

# 讀者·作者

## 利用普通液体卡他溫度計測定毛皮保溫性能的簡單原理

試談“对海狸鼠 (*Myopotamus coypus*) 毛皮質量某些方面的观察”

一文在方法上所存在的一些問題

梁中宇 馮文和

(四川大学生物系)

研究兽类毛皮的保溫性能, 無論在国民經济实践上, 以及在动物生态生理的理論上, 显然都有很大意义。苏联学者 Н. И. Калабухов 以及 В. П. Бабенчилив 均曾采用卡他溫度計来測定一些齧齿动物毛皮的透热性(見 Калабухов, 1951)。而在 Н. И. Калабухов (1951) 以及 М. А. Бескровный (1953) 所著的动物生态学实验方法书內, 均較詳細地介紹了利用普通液体卡他溫度計来測定毛皮透热性和保溫性能的方法, 后者还简单地敘述了利用中的原理。

在动物学杂志(3卷 11 期)上刊登了张孚允同志所著的“对海狸鼠 (*Myopotamus coypus*) 毛皮質量某些方面的观察”一文, 其中也談到如何利用卡他溫度計来測定动物毛皮的“保溫系数”。但与前述几位苏联学者所用的方法却有一定的出入。因而, 感到有必要将我們的一些肤浅看法提出来加以商榷。順便也談一下利用卡他溫度計来測定毛皮保溫性能的簡單原理, 希能就正于张同志和有关方面的先进学者。

### 卡他溫度計的簡單介紹

卡他溫度計是一种測定环境冷却能力的設備。由于每一个卡他溫度計都具有一定的放热系数, 同时在使用时是一个具有一定平均溫度的热体, 因此就可以利用它在各种环境条件下, 每单位面积上的散热量来衡量該环境的冷却能力。普通的卡他溫度計是一个具有大貯存球的液体溫度計, 在球莖上具有一个高溫刻度和一个低溫刻度。在使用时, 將溫度計預热, 使其液面上升到高溫刻度以上。然后再將溫度計放在一定的环境中, 記錄液面从高溫刻度下降到低溫刻度所需的時間, 就可以根据一定的公式計算出环境的冷却能力。

在已知冷却能力的环境中, 如果我們將卡他溫度計的貯存球外复上动物的毛皮, 显然就会加长溫度計液面由高溫刻度下降到低溫刻度所需的時間。借此,

我們就可以測定毛皮的保溫性能。

运用于生物学上的卡他溫度計还有其他的类型 (Kleiber, 1950)。本文因篇幅的限制, 將仅限于討論使用普通液体卡他溫度計来測定毛皮保溫性能的有关問題上。

### 利用普通液体卡他溫度計測定毛皮保溫性能的簡單物理原理

卡他溫度計內的液体从高溫刻度 ( $t_1$ ) 降低到低溫刻度 ( $t_2$ ) 时, 所散失的热量 ( $Q$ ) 是和液体的質量 ( $m$ ) 以及溫差成正比的, 如果液体的比热为  $c$ , 則这一关系可以用下列公式表示:

$$Q = cm(t_1 - t_2) \quad (1)$$

另一方面, 根据牛顿冷却定律, 表面积为  $S$ , 溫度为  $t$  的热体, 在溫度为  $t'$  的环境中經過  $T$  秒之后所散失的热量  $Q'$  可以用下列公式表示:

$$Q' = h(t - t')ST \quad (2)$$

式中的  $h$  是放热系数, 对于卡他溫度計其量綱常用毫卡/厘米<sup>2</sup>·秒·°C 来表示。

由于卡他溫度計貯存球的玻璃壁很薄, 如果將其中所放出的热量忽略不計, 則在卡他溫度計冷却时, 式(1)中的  $Q$  与式(2)中的  $Q'$  显然是相等的, 这样我們可以得到:

$$cm(t_1 - t_2) = h(t - t')S \cdot T \quad (3)$$

对于一定的卡他溫度計, 其液体的比热 ( $c$ )、質量 ( $m$ )、貯存球的表面积 ( $S$ )、高溫刻度 ( $t_1$ ) 和低溫刻度 ( $t_2$ ) 都是一定的, 因此可以总的用一个常数  $F$  来代替它們, 并令

$$F = \frac{(t_2 - t_1)cm}{S}$$

則式(3)可以写作

$$F = h(t - t')T \quad (4)$$

常数  $F$  称作卡他温度计的系数,其量纲是毫卡/厘米<sup>2</sup>。在市面上所出售的卡他温度计的背面一般均刻有它的系数。

在使用卡他温度计时,式(4)中的  $t$  显然应该采用冷却过程中温度计的平均温度,亦即

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

这对于一定的卡他温度计说来,显然也是一个常数。如对刻度从 35°C 到 38°C 的卡他温度计说来,其  $t$  应为 36.5°C; 对于刻度从 95°F 到 100°F 的卡他温度计则为 36.4°C(换算为百分温标,以便计算)。

式(4)也可以写作

$$h = \frac{F}{T(t - t')} \quad (5)$$

由于  $F$  及  $t$  均为常数,因此如果知道了环境温度( $t'$ ),以及在該环境温度下温度计液面由高温刻度下降到低温刻度所需的时间( $T$ ),就可以计算出放热系数( $h$ )。复有毛皮的和不复毛皮的卡他温度计放热系数的数值是不同的。

式(4)还可以写作

$$H = \frac{F}{T} = h(t - t') \quad (6)$$

$H$  系指在环境温度为  $t'$  时,卡他温度计在冷却过程中每平方厘米表面积每秒所发散的热量,亦即热量。其数值随环境温度的高低而有所不同。量纲则为毫卡/厘米<sup>2</sup>·秒。

其实液体卡他温度计的冷却,乃是从热流体(温度计内液体)经过固体壁把热量转移到另一种冷流体(周围空气)的传热过程。在不复毛皮时,固体壁只有一层温度计贮存球的玻璃壁。但在测定毛皮的保温性能时,在贮存球外还复有一层毛皮,因此固体壁应为两层。式(6)所表示的就是这种传热过程。而根据传热学的原理(Михеев, 1949),式中  $h$  的数值如果把由球壁所带来的影响忽略不计,简单地按照平壁的传热来考虑,则在单层固体壁时

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (7)$$

式中  $\alpha_1$  为热流体(温度计液体)一边的总放热系数,  $\alpha_2$  为冷流体(空气)一边的总放热系数,  $\lambda_1$  为固体壁(温度计贮存球的玻璃壁)的导热系数,  $\delta_1$  则为壁的厚度。 $\frac{1}{h}$  为总传热热阻力,  $\frac{1}{\alpha_1}$ 、 $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$ 、 $\frac{1}{\alpha_2}$  则分别为温度计液体、贮存球玻璃壁以及空气的传热热阻力。

如果温度计贮存球外复有毛皮时,则在这种双层固体壁的情况下

$$\frac{1}{h'} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (8)$$

式中的  $\frac{1}{h'}$  为此时的总传热热阻力,  $\lambda_2$  为毛皮的导热系数,  $\delta_2$  为毛皮的厚度,其他符号所表示的则与式(7)相同。 $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$  为毛皮的传热热阻力,量纲是厘米<sup>2</sup>·秒·°C/毫卡。传热热阻力和毛皮的保温性能有关,热阻力愈大时,毛皮的保温性能就愈高,反之就愈低。

式(8)和式(7)两端相减即得

$$\frac{1}{h'} - \frac{1}{h} = \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

亦即用复有毛皮的卡他温度计的传热系数的倒数,减去未复毛皮时卡他温度计传热系数的倒数,就可以得到该毛皮的传热热阻力。

### 一些实验数据的比较

为了更好地说明问题,表 1 中列举了一些我们在测定海狸鼠毛皮保温性能时所得到的数据。表 2 系由这些数据所得到的一些统计常数。

测定时所用的两块毛皮系同一海狸鼠的正中脊皮、冬毛、雄性成体。

我们采用了两只不同的卡他温度计来测定。一只是从市面上购得的,而另一只则是自制的。自制卡他温度计的方法完全按照 M. A. Бескровный (1953) 的规定。温度计的刻度全部都经过仔细的校正。

空卡他温度计的传热热阻力系在密闭容器内测定 3 次平均所得。

为了避免其他因素(如气流等)的影响,测定是在湿度饱和的密闭容器内来进行的。但由于卡他温度计在密闭容器内冷却时放热的结果,在实验结束时密闭容器内的温度常较开始时要高一些。因此,我们在计算时采用了二者的平均温度。

表中还列举了按张孚允同志的方法所求得的“保温系数”。这一数值是按照他所提出的以下公式所求得的:

$$\text{保温系数} = \frac{\text{“A”表小球的面积}}{\text{“A”由 } 38^\circ - 35^\circ\text{C 所需时间}} \cdot \frac{1}{(36.5^\circ\text{C} - \text{“B”表指数})}$$

该式中的“ $A$ ”表系指测定时所用的卡他温度计,“ $B$ ”表则为测定密闭容器内温度所用的温度计。

从所得的这些数据看来,按张孚允同志的公式所求得的“保温系数”乃是一个变化很大的数值(0.004841 ± 0.000426),变异系数达 21.5%。而按张孚允同志文中所述的海狸鼠成年雌性冬毛脊皮的“保

表 1

卡他溫度計的來源	貯存球表面積 (S) 厘米 <sup>2</sup>	卡他溫度計系數	高溫及低溫刻度	空卡他溫度計在密閉容器內的傳熱阻力	測定時密閉容器內的平均溫度	液面自高溫刻度的下降到低溫刻度的時間	復有毛皮時的热流量	復有毛皮時的总傳熱系数	復有毛皮時的总傳熱阻力	毛皮的傳熱阻力	按張學允同志的公式計算得的保溫系数	實驗順序
		(F) 毫卡 厘米 <sup>2</sup>	(t <sub>1</sub> 及 t <sub>2</sub> ) °C	(1/h) 厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C 毫卡	(t') °C	(T) 秒	(H) 毫卡 厘米 <sup>2</sup> ·秒	(h) 毫卡 厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C	(1/h') 厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C 毫卡	(δ <sub>2</sub> /λ <sub>2</sub> ) 厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C 毫卡		
自制，溫度計液体用水	45.6560	1377	34.8及37.8	4.0617	12.9	505.8	2.7224	0.1163	8.5953	4.5338	0.003857	1
					13.7	540.7	2.5467	0.1127	8.8742	4.8125	0.003736	2
					13.95	537.3	2.5628	0.1147	8.7209	4.6592	0.003802	3
公私合营上海科学化工厂出品，天平牌，非銀色，低溫	22.9022	459	35及37.8 (原为95°F及100°F)	3.7146	14.6	177.3	2.5888	0.1188	8.4208	4.7062	0.005925	4
					14.95	182.0	2.5220	0.1176	8.5052	4.7906	0.005866	5
					15.3	185.3	2.4771	0.1174	8.5181	4.8035	0.005858	6

表 2

各 种 数 据	平均值±平均偏差 x̄±a	标准偏差 s	变异系数 s/x̄
復有毛皮時的热流量(H)	2.5700±0.0326毫卡/厘米 <sup>2</sup> ·秒	±0.0798毫卡/厘米 <sup>2</sup> ·秒	3.1%
復有毛皮時的总傳熱系数(h')	0.1163±0.0008毫卡/厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C	±0.0020毫卡/厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C	1.75%
復有毛皮時总傳熱阻力(1/h')	8.6058±0.0618厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C/毫卡	±0.1513厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C/毫卡	1.75%
毛皮的傳熱阻力(δ <sub>2</sub> /λ <sub>2</sub> )	4.7175±0.0405厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C/毫卡	±0.0992厘米 <sup>2</sup> ·秒·°C/毫卡	2.1%
按張學允同志的公式所求得的保溫系数	0.004841±0.000426	±0.001043	21.5%

溫系数”为 0.000416 看来，和我們所得的数据相差竟达 10 倍左右。其結果之所以有如此大的誤差，显然是由于他在計算保溫系数的公式中，考虑卡他溫度計冷却放热时，沒有把它的高溫刻度和低溫刻度所相差的度数，以及溫度計液体的比热和質量等方面考虑进去的原故。“保溫系数”的数值显然随所用的溫度計为轉移，用不同的卡他溫度計就会測出不同的“保溫系数”的数值来。

復有毛皮时，卡他溫度計貯存球表面的热流量，显然也不宜于用作衡量毛皮保溫性能的指标。表中除去自制卡他溫度計不易掌握准确的冷却時間，因而有些誤差以外，不难看出热流量的大小是随密閉容器內的溫度高低而有所不同的。因此，在談到热流量时，必須指出是在什么外界溫度之下的热流量才行。

復有毛皮時的总傳熱系数(0.1163±0.0008毫卡/厘米<sup>2</sup>·秒·°C) 以及总傳熱阻力(8.6058±0.0618厘

米<sup>2</sup>·秒·°C/毫卡)，是所得到的相对变化最小的数据(变异系数 1.75%)。但是，其中包含着卡他溫度計本身的傳熱阻力所带来的影响。必須除去这一部分才能得到反映毛皮本身保溫性能的数据。毛皮的傳熱阻力(4.7175±0.0405 厘米<sup>2</sup>·秒·°C/毫卡，变异系数 2.1%)就是这种数据。

### 結 語

利用卡他溫度計測定动物毛皮的保溫性能时，應該根据一定的物理原理。最好是用毛皮的傳熱阻力来作为衡量毛皮保溫性能的标准。

### 参 考 文 献

- [1] 張學允:1959.对海狸鼠 (*Myopotamus copysus*) 毛皮質量某些方面的观察. 动物学杂志 3(11):487.
- [2] Бескровный, М. А.: 1953. Практикум по эко-

ЛОГИИ ЖИВОТНЫХ. Изд. Харьковского госу.  
унив., стр. 93—100.

- [ 3 ] Калабухов, Н. И. (孙儒泳译): 1951. 陆生脊椎动物生态学实验研究法。高等教育出版社。1959年中文第一版。47页。

[ 4 ] Михеев, М. А. (王补宣译): 1949. 传热学基础。高等教育出版社。1954年中文第一版。1—415页。

- [ 5 ] Kleiber, M.: 1950. "Calorimetric measurements". in F. M. Uber, *Biophysical research methods*. Interscience Pub. Inc. New York, pp. 175—209.