

消费者亚系统

反刍动物能量代谢研究

VIII. 繁殖藏系母羊能量转化效率及能量需要测定

赵新全 皮南林 冯金虎

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

通过消化代谢及产热试验测得繁殖藏系母羊在不同季节的能量摄入、能量转化和能量需要。绵羊的能量摄入以牧草返青期最高,为31 919.61 kJ/d,草盛期、枯黄期和枯草期分别为23 499.58kJ/d, 16 486.17kJ/d和 14 681.37kJ/d。从摄入总能到消化能、代谢能的能量转化效率分别为0.62和0.79,其中从摄入总能到消化能的转化效率随季节变化较大。能量利用的总效率在草返青期和草盛期平均为16.31%,年加权平均值为2.50%。绵羊妊娠前期、中期、后期和泌乳期的每日摄入总能需要分别为18 337.22kJ, 19 440.75kJ, 20 544.12kJ及21 424.42kJ。

关键词:反刍动物;能量代谢;能量转化效率;能量需要;藏系绵羊。

母畜是畜群生产的基础,研究放牧状态下藏系繁殖母羊的能量转化效率和能量需要对合理地组织高寒牧区的畜牧业生产及深入研究高寒草甸生态系统的结构和功能均有重要意义,为此,笔者继对肥育藏系绵羊的能量代谢研究之后,于1988年4—12月在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站地区对繁殖藏系母羊的能量转化效率和能量需要进行了研究。

材料与方 法

试验动物选择健康无病、体重较一致的3—4岁繁殖藏系母羊6只,绵羊在枯草期(4月)、草返青期(6月)、草盛期(8月)和枯黄期(12月)的平均体重分别为35.79kg,41.72kg,44.25kg和46.37kg。

* 国家自然科学基金资助项目。

每次试验前, 绵羊在代谢笼中适应 2—3 天。绵羊一般在每年的 8—9 月配种, 12 月至翌年元月产羔, 每年繁殖 1 次, 每胎产 1 羔。

消化代谢试验在代谢笼中进行, 每只羊分昼夜 (相隔 3 天) 测定每日排粪量, 在试验前 3—4 天剪取与绵羊采食相近的牧草样品 100—150g, 用 4mol/L HCl 测定牧草及粪样中的盐酸不溶灰分 (AIA), 推算绵羊对牧草的消化率和日食量, 根据草样和粪样的热值求得绵羊的能量摄入和消化率。在进行消化试验的同时, 测定绵羊每日排尿量, 并取 12ml 尿样测定热值。甲烷气体能根据 Blaxter (1962) 的经验公式计算。这样可得绵羊每日代谢能获得和能量代谢率。

产热试验用 RA (C) III 型密闭回流式呼吸测热装置测定。其特点是气体回流时, 全部与外界隔绝而密闭, 绵羊置于呼吸小室中的代谢笼内, 并定量地向小室内供氧, 小室中的二氧化碳通过导管经室外吸收系统将绵羊呼出的二氧化碳及水吸收, 最后又回到小室内, 如此循环往复。每只羊测定 6 小时, 试验开始及结束时用感量为 50mg 的大型精密天平称量吸收罐重, 并采集小室和管道内的气样, 分析其二氧化碳和氧含量, 气样分析用美国产 Beckman 医用气体分析仪, 可得绵羊在 6 小时内的耗氧量和二氧化碳产生量及呼吸商, 根据耗氧量和氧热价计算绵羊每日静止产热量。

绵羊泌乳量、羔羊初生重及热值测定, 由于测定放牧绵羊泌乳量的困难性, 本研究未直接测定母羊的泌乳量, 仅根据羔羊在初生后的生长发育予以推算。在产羔期, 测定羊羔的初生重和胎盘重, 用氧弹式热量计测定其热值。

结果与分析

(一) 每日摄入能及消化能的季节变化

绵羊采食牧草经消化后, 部分能量以粪能的形式损失, 摄入总能减去粪能即为消化能。本研究测得放牧绵羊的摄入能及消化能列于表 1。

表 1 不同物候期繁殖母羊的摄入总能和消化能

Table 1 The gross energy and digestible energy of Tibetan reproductive ewe in different phenological periods.

物 候 期 (g) Phenological Period	枯草期 Withered	返青期 Green up	草盛期 Exuberance	枯黄期 Withering
日 食 量 (g) Daily dry matter intake (g)	811.17	1 761.66	1 257.67	882.50
摄 入 总 能 (kJ) Gross energy (kJ)	14 681.37	31 919.61	23 499.58	16 486.17
日 排 粪 量 (g) Amount of faeces (g)	430.17	406.67	428.67	402.00
粪 能 (kJ) Faeces energy (kJ)	7 627.54	6 840.03	7 927.54	7 128.07
消 化 能 (kJ) Digestible energy (kJ)	7 053.83	25 079.58	15 572.04	9 358.10
消 化 率 (%) Energy digestibility (%)	48.05	78.57	66.27	56.77

从表 1 可知, 繁殖母羊每日能量摄入、消化能及能量的消化率均以返青期最高, 草盛期次之, 枯黄期和枯草期最低; 绵羊每日粪能损失则无显著的季节差异。

(二) 每日代谢能获得及其变化

消化能被绵羊吸收后,其中部分不能被家畜利用经瘤胃发酵形成可燃气体,主要指在反刍动物消化道形成的甲烷(CH₄),经肠道和口腔排出。甲烷气体能损失根据下式计算,

$$E = 3.832X - 3.61$$

式中, E 为甲烷气体的克数, X 为可消化干物质的百克数,另外,可消化能中蛋白质部分不能在体内充分氧化利用,该部分未氧化的能量随尿排出,为尿能。消化能减去甲烷气体能为代谢能。表 2 示繁殖母羊每日甲烷能、尿能损失及代谢能获得。甲烷能、尿能分别占消化能的 7.64% 和 12.96%,从消化能到代谢能的转化效率在 4 个时期没有显著差异,其平均值为 78.62%。繁殖母羊的代谢能获得以草返青期最高,而其它时期则相对较低。

表 2 繁殖母羊每日尿能及甲烷气体能损失

Table 2 The urine energy and methane energy loss of breeding Tibetan ewe.

物候期 Phenological period	枯草期 Withered	返青期 Green up	草盛期 Exuberance	枯黄期 Withering
日排尿量(ml) Amount of urine (ml)	549.00	1302.83	2023.33	1294.16
尿能损失(kJ) Energy loss in urine (kJ)	877.09	2016.06	2115.21	1581.751
甲烷气体量(g) Methane amount (g)	9.28	48.31	24.94	12.48
甲烷能损失(kJ) Energy loss in methane (kJ)	519.41	2703.92	1395.91	698.77
代谢能(kJ) Metabolic energy (kJ)	5639.33	20359.60	12060.92	7077.58
能量代谢率(%) Energy metabolic rate (%)	80.20	81.18	77.45	75.64

(三) 每日产热量及能量转化效率

按营养学原理,家畜的总产热量包括维持产热和生产产热,而维持产热包括家畜的基础代谢产热,必要的活动产热、调节体温产热和热增耗,除基础代谢产热较恒定外,其它部分则随家畜所处的生理状态及外界环境的变化而变化。由于能量、物质在体内合成时其转化效率并非百分之百,因此,在生产代谢能向生产净能转化过程中有一部分生产产热,其变化与家畜的生产性能有密切的关系。在本项研究中,仅测定了绵羊在生产状态下的总产热,其结果见表 3。

由于绵羊经过漫长的冬季后,在食物条件得到改善的条件下,其代谢补偿能力特别强,每日能量沉积高达 6014.48 kJ,从而导致绵羊的生产产热特别高。据皮南林和赵新全(1988)报道,绵羊每增加体重 1g,其生产产热为 5.752J/W^{0.75}。因此,繁殖母羊在草返青期有最高的每日产热量(表 3)。其次,枯草期绵羊的每日产热量高于其它两个时期,这主要是因为冬季气温较低,绵羊必须通过增加产热以抵御外界寒冷,从而使其

表3 不同物候期繁殖母羊的每日产热量

Tbale 3 The daily heat production of Tibetan reproductive ewe in different phenological periods.

物候期 Phenological period	枯草期 Withered	返青期 Green up	草盛期 Exuberance	枯黄期 Withering
耗氧量(L/d) O ₂ consumption (L/d)	442.22	580.76	357.98	325.30
二氧化碳产生量(L/d) CO ₂ production (L/d)	393.58	522.68	323.95	242.27
呼吸商 RQ	0.89	0.90	0.90	0.75
静止产热量(kJ) Static heat production (kJ)	9 017.76	11 954.26	7 353.71	6 432.85
活动产热量(kJ) Move heat production (kJ)	10 821.31	14 345.12	8 824.45	7 719.42
生产净能(kJ) Net energy of production(NE) (kJ)	- 5 181.98	6 014.48	3 236.47	-641.84
能量利用总效率 NE/CE (%)	—	18.85	13.77	—
代谢能用于生产的效率 NE/ME(%)	—	29.55	26.83	—

体温相对恒定。

在草返青期，由于牧草生长旺盛，绵羊可得到充足的牧草供应，绵羊的产热主要来源于碳水化合物分解，该期绵羊蛋白质代谢为正平衡，无需考虑蛋白质代谢产热，因此，呼吸商较高，为0.90，其糖和脂肪参加氧化的比例为70%和30%。在枯黄期和枯草期，由于牧草停止生长而枯黄，其质量明显降低，不能满足绵羊的营养需要，绵羊必须分解体内脂肪和蛋白质产热来维持生命。在枯草期的前期，绵羊经过暖季放牧沉积了大量的脂肪和蛋白质，此时，若营养不足绵羊则主要依靠分解体内脂肪来维持生命过程，以呼吸商0.75计，其脂肪和糖类产热所占的比例分别为81%和19%。在枯草期的4月份，绵羊经过漫长的冬季，营养极度贫乏，体内脂肪基本耗尽，其产热有一部分靠分解体内蛋白质来实现，据测定，这个时期绵羊每日蛋白质分解量为26.57g，以每克体蛋白质分解所需的氧和产生的二氧化碳为0.95L和0.76L计算，蛋白质代谢所耗氧和二氧化碳产生量为25.24L和20.19L，那么非蛋白质代谢的呼吸商为0.90，以此呼吸商计算，糖类、脂肪和蛋白质产热所占的比例分别为66.95%、28.70%和4.35%。以上分析结果表明，由于高寒草甸草场可食牧草供给在一年之内分配与绵羊的营养需要不平衡，从而导致绵羊物质代谢有明显的季节变化规律。

绵羊生产净能（每日能量沉积）为：

$$\text{生产净能(NEp)} = \text{摄入总能(GE)} - \text{粪能(FE)} - \text{尿能(UE)} - \text{甲烷能(CH}_4\text{E)} - \text{总产热(HP)}$$

其中，总产热为绵羊在自然放牧状态的产热量，由于本试验绵羊是在呼吸室中测定，其产热为静止产热，据Blaxter(1962)的研究结果，绵羊在放牧状态下比静止状态下多产热20%，因此，绵羊在放牧状态下的产热量应在实测值的基础上加20%。依照上述，即

可计算不同时期繁殖藏系绵羊的生产净能获得 (表 3)。

繁殖藏系绵羊从摄入总能到消化能的转化效率为 0.62, 该值较 Bickel 和 Durrer (1974) 测定的结果 (0.65) 稍低。能量的代谢率 0.79 也比公认值 (0.82) 稍低; 但在草返青期和草盛期, 其能量的消化率和能量利用的总效率较其它绵羊品种高 (Huston 等, 1986), 分别达到 0.73 和 0.16。说明, 作为藏系绵羊品种本身, 有较高的利用牧草能量资源的能力, 只是在冬季, 由于牧草质量差且不能满足需要, 绵羊必须消耗在暖季沉积的脂肪和蛋白质, 这造成了大量非生产性牧草消耗, 从而导致全年能量转化效率低。从加权平均计算的结果可知, 3—4岁繁殖藏系母羊每年能量摄入为 $9.24 \times 10^9 \text{J}$, 而能量的沉积只有 $2.24 \times 10^8 \text{J}$, 平均能量利用效率为 2.50%, 该值只占暖季能量利用效率的 15.34%。在冬季, 绵羊要分解的体内沉积能为 $4.31 \times 10^8 \text{J}$, 若按暖季能量利用的总效率计算, 其消耗的摄入总能为 $2.64 \times 10^9 \text{J}$ 。在高寒草甸地区, 每公顷草场每年可提供给家畜的可利用能量为 $2.29 \times 10^{10} \text{J}$ (皮南林和赵新全, 1988), 而绵羊在冬季的能量损失, 相当于 0.12ha 草场的牧草产量, 从而, 造成能量的巨大浪费, 使藏系绵羊的能量转化效率低, 经济效益差。

(四) 能量需要

繁殖母羊的能量需要, 主要为繁殖期的能量需要。根据析因法原理, 可分别计算妊娠前期、中期、后期和泌乳期的能量需要。首先, 根据绵羊在不同季节生产净能与代谢能获得量, 求得维持代谢能需要, 经分析, 二者呈指数曲线变化, 其方程为:

$$Y = 8981.57 \times 1.0005X,$$

式中, Y 为每日代谢能, X 为每日生产净能 (kcal)¹⁾。当 X 为零时, 代谢能为 8981.57kJ, 该值为繁殖母羊的每日维持代谢能需要, 而能量的总需要则为维持与繁殖需要之和。据测定, 藏系绵羊的子宫沉积物 (羔羊和胎盘) 的蛋白质总量为 838g, 脂肪为 610.5g, 二者分别乘以热值 23.24kJ/g 和 39.29kJ/g, 其生产净能沉积量为 43778.81kJ, 其中, 约有 1/3 的沉积能是在妊娠中期 (2—3 月) 获得, 2/3 是在妊娠后期 (4—5 月) 获得, 据此, 可求得绵羊在妊娠中期和后期生产净能获得, 分别为 234.23kJ/d 和 486.49kJ/d, 将该值再除以生产代谢能用于生产净能的转化效率 0.45 (皮南林和赵新全, 1988), 即为每日生产代谢能需要, 生产代谢能加上维持代谢能即为代谢能需要, 代谢能除以能量代谢率和消化率即可求得消化能和摄入总能的需要 (表 4)。

表 4 繁殖母羊的能量需要
Table 4 The energy requirement of Tibetan reproduction ewe.

繁殖时期 Breeding period	妊娠前期 Early pregnancy	妊娠中期 Mid-pregnancy	妊娠后期 Late pregnancy	泌乳期 Lactation
代谢能(kJ) ME (kJ)	8981.57	9522.08	10062.51	10493.68
消化能(kJ) DE (kJ)	11369.08	12053.27	12737.35	13283.14
总能(kJ) GE (kJ)	18337.22	19440.75	20544.12	21424.42

1) 1cal=4.1868J。

泌乳期能量需要的计算为每日泌乳量乘以乳的热值 3 085.80kJ/kg 求得生产净能后,再除以代谢能用于生产的效率而得到生产代谢能,消化能与摄入总能算法与妊娠期相同。

由于妊娠前期绵羊的子宫内容物沉积很少,这个时期的能量需要以维持需要表示。

参 考 文 献

- 皮南林、赵新全, 1988, 反刍动物能量代谢研究, IV. 肥育藏系绵羊的能量转化效率和能量需要测定, 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 科学出版社, 123—128。
- 赵新全、皮南林, 1988, 反刍动物能量代谢研究, III. 藏系绵羊维持代谢能需要测定, 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集, 科学出版社, 117—122。
- 赵新全、皮南林、冯金虎, 1989, 反刍动物能量代谢研究, VI. 生长发育牦牛(1岁母牛)绝食代谢测定, 高原生物学报, 9: 165—172。
- Blaxter, K. L., 1962, The energy metabolism of ruminants, Hutchinson Scientific and Technical London, 79—124.
- Bickel, H. and A. Durrer, 1974, Energy utilization by growing sheep in energy metabolism of farm animal, Proc. 6th Symp. Energy Metabolism, 119—122.
- Huston, J.E., B.S. Rector, W.C. Ellis and M.L. Allen, 1986, Dynamics of digestion in cattle, sheep, goats and deer, *J. Anim. Sci.*, 62: 208—215.

STUDIES ON THE ENERGY METABOLISM OF RUMINANTS VIII. MEASUREMENT ON THE EFFICIENCY OF ENERGY UTILIZATION AND REQUIREMENT FOR BREEDING TIBETAN SHEEP

Zhao Xinquan, Pi Nanlin and Feng Jinhu

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences)

In this study we use the digestible, metabolic and heat production experiment method to measure the gross energy intake, efficiency of energy utilization and energy requirement of breeding Tibetan ewe. The results show that the energy intake of ewe in grass green up, exuberance, withering and withered periods are 14,681.37, 31,919.61, 23,499.58 and 16,486.17 kJ respectively. The efficiency of energy utilization from gross energy to digestible energy and metabolic energy is 0.62 and 0.79 respectively. The energy digestibility is different in four experiment periods. It is highest in the grass green up period. The average total efficiency of energy utilization in grass green up and exuberance period is 15.34%, but annual weight average total efficiency of energy utilization is only 2.50%. The gross energy intake requirements of ewe in early pregnancy, mid-pregnancy, late pregnancy and lactation are 18,337.22, 19,440.75 and 21,424.42 kJ respectively.

Key words: Ruminants; Energy metabolism; Efficiency of energy utilization; Energy requirement; Tibetan sheep.