

对于以耗氧量作为化学体温 调节强度指标的意见

孙儒泳

(北京师范大学生物系)

常温动物恒定体温的维持,在于调节体内相互矛盾的二个过程——产热过程的调节(化学体温调节)和散热过程的调节(物理体温调节)。化学体温调节是调节机体内物质代谢和产热变化的许多生理过程的总合。由于机体释放热量,排出二氧化碳和氧消耗量之间有着精确的比例关系,所以可以用测定气体代谢方法来表示化学体温调节的特点。化学体温调节强度的指标,通常以外界温度改变(每下降 1°C)时的耗氧量增加的百分率来表示;例如,环境温度由 30°C 下降到 10°C ,耗氧量由1,000毫升/每小时/每公斤增加到4,000毫升/每小时/每公斤,那末其化学体温调节强度为 $400\%/20^{\circ}\text{C}$,即 $20\%/1^{\circ}\text{C}$ 。并且有的学者认为必需以临界温度下的耗氧量(因而是最低耗氧量)作为100% (Калабухов, 1957),有的又认为任何选择的温度下耗氧量都可以作为100% (Слоним, 1952)。我们也应用过以耗氧量改变的百分率作为化学体温调节强度的指标,但是遇到了很多困难,并且发现以耗氧量(指相对耗氧量¹⁾)改变的绝对值来作为化学体温调节强度的指标是更为合理的;同时我们也从文献中见到由于用耗氧量改变的百分率来表示化学体温调节强度作指标带来的误解,并引起对具体数据不同见解的争论 (Слоним, 1952; Калабухов, 1936)。因此,

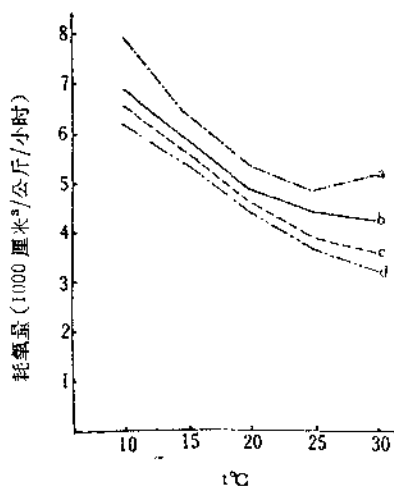


图1 不同体重组棕背鼯 (*Clethrionomys glareolus*) 的耗氧曲线

a = 体重组 12—15 克, 19 只鼠, 平均体重 14.3 克
b = 体重组 15—20 克, 128 只鼠, 平均体重 17.4 克

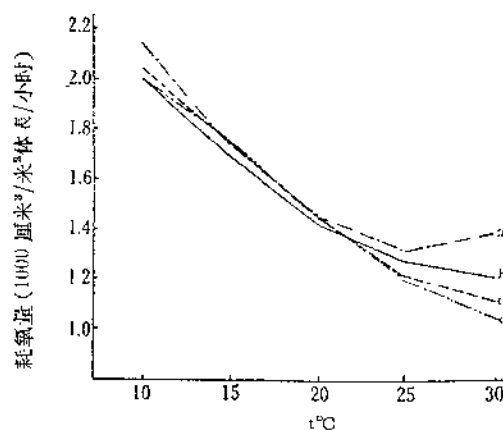


图2 不同体重组棕背鼯的耗氧曲线(单位面积)

c = 体重组 20—24 克, 59 只鼠, 平均体重 21.9 克
d = 体重组 高于24克, 24 只鼠, 平均体重 24.9 克

本文于1962年6月14日收到。

1) 本文所指的耗氧量,全部是相对耗氧量,即单位体积上的耗氧量(每小时每公斤体重上的耗氧量)。

整理实验数据的方法和指标的不同,常决定着結果和結論的不同,本文的目的就在于討論整理化学体温调节实验数据和表示化学体温调节强度不同指标的合理性問題。

首先我們在研究二种田鼠亚科动物的气体代謝特征中发现:(1)随着个体的变小(因而相对面积增大),鼠的单位体积上相对耗氧量水平逐渐增高,它表现在 $10-25^{\circ}\text{C}$ 的各个温度中(图1);但是把同样結果以单位面积上的耗氧量来表示(图2)时,这种差别几乎完全消失,这說明了“体表面积”定律的作用;(2)不同体重組的鼠,在外界温度由 25°C 下降到 10°C 时,耗氧量的增加曲綫几乎是平行地上升的,所以它們之間的化学体温调节的能力——即当外界温度下降时,改变代謝或增加产热的能力,是没有多大区别的。这些結果是在研究了数百个体基础上得出的(Сунь ЖУ-юн, 1958; 孙儒泳, 1959)。

如果以不同指标作化学体温调节强度来分析上述結果,会得出完全不同的結論。为着便于了解,設想 a, b, c 三条互相平行的耗氧量曲綫(图3, A),彼此在气体代謝水平上有区别。如果以通常所用的耗氧量增加的百分率来表示化学体温调节强度,就会得出 c' , b' , a' 三条曲綫, c' 上升最大, a' 上升最少(图3, B)。按照这种方式来整理資料,我們勢

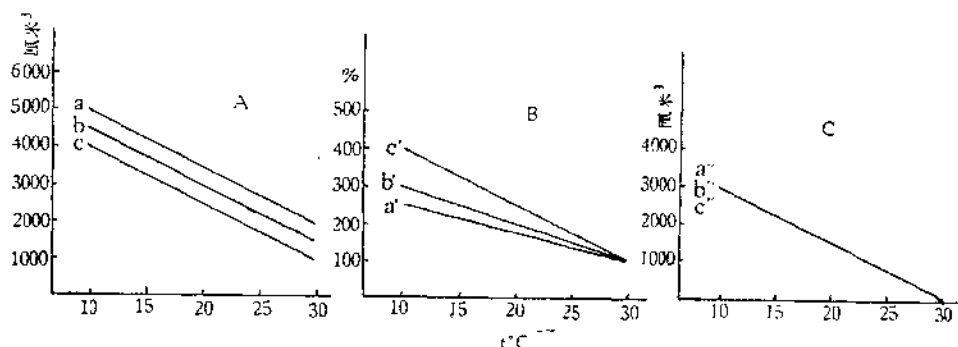


图3 化学体温调节强度的不同指标比较

- A. a, b, c 三条,耗氧量在同样环境温度下的改变曲綫
B. 以 30°C 下耗氧量作为100%,用百分率增加表示 a' , b' , c' 三个化学体温调节强度
C. 用耗氧量增加绝对值来表示 a'' , b'' , c'' 三个化学体温调节强度

必承认:虽然个体小的鼠的气体代謝水平比个体大的鼠较高(图3, A),但是化学体温调节强度相反,个体大的鼠较强(c'),个体小的鼠较弱(a'),这个結論是决不能被接受的。換一种方式,如果以耗氧量增加的绝对值来表示化学体温调节强度,那末曲綫 a'' , b'' , c'' 就会吻合起来(图3, C),也就是說,按照这种方式来整理資料,气体代謝水平在个体小的动物比个体大的动物高(图3, A),它們的化学体温调节强度是相同的(图3, C)。这样的結論才是正确的。但是至今的文献中,通常还以耗氧量增加的百分率来表示化学体温调节的强度。

另一个重要証明在于:如果把耗氧量以单位面积来表示(图2),即把“体表面积”定律的影响去开,不同体重組的耗氧曲綫几重迭在一起,証明了它們的化学体温调节强度大致是相同的。因此,用耗氧量增加绝对值来代替耗氧量增加的百分率是更为符合实际的。

如果对本問題的物理方面加以分析,就更明确了。根据牛頓氏散热定律,計算出二个大小不同的同質物体,在环境温度下降时散热增加的曲綫(如图4, A),它說明較小的物体 a 的散热增加比較大的物体 b 快,如果再把这二条曲綫的散热增加,用对 30°C 环境下

的百分率来表示,得出曲线 a' , b' (图 4, B), 结果二条曲线完全吻合。这样, 我们清楚地看到, 以耗氧量增加的百分率来表示化学体温调节强度是从牛顿氏散热定律出发, 从非生物物体的散热增加特点出发的。

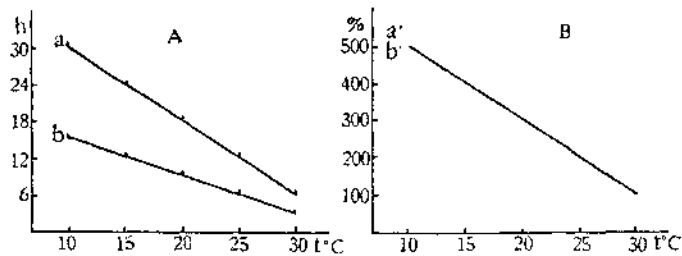


图 4 A. 二个非生物物体 a , b 在不同环境温度下的散热曲线
B. 以 30°C 时的散热量为 100%, 用百分率增加来表示散热增加的强度

但是我们工作的结果和许多其他作者的结果表明, 不同身体大小的鼠的产热曲线不同于非生物物体的散热曲线。当环境温度降低时, 单位体积上产热的增加量(因而是相对耗氧量的增加), 对不同个体大小的鼠是相同的。这表明动物的产热改变(化学体温调节强度)是不同于非生物的散热改变的。以耗氧量增加百分率来表示化学体温调节强度的不合理原因就在于此。问题在于化学体温调节能力是有机体调节体内产热和物质代谢的能力, 是受复杂的神經-体液调节机制所控制的, 因而它可以作为种的特征 (Herrington, 1940; Антошкіна, 1939、1941; Слоним, 1952)。因此, 我们应该区别二个概念: 即化学体温调节能力和维持恒定体温的一般调节能力。这两个概念有很密切关系, 但不能等同起来, 化学体温调节强度帮助维持体温的恒定性, 但体温恒定性还决定于其他因素, 象物理体温调节, 个体大小不同的散热条件不同等等。用产热增加绝对值来表示化学体温调节强度时, 正是指在单位体积上增加产热量的相同; 即为相同的化学体温调节强度(即图 3, A: a , b , c 三条曲线有同样的化学体温调节强度), 当用耗氧量增加百分率来表示时, 图 3, B: a' , b' , c' 就成为各具不同的化学体温调节强度, 实际上是指它们在补偿个体大小散热增加速度的不同时的补偿能力不同, 即在一般体温调节能力不同, 而不是化学体温调节能力不同。因此, 在实践上分清化学体温调节能力和一般保持恒温性的能力有很重要意义, 我们知道, 在哺乳动物体温调节机制的演化史中, 低等的如啮齿类化学体温调节表现很显著, 但其体温比较不稳定, 相反食肉类的化学体温调节能力不发达, 体温却很稳定, 其原因正在于它们有发达的物理体温调节机制和保持减少失热的各种适应 (Слоним, 1952)。

最后, 在应用百分率增加作为指标时还会遇到下面的困难: 用百分率增加来表示时, 化学体温调节“强度”的大小完全决定于所选择的(作为 100% 的)温度下的最低代谢水平。最低代谢水平越小, 化学体温调节“强度”也就越大。并且, 同样一条耗氧曲线(如图 3, A 曲线 c), 如以 30°C 为起点, 则化学体温调节强度为 20% ($\frac{4000}{1000}=400\%$, $\frac{400\%}{30^{\circ}-10^{\circ}}=20\%$); 以 20°C 为起点则为 16% ($\frac{4000}{2500}=160\%$, $\frac{160\%}{20^{\circ}-10^{\circ}}=16\%$), 即将随所取点的不同而改变。因此, 用任何选择温度下耗氧量作为 100% 的方法是不可靠的。相反, 以耗氧量增加绝对量来表示, 可以避免此缺点。如果以临界温度的最低代谢水平作为 100%, 用百分率增加来

表示化学体温调节强度也有下列困难: 因为临界温度是随着不同季节和其他条件而改变 (Слоним, Безуевская и Жила, 1940; Swift, 1944; Sealander 等, 1950; Dawson, 1955), 临界点上的最低代谢同样也有变化 (Калабухов, 1935)。

此外, Hart (1950) 研究同一白鼠白天与夜间耗氧量, 研究安静时, 少活动和多活动的小白鼠 (1952) 的耗氧量, 都得出了互相平行的, 但有不同代谢水平的耗氧量增加 (随环境温度降低而增加, 如图 3, A: a, b, c) 曲线。如果以百分率增加来表示, 同样会得出其化学体温调节强度甚至在一天中有变化等的错误概念。在对比鼠在不同季节的, 不同地理条件下等等的化学体温调节强度时, 我们在许多文献中看到结果的互相不一致, 是由于以百分率增加作指标所带来的误解。

我们的结论是: 文献上一般所通用的以耗氧量增加百分率来表示化学体温调节强度的指标 (即以临界点上最低气体代谢水平作为 100%, 以在其他温度下耗氧量水平对此点的百分率的改变, 然后除以环境温度改变的度数, 求得环境温度每改变 1°C 时, 耗氧量增加的百分率作为化学体温调节强度的指标; 也有些学者认为任何选择温度下的耗氧量都可作为 100%, 并以对该温度下耗氧量增加的百分率为指标) 是不合理的, 而应该用耗氧量增加的绝对值来代替 (即当环境温度下降时, 单位体积上耗氧量增加的绝对值, 除以环境温度改变的度数, 求得环境温度每改变 1°C 时, 耗氧量增加的绝对值作为化学体温调节强度的指标)。

参 考 文 献

- 孙儒泳: 1959. 棕背鹿和普通日鼠的生态生理特征的地理变异. 北京师范大学学报 6: 61—82.
- Антошкина, Е. Д.: 1939. Онтогенетическое изучение терморегуляции. Сообщение 2, Развитие терморегуляции у крыс, выращиваемых в условиях высокой и низкой температур. *Физиол. Журн. СССР* 26(1): 16—29.
- Антошкина, Е. Д.: 1941. Онтогенетическое изучение терморегуляции. Сообщение 3, О возрастных особенностях реакции крыс на тепловой укол. *Физиол. Журн. СССР* 30(2): 98—101.
- Калабухов, Н. И.: 1935. Приспособление основного обмена и теплообразование у млекопитающих и птиц к температуре среды. *Успехи сов. Биол.* 4(6): 542—544.
- Калабухов, Н. И.: 1936. Физиологические особенности близких видов животных. *Успехи сов. Биол.* 5(2—3): 362—365.
- Калабухов, Н. И.: 1957. Сезонные изменения в организме грызунов, не впадающих в спячку, и их значение для колебания чувствительности к инфекции. Тезисы докладов науч. конф. по природн. очаговым, и эпидемиол. особо опасн. инфекц. болезн. 133—135.
- Слоним, А. Д.: 1952. Животная теплота и ее регуляция в организме млекопитающих. Изд. АН СССР.
- Слоним, А. Д., Р. А. Безуевская и Жила: 1940. К физиологии терморегуляции у грызунов и насекомоядных. *Бюлл. эксперим. Биол. и Медиц.* 10(1—2): 38—41.
- Сувь Жу-юв: 1958. Географическая изменчивость некоторых эколого-физиологических особенностей рыжих и обыкновенных полевок в пределах Московской области. Диссертация МГУ.
- Dawson, W. R.: 1955. The relation of oxygen consumption to temperature in desert rodents. *J. Mammal.* 36(4): 543—552.
- Hart, J. S.: 1950. Interrelation of daily metabolic cycle, activity and environmental temperature of mice. *Canad. J. Res.* 28: 293—307.
- Hart, J. S.: 1952. Use of daily metabolic periodicities as a measure of the energy expended by voluntary activity of mice. *Canad. J. Zool.* 30(1): 83—89.
- Herrington, L. P.: 1940. The heat regulation of small laboratory animal at various environmental temperatures. *Amer. J. Physiol.* 129(1): 123—139.
- Scholander, P. F., R. Hock and V. Walters: 1950. Adaptation to cold in arctic and tropical mammals and birds in relation to body temperature, insulation and basal metabolic rates. *Biol. Bull.* 99: 259—271.
- Swift, R. W.: 1944. The effect of feed on the critical temperature for the albino rat. *J. Nutr.* 28(5): 359—364.

ON THE APPLICATION OF VARIOUS METHODS EXPRESSING THE INTENSITY OF CHEMICAL THERMO-REGULATION

SUN RU-YUNG

(Biological Department, Peking Normal University)

The intensity of chemical thermo-regulation is usually expressed by means of the degree of metabolism increase with a decrease of the environmental temperature, *i.e.*, taking the minimum metabolic rate (oxygen consumption) in critical temperature as 100%, and expressing the increased oxygen consumption per 1°C in percentage of the minimum rate (Карабыхов, 1957). But other authors consider that oxygen consumption in any selected temperature may be taken as 100% (Слюним, 1952). This method of expressing provokes doubtfulness and so we propose to express the intensity of chemical thermo-regulation by means of absolute increase of oxygen consumption per 1°C instead of percentage increase. The absolute increase is considered to be more accurate.

In our study of oxygen consumption of the two voles (*Microtus arvalis* Pall. and *Clethrionomys glareolus* Schr.), we obtain the following conclusions (Сунь Жу-юнь, 1958): The degrees of increase of oxygen consumption per unit body weight with a decrease of the environmental temperature are nearly equal in both smaller and larger voles, and this is shown by the parallelness of oxygen consumption curves for all groups (fig. 1).

Presumably, we have three parallel curves a, b, c expressing the increment of the oxygen consumption with a decrease of environmental temperature (fig. 3A). If we express the intensities of chemical thermo-regulation by means of percentage increase, we obtain three different curves: c', the highest; b', the intermediate; and a', the lowest (fig. 3B). The application of this method leads, therefore, to the inadmissible conclusion that the intensity of thermo-regulation is greater in the larger animals than in the smaller ones. If however we express it by means of absolute increase, we get the three curves a'', b'', c'' combined, *i.e.*, all the same intensity of chemical thermo-regulation (fig. 3C). This lead to the conclusion: There is a higher metabolic rate for the smaller animals than for the larger ones, and the intensities of their chemical thermo-regulation are nearly equal.

After comparing the physical aspects of these two expressing methods, it becomes evident that the inadequacy of the first method consists in the confusion of the two different concepts: the increasing ability in thermo-production (intensity of chemical thermo-regulation) and the supporting ability of the body temperature (general ability of thermo-regulation). The latter is influenced by the former, but they are not the same, because the general supporting ability of the body temperature is also conditioned by other factors. In addition, the first method confuses the increasing ability in thermo-production of living organisms with the passive thermal output of non-living bodies.

Our conclusion is that it is necessary to replace the percentage expressing method of the increase in oxygen consumption per 1°C as intensity of chemical thermo-regulation by the absolute expressing method.