

褐家鼠和社鼠耗氧量研究 中协方差分析的应用

孙儒泳 黄铁华

(北京师范大学生物系) (广东省昆虫研究所)

褐家鼠 (*Rattus norvegicus*) 随人类经济活动分布于全球, 主要以人类建筑物为栖息场所, 夏季也在田野栖居, 也有经常生活于水流沿岸的。它是一种主要的害鼠。Рутенбург (1953) 和 Синичкина (1959a, 1959b) 报导: 褐家鼠的生理功能有很大可塑性, 适应各种环境温度条件, 并认为环境温度不阻碍褐家鼠的地理分布。褐家鼠分布区北越北极圈, 甚至在冰箱中 (-13°C) 营巢, 或生活于工厂的 $40-50^{\circ}\text{C}$ 仓库中 (Дементьев, 1950)。社鼠 (*Rattus niviventer*) 分布于我国华北至华南, 西达甘肃、青海、四川 (寿振黄, 1962)。在河北省多栖居于山区多裸岩地方, 是山地农作物害鼠。它对环境温度的生理适应性, 尚缺报导。

耗氧量是有机体产热量的间接指标, 由于其测定方便, 较直接测热应用广。最通用表示方法是单位体重上的耗氧量。由于个体大小 (如体重) 对动物热能代谢的影响, 近来注意用各种分析数据方法来矫正体重的影响 (Kleiber, 1961, Hart, 1971)。本工作试图以协方差分析法, 从体重影响干扰中, 析离出耗氧量的种间区别, 同时保留以单位体重表示耗氧量的优点。

用密闭补氧式的呼吸室 (按 Калябухов, 1951 应用, 后由 Сковорцов, 1957 改进的) 测定两种鼠在 5°C 、 10°C 、 15°C 、 20°C 、 25°C 、 30°C 、 35°C 环境温度下的耗氧量。褐家鼠 102 只, 测定 665 次, 社鼠 49 只, 测定 329 次。褐家鼠捕自北京市郊昌平区居民点 (养鸭场), 社鼠捕自市郊潭拓寺山地。试验分别在三季进行: 夏季试验于 1963 年 8 月 6—13 日, 秋季——同年 11 月 5—13 日, 冬季——1964 年 2 月 4—8 日。夏、秋季用新从野外捕获的鼠 (只经几天室内饲养, 以适应试验), 冬季用上季动物作重复试验 (在室温中饲养三个月)。数据整理中所用统计方法, 按 Snedecor 著, 杨纪珂等译的《应用于农学和生物学实验的数理统计方法》(1963)*。

结果和讨论

一、耗氧量与体重的相关, 协方差分析的应用

图 1a 是不同环境温度下的耗氧量 (秋季数据, 各点代表平均数, 褐家鼠 39 只, 社鼠 24 只)。随着温度由 30°C 降到 5°C , 平均耗氧量 (单位体重上) 迅速增加。褐家鼠由 2.639

* 应用数理统计方法中, 承蒙孙长鸣同志帮助, 实验材料搜集和整理中, 承蒙赵德干、张玉书等同志帮助, 作者对此表示感谢。

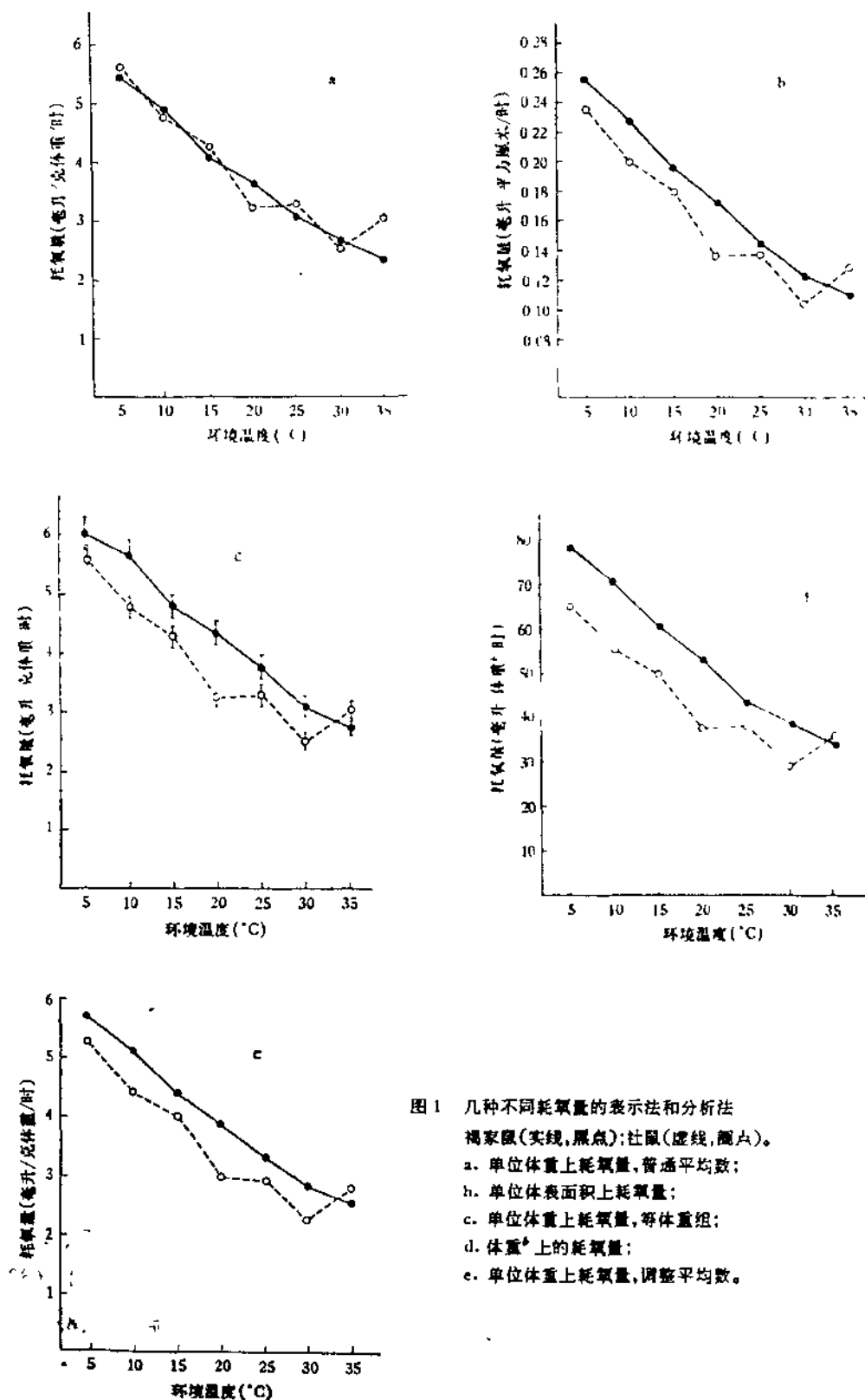


图1 几种不同耗氧量的表示法和分析法

褐家鼠(实线, 黑点); 社鼠(虚线, 圆点)。

a. 单位体重上耗氧量, 普通平均数;

b. 单位体表面积上耗氧量;

c. 单位体重上耗氧量, 等体重组;

d. 体重^{0.75}上的耗氧量;

e. 单位体重上耗氧量, 调整平均数。

± 0.181 毫升/克体重/时(以后省略), 增加到 5.446 ± 0.307 , 社鼠由 2.457 ± 0.138 增加到 5.605 ± 0.273 。就同一温度下耗氧量而言, 在 20°C 时, 褐家鼠 3.673 ± 0.222 比社鼠 3.209 ± 0.157 高, 但差别不显著 ($t = 1.71$), 在 10°C 和 30°C 下, 褐家鼠比社鼠仅略高一点, 差别更无意义 ($t = 0.30$ 和 0.62); 而在 5°C 、 15°C 和 25°C 下, 社鼠比褐家鼠略高, 统计上也无意义, $t = 0.39, 0.23$ 和 0.62 (只有在 35°C 下, 社鼠的耗氧量 3.014 ± 0.135 比褐家鼠 2.388 ± 0.135 高出 0.626 , 差别显著, $t = 3.28$, 待后讨论)。从整体看, 两种鼠间耗氧量没有明显区别。

注意试验动物平均体重, 褐家鼠 75.76 克, 社鼠 53.42 克, 相差 22.3 克。动物生理学熟知, 代谢率一般是与个体大小呈负的相关, 正是实验动物体重不同, 掩盖着两种鼠耗氧量的区别。

矫正体重对耗氧量影响, 以显示两种鼠的差别, 有下面几种方法, 主要叙述协方差分析的应用。

1. 对比两种鼠单位体表面积耗氧量 (M/S)。体表面积按 Mee 氏公式 $S = KW^u$ 计算 (Слоним, 1952; Kleiber, 1961), S 为体表面积, W 为体重, K 为常数, 就大鼠属 (*Rattus*) 而言, $K = 9.1$ 。两种鼠耗氧曲线 (图 1b) 基本特征未曾有变, 但与单位体重上耗氧量 (M/W) 比较 (图 1a), 褐家鼠耗氧水平较社鼠高的特点显示出来。除 35°C 外, 各环境温度下, 都是如此。

2. 对比同体重组的耗氧量。从试验动物中选择 $30-90$ 克的褐家鼠 22 只 (平均体重 53.91 克), 社鼠 24 只 (平均体重 53.42 克), 比较其单位体重上耗氧量 (M/W) 的平均值。同样, 耗氧曲线 (图 1c) 基本特征未变, 且显示出褐家鼠耗氧量较社鼠高的特点, 差别达到显著性水平的有 10°C 、 20°C 和 30°C , t 分别为 $1.99, 4.07, 3.32$ 。

3. 以 M/W^b 来表示耗氧量 (Hart, 1971)。 b 值是耗氧量 (毫升/时/每只鼠) 在体重上回归线的斜率, 它由实验结果中算出。按我们实验中两种鼠的数据, b 的平均值为 0.3841 , 用此数调整 W , 得各环境温度下的耗氧量 M/W^b , 作出图 1d, 结果同样证明, 耗氧曲线基本特征未变, 并显出两种鼠间耗氧量的差别。Hart 又建议, 如体重变异范围不足以求得 b 值, 可用 $W^b = W^{0.73}$ 代替, 0.73 是种间的平均斜率, Kleiber (1961) 称它为代谢体大单位 (unit of metabolic body size)。

4. 用协方差分析法。以试验动物体重作自变数, 耗氧量 (M/W) 作因变数, 在双对数纸上作散点图 (把曲线直线化), 并求出回归方程。图 2a 说明 10°C 时两种鼠耗氧量对数 Y 与体重对数 X 呈负的直线相关。就褐家鼠而言, 相关系数 $r = -0.9401$, 相关显著性极高; 回归方程 $\hat{Y} = 1.6956 - 0.55549X$, 即 $\log \hat{M} = 1.6956 - 0.55549 \log W$ (M 为单位体重上耗氧量, W 为体重) 或 $\hat{M} = 49.6W^{-0.55549}$; 耗氧量以体重的 0.55549 次幂的速率而减少。就社鼠言, $r = -0.8258$, 相关显著性也很高, $\hat{Y} = 1.5850 - 0.52879X$, 即 $\hat{M} = 38.46W^{-0.52879}$, 耗氧量以体重的 0.52879 次幂的速率而降低。两种鼠的回归系数 b 差别不显著, 从图看出, 两根回归线大致平行。因此, 用协方差分析对比两根回归线在 Y 轴上的高低, 或对比两种鼠耗氧量的调整平均数是有根据的。通过计算, 并把耗氧量从对数转为常数, 得在 10°C 下褐家鼠的耗氧量调整平均数为 5.108 , 社鼠为 4.425 , 相差 0.687 , 差别显著性很高, $F = 23.13 > F_{0.01} = 7.08$ 。试与图 1a 中普通平均数比较: 褐家鼠平均耗氧量为

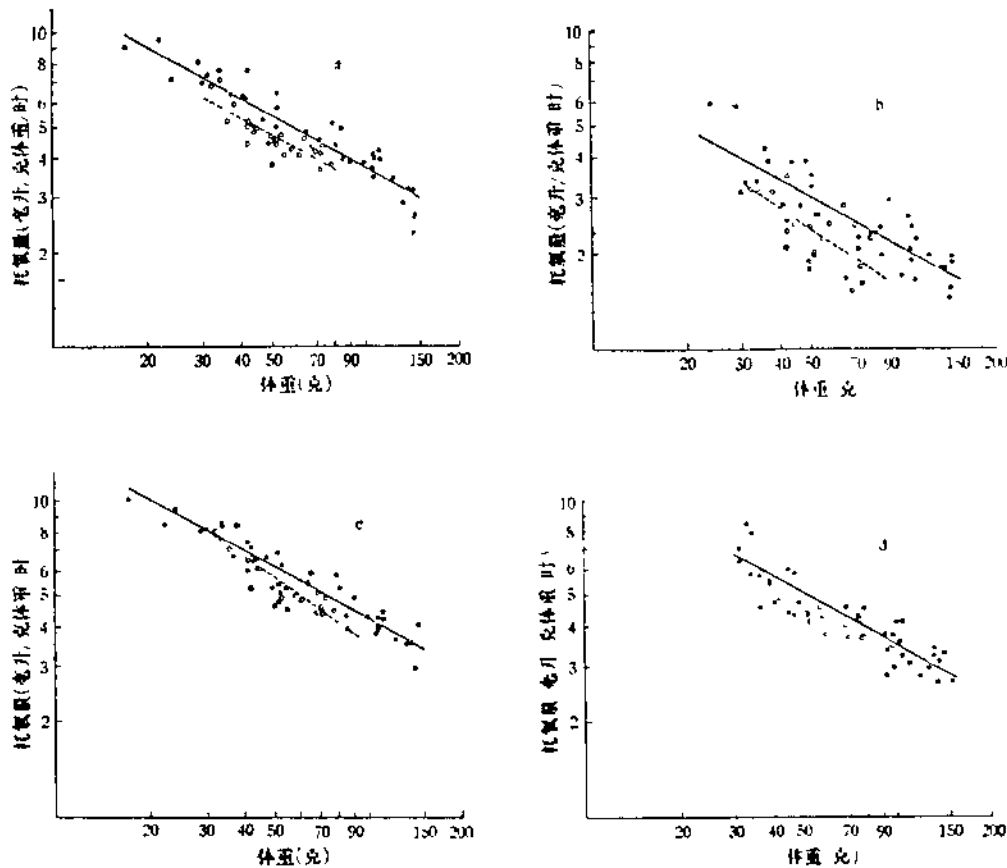


图2 褐家鼠(实线,黑点)和社鼠(虚线,圈点)的耗氧量对数在体重对数上的回归

- a. 秋季,环境温度 10℃; b. 秋季,环境温度 30℃;
c. 秋季,环境温度 5℃; d. 夏季,环境温度 15℃。

4.874 ± 0.296 , 社鼠为 4.772 ± 0.180 , 相差仅 0.102, $t = 0.30$ 。应用协方差分析后,两种鼠耗氧量差别提高 0.585, 差别显著性明显增高。原因就在于用调整平均数,消除了体重不同的影响,使两种鼠在理论上体重相同的基础上作比较,从而显出耗氧量的种间差别。同时,协方差分析又能减少耗氧量的变差,提高显著性水准。实际上,只要对散点图作仔细比较,就可看出褐家鼠耗氧量各散点在 Y 轴位置上平均地高于社鼠,两根回归线在 Y 轴水平上明显不同,协方差分析,调整平均数的计算,增加了准确的数字核计。

图 2b 是 30℃ 下的数据。就褐家鼠而言, $r = -0.8486$, $\hat{Y} = 1.4133 - 0.53842X$, 即 $\dot{M} = 25.9W^{-0.53842}$; 就社鼠而言, $r = -0.6590$, $\hat{Y} = 1.4891 - 0.64109X$, 即 $\dot{M} = 30.8W^{-0.64109}$ 。两根回归线斜率差别不显著。用协方差分析,求出耗氧量的调整平均数,褐家鼠为 2.809,社鼠为 2.223,相差 0.586, $F = 20.28$, 差别很显著。而图 1a 的普通平均数之差仅为 $2.639 - 2.457 = 0.182$, $t = 0.62$, 结果与 10℃ 时一致。

注意 5℃ 下数据,耗氧量普通平均数,在社鼠比褐家鼠略高 ($5.605 - 5.446 = 0.159$), 显然,这是褐家鼠平均体重较大掩盖了种间差别。试看耗氧量调整平均数(由图 2c 算出),褐家鼠为 5.672,社鼠为 5.275,褐家鼠较社鼠高 0.397,差别也达显著性水准, $F = 6.554 >$

$F_{0.05} = 4$ 。结果进一步证明, 忽视体重的影响, 可能导致错误甚至相反的结论。同样, 在 15°C 下, 耗氧量普通平均数在社鼠 4.276 比褐家鼠 4.205 略高, 而调整平均数在褐家鼠 4.360 较社鼠 4.027 为高, 并且差别显著 $F = 4.476$ 。

20°C 、 25°C 下数据不再列举, 仅将各环境温度下耗氧量调整平均数作成图 1c。只需对比图 1a 与 c, 就可看到同样结果 (35°C 下除外)。

在夏季试验中, 用协方差分析两种鼠耗氧量的区别, 得到同样结果。图 2d 是 15°C 下数据, 就褐家鼠而言, $r = -0.9165$, $\hat{Y} = 1.6405 - 0.55055X$ 或 $\hat{M} = 43.7W^{-0.55055}$, 即耗氧量以体重 0.55055 次幂的速率而降低; 社鼠的数据较少, 只 10 只鼠, 但 $r = -0.8062$, 相关显著性还很高, $\hat{Y} = 1.3566 - 0.41230X$ 或 $\hat{M} = 22.7W^{-0.41230}$ 。两个回归系数 b 差别不显著。褐家鼠耗氧量的调整平均数为 4.216, 社鼠为 3.833, 差 0.383, $F = 3.42$ 。而普通平均数相差只有 0.028。夏季各温度下结果, 以图 3a 和 b 比较之, 不再列举 (只 25°C 未见种间区别)。冬季的结果 (图 3c, d) 也基本相同。

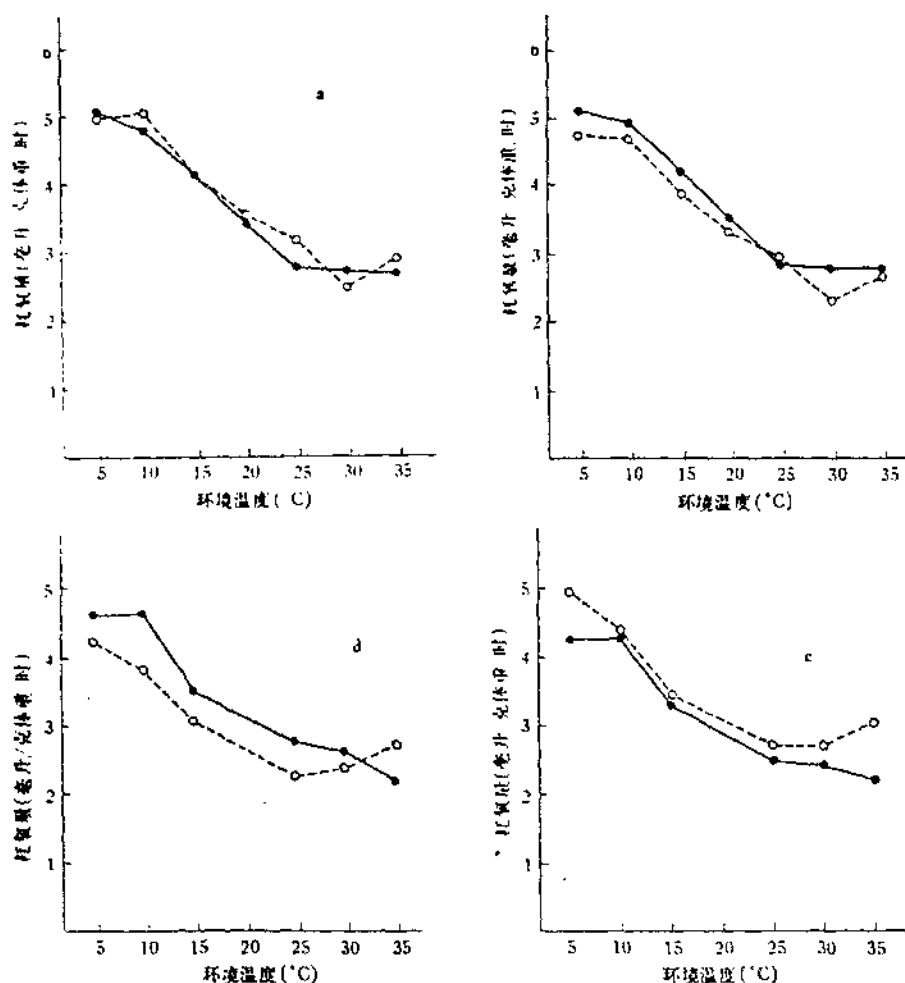


图3 褐家鼠(实线、黑点)和社鼠(虚线、圆点)的耗氧量

夏季: a. 普通平均数; b. 调整平均数;
冬季: c. 普通平均数; d. 调整平均数。

讨论 常温动物代谢率与个体大小呈负相关的事实, 早已被生理学确认。Rubner (1883) 据此提出“体表面积定律”。关于“体表面积定律”的意义, 生理学发展中曾有几十年的争论, 迄今尚存完全相反的估价 (Kleiber, 1961; Prosser & Brown, 1962; Gelineo, 1964; Слоним, 1952, 1961)。Слоним (1961) 指出: 对“体表面积定律”的现代批评, 常完全忽视体表面积在动物与外界环境间代谢中的作用。不论怎样解释代谢与体重的负相关, 这一事实始终在动物热能代谢中起重要作用。通常认为在热中性区温度下, 最低代谢率(或基础代谢率)与体重呈负相关 (Kleiber, 1961; Hart, 1971), 我们试验证明, 在 30°C 到 5°C 的化学体温调节区内, 所有各温度下的代谢率都与体重呈负相关, 并且相关显著性很高。因此, 忽视试验动物平均体重的差别(即使用数理统计求出耗氧量的平均数和标准误), 将导致对结果的错误估价和假结论, 这在近年来已受重视 (Hart and Héroux, 1963; Pohl and Hart, 1965; Hayward, 1965; Hart, 1971; Сунь Жу-юн, 1958, 1959)。

Rubner (1883) 在提出“体表面积定律”时, 已应用单位体表面积耗氧量的办法研究种间和种内(狗等)变异。因为体重不仅随面积与体积之比的单纯物理因素, 还随其他生物因素而改变; 体表面积不仅与体重有关, 也与身体几何形状有关; 因此一般文献仍通用单位体重耗氧量。我们曾用对比同体重组方法, 研究棕背鼯和普通田鼠耗氧量的地理变异 (孙儒泳, 1959, 1963; Сунь Жу-юн, 1958, 1959), 该方法虽可避免上述缺点, 但取样困难加大: 捕捉同体重野鼠较难, 样品变小, 显著性水准降低。近来 Hart (1971) 等推荐以 M/W^b 代替 M/W 研究冷驯化(cold acclimation)对褐家鼠 (Hart and Héroux, 1963), 以及其他啮齿类的 (Pohl and Hart, 1965; Depocas, Hart and Héroux, 1957) 耗氧量的影响, 并证明可以矫正体重的影响。本文建议用协方差分析, 对比耗氧量的调整平均数。三个不同季节试验结果表明, 四种方法都能矫正体重不同的影响, 并且结论一致; 但后两种方法没有上述前两种的缺点。第二种方法是对比实际上相同体重鼠的耗氧量, 三、四种方法是通过数学方法, 在理论上等体重的基础上进行比较, 彼此结论的一致性, 证明后两种方法不但理论上允许, 并经实践检验是对的。

Hart 等推荐的 M/W^b 方法, 虽然应用了回归系数, 但没有进一步对比两根(或更多)回归线, 进行协方差分析, 而是停留在用 b 值矫正, 再回到单变量的统计分析。同时, b 值本身是有变差的, 矫正后的耗氧量亦将随之而变。Hart (1971) 总结文献报导, 啮齿类中 b 值的变异, 自 0.20 到 0.94, 同种动物 b 值变异范围也有这样大; 而对调整体重用的 b 值, 究竟用哪一个, 不同作者又有不同意见。Hart (1971) 认为 b 值首先应从实际数据中算出, Kleiber (1961) 认为以 $W^{0.75}$ (即 $b = 0.75$) 最合适, 并把该值作为代谢体大单位, 而 Goldstone *et al* (1967) 又认为 $b = 0.9229$ 最理想, 以单位体表面积表示耗氧量在实际上就是以 $b^{2/3}$ (即 $b = 0.67$) 来调整体重。

我们应用的协方差分析, 是对比两根回归线, 因而使第二种变量的引入, 有效地缩小第一种变量的变差, 提高了差别的显著性。两条回归线在 Y 轴上水平的不同, 明显地证明, 耗氧量虽然随着体重而降低, 但在任何等体重点上, 一根回归线所代表的一种鼠的耗氧量(或一种处理)始终高于另一根回归线所代表的另一种鼠的耗氧量(或另一种处理), 差别又可通过 F 测定法来检验。这个方法同样可以推广到二种以上处理的比较上。实际上, 这是应用数理统计方法; 从体重(或一个变量 X)对耗氧量(或另一个变量 Y)的重大影

响下, 析离出耗氧量(变量 Y) 与其他因素的关系。协方差分析的计算也不比 M/W^b 法计算复杂, 并能保留文献上最通用的单位体重表示耗氧量的优点, 而 M/W^b 法却不能。

二、褐家鼠和社鼠气体代谢的区别

秋季耗氧(调整平均数)曲线(图 1e) 说明: 社鼠的临界温度*是 30°C , 褐家鼠是 35°C 左右。临界温度下, 静止状最低代谢率 (resting minimal metabolic rate), 褐家鼠为 2.535, 社鼠为 2.223, 褐家鼠比社鼠高 14%。不但在临界温度下, 在 30°C 到 5°C 的各试验温度下, 如上所述, 褐家鼠的耗氧量都高于社鼠, 差别也都是显著的, F 值分别为 20.28、5.26、56.25、4.48、23.13 和 6.55 ($F_{0.05}=4.02$, $F_{0.01}=7.08$)。随着环境温度由 30°C 下降到 5°C , 两种鼠耗氧量都迅速增加, 增加的斜率是接近的, 即对环境温度降低的代谢反应 (Hayward, 1965) 或化学体温调节强度 (Слоним, 1962) 是区别不大的。作者之一 (孙儒泳, 1963) 曾建议以环境温度每改变 1°C , 耗氧量增加的绝对值, 来代替文献上常用的每改变 1°C 耗氧量增加百分率, 作为化学体温调节强度的指标, 并认为后者是不可靠的。本工作进一步证明此点: 如按增加绝对值表示, 褐家鼠耗氧量自 2.809 增到 5.672, 社鼠自 2.223 增到 5.275, 即每改变 1°C , 褐家鼠和社鼠耗氧量分别增加 0.095 和 0.102, 结论是两种鼠化学体温调节强度差别不大; 如按增加百分率表示, 以最低代谢率为 100%, 每改变 1°C , 褐家鼠增加 3.4%, 社鼠增加 4.6%, 相差 35% $\left(\frac{4.6}{3.4} - 1\right)$, 结论应成为两种鼠化学体温调节强度有明显区别, 显然这是表示方法上的错误。如按 Hayward (1965) 用回归分析方法, 褐家鼠耗氧量在环境温度上的回归方程是 $M = 6.2039 - 0.116T$, 即环境温度每下降 1°C , 耗氧量增加 0.116 ± 0.004 , 社鼠增加 0.118 ± 0.011 ($M = 5.7185 - 0.118T$), 增加斜率差别不大, 结论同我们建议的方法一致, 即两种鼠对环境温度下降的代谢反应 (或称化学体温调节强度) 差别不大。当然 Hayward 的方法还有其优点: 用回归分析可以估计变差, 并可说明差别显著性。

当环境温度高于 30°C , 社鼠耗氧量迅速增加, 从 2.223 增到 2.753 (35°C), 增加 24%, 即越过临界温度进入过热区 (zone of hyperthermy), 但褐家鼠在 35°C 时, 耗氧量没有上升, 反而比 30°C 有降低。

夏季耗氧曲线(图 3b) 说明: 两种鼠的临界温度象秋季一样, 分别为 35°C 和 30°C ; 但褐家鼠在 25°C 到 35°C 间耗氧量改变不大, 即有一宽阔的热中性区或代谢稳定区。临界温度下最低代谢率褐家鼠比社鼠高 20%。褐家鼠耗氧曲线水平比社鼠高的特征照样保留。两条耗氧曲线斜率基本一样, 按 Hayward 方法, 褐家鼠的代谢改变斜率为 0.106 ± 0.010 , 社鼠为 0.104 ± 0.008 , 因此, 两种鼠化学体温调节强度差别不大。对 35°C 的反应, 同样说明社鼠对高温的忍受比褐家鼠略为困难。

冬季耗氧曲线(图 3d) 同样说明上二季所示的种间区别: 褐家鼠比社鼠有较高的临界温度, 有较高的最低代谢率; 在化学体温调节区 ($30^{\circ}-5^{\circ}\text{C}$) 内, 褐家鼠有较高的耗氧

* 通常称耗氧曲线中, 代谢最低的温度为临界温度 critical temperature, 它与热中性区 zone of thermal neutrality 相当 (Слоним, 1962)。本文从此意义上应用临界温度概念。Hart (1971), King and Farnier (1961) 分别称热中性区上界和下界为上、下临界温度, Gelineo (1964) 又从另一意义上使用下临界温度这个概念。

量;两种鼠化学体温调节强度区别不大,褐家鼠代谢改变斜率为 0.091 ± 0.015 , 社鼠为 0.081 ± 0.014 ;褐家鼠比社鼠对高温(35°C)有较大忍受能力。

耗氧量的季节变化:我们只有三季数据,冬季数据不是从新捕野鼠测得, Hérout, Depocas and Hart (1959) 认为季节变化与实验室中温度驯化引起的变异不完全相同,因此对耗氧量季节变化仅能提供一些参考。褐家鼠临界温度未曾有季节变化,但宽阔的代谢稳定区仅见于夏季和冬季。临界温度下的最低代谢率变化虽不很大,但自夏季经秋季到冬季有逐步降低趋势。冬季的最低代谢率 2.370, 比夏季 2.753 低 16%;在化学体温调节区内各环境温度下耗氧量以秋季最高,夏季较低,冬季最低;化学体温调节强度同样以秋季最高,夏季次之,冬季最低,三季的代谢改变斜率分别为 0.116 ± 0.004 、 0.106 ± 0.010 、 0.091 ± 0.015 。冬季比夏季有较低的化学体温调节强度和耗氧水平($30^{\circ}-5^{\circ}\text{C}$)的特点,与 Шунг Као Ван 和 Смирнов (1970) 报导一致,它是由冬季毛皮隔热性能的良好得到补偿 (Hérout, 1962)。

社鼠的临界温度同样未有明显季节变化,但冬季在 $25^{\circ}\text{C}-30^{\circ}\text{C}$ 间有一代谢稳定区,化学体温调节强度同样以秋季最高 0.118 ± 0.011 , 夏季次之 0.104 ± 0.008 , 冬季最低 0.081 ± 0.014 。临界温度下最低代谢率未见有变, $30^{\circ}\text{C}-5^{\circ}\text{C}$ 各环境温度下耗氧量,秋季、夏季较冬季高。

讨论 基础代谢率反映机体组织氧化过程的强度 (Слоним, 1961), 是常温动物生活中能量交换的生理基础 (Gelineo, 1964)。由于种种困难,在野生兽类中很难应用严格的基础代谢率概念,而常以静止状最低代谢率 (Hart, 1971) 或标准代谢率 (Kleiber, 1961) 代之。在临界温度下,褐家鼠有较高的静止状最低代谢率,在 $30^{\circ}\text{C}-5^{\circ}\text{C}$ 每一试验温度下,褐家鼠单位体重上比社鼠耗氧较多,这种较高的组织产热水平,可以从褐家鼠有较高的活动性得到解释。我们实验未能说明两种鼠对极低温的反应,但 Krog, Monson 和 Irving (1955) 报导,褐家鼠在 -40°C 下代谢率为最低的 6 倍。

Рутенбург (1953) 报导褐家鼠的临界温度由北极区往亚热带逐渐升高,并说明其改变之适应意义。过热区是机体以“喘息”和“排汗”抵抗高温的区域 (Gelineo, 1964; Слоним, 1962)。褐家鼠比社鼠有较高的临界温度,和对 35°C 环境温度反应的不同,说明褐家鼠比社鼠能忍受稍高的环境温度。

褐家鼠和社鼠在气体代谢上的区别,对高温和较低温反应上的区别,可以从褐家鼠较社鼠有更广的分布区和栖息场所得到解释。

结 论

(1) 应用协方差分析方法,比较耗氧量的调整平均数,不仅能从体重影响干扰中,析离出耗氧量与其他因素关系的特征,并比其他方法(如 M/W^b 表示法,单位体表面积耗氧量表示法,等体重组耗氧量比较法)有较多优点。

(2) 褐家鼠比社鼠有较高的临界温度,较高的静止状最低代谢率,在 $30^{\circ}\text{C}-5^{\circ}\text{C}$ 环境温度下有较高的耗氧量;而社鼠对 35°C 高温的反应比褐家鼠较为敏感。

参 考 文 献

- 孙儒泳 棕背鼯和普通田鼠的生态生理特征的地理变异. 北京师范大学学报(自然科学版) 6:61—82, 1959; 1:51—88.
- 孙儒泳 1963 对于以耗氧量作为化学体温调节强度指标的意见. 动物学报 15(1):44—48.
- Depocas F., J. S. Hart, and O. Héroux 1957 Energy metabolism of the white rat after acclimation to warm and cold environments. *J. Appl. Physiol.* 10:393—397.
- Gelineo S. 1964 Organ systems in adaptation: The temperature regulation system. In «Handbook of Physiology», section 4: Adaptation to the environment.
- Goldstone B. W., Nerina Savage, and F. E. Steffens 1967 Relation of basal oxygen consumption to some aspect of body size in baboons (*P. ursinus*). *J. Appl. Physiol.* 22(1):86—90.
- Hart J. S. 1971 In «Comparative Physiology of Thermoregulation», vol. 2, Mammals, Chap. 1, Rodents., edited by G. C. Whitrow, New York, Acad. Press.
- Hart J. S. and O. Héroux 1963 Seasonal acclimatization in wild rats (*Rattus norvegicus*). *Can. J. Zool.* 41:711—716.
- Hayward J. S. 1965 Metabolic rate and its temperature-adaptive significance in six geographic races of *Peromyscus*. *Can. J. Zool.* 43:309—323.
- Héroux O., F. Depocas, and J. S. Hart 1959 Comparison between seasonal and thermal acclimation in white rats. I. Metabolic and insulative changes. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37:473—478.
- Héroux O. 1962 Seasonal adjustments in captured wild Norway rats. II. Survival time, pelt insulation, shivering, metabolic and pressor responses to noradrenaline. *Can. J. Biochem. Physiol.* 40:537—545.
- King J. R., and D. S. Farner 1961 Energy metabolism, thermoregulation and body temperature. In «Comparative Physiology of Birds», ed. by A. J. Marshall, New York, Acad. Press, vol. 2.
- Kleiber M. 1961 The Fire of Life. An introduction to animal energetics. New York, Wiley and Sons.
- Krog H., M. Monson, and L. Irving 1955 Influence of cold upon the metabolism and body temperature of wild rats, albino rats and rats conditioned to cold. *J. Appl. Physiol.* 7:349—354.
- Pohl H., and J. S. Hart 1965 Thermoregulation and cold acclimation in a hibernator, *Citellus tridecemlineatus*. *J. Appl. Physiol.* 20:398—404.
- Prosser C. L., and F. A. Brown 1962 Comparative Animal Physiology. W. B. Saunders Company.
- Rubner M. 1883 Ueber den Einfluss der Körpergrösse auf Stoff und Kraftwechsel. *Ztschr. f. Biol.* 19:535.
- Дементьев Д. П. 1950 Расселение Крыс по железным дорогам. «Природа» 4.
- Калабухов Н. Н. 1961 Методика экспериментальных исследований по экологии наземных позвоночных. Изд. «Совет. Науч.» М.
- Раттенбург С. О. 1952 Анатомическая терморегуляция у некоторых видов крыс в связи с их географическим распространением. Сб. «Опыт изуч. регуляц. физиол. функц.» 2; 35. Изд. АН СССР, М.-Л.
- Свявцов Г. Н. 1957 Усовершенствованная методика определения интенсивности потребления кислорода у грызунов и других мелких животных. Сб. «Грызуны и борьба с ними» 5: 285. Саратов.
- Словин А. Д. 1952 Животная теплота и ее регуляция в организме млекопитающих. Изд. АН СССР, М.-Л.
- 1961 Основы общей экологической физиологии млекопитающих. Изд. АН СССР, М. Л.
- 1962 Частная экологическая физиология млекопитающих. Изд. АН СССР, М.-Л.
- Сунь Жу-юн 1958 Географическая изменчивость некоторых эколого-физиологических особенностей рыжих и обыкновенных полевых в пределах Московской области. Диссертация МГУ.
- 1959 Географическая изменчивость некоторых эколого-физиологических особенностей рыжих и обыкновенных полевых в пределах Московской области. Совещ. по экол. физиол., Тезисы докл. 2: 103. Изд. АН СССР, М.-Л.
- Синичкина А. А. 1959а Изменение некоторых физиологических особенностей у серых крыс при их адаптации к теплу и холоду. Сб. «Грызуны и борьба с ними» 6: 53—63.
- 1959б Особенности реакции серых крыс на влияние сезонных изменений условий среды. Тр. Института «Микроб» 3.

Шунг Као Ван, и П. К. Смирнов 1970 Сезонные изменения теплоизоляции организма крыс. Доклады АН СССР 190 (4): 962—965.

外 文 摘 要

APPLICATION OF ANALYSIS OF COVARIANCE IN THE STUDY OF OXYGEN CONSUMPTION OF TWO SPECIES OF RATS

SUN RU-YUNG HWANG TIEH-HUA

(Biological Department, Peking Normal University)

Oxygen consumption of *Rattus norvegicus* and *Rattus niviventer* was determined at ambient temperatures of 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C. The metabolic rate (M) per unit weight (W) is correlated negatively with body weight of tested animals (fig. 2). Since the mean weights of tested animals of two species were different, then interspecific differences were canceled by the influence of body weight (fig. 1a). Four analytical methods were compared in order to reveal the interspecific differences, i.e., comparison of metabolic rate per unit surface (M/S) (fig. 1b), comparison of M/W of groups of animals of similar weights (fig. 1c), comparison of M/W^{0.75} (fig. 1d) and comparison of the adjusted means of M/W computed by analysis of covariance (fig. 1e). The last one possessing the following advantages is preferable: 1) the induction of the second variable and the comparison of two (or more) regression lines decrease the variation of the first variable and increase the significance of differences; 2) it makes possible direct interspecific comparison of metabolic rate on theoretically similar body weight. Based on experiments in three different seasons, it becomes evident that the last method is not only theoretically admitted, but has also been proved correct in practical applications.

After comparing the adjusted means of M/W of the two species (fig. 1e, fig. 3b,d), it becomes apparent that *Rattus norvegicus* has higher critical temperature, higher resting minimal metabolic rate at critical temperature, higher level of oxygen consumption at temperatures of zone of chemical thermoregulation than *Rattus niviventer* but the latter is more sensitive to high ambient temperature (35°C) than the former. These interspecific differences may be explained by the fact that *Rattus norvegicus* has a more widely geographic distribution than *Rattus niviventer*.