

高寒草甸生态系统绵羊种群 能量动态的研究

II. 藏系绵羊种群能流的初步估计*

皮南林

(中国科学院西北高原生物研究所)

前 言

高寒草甸草场是发展畜牧业的物质基础,而合理利用与改良草原是提高草场单位面积产量和畜产品(乳、肉、毛、皮、绒)的重要措施。如何把植物生产的有机物质最有效地转化为动物产品;同时又较恰当地通过动物生产活动来不断地提高草场资源,这就必须采用生态系统的概念,研究系统内各组分之间的相互关系和相互作用,中心的问题是物质和能量交换和转化。在陆地草地生态系统中,草食哺乳动物是能量和物质转化的重要环节,且为人类提供食物,而绵羊为草食动物中数量较多,个体适中便于掌握的动物,故测定绵羊的种群能流具有重要意义。

关于反刍动物能量的利用和代谢能测定的研究。在国外有些学者(Milner, 1967; Bobek, Drosdz, Grodzinski & Weiner, 1974)都不同程度的进行过测定。在国内,华北农业大学畜牧系(1977)、杨诗兴等(1964)、任继周等(1978)和王祖望等(1980)均进行过有关牛、羊等反刍动物和啮齿动物营养需要及热能量的测定以及草原生产流程方面的试验研究。但涉及到高寒草甸草场生态系统初级消费者(食草动物)——绵羊种群的能流问题,迄今尚未见报道。基于上述情况,作者于1977年5—10月进行了海北高寒草甸草场生态系统藏系绵羊能量流动态的初步探讨。现整理成文,报道如下。

牧场的基本情况

工作点在门源种马场,该场位于青藏高原东北部边缘,祁连山东段,大通河河谷的

* 本项研究是在门源种马场的支持下进行的,工作中得到本所海北高寒草甸生态系统定位站周荣福、李建华、李柴树、梁杰荣、杨福国、周兴民等同志的大力协助,均此致谢。

本文蒙夏武平教授、戴亚英总畜牧师、王祖望副研究员、曾缙祥、肖运峰同志提出宝贵意见,特此表示感谢。全部热值测定由试验生态组承担。

西北部；地处北纬37°37'，东经101°19'，境内海拔3,200—3,800米，年平均温度0℃，平均最高温度12.2℃，平均最低温-15.1℃，年降水量381—536毫米(秋季占72—79%)，相对湿度63%，平均蒸发量1,319.6毫米，全年日照2,268.3小时，无绝对无霜期。冬季漫长，夏季短促，枯草期长达7个月之久，属于以中生多年生草本植物为主的高寒草甸草场。

材料与方 法

作者对藏系绵羊日食量的测定及粪、尿收集方法已见第一报。牧草、粪、尿热值的测定，按3个物候期进行。将已粉碎的天然牧草和粪便样品，分别压成1—1.2克重的小片，置干燥器内供热值测定用。样品均在国产GR-3500型氧弹式热量计内测定热值，燃烧时所放出的热量以克干物质计算，以千卡表示。甲烷(CH₄)是反刍动物的主要可燃燃烧气体，它占总能量的3—10%，实际要根据日粮的性质及采食饲料的水平而定。目前国外有几种计算反刍动物可燃燃烧气体能量损失的公式如Blaxter and Clapperton(1962)提出的，还有Swift(1967)改正的公式。根据海北高寒草甸牧场藏系绵羊对不同类型牧场混合牧草日采食干物质质量的平均消化率(65.23%)为基数，按照Blaxter, K. (1962)的公式计算(如表1)。

表1 不同物候期藏系绵羊甲烷损失的估算

Table 1 Estimation of food lost as methane by Tibetan sheep in different phenological periods

	($\bar{x} \pm SD$)		
(Blaxter and Clapperton 1962 Equation: $3.832X_1 - 3.61$ 公式:	返 青 期 Green up	草 盛 期 Exuberance	枯 黄 期 Withering
可消化干物质 Digestible dry matter of food intake per 100 g/day	15.46 ± 2.08	6.29 ± 1.16	9.39 ± 2.06
甲烷产生量 Methane production(g/day)	55.98 ± 8.01	20.52 ± 4.48	34.13 ± 7.75
甲烷能量损失 Energy lost of methane (kcal/day)	7.4979 ± 107.30	274.86 ± 59.99	457.15 ± 103.82
占摄入能量百分率 Energy intake %	6.79	5.03	5.64

$$E = 3.832X_1 - 3.61$$

E : 产生的甲烷量 (克)

X_1 : 可消化干物质质量 (100克单位)

实验结果

一、藏系绵羊每日采食干物质及能量摄入

绵羊的能量摄入 (C)，是指羊只在一定时期内的牧草总采食或消费。若按生态学常用的公式表示，则能量摄入为生产 (P)、呼吸 (R) 和随粪和尿 (Fu) 排出能量之总和 (Petrušewicz, 1967)：

$$C = P + R + Fu$$

如表 2 所示，在不同的时期，藏系绵羊的能量摄入呈明显季节性变化。草返青期摄入量较高，枯黄期居间，草生长盛期较低。返青期与草盛期，分别为 11029.61 ± 524.69 ； 5469.63 ± 384.26 千卡/羊/日，差异极显著 ($t = 8.179$ ； $P < 0.001$)；而与枯草期相比，两者差异也极显著 ($t = 3.651$ ； $P < 0.01$)。

表2 不同物候期藏系绵羊干物质摄入与能量摄入测定

Table 2 Measurements of dry matter intake and energy intake by Tibetan sheep in different Phenological periods

($\bar{X} \pm SD$)				
物候期 Phenological period	羊数 No. of sheep	体重 Body wt. (kg)	干物质摄入 Dry matter intake kg/sheep/day	能量摄入 Energy intake Kcal/sheep/day
返青期 Green up	8	44.6 ± 1.23	2.38 ± 0.13	11029.61 ± 524.69
草盛期 Exuberance	8	46.0 ± 0.93	1.19 ± 0.08	5469.63 ± 384.26
枯黄期 Withering	12	54.3 ± 0.98	1.77 ± 0.12	8101.64 ± 536.95

二、粪便和尿的热值

绵羊的粪便和尿 (Fu) 是牧草总摄入 (C) 中，不用于生产 (P) 和呼吸 (R) 的那一部分，用如下公式表示： $Fu = C - A = C - P - R$ 。藏系绵羊的粪便热值，随牧草生长时期而变化 (表 3)。草生长盛期较高为 $5.3407 \pm$

表3 不同物候期藏系绵羊粪、尿热值测定

Table 3 Measurements of faeces and urine caloric values in Tibetan sheep during the different phenological periods

 $(\bar{X} \pm SD)$

物候期 Phenological period	羊数 No. of sheep	平均值 (\bar{X})	范围 Range	标准差 (SD)	标准误 (SE)
(粪) (Faeces) Kcal/g(of ash-free dry wt)千卡/克除灰分)					
返青期 Green up	6	5.2455	5.1533—5.3227	0.056	0.023
草盛期 Exuberance	12	5.3407	5.2221—5.4072	0.50	0.014
枯黄期 Withering	10	5.2325	5.1189—5.2932	0.066	0.029
(\bar{X})	—	5.2817	5.1189—5.4072	0.078	0.014
(尿) (Urine)Kcal/g—liquid 千卡/克—液重					
返青期 Green up	6	0.1702	0.1560—0.1787	0.020	0.008
草盛期 Exuberance	6	0.2501	0.2129—0.2622	0.020	0.008
枯黄期 Withering	11	0.3822	0.2491—0.6432	0.166	0.050
(\bar{X})	—	0.2924	0.1560—0.6432	0.144	0.030

0.01千卡/克与返青期和枯黄期相比, 差异极显著 ($t = 3.595, t = 4.288; P < 0.01$); 而返青期和枯黄期粪便的热值则分别为 5.2455 ± 0.02 千卡/克, 5.2325 ± 0.03 千卡/克,

两者相比则差异不显著 ($t = 0.398; P > 0.05$)。可是, 尿的热值则以枯黄期较高, 草盛期居间, 分别为 0.3822 ± 0.05 千卡/克——液重; 0.2501 ± 0.01 千卡/克——液重。草盛期与返青期相比, 两者差异显著 ($t = 2.212; P < 0.05$)。藏系绵羊随粪和尿损耗的能量, 直接与牧草营养成分的变化、季节性含水量以及干物质积累有着密切的关系。

三、藏系绵羊每日消化率和同化率比较

绵羊从摄入能量 (C) 中减去粪便损失的能量 (F), 剩下的即为已消化的能量 (D), 以该值占摄入能量的百分率表示, 即称为消化率 (DR)。

$$\text{公式: } DR = \frac{C - F}{C} \times 100$$

由摄入能量 (C) 减去粪和尿以及气态排出物甲烷 (CH_4) 的能量 (m), 剩余者称之为同化能 (A)。

$A = C - (F + U + M_{CH_4})$ 因此, 同化率 (AR) 可用如下公式表示:

$$AR = \frac{C - (F + U + M_{CH_4})}{C} \times 100$$

由表 4 可以看出, 藏系绵羊在不同的物候期无论对牧草的消化率或同化率的变化均趋于一致。以返青期较高, 分别为 $84.18 \pm 1.82\%$; $77.88 \pm 2.14\%$, 其次为枯黄期, 分别为 $68.20 \pm 0.05\%$; $61.24 \pm 4.77\%$ 。而草盛期则较低, 分别为 $57.08 \pm 0.05\%$; $51.49 \pm 4.59\%$ 。

讨 论

一、藏系绵羊每日能量代谢评价

羊只维持生命、生产动物蛋白、脂肪等产品都需要能量, 其所需之能量来源于草场初级净生产中即可食性牧草的有机物质, 主要是碳水化合物, 其次是蛋白质和脂肪。但草场中不同物候期的牧草种类不同, 其营养物质及热量亦不一样。同时牧草中的能量并不能全部被羊只所利用, 在体内转化过程中要损失相当多的能量 (图 1)。为了探索高寒草甸藏系绵羊的代谢过程。作者根据其每日从牧草中摄入的能量以及通过排泄物 (粪便和尿液), 气态排出物甲烷 (CH_4) 的能量, 其能量的转化与平衡如表 5。

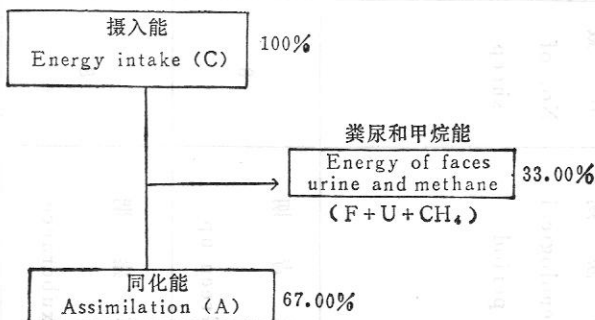


图 1 藏系绵羊能量转换

Fig. 1 Energy conversion by Tibetan sheep

表4 不同物候期藏系绵羊每日消化率和同化率比较

Table 4 Comparison of the daily digestibility and assimilation rate in Tibetan sheep during the different phenological periods

 $(\bar{X} \pm SD)$

物 候 期 Phenological period	羊 数 No. of sheep	摄 入 能 [Energy of intake (C) Kcal/sheep/ day	粪中损失的能量 Energy of faeces lost (F) Kcal/sheep/ day	消 化 率 Digesti- bility (DR) %	尿中损失的能量 Energy of urine (U) Kcal/sheep/ day	甲烷中损失的能量 Energy of methane lost (m CH ₄) Kcal/sheep/day	同 化 率 Assimi- lation/ rate(AR) %
返 青 期 Green up	8	11029.61 ± 524.69	1714.62 ± 184.55	84.18 ± 1.82	31.43 ± 1.13	749.79 ± 37.94	77.88 ± 2.14
草 盛 期 Exuberance	8	5469.63 ± 384.26	2264.48 ± 182.25	57.08 ± 4.93	31.67 ± 1.14	274.86 ± 21.22	51.49 ± 4.59
枯 黄 期 Withering	12	8101.64 ± 536.95	2356.81 ± 203.93	68.20 ± 4.79	86.92 ± 0.04	457.15 ± 29.97	61.24 ± 4.77

表5 藏系绵羊能量的转换与平衡

Table 5 Energy conversion and balance in Tibetan sheep

牧草消耗量 (干物质) 1.81公斤/日 Quantity of grass consumed (of dry matter) 1.81 kg/day	千卡/日 kcal/day	占摄入能百分率 Energy intake%
摄入量 Energy intake(C)	8186.20	100.00
粪便排出的能量 Energy of the excreted faeces (F)	2146.40	26.20
尿中排出的能量 Energy of the excreted urine (U)	56.20	0.70
甲烷中损失的能量 Energy of the methane lost (CH ₄)	499.19	6.1
同化 Assimilation (A)	5484.41	67.00

由表5明显看出,海北高寒草甸草场藏系绵羊从牧草中摄入的能量,由粪便和尿以及甲烷这些途径损失的能量占摄入能量的33.00%,其中粪便是摄入能量损失的主要途径,约占26.20%。甲烷能的损失,取决于牧草的质量及羊只的采食量。所获甲烷能量损失占摄入能量6.1%,在不同时期以返青期较高9.16%,草盛期较低3.36%。实际藏系绵羊利用了67.00%的同化能。据奈凌格(1959)认为同化能是机体所获得的最高能量。

二、藏系绵羊种群能流的初步估计:

在高寒草甸生态系统中,确定草场初级净生产与初级消费者(食草动物)——藏系绵羊种群摄入能量(C)与同化能(A)之间的平衡关系,这对于系统内各组分之间的相互作用有着十分重要的意义。作者在藏系绵羊对天然牧草的消化率和同化率水平的测定基础上,根据(Grodzinski,1975)公式初步计算出单位面积上藏系绵羊种群的能流(A)。其计算公式如下:

$$A = \{ Kc \times C - [(K_f \cdot F) + Ku \cdot U + Km \cdot M] \} N \times T$$

C: 每日动物消耗或摄入食物的干物质量(公斤);

N : 在 T 时间内, 单位面积上的绵羊密度(只/公顷);

T : 不同季节的天数(日);

F : 动物每日排出粪便干物质质量(公斤);

U : 动物每日排出尿量(公斤——液重);

M : 动物每日排出的甲烷(CH_4)量(公斤);

K_c : 天然混合牧草的热值(千卡/公斤, 干物质, 除灰分);

K_f : 粪便的热值(千卡/公斤——干物质);

K_u : 尿的热值(千卡/公斤——液重);

K_m : 甲烷的热值(千卡/公斤)。

如果仅计算通过1头动物的能流, 只须取消式中的“ N ”即可。计算藏系绵羊不同时期测定的各项数据如表6。

现按牧草不同生长期的初级生产(P_n) (1977年资料)*以 9.27×10^6 千卡/公顷/年与藏系绵羊种群摄入能量和同化能进行衡量, 如表8。

由表8所示, 在高寒草甸生态系统中, 通过藏系绵羊种群能流为 $A = 0.798 \times 10^6$ 千卡/公顷/年, 如以高寒草甸初级净生产总能(P_n)为 9.27×10^6 千卡/公顷/年, 进行衡量, 被藏系绵羊种群消耗了 1.136×10^6 千卡/公顷/年, 占草场初级净生产总能的12.25%。被藏系绵羊同化的能量为 0.798×10^6 千卡/公顷/年, 占草场初级净生产总能的8.48%。就牧草不同生长期比较看, 返青期和枯黄期藏系绵羊种群摄入和同化的能量均较高, 分别占草场初级净生产总能的5.52—5.74%和4.27—3.81%; 而草盛期则较低各占0.99%和0.53%。差异显著($P < 0.05$)。这种季节性的不均衡状态, 据汤逸人(1964)报告, 家畜的许多生理特性是具有季节性的, 季节变异包含着外界因素如温度、湿度、光照、营养物质等变化。据Blaxter(1961)用羊做试验, 探索环境温度对绵羊的消化与能量代谢的影响, 在中等和低级的饲养水平条件下, 环境温度的变化(在 8°C — 38°C 范围内), 对日粮净能或生产能的影响并非固定, 而是随环境温度及畜体产热量的变化而变化。例如每日用1.2公斤干草喂绵羊, 在试验中测得, 当环境温度为 33°C 时, 羊体每日沉积能量为200—326千卡, 但当环境温度下降到 8°C 时, 虽用同样的日粮喂羊, 不但不在体内沉积能量, 反而由体内贮存的能量中每日消耗1.493—1.527千卡(杨诗兴等, 1964)。由此得知, 环境温度的降低, 必然消耗较多的饲料, 才能满足代谢增加的需要, 以弥补其体热的散失, 借以维持正常的体温。因此, 草返青期和草枯黄期藏系绵羊无论是摄入或同化的能量均高于草盛期4.53%和4.75%或3.74%和3.28%。

为了反映高寒草甸生态系统, 由太阳能及无机物转化为牧草, 再从牧草转化为动物产品的能流全过程。就我们在高寒草甸生态系统能量转换中起重要作用的两类初级消费者, 一类是以植物为食的草食哺乳动物, 它是能量和物质转化的重要环节, 且为人类提供畜产品(乳、肉、毛、皮、绒等)的家养反刍动物; 另一类是高寒草甸草场上数量大、危害牧场的草食性啮齿动物——高原鼠兔(*Ochotona curzoniae* Hodgson)和中华鼢鼠(*Myospalax fontanierii* Mile-Edwards), 它们之间在能量分配及其定量关

* 此项资料引自杨福园、沙渠、张松林《高山灌丛和草甸第一性生产量测定初步研究》一文。谨此致谢。

表6 藏系绵羊能流的参数
Table 6 Parameters of energy flow in Tibetan sheep

物 候 期 Phenological period	返 青 期 Green up	草 盛 期 Exuberance	枯 黄 期 Withering	平 均 Average
物候期天数 Periods (day)	91	62	212	—
各期占全年天数百分率 Periods (%)	24.93	16.99	58.08	—
单位面积上的绵羊密度只/公顷 Density of sheep (Individuals/ha)	0.51	0.27	0.31	0.35
干物质摄入量 (公斤/日) Food intake (dry matter) (kg/day)	2.38	1.19	1.77	1.81
(粪) (公斤/日) Faeces (kg/day)	0.33	0.42	0.45	0.41
(尿) (公斤-液重/日) Urine (kg-Liquid/day)	0.19	0.13	0.24	0.20
混合牧草热值千卡/公斤干重 Caloric content of food (Kcal/kg-dry wt)	4626.5	4605.9	4587.6	4600.4
粪中的热值千卡/公斤干重 Caloric content of faeces (Kcal/kg-dry wt)	5245.5	5340.7	5232.5	5281.7
尿中的热值千卡/公斤-液重 Caloric content of urine (Kcal/kg-Liquid)	170.2	250.1	382.2	292.4
(甲烷) (公斤/日) Methane (kg/day)	0.060	0.021	0.034	0.037
甲烷的热值 (千卡/公斤) Caloric content of methane (Kcal/kg)	13.344	13.344	13.344	13.344

表7 藏系绵羊种群能流估计

Table 7 Estimation of energy flow through the population of Tibetan sheep

物 候 期 Phenological period	返 青 期 Green up	草 盛 期 Exuberance	枯 黄 期 Withering	全 年 Whole year
Kcal/ha 千卡/公顷				
摄 入 能 (总 能) Energy intake (Total energy)	0.512×10^6	0.092×10^6	0.532×10^6	1.136×10^6
损 失 能 量 (粪、尿、甲烷) Energy cost (F.U.CH ₄)	0.116×10^6	0.043×10^6	0.179×10^6	0.338×10^6
同 化 能 Assimilation (A)	0.396×10^6	0.049×10^6	0.353×10^6	0.798 ± 10^6

表8 藏系绵羊种群摄入能与同化能比较

Table 8 Comparison of the energy intake and assimilation energy in the population of Tibetan Sheep

物 候 期 Phenological period	摄 入 能	同 化 能		
	Energy intake (C) Kcal/ha/yr	Energy assimilation (A) (Kcal/ha/yr)	(C/Pn) %	(C/Pn) %
初 级 净 生 产 总 能				
Total energy of net primary production (Pn-- 9.27×10^6 Kcal/ha/yr 千卡/公顷/年)				
返 青 期 Green up	0.512×10^6	0.396×10^6	5.52	4.27
草 盛 期 Excuberance	0.092×10^6	0.049×10^6	0.99	0.53
枯 黄 期 Withering	0.532×10^6	0.35×10^6	5.74	3.81
全 年 Year	1.136×10^6	0.798×10^6	12.25	8.61

系上具有重要的意义。

究竟藏系绵羊种群从高寒草甸初级净生产 (P_n) 总能量 9.27×10^6 千卡/公顷/年中摄入和同化了多少能量? 根据我们的计算, 通过藏系绵羊种群能流为 $A = 0.798 \times 10^6$ 千卡/公顷/年, 被摄入 (C) 为 1.136×10^6 千卡/公顷/年, 分别占高寒草甸初级净生产总能的 8.61%; 12.25%。但高寒草甸初级净生产 (P_n) 由于草原畜牧业的水平高低、动物种类的差异, 牧草的生育阶段 (幼嫩和粗老) 不同等因素的影响。从牧草到家畜至少可分作采食牧草和可消化营养物质这两个转化阶段, 两者的变异幅度可以有 30—80% 的相差 (任继周, 1978)。

由上述绵羊——初级消费者的能量消耗状况看来, 被植物群落固定的能量中, 有 12.25% 的能量进入了藏系绵羊种群。根据 Lindeman (1942) 称作“百分之十定律”, 即在自然界中进入任何群体的能量中的一小部分, 可以用来转移给靠它喂养的群体。转移的能量的实际数值或许变动很宽。赫钦逊等 (1974) 认为被植物群落固定的能量中, 大概有 10—20% 的能量转移给素食者。

参 考 文 献

王祖望、曾绍祥、韩永才、张晓爱, 1980, 高山草甸生态系一小哺乳动物能量动态的研究。

1. 高原鼠兔和中华鼯鼠对天然食物的消化率和同化水平的测定, 动物学报, 26 (2), 184—193。

任继周, 1978, 草原生产流程及草原季节畜牧业, 中国农业科学, 农业出版社。

华北农业大学畜牧系, 1977, 牛的营养需要, 中国农林科学院科技情报研究所。

汤逸人, 1964, 家畜的生态学, 畜牧学进展, 第一册, 中国畜牧兽医学学会编、农业出版社, 14—22。

杨诗兴、朱兴远, 1964, 家畜气候生理学的进展, 第一册, 中国畜牧兽医学学会编、农业出版社, 92

—97。

奈凌格, k, 1965, 家畜饲养与饲料, 北京农业大学畜牧系饲养教研组, 西北农学院畜牧兽医系畜牧总论教研组译, 农业出版社, 218—234。

赫钦逊 G.E. 等著, 1974, 生物圈, 华北农业大学植物生理教研组译, 科学出版社 28—29。

Blaxter·K·L·1961, 草地产品能量的利用, 第八届国际草地会议论文集, 中国农业科学院情报资料室译, 农业出版社, 495—500

Bobek B, .A. Drozdz, W.Grodzinski and, J.Weiner, 1974. Studies on productivity on the roe deer population in Poland. proc. XI Int. Congr Game Biol; 115-123. Stockholm.

Grodzinski, W., and B.A.Wunder 1975. Ecological energetics of small mammals In Golley F.B. (ed) :International Biological Programme 5 small mammals their productivity and population dynamics. pp173-204. Cambridge University press.

Milner.C.1967.The estimation of energy flow through populations of large herbivorous mammals. In petrusewicz.K. (ed) :Secondary productivity of terrestrial ecosystems, Warszawa, pp147-148.

petrusewicz, K, 1967. Suggested list of more important concept in productivity studies (difinitions and symbols) .In petrusewicz, K. (ed) Secondary productivity of terrestrial ecosystems. pp51-58. Warszawa.

外文摘要 (Abstract)

ENERGY DYNAMICS OF THE POPULATION
OF SHEEP IN ALPINE MEADOW ECOSYSTEM

I. THE PRELIMINARY ESTIMATION OF ENERGY FLOW THROUGH THE
POPULATION OF TIBETAN SHEEP IN ALPINE MEADOW ECOSYSTEM

PI Nanlin

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

The work was mainly carried out in Menyuan Horse-Ranch of Qinghai Province in 1977. The population of Tibetan sheep played an important role in both energy flow and matter circulation in alpine meadow ecosystem. The results obtained from energy flow through the population of Tibetan sheep were summarized as follows:

1. The energy flow through the population of Tibetan sheep (A) was 0.798×10^6 Kcal/ha/yr. The energy intake by population of Tibetan sheep was 1.136×10^6 Kcal/ha/yr. The intake and assimilated energy made up 8.61% and 12.25% of total net primary production respectively ($P_n = 9.27 \times 10^6$ Kcal/ha/yr).

2. The results showed that the energy levels whether intake or assimilated by the population of Tibetan sheep are highest in period of green up (Spring) and withering (Autumn-winter), and lowest in Exuberance (Summer) (Table 7).