不同体重、不同增重、不同增重水平肥育羊的能量利用总效率。

表 4 肥育藏系绵羊能量转化的总效率  
Table 4 The total efficiency of energy utilization ( $NE_p/GE_{100}$ ) for fattening Tibetan sheep.

增重(克/日) Body weight gain (g/day)	体重(公斤) Body weight (kg)		
	30	40	50
20	2.48	2.27	2.15
40	4.45	4.09	3.87
60	6.05	5.58	5.29

从表 4 可知,绵羊体重越大,能量利用的总效率就越低,在同一体重水平,肥育羊日增重越大,能量利用的总效率就越高。这是因为体重相同时,绵羊的维持需要也相同,如果绵羊的增重小,能量的非生产消耗占的比例就大,能量转化的总效率就低。相反,如果绵羊的日增重大,能量需要中生产部分所占的比例就大,从而使能量利用的效率增高。因此,在生产实践中,我们要充分利用幼年羊转化牧草能为畜产品能效率较高的特点,积极推行肥育羔羊的生产技术,最大限度地提高牧草转化为畜产品的能力,避免肥育羊因能量供应不足而处于维持状态下的能量无谓损失,从而提高草原畜牧业的生产效率。

### 参 考 文 献

- 王钦、朱兴运,1984,高山草原牧草能量利用,中国草原与牧草杂志,1(1): 22—29。  
皮南林,1982,高寒草甸藏系绵羊种群能量动态研究。I. 藏系绵羊日食量及粪尿氮的测定,高寒草甸生态系统, 67—72, 甘肃人民出版社。  
许振英主编,1979,家畜饲养学。241—248。农业出版社。  
杨福圃、沙渠、张松林,1982,青海高原海北高寒灌丛和高寒草甸初级生产量,高寒草甸生态系统, 44—50,甘肃人民出版社。  
杨福圃、陆国泉、史顺海,1985,高寒矮嵩草草甸结构特征及其生产量,高原生物学集刊,(4): 49—56。  
Bickel. H. and A. Durrer, 1974, Energy utilization by growing sheep in Energy Metabolism of Farm Animal. Proc. 6th Symp. Energy Metabolism, 119—122。  
Orskov. E. R., I. Mcdonald., 1970, The utilization of dietary energy for maintenance and for fat and protein deposition in young growing sheep. Energy Metabolism of Farm Animals. Proc. 5th Symp. Energy Metabolism, 121—124。  
Petersen. C. B., 1970, Efficiency of protein and fat deposition in growing chickens determined by respiration experiment. Energy Metabolism of Farm Animals, Proc. 5th Symp. Energy Metabolism, 205—208。

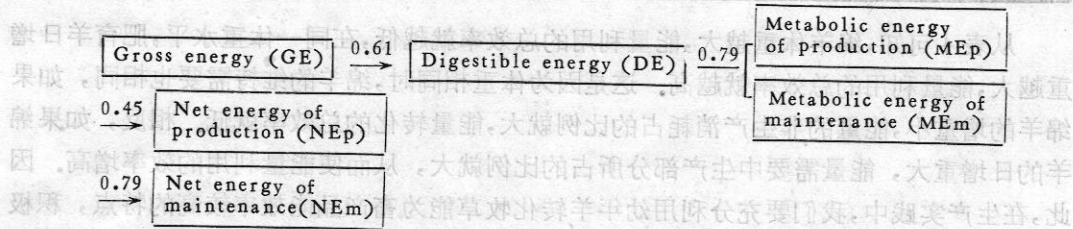
# A STUDY ON THE ENERGY METABOLISM OF RUMINANTS IV. MEASUREMENT ON THE EFFICIENCY OF ENERGY UTILIZATION AND REQUIREMENT FOR TIBETAN SHEEP

Pi Nanlin Zhao Xinquan

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

This experiment was carried out in 1977—1983 at Haibei Research Station of alpine meadow ecosystem in Menyuan, Qinghai, China. The gross energy, digestible energy, metabolic energy of maintenance, net energy of production, net energy of maintenance and basal metabolism of Tibetan sheep have been found. From the study, we acquire the efficiency of energy utilization and the energy requirement of fattening Tibetan sheep. The results are as follows:

1. The efficiency of energy utilization of fattening Tibetan sheep are showed as follows:



2. The energy requirement of maintenance of fattening Tibetan sheep have been found (Table 1). The requirement of metabolic energy of maintenance is  $105.82 \text{ Kcal/w}^{0.75}/\text{day}$ . The energy requirement (maintenance and production) of Tibetan sheep are showed in Table 2. For example, as body weight of fattening Tibetan sheep are 30, 40, 50 kg and daily body weight gain is 40 g, the requirement of metabolic energy are 1706.38, 2097.99 and 2474.61 kcal/day respectively.

3. According to the both on the pattern of pasture supply and on the needs of the animal, we can get the optimum stocking rate for *Kobresia humilis* meadow pasture and for *Dasiphora fruticosa* shrub pasture (Table 3). For example, as body weight of fattening Tibetan sheep is 30 kg and daily body weight gain is 40 g, the optimum stocking rate is 4.24 animals/ha for *Kobresia humilis* meadow pasture and 2.54 animals/ha for *Dasiphora fruticosa* shrub pasture.