

高寒草甸生态系统艾虎种群能量动态的研究*

梁杰荣 金菊香 叶润蓉

(中国科学院西北高原生物研究所)

摘 要

动物种群能流的研究具有重要的意义。为阐明食肉动物与食草动物能量的相互关系,我们于1982年4—10月在青海省门源县海北高寒草甸生态系统定位站地区,测定了艾虎对食物的消化率和同化率,同时统计其密度,初步估计通过其种群的能量流。

艾虎全年平均摄入干物质为0.125克/克体重/日;摄入总能为0.709大卡/克体重/日,同化能、粪便和尿的排出能分别占其80.18%、14.58%和5.25%。全年摄入能为 1.157×10^5 大卡/公顷,通过种群能流为 0.917×10^5 大卡/公顷/年。

上述结果表明,通过艾虎种群的能量流是比较少的。因此,保护艾虎,增加其数量,是高寒草甸生态系统改造的任务之一。

食肉动物属二级消费者,它们以草食动物为食。为阐明食肉动物与食草动物能量流的相互关系,我们于1982年4—10月,在青海海北高寒草甸生态系统定位站地区,测定了艾虎(*Mustela eversmanni*)对天然食物的消化率和同化率,同时,统计了艾虎的密度,然后初步估计通过其种群的能量流。国内外对哺乳动物种群能流研究的报道甚多,例如Odum *et al.* (1960)、Milner(1967)、Gorecki(1971)、Grodzinski(1975)、皮南林(1982)等对通过动物种群的能流做了初步的估计。有关食肉动物种群的能流,国内尚未见报道。本文研究和分析了艾虎的日食量、排泄量、能量摄入、消化率、同化率以及通过种群的能流,为进一步研究高寒草甸生态系统的能量流提供有关参数。

一、材料与方法

实验动物捕于青海省海北生态系统定位站地区,海拔约3,200米。消化率和同化率测定,采用平衡法,在代谢笼内进行,代谢笼根据王祖望等(1980)报道的方法,结合艾虎的生活习性进行适应改进。动物在室内饲养3—4天,选择健康的动物参加实验。室温在18—22℃之间。将实验动物称重后移入代谢笼内,每笼一只,每组4只。在预备试验的基础上,确定每天每笼投喂食物——高原鼠兔(*Ochotona curzoniae*)和高原麝鼠(*Myospalax baileyi*)400—500克。实验周期为24小时。实验结束后,将动物取出,分别称重、记录。同时仔细收集剩余的食物残渣、粪便和尿。全部试验分别在牧草返青期(4—6月)、草盛期(7—8月)和枯黄期(9—3月)3个时期进行。将食物和粪便样品称重后,置80—100℃烘箱内充分

* 青海省海北定位站王德须站长对这项工作给予很大帮助,何海菊同志参加部分热值测定,特此致谢。

干燥恒重、供热值测定用。尿样品称液重后, 加 1—2 滴 1% 浓度的硫酸溶液, 置普通冰箱内保存。

食物粪便和尿样品Drozdz(1975)的方法处理后, 用日本YM-型数字热量计, 根据Gorecki(1975)介绍方法进行测定。

日食量分别用食物鲜重和干重表示。食物鲜重是指艾虎摄食鼠类的重量(包括食物蒸发的水分重); 食物干重是指摄入的干物质, 其测定方法是, 将活鼠处死后称重, 立刻置烘箱干燥至恒重。鲜重减去干重即为失水重。然后求出每100克食物(鲜重)所含干物质(克), 将每只动物每日摄入的食物(鲜重)乘以含干物质的百分数, 即为干物质摄入量(克/只动物/日)。食物热值(大卡/克干物质)乘以干物质摄入量, 即为能量摄入(大卡/只动物/日), 再除以每只动物的体重(克), 即为每日每克体重的能量摄入(大卡)。

艾虎的数量统计, 采用固定样地观察法, 其方法是, 在上述3个时期, 在金露梅灌丛, 人工草地, 垂穗坡碱草草甸以及矮嵩草草甸草场, 分别选固定样地4公顷, 总计16公顷。每一时期, 在每一样地连续观察4—5天(主要在早晨和傍晚观察), 然后, 根据艾虎的活动足迹、粪便、洞道特征以及遇见的动物数量, 详细分析, 最后估计其密度。在上述测定其能量摄入和损失的基础上, 初步计算出单位面积上种群的能流。

二、结果与讨论

1. 艾虎的日食量和排泄量

艾虎在不同季节的日食量和排泄量, 经测定结果列于表1。

表1 艾虎的日食量和排泄量(平均值±标准差)

物候期	动物数	性别	体 重 (克)	日食量(克/克体重/日)		粪(克/克体重/日)		尿 (克-液重/克 体重/日)
				鲜 重	干 重	鲜 重	干 重	
返青期	5	♀	768.±56.62	0.422±0.113	0.149±0.028	0.030±0.010	0.029±0.008	0.122±0.026
	4	♂	942.0±84.86	0.386±0.101	0.140±0.029	0.042±0.007	0.016±0.004	0.087±0.026
	平 均		855.0±70.61	0.404±0.110	0.145±0.029	0.036±0.009	0.023±0.009	0.015±0.026
草盛期	13	♀	740.8±76.51	0.398±0.041	0.126±0.009	0.056±0.013	0.023±0.006	0.152±0.022
	10	♂	1034.0±148.34	0.309±0.043	0.116±0.025	0.042±0.008	0.017±0.003	0.116±0.025
	平 均		887.4±112.41	0.354±0.069	0.121±0.018	0.049±0.011	0.020±0.005	0.134±0.024
枯黄期	8	♀	982.5±60.98	0.308±0.080	0.092±0.029	0.062±0.025	0.019±0.003	0.113±0.012
	7	♂	1265.7±106.75	0.346±0.043	0.144±0.011	0.081±0.016	0.018±0.003	0.124±0.008
	平 均		1124.1±83.87	0.327±0.069	0.118±0.034	0.072±0.021	0.019±0.003	0.119±0.010
全 年 平 均 *			1017.30	0.351	0.125	0.059	0.020	0.117

* 采用加权计算, 其方法是: 全年平均 = $3/12 \times x_1 + 2/12 \times x_2 + 7/12 \times x_3$

(x_1, x_2, x_3 分别代表返青、草盛和枯黄期的平均数)。

由表 1 看出, 艾虎在牧草返青、草盛和枯黄期的日食量(鲜重)分别为 0.404 ± 0.110 克、 0.354 克和 0.327 克/克体重, 全年平均为 0.351 克/克体重/日; 其干物质的摄入量分别为 0.145 ± 0.029 克, 0.121 ± 0.018 和 0.118 ± 0.034 克/克体重/日。

全年平均为 0.125 克/克体重/日。艾虎在返青期的日食量较高, 其次是草盛期, 枯黄期较低。动物在返青期, 由于活动增加, 并开始交配、繁殖, 消耗较多的能量, 因此, 其食量也相应地增加。伶鼬 (*Mustela nivalis*) 平均摄入干物质为 0.345 克/克体重(Moor, 1977), 而艾虎摄入干物质为 0.125 克/克体重。前者明显地高于后者。

在三个时期中, 艾虎粪便的排泄量(干重)比较接近, 分别为 0.023 ± 0.009 克、 0.020 ± 0.005 克和 0.019 ± 0.003 克/克体重/日。艾虎尿的排泄量在草盛期比较高, 其次是枯黄期, 返青期较低。

2. 艾虎食物、粪和尿的热值

艾虎食物、粪和尿的热值, 测定结果列于表 2。

表 2 艾虎食物、粪(去灰分干物质)和尿的热值

物候期	食 物		粪		尿	
	样品数	大卡/克	样品数	大卡/克	样品数	大卡/克
返 青 期	10	5.94 ± 0.34	10	5.21 ± 0.48	8	0.24 ± 0.02
草 盛 期	12	5.38 ± 0.23	39	4.89 ± 0.38	8	0.26 ± 0.02
枯 黄 期	10	5.58 ± 0.51	10	5.26 ± 0.23	8	0.37 ± 0.03
全年平均*	—	5.64	—	5.19	—	0.32

* 加权法计算, 方法见表 1。

由表 2 看出, 食物热值以返青期较高、草生长期较低, 枯黄期居中, 此种季节变化与这种啮齿动物的繁殖期主要集中在 4、5 月有关(曾绍祥等, 1981)。粪和尿的热值在不同季节差异不大。就全年而言, 食物热值平均为 5.6 大卡/克, 粪和尿的热值分别为 5.19 大卡/克和 0.32 大卡/克-液重。

3. 艾虎每日能量的摄入和损失

艾虎在上述三个时期的每日能量摄入分别为 0.859 ± 0.180 、 0.651 ± 0.091 和 0.660 ± 0.110 大卡/克体重。由此可见, 返青期的能量摄入显著地高于草盛期($t = 15.10$, $P < 0.01$)和枯黄期($t = 9.064$, $p < 0.01$)。这可能与春季活动频繁, 处于交配和繁殖时期有关。草盛期与枯黄期的能量摄入比较接近($t = 0.789$, $p > 0.05$), 两者无显著差异。全年艾虎摄入总能为 0.709 大卡/克体重/日。艾虎在 3 个物候期的粪便能量损失分别为 0.117 ± 0.017 、 0.098 ± 0.021 和 0.098 ± 0.013 大卡/克体重/日, 全年平均为 0.102 大卡/克体重/日。艾虎全年平均尿的能量损失为 0.038 大卡/克体重/日。

艾虎对食物的消化率和同化率(表 3), 计算方法是由摄入能量(C)减去粪便中损失的能量(F), 剩余者即为消化能量(D), 该值以占摄入能量的百分率表示, 称为消化率(DR), 其表达式为 $DR = (c - F)/c \times 100\%$; 由摄入能量(c)减去粪便和尿的能量(F, U), 剩余者称

表3 艾虎的能量摄入和损失与消化率和同化率 (平均值±标准差)

物候期	动物数	性别	能量摄入与损失 (大卡/克体重/日)			粪 便 (%)	消 化 率 (%)	尿 (%)	同 化 率 (%)
			食 物	粪	尿				
返青期	5	♀	0.885±0.195	0.151±0.011	0.029±0.004	17.06±3.99	82.94±3.99	3.28±0.71	79.66±4.54
	4	♂	0.832±0.165	0.083±0.022	0.021±0.006	9.98±1.91	90.02±1.91	2.52±0.57	87.50±2.46
	平均	—	0.859±0.180	0.117±0.017	0.025±0.005	13.62±2.95	86.38±2.95	2.91±0.64	83.47±3.50
草盛期	13	♀	0.678±0.050	0.112±0.022	0.040±0.004	16.52±3.98	83.48±3.98	5.90±0.70	77.58±4.35
	10	♂	0.624±0.132	0.083±0.019	0.030±0.010	13.30±2.86	86.70±2.86	4.80±1.04	81.90±4.35
	平均	—	0.651±0.091	0.098±0.021	0.035±0.007	15.05±3.42	84.95±3.42	5.38±0.87	79.57±3.91
枯黄期	8	♀	0.513±0.161	0.100±0.019	0.012±0.005	19.50±4.90	80.50±4.90	8.18±1.45	72.32±5.90
	7	♂	0.804±0.061	0.095±0.007	0.046±0.003	13.44±0.74	86.56±0.74	5.34±0.36	81.21±0.80
	平均	—	0.660±0.110	0.098±0.013	0.044±0.004	14.85±2.82	85.15±2.82	6.21±0.91	78.94±6.95
全年平均*			0.709	0.102	0.038	14.58	85.42	5.25	80.18

* 采用加权计算, 方法同表1所述。

为同化能量(A), 该值以摄入能量的百分率表示, 称为同化率(AR), 其表达式为 $AR = (c - FU) / c \times 100\%$ (Petrusewicz, 1967)。

艾虎摄食鼠兔和鼯鼠时, 在三个时期的消化率分别为 86.38 ± 2.95 、 84.95 ± 3.42 和 $85.15 \pm 2.82\%$, 三者比较接近, 全年平均为 85.42% 。三个时期的同化率分别为 83.47 ± 3.50 、 79.57 ± 3.91 和 $78.94 \pm 6.95\%$, 牧草返青期艾虎对食物的同化率比较高。全年艾虎同化率平均为 80.18% 。

综上所述, 艾虎从食物中摄入的能量全年平均为 0.709 大卡/克体重/日, 粪便损失能量占 14.58% , 尿能量损失占 5.25% , 实际利用同化能为 80.18% 。这与 Grodzinski (1975) 和 郑生武等 (1983) 对鼯类的研究结果大致相同。毛丝鼠 (*Chinchilla lanigera*) 的同化能为 66.95% (梁杰荣等, 1982), 明显地低于艾虎的同化能。

4. 艾虎种群能量流的初步估计

在高寒草甸生态系统中, 确定初级生产与初级消费者 (食草动物) 以及二级消费者 (食肉动物) 种群摄入能量与同化能之间的平衡关系, 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。本文在艾虎对天然食物的消化率和同化率测定的基础上, 根据 Grodzinski 等 (1975) 的公式初步计算出单位面积上艾虎种群的能流。

其计算公式如下:

$$A = \{Kc \times c - [(Kf \times F) + (Ku \times U)]\} \times \bar{N} \times T \times \bar{W}$$

c: 每日每克体重平均摄入的干物质 (克);

F: 每日每克体重平均排出粪便干物质 (克);

U: 每日每克体重平均排出尿量 (克-液重);

Kc :食物热值 (大卡/克, 去灰分干物质);

Kf :粪便热值 (大卡/克, 去灰分干物质);

Ku :尿热值 (大卡-克液重);

$\bar{N}$:在 T 时期内, 单位面积的数量 (只/公顷);

T :估计能流的时间 (天);

$\bar{W}$:每只动物平均体重 (克);

计算通过艾虎种群能流的有关参数如表 4。

表 4 艾虎种群的能流参数

物 候 期	平均体 重 (克) **	C 干物质(克)	F 干物质(克)	U (克-液重)	Kc (大卡/克)	Kf (大卡/克)	Ku (大卡/克 液重)	T (天)	$\bar{N}$ (只/公顷)
返 青 期	855.0	0.145	0.023	0.105	5.95	5.21	0.24	91	0.25
草 盛 期	837.4	0.121	0.020	0.134	5.38	4.89	0.26	62	0.57
枯 黄 期	1124.1	0.118	0.019	0.119	5.58	5.23	0.37	212	0.56
全年平均*	1017.3	0.125	0.020	0.117	5.64	5.19	0.32	—	0.45

* 加权法, 同表 1

**由于缺乏野外调查获得的种群的平均体重数据, 这里应用了表 1 数据。

将上述参数代入以上的方程式中, 计算结果列于表 5。

表 5 艾虎种群的能流估计 (大卡/公顷)

物 候 期	摄 入 能	损 失 能	同 化 能
返 青 期	0.168×10^5	0.028×10^5	0.140×10^5
草 盛 期	0.204×10^5	0.040×10^5	0.164×10^5
枯 黄 期	0.785×10^5	0.172×10^5	0.613×10^5
全 年	1.157×10^5	0.240×10^5	0.917×10^5

由表 5 看出, 艾虎在上述三个时期的摄入能分别为 0.168×10^5 、 0.204×10^5 和 0.785×10^5 大卡/公顷, 同化能分别为 0.140×10^5 、 0.164×10^5 和 0.613×10^5 大卡/公顷, 艾虎全年总的摄入能为 1.157×10^5 大卡/公顷, 通过种群的能流为 0.917×10^5 大卡/公顷/年。

综上所述表明, 在高寒草甸生态系统中, 艾虎的摄入能和同化能是比较少的。因此, 保护二级消费者—艾虎等有益动物, 增加其数量, 改变能量分配的不合理状况, 是高寒草甸生态系统改造的任务之一。

三、小 结

1. 这项研究工作于 1982 年 4—10 月在青海省海北高寒草甸生态系统定位站地区进行。

2. 在牧草返青、草盛和枯黄期, 艾虎的日食量(鲜重)分别为 0.404 ± 0.110 、 0.354 ± 0.069 和 0.327 ± 0.069 克/克体重, 全年平均为 0.351 克/克体重; 艾虎每日摄入干物质分别

0.145 ± 0.029 0.121 ± 0.018 0.118 ± 0.034 克/克体重, 全年平均为 0.125 克/克体重/日。

3. 艾虎在3个时期的每日能量摄入分别为 0.859 ± 0.180 、 0.651 ± 0.091 和 0.660 ± 0.110 大卡/克体重, 全年摄入总能为 0.709 大卡/克体重/日; 同化能、粪便和尿排出能分别占其 80.18% 、 14.58% 和 5.25% 。

4. 在3个时期, 艾虎种群的摄入能分别为 0.168×10^5 大卡、 0.204×10^5 大卡和 0.785×10^5 大卡/公顷, 全年摄入能为 1.157×10^5 大卡/公顷。

5. 在三个时期艾虎的同化能分别为 0.140×10^5 大卡、 0.164×10^5 大卡和 0.613×10^5 大卡/公顷, 全年通过种群能量流为 0.917×10^5 大卡/公顷。

参 考 文 献

- 王祖望、曾绍祥等 1980 高山草甸生态系统——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—195。
- 皮南林 1982 高寒草甸生态系统绵羊种群能量动态的研究。高寒草甸生态系统 1: 67—84。
- 郑生武、曾绍祥等 1983 青海海北地区艾虎的某些生态学特征及种群能量动态资料。兽类学报 3 (1): 35—46。
- 梁杰荣、曾绍祥等 1982 毛丝鼠消化率和同化水平的测定。毛皮动物饲养 3: 6—8。
- 曾绍祥、王祖望等 1981 高山草甸小哺乳动物身体热值、水分和脂肪含量的季节变化。动物学报 27 (3): 292—298。
- Drozdz, A. 1975 Food habits and food assimilation in mammals. In Grodzinski W. (ed) IBP Handbook No. 24 Methods for Ecological bioenergetics, 325—333.
- Gorecki, A. 1975 The adiabatic bomb calorimeter. In Grodzinski, W. (ed) IBP Handbook No. 24 Methods for Ecological bioenergetics, 281—288.
- Gorecki, A. 1971 Metabolism and energy budget in the harvest mouse. Acta Theriologica 16: 213—365.
- Grodzinski W. 1975 Energy flow through a vertebrate population. In Grodzinski W. (ed) IBP Handbook No. 24 Methods for Ecological Bioenergetics 65—94. Blackwell scientific, Oxford.
- Grodzinski W. and B.A. Wunder 1975 Ecological energetics of small mammals. In F. B. Golley, K. Petrusewicz and L. Ryszkowski (ed) IBP No. 5 small mammals their productivity and population dynamics, 173—204.
- Milner, C. 1967 The estimation of energy flow through populations of large herbivorous mammals. In Petrusewicz, K. (ed) Secondary productivity of terrestrial ecosystems, 174—148.
- Moors, P. J. 1977 studies of the metabolism, food consumption and assimilation efficiency of a small carnivore the weasel (*Mustela nivalis*). Oecologia (Berl.) 27: 185—202.
- Odum, E. P., C. E. Connell and L. B. Davenport 1960 population energy flow of three primary consumer components of oldfield ecosystems. Ecology 43: 88—96.
- Petrusewicz, K. 1967 Suggested list of more important concept in productivity studies (definitions and symbols). In Petrusewicz, K. (ed), Secondary productivity of terrestrial ecosystems, 51—58.

ENERGY DYNAMICS OF THE POPULATION OF POLECAT IN THE ALPINE MEADOW ECOSYSTEM

Liang Jierong Jin Juxiang Ye Runrong

(Northwest plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

This work was carried out at Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem, Menyuan County, Qinghai from April to October in 1982. The materials for study were collected in three phenological periods of vegetation: green up, exuberance and withering. The results for polecat (*Mustela eversmanni*) are as follows:

1. The daily food consumption (fresh wt) for polecat averages 0.404 g/g body wt. in the whole green up period. but 0.351 g/g body wt. in all three

phenological periods. The daily food consumption (dry matter) averages 0.125g/g body wt. in all three phenological periods, but 0.145 g/g body wt./day in the green up period (Table 1).

2. The egested faeces (dry matter) are higher in the green up period, and average 0.023 g/g body wt.. The excreted urine averages 0.117 g(liquid wt.)/g body wt./day in all three phenological periods, but 0.134 g(liquid wt.)/g body wt./day in the exuberance period.

3. In all three phenological periods, the daily energy intake by the population averages 0.709 kcal/g body wt.; the energy of the excreted faeces averages 0.102 kcal/g body wt./day; the energy of the excreted urine averages 0.38 kcal/g body wt./day; the daily digestibility and assimilation rates average 85.42% and 80.18% respectively (Table 3). The energy levels of both intake and assimilation by the population are higher in the green up period.

4. The energy intake by the population is 1.157×10^5 kcal/ha./yr.. The energy cost by the population is 0.240×10^5 kcal/ha./yr. The energy flow through the population is 0.917×10^5 kcal/ha./yr. (Table 5). So far as we know, the energy flow through the population is very small.