

温度对高山岭雀能量平衡的影响

钱国桢

(华东师范大学生物系)

张晓爱 叶启智

(中国科学院西北高原生物研究所)

近几十年来已有一系列测定鸟类能量平衡受环境因素影响的研究方法的报告,如 Zimmerman (1965), West 和 Hart (1966), West (1960), Kontogiannis (1968), Ken-deigh (1975), Davis (1955) 等人对家麻雀 (*Passer domesticus*) 等几种小型鸟类在恒定温度、波动温度及不同日照等条件下所作的实验研究,证明了在实验室中测定温度和光照对能量平衡的影响,并进而计算自然条件下逐月出现的能量平衡的变化是可能的。另外,产卵、孵化 (El-Wailly, 1966), 换羽 (Blackmore, 1969; Dolnik 和 Gavrilov, 1979)、迁徙和分布 (Cox, 1961; Gifford 和 Odum, 1955) 等因素对能量平衡的影响也受到愈来愈多的重视。

高山岭雀 (*Leucosticte brandti*) 是一种适应高寒气候的食谷类留鸟。冬、春两季群栖在海拔 3,000 米左右的畜群点和草地,夏秋两季在海拔更高的山地繁殖。测定它的能量平衡对探讨高寒草甸生态系统中,小型雀形目鸟类能量变化的规律有重要意义。

本文拟报道自然光照为10小时左右的冬季、恒定温度下,梯度温度对其生存代谢水平上的能量收支的影响。

一、材料和方法

实验取材于科学院海北高寒草甸生态系统定位站。实验鸟用网捕获。实验前对20只鸟进行食物选择性的预备实验,确定当地盛产的成熟风干油菜籽为最佳饵料,其含水率为6.2%,热值7.02大卡/克。

正式实验于81年冬季在自然光照充足的实验室中进行。室内温度用温度继电器控制,波动范围 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,低温环境 -5°C 和 -10°C 是选择自然冷冻的房间,温度波动范围 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。每个温度组间的温度梯度为 5°C 。选择健康、活泼的成体鸟10只,单个饲养在长50厘米、宽32厘米、高30厘米的鸟笼中,编号、称重。笼壁悬挂两只小金属盒,分别盛放食物和水。笼底铺上硬纸以便收集粪便和撒落的食物。并置以盛砂的浅盘。为了避免个体差异造成的误差,每只鸟都经过从低温到高温的全部温度变化过程。在实验过程中,鸟活动正常,除一只逃跑外,无一鸟死亡。

许多实验 (Kendeigh, 1949; Davis, 1955; Zimmerman, 1965)都已证明食物的摄入和粪便的排泄无性别差异,因此,我们的实验未作性别差异的处理。

实验开始后,每日每只鸟供给10克食物,24小时后,称量体重并将散落的食物与粪便、砂粒仔细分开、称重。从供给食物的总量中减去剩余食物,便得到每日每只鸟所消耗食物的总量。将收集的粪便放入培养皿中,在70℃烘箱中烘3—4天达到恒重,以烘干重作为每日每只鸟的排粪量。每组温度的实验在相同条件下,连续进行3—4天,求其平均值。实验过程中,全部称量均使用感量0.01克的扭力天平。

取每个温度组最后一天的全部鸟的烘干粪便混合均匀,研细,取样3份,用国产JR-2800型绝热式热量计测定热值,以误差不大于10%的数据求其平均值。所有食物消耗及粪便排泄量都用于重(克)和相应的热值换算成能学单位“大卡”。

当鸟维持恒定体重时(体重变化范围不超过 ± 0.5 克),能量代谢正好维持生存(Kendeigh, 1970)。而我们的实验结果是符合这一条件的(表1),所以在我们的实验中,代谢能(总能量摄入减去排泄能)即等于生存能。根据Davis (1955)等对家麻雀在15小时和10小时光照下每克体重每日代谢能摄入所作的比较证明:在15小时光照下,温度每升高1℃,能量的消耗比10小时光照下多0.0046大卡。随着温度的下降,两种光照之间的差异逐渐缩小,到-5℃以下,差异完全消失。而高山岭雀在研究地区的居留期间气温低,所以光照对代谢的影响可以忽略不计。因而,知道了温度对代谢的影响后,就可以根据定位站每月平均气温,用Kendeigh (1949)的方法,算出自由生活条件下,高山岭雀能量平衡的季节变化。

文中所有的直线回归方程都用Sharp-5200型电子计算器求出。

二、结 果

1. 总能量的摄入及排泄能的损失

将高山岭雀在不同温度条件下,总能量摄入(每只鸟或其单位体重24小时内摄入的食物总能量)及排泄损失的能量(每只鸟或单位体重在24小时通过粪便排出的能量)列入表1。从表1可以看出,总能量摄入随温度的下降而增加,即温度每下降1度,每克体重每天总能量摄入相应增加0.0196大卡(图1)。

表1 不同温度下的总能量摄入及排泄能

温 度 (℃)	只数 (N)	体 重 变 化 (克)		总能量摄入 (大卡/只·天)	排 泄 能 (大卡/只·天)	排泄量占总能量摄入的百分比 (%)
		实 验 前	实 验 后			
-10	6	28.28 $\pm$ 1.27	28.19 $\pm$ 1.28	39.974 $\pm$ 4.898	8.121 $\pm$ 0.027	20.32
-5	6	28.20 $\pm$ 1.14	27.98 $\pm$ 1.48	36.716 $\pm$ 6.550	8.575 $\pm$ 0.532	23.35
0	9	27.63 $\pm$ 2.05	27.19 $\pm$ 2.65	41.993 $\pm$ 3.546	8.684 $\pm$ 1.354	20.68
5	6	27.92 $\pm$ 2.13	28.10 $\pm$ 2.02	33.390 $\pm$ 6.140	4.384 $\pm$ 1.304	12.98
10	9	29.33 $\pm$ 1.63	29.67 $\pm$ 1.75	32.312 $\pm$ 6.645	4.033 $\pm$ 1.095	12.48
15	6	28.54 $\pm$ 1.10	28.96 $\pm$ 1.10	26.178 $\pm$ 3.687	4.318 $\pm$ 1.068	16.49
20	9	30.09 $\pm$ 1.50	30.39 $\pm$ 1.73	26.856 $\pm$ 6.422	4.328 $\pm$ 0.936	16.29
25	6	29.48 $\pm$ 1.26	29.40 $\pm$ 1.59	27.920 $\pm$ 3.710	4.549 $\pm$ 1.390	16.20

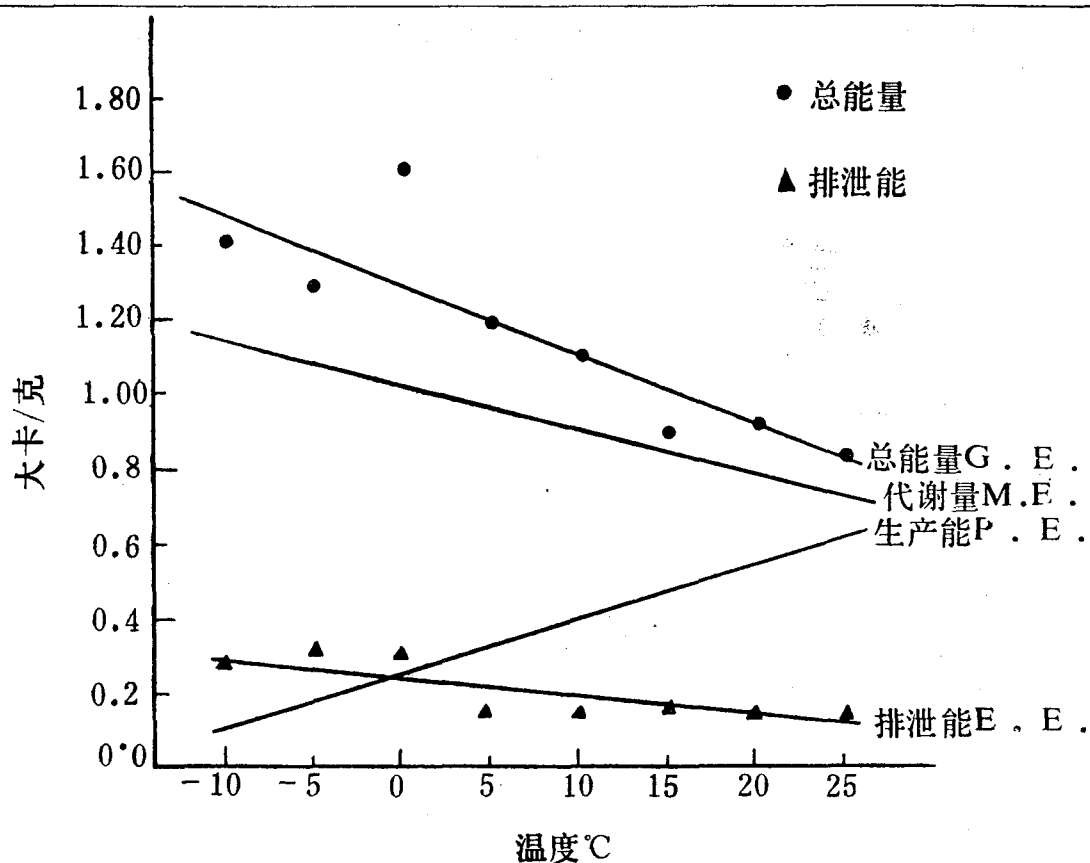


图1 高山岭雀在不同温度下的能量摄入

* $P < 0.01$ ** $0.01 < P < 0.05$

$$G.E. = 1.3063 - 0.0196T, r = -0.869^*$$

$$M.E. = 1.0530 - 0.0149T, r = -0.803^{**}$$

$$E.E. = 0.2514 - 0.0057T, r = -0.834^*$$

$$P.E. = 0.261 + 0.0149T, r = 0.803^{**}$$

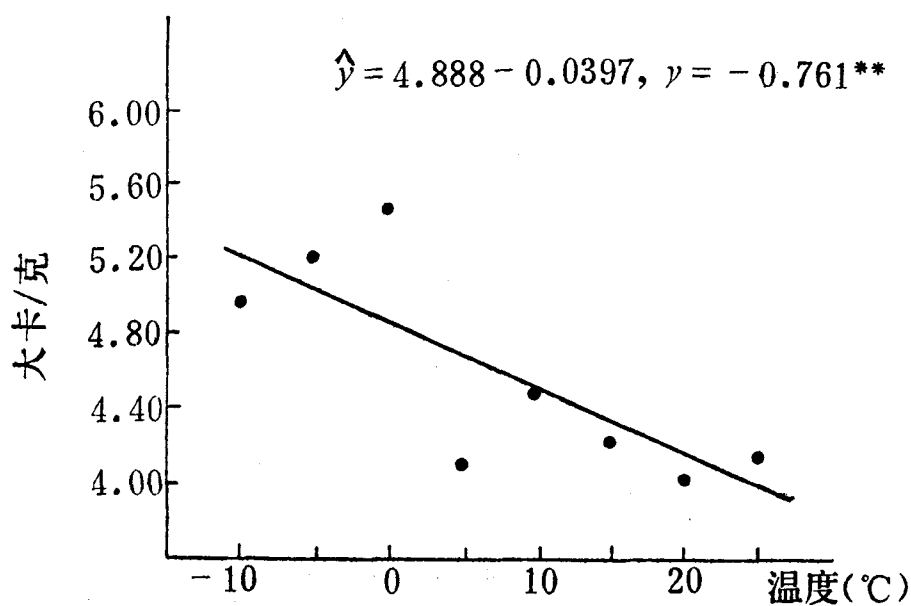


图2 粪便热值与温度的关系

不同温度组的粪便热值平均为4.629大卡/克,相当于食物热值的65.9%。其中最高值为5.545大卡/克,出现在0℃;最低值为4.015大卡/克,出现在20℃。将粪便的热值与温度的关系作回归分析,二者呈显著的负相关,即温度每上升1度,粪便热值降低0.039大卡(图2)。从表1和图1可以看出,高山岭雀排泄能的损失随气温的下降而略有增加。

2. 代谢能及食物的利用

实验结果表明,代谢能随着环境温度的下降而直线增加(表2,图1),每克体重每天的代谢能以温度每降低1度,增加0.0149的比率直线上升。

表2 高山岭雀的代谢能及食物利用率

温 度 (℃)	只 数 (N)	代 谢 能		食物利用率 (%)
		大卡/只·天	大卡/克·天	
-10	6	31.852±5.214	1.121±0.178	79.68
-5	6	28.400±6.843	1.000±0.236	77.35
0	9	33.309±4.610	1.225±0.132	79.32
5	6	29.004±4.791	1.036±0.164	86.87
10	9	27.981±6.180	0.946±0.164	86.60
15	6	21.860±2.912	0.654±0.245	83.51
20	9	23.789±6.671	0.777±0.186	88.58
25	6	20.291±2.816	0.685±0.748	72.68
		27.06	0.93	81.82

食物的利用率(或同化率)是每只鸟每日的代谢能除以总能量摄入的百分比。高山岭雀在不同的温度条件下,平均的食物利用率为81.82%。随着温度下降,利用率降低(表2)。这也是低温时食物消耗总量增加的一个原因。可见,排泄能量随温度的升高,是以利用率随温度的上升而增加,来维持其能量平衡的。

高山岭雀的生产能(潜在摄入能量与生存所需能量之差)是随着温度的升高而增加的(图1),温度每升高1度,生产能相应增加0.0149大卡。高山岭雀的最大潜能(实际测得的最高代谢能)为0℃时的1.225大卡/克·天(表2)。

3. 体重对代谢率的影响

本实验用鸟的平均体重为28.74±0.98克,个体体重的最大差异约为9克。20℃时的平均体重最大(30.39±1.73),0℃时最小(27.19±2.65)。各温度组的平均体重差异虽不一致,但实验前后总的体重没有大的变化(表1)。

现将不同温度组的代谢能与其体重拟合直线回归方程,结果列于表3。从表3可见,不同组内,每只鸟每日的代谢能与相应的个体体重间有较显著的相关关系。平均斜率为2.18,即体重每增加1克,代谢能也随之增加约2大卡。可见,体重对代谢能的影响说明体重较大的鸟有一个较大的代谢比率。

4. 能量平衡的季节变化

根据温度对能量平衡的影响,及研究区每月的平均气温,来算出的高山岭雀能量平衡的季节变化列成表4。将每月的生存能、潜能和生产能的变化绘成图3。由表4、图3可以看出:1月份的潜能最大,其中用于生存的能量也最多,约占潜能的93.0%,生产能仅占7.0%。5月份由于气温上升,生存需要的能量下降,与冬季的最大生存能量相差9.24大卡(占5月

份生存能量的三分之一)。生产能在 5 月份最高, 约占潜能的 25.5%, 这可能与该种群开始的繁殖活动有关。

表 3 体重与代谢能的关系

温 度 (℃)	只 数 (N)	代 谢 能 (大卡/只·天)	相 关 系 数
-10	6	$Y = 2.28X - 35.73$	$r = 0.45$
-5	6	$Y = 0.96X - 3.48$	$r = 0.38$
0	9	$Y = 1.84X - 17.09$	$r = 0.89^*$
5	5	$Y = 2.05X - 32.82$	$r = 0.94^{**}$
10	9	$Y = 3.27X - 67.96$	$r = 0.87^*$
15	6	$Y = 2.28X - 44.70$	$r = 0.91^*$
20	9	$Y = 3.50X - 81.82$	$r = 0.81^*$
25	6	$Y = 1.25X - 16.71$	$r = 0.67$
平 均		$b = 2.18$	$r = 0.74$

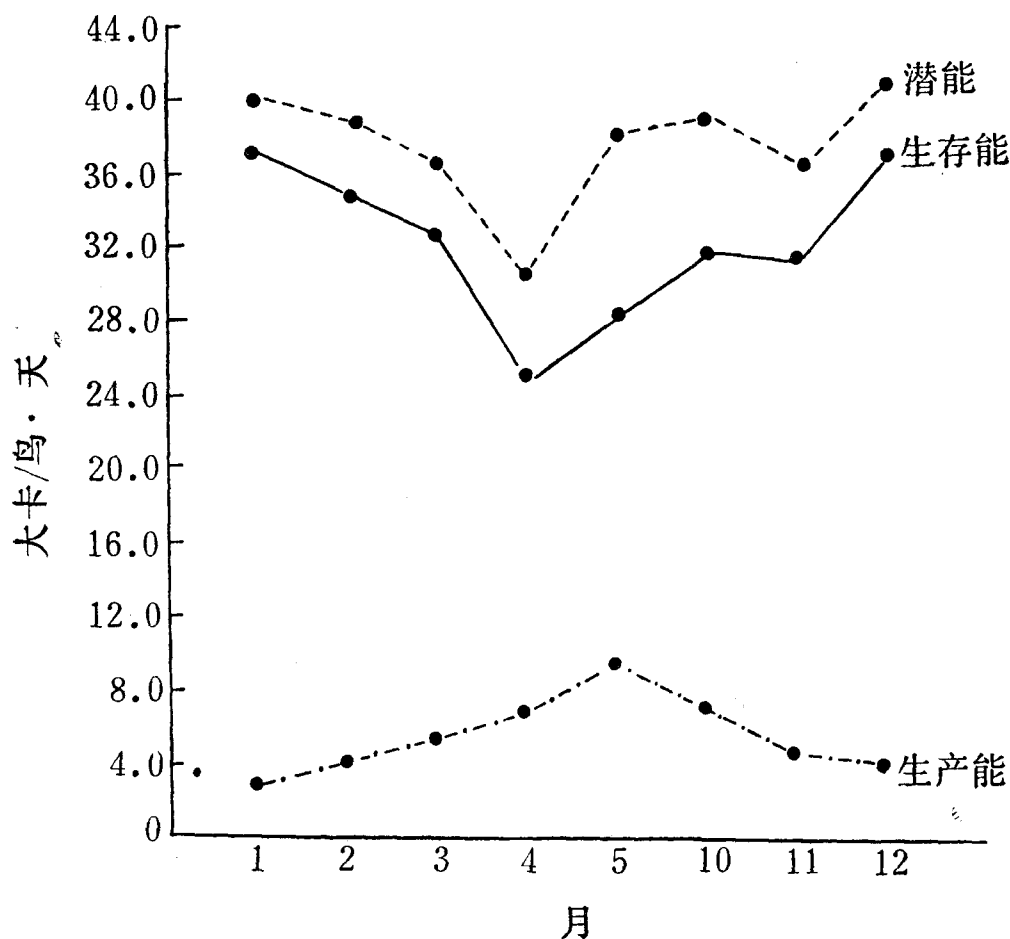


图 3 一年中高山岭雀能量平衡的季节变化

表 4 高山岭雀能量平衡的季节变化

月 份	温 度 (℃)	只 数 (N)	实际体重 (克)	校正体重 (克)	生 存 能 量		潜 能 (大卡/只·天)	生 产 能 (大卡/只·天)
					大卡/克·天	大卡/只·天		
1	-13.1	27	29.75	30.85	1.216	37.51	40.41	5.69
2	-10.0	29	29.61	30.53	1.175	34.79	39.75	4.97
3	-5.5	15	28.36	27.97	1.115	31.19	36.64	5.45
4	1.5	6	26.42	24.03	1.027	24.68	31.48	6.80
5	5.2	4	28.58	28.97	0.976	28.27	37.95	9.68
10	-2.1	3	29.30	29.89	1.070	31.98	39.15	7.18
11	-7.6	25	28.23	27.71	1.143	31.67	36.30	4.64
12	-11.0	23	29.91	31.14	1.188	30.99	40.79	3.80

三、讨 论

高山岭雀能量平衡的分析,建立在冬季大约10小时光照、恒定温度和笼养条件下,对它在自然界中喜食、容易获得的单一食物——油菜籽的消耗所得资料的基础上。由于供给的食物优越,鸟的个体重量在实验前后的变化很小,也与自然环境中的实验体重相近,与 Kendeigh (1949)、Davis(1955) 用人工制作的混合饲料喂养家麻雀,实验开始时体重比实际体重减轻 5.4 克所得到的实验结果相比更为理想。然而由于鸟是被限制在一个小的笼中,活动受到限制,因而生产能的消耗要比自然条件下低。

高山岭雀总能量的摄入、排泄能量的损失和代谢能的消耗,随温度的上升而下降,这与 West和Hart(1966), Olson 和 Kendeigh (1980) 等人的结果一致。高山岭雀的最大潜能为 0℃时的 1.225 大卡/克·天,此值与家麻雀-34℃时的每克体重每日代谢值 (1.31 大卡)相近 (Kendeigh, 1949; Davis, 1955)。Kendeigh(1949) 推断,在极端低温条件下,能量摄入的比率可能是接近的。根据本实验温度范围内,代谢能随温度下降而增加的比率 (0.0149 大卡/克·天·度) 来推算,高山岭雀的最大潜能应出现在-25℃左右。

本实验得出的粪便热值随温度的下降而增加,与 Kendeigh (1949)测得的家麻雀粪便的热值随温度的下降而降低的结论相反,不过他只测定了 33、10、-15℃ 三个温度。Davis (1955) 根据 46 只家麻雀粪便热值的测定得出结论:“温度与每克粪便的热值无直接关系”。West (1960) 在-29.6°—39℃的温度范围内测定了 59 只鸟 136 份样品的热值,也证明排泄物的热值基本上不随温度变化。Cox (1961)、El-Wailly (1966) 也得出相似的结论。然而,高山岭雀排泄物损失的总能量随温度的下降而略有增加的结论与上述研究中的结果都是一致的。可见,温度对鸟类排泄物损失能量的影响,主要表现为对排泄物的量的影响。

Kendeigh (1949), West (1960) 等人曾指出:食物的利用率随温度的升高而增加。Davis (1955) 发现家麻雀在最适温度时消化率最高 (88%)。El-Wailly (1966) 证明 *Taeniopygia castanotis* 食物利用率的最大值在 24.4℃时。Olson 和 Kendeigh (1980) 用小燕雀 (*Spizella pusilla*) 所做实验也得到类似结果。高山岭雀的食物利用率与这些研究的结论近似 (表 2)。

通过体重与代谢关系的直线回归分析可以看到,高山岭雀的代谢率与体重呈正相关,所

有温度组的平均斜率为 2.18。Kendeigh (1949), Davis (1955) 对家麻雀、West 和 Hart (1966) 对夜锡嘴 *Hesperiphona vespertina* 作的代谢能与体重的直线回归也都是正相关, 从而说明较重的鸟都有一个较高的代谢率。West (1960) 用小树雀 *Spizella arborea* 证明: 较重的鸟比较轻的鸟需要更多能量, 是由于前者增加了脂肪的积累。Odum 和 Perkinson (1951) 指出白喉雀 *Zonotrichia albicollis* 去除脂肪后的体重, 在所有季节都是相同的, 重量的季节变化是脂肪积累和利用的结果。脂肪组织的代谢大大低于其他组织 (Shapiro 和 Wirthemer, 1965), 因此, 较重个体的额外能量的利用与脂肪总量的增加相关 (West, 1960)。根据以上论断推理, 高山岭雀体重与代谢率的回归斜率比家麻雀高, 是由于高山岭雀的实验体重与自然体重没有明显差异, 脂肪含量比家麻雀高的缘故。

Kendeigh (1949) 曾阐明 “能量交换的季节变化在热带不明显, 而寒带比温带更明显”。高山岭雀虽地处温带, 但能量平衡的季节变化曲线比家麻雀明显 (Davis, 1955) 是由于生活区海拔高, 气候变化急剧, 为适应这一环境, 能量的交换也以不同方式随季节变化而进行调节。或许也是分类地位的不同, 每个种在它特殊生理潜力的基础上作出自己的调节。

表 5 几种小型鸟类代谢能及食物利用率的比较

种 名	体 重 (克)	代 谢 能		食物利用率 (%)	资 料 来 源
		大卡/只·天	大卡/克·天		
<i>Passer domesticus</i>	25.2	24.69	0.98	86.34 79.17	Kendeigh, 1949 Davis, 1955
<i>Spiza americana</i>	29.6	24.37	0.82		Zimmerman, 1965
	31.6	25.90	0.82		
<i>Hesperiphona vespertina</i>	54.5	37.24	0.68	83.86	West and Hart, 1966
<i>Zonotrichia albicollis</i>	27.4	23.05	0.84	66.80	Kontogiannis, 1968
<i>Leucosticte brandti</i>	28.7	27.06	0.93	81.82	本报告

将几种体重相近的鸟类的代谢能和食物利用率与高山岭雀作一比较 (表5), 看来, 高山岭雀的代谢能是较高的 (0.93大卡/克·天)。是否能真正代表高寒草甸鸟类的代谢特征还需要进一步研究。

参 考 文 献

- Blackmore, F. H. 1969 The Effect of temperature, photoperiod and molt on the energy requirements of the House Sparrow, *Passer domesticus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 30:433-444.
- Cox, G. W. 1961 The relation of energy requirements of tropical finches to distribution and migration. *Ecology* 42: 253-266.
- Davis, E. A., Jr. 1955 Seasonal changes in the energy balance of the English Sparrow. *Auk* 72:385-411.
- Dolnik, V. R. and V. M. Gavrilov 1979 Bioenergetics of molt in the Chaffinch (*Fringilla coelebs*). *Auk* 96:253-264.
- El-Wailly, A. J. 1966 Energy requirements for egg-laying and incubation in the Zebra Finch, *Taeniopygia castanotis*. *Condor* 68:582-594.
- Gifford, C. K. and E. P. Odum 1965 Bioenergetics of lipid diposition in the Boholink, a transequatorial migrant. *Condor* 67:383-403.
- Kendeigh, S. C. 1949 Effect of temperature and season on energy resources of the English Sparrow. *Auk* 66:113-127.
- Kendeigh, S. C. 1970 Energy requirements for existence in relation to size of bird. *Condor* 72:60-65.
- Kendeigh, S. C. 1975 Measurement of existence energy in granivorous birds. *IBP Handbook* 24:341-345.

- Kontogiannis, J. E. 1968 Effect of temperature and exercise on energy intake and body weight of the White-throated Sparrow, *Zonotrichia albicollis*. *Physiol. Zool.* **41**:54-64.
- Odum, E. P. and J. D. Perkinson, Jr. 1951 Relation of lipids metabolism to throated Sparrow. *Physiol. Zool.* **24**:216-230.
- Olson, J. B. and S. C. Kendeigh 1980 Effect of season on the energetics, body composition, and cage activity of the Field Sparrow. *Auk* **97**:704-720.
- Shaplo, B. and E. Wertheimer 1956 The metabolic activity of adipose tissue: a review. *Metabolism* **5**:79-86.
- West, G. C. and J. S. Hart 1966 Metabolic responses of Evening Grosbeaks to constant and to fluctuating temperatures. *Physiol. Zool.* **39**:171-184.
- West, G. C. 1960 Seasonal variation in the energy balance of the sparrow in relation to migration. *Auk* **77**:306-329.
- Zimmerman, J. L. 1965 Bioenergetics of the dickissel, *Spiza americana*. *Physiol. Zool.* **38**:370-389.

EFFECT OF TEMPERATURE ON ENERGY BALANCE OF THE MOUNTAIN FINCH

CHIEN KOUCHEN

(Department of Biology, East-China Normal University)

ZHANG XIAOAI YE QIZHI

(Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica)

The present analysis of the energy balance in the winter-adapted Mountain Finch, *Leucosticte brandti* is based upon natural photoperiod of about 10 hours of light day⁻¹ and constant temperature between 25° and -10°C.

Gross energy intake and metabolizable energy intake increased as a straight line with decreasing temperature, the rates of increase are 0.0196 and 0.0149 Kcal gram⁻¹ day⁻¹ degree⁻¹C, respectively. The maximum metabolized energy is 1.225 Kcalgram⁻¹ day⁻¹ reached at 0°C.

The amount of energy lost in the excrement also increased with decreasing temperature the rate is 0.0057 Kcal gram⁻¹ day⁻¹ deree⁻¹. The average efficiency of digestion is 81.82%, greatest value is 88.58% reached at 20°C; lowest is 72.68% at 25°C.

The straight regression between weights of individual birds and kilocalorie of metabolizable energy per bird per day is positive correlation, the average slope is 2.18 at each temperature.

Preliminary budget indicates that birds during eight months in a year, have a maximum potential intake of 40.41 Kcal bird⁻¹ day⁻¹ at January, of which about 93% for maintaining existence requirement and 7%, the remainder, is productive energy. Least potential energy is given in April (31.48 Kcal bird⁻¹ day⁻¹). The productive energy during May is the highest (9.68 Kcal bird⁻¹ day⁻¹), wich holds 25.5% of the total potential energy. The reproductive activity in the Mountain Finch begins in May.