

太湖绿翅鸭、琵嘴鸭、斑嘴鸭 气体代谢的季节变化

钱国桢 徐宏发

(华东师范大学动物生态研究室)

摘 要

本文在秋、冬、春三季测定了江苏太湖越冬的绿翅鸭 (*Anas crecca*)、琵嘴鸭 (*Anas clypeata*) 和斑嘴鸭 (*Anas poecilorhyncha*) 的静止代谢率 (RMR)。分析了RMR与环境温度以及与体重之间的关系。结果表明, 3种野鸭的静止代谢率有明显的季节变化。根据实验数据得出了3个季节的RMR与环境温度以及体重的回归方程。利用方程式可用已知的温度和体重推算出野鸭的静止代谢率。RMR可作为估测野鸭周年或季节性的能量收支的参数。

鸟类在野外的各种活动所需的能量, 都可以用静止状态下的代谢率作为参数来进行估计。用实验室测得的动物静止代谢率来推算和估测动物周年或季节性的能量收支已在某些鸟类生态学的研究中使用 (West, 1960; King, 1974), 但估算野鸭的能量收支尚未见到。越冬野鸭是我国南方湖泊生态系统中种群数量最多的经济狩猎鸟。测定野鸭静止代谢率的季节变化以及与体重之间的关系, 可以用来估算野鸭越冬期的能量需要。这对确定某一湖泊生态系统可支持多大的种群数量; 分析越冬地野鸭种群的数量变化; 以及更好地保护和利用野鸭资源都有很大的意义。

在江苏太湖越冬的野鸭每年9月中旬从北方迁来, 第二年3月中旬迁出, 居留期200天左右 (钱国桢, 1980)。在太湖越冬野鸭中, 河鸭属为优势种。本文用河鸭属的大、中、小3种野鸭 (绿翅鸭、琵嘴鸭、斑嘴鸭) 作为实验动物, 分别在秋、冬、春三季测定了静止代谢率。初步研究了静止代谢率的季节变化以及与环境温度和体重的关系。

一、野鸭的饲养及实验方法

1. 饲养方法

在太湖中用板网法捕获野鸭, 捕获后迅速移入半自然条件的鸟舍中饲养。鸟舍长6米, 宽4.5米, 高3米。笼内设有流水及浅水池并旁通于一避雨棚。食物用Kendeigh (1975) 的配方稍加修改。

玉米粉:40%; 鱼粉:10%; 大麦粉:15%; 麸皮:10%; 黄豆饼粉:15%; 米粉:10%。
加入适量的维生素A、D, 其能值合4.2千卡/克。野鸭在此条件下一周后体重可稳定。

2. 实验方法

动物耗氧量的测定采用密封补氧式简易呼吸器 (王培潮等, 1980)。呼吸室浸在恒温室

*本文承蒙孙儒泳教授、周本湘教授、盛和林副教授、王歧山副教授审阅, 王培潮、祝龙彪、陆健健等同志提出宝贵修改意见, 在此一并表示感谢。

内的水浴中以保持温度恒定。每种野鸭各10只,雌雄各半。实验分别在三个季节进行。由于野鸭较警觉,预先需饲养2—3周才能适应实验。因此,秋季试验在10月底至11月中旬;冬季1月中旬至1月底;春季4月中旬至4月底进行。每季均在6°C、8°C、10°C、12°C、14°C、16°C、18°C、20°C、25°C、30°C环境温度下测定3种野鸭的耗氧量。1982—1983年度进行了部分测定,1983—1984年度重复。2年结果经检验无显著差异,故将2年数据合并计算。2年共测绿翅鸭1,200只次、琵嘴鸭1,021只次、斑嘴鸭972只次。秋、春季测定用野鸭是从野外新捕获的,冬季大部采用新捕获的,少部分因来源不足采用秋季捕获的野鸭。经显著性检验,雌雄野鸭单位体重耗氧量以及新捕获和饲养2个月的野鸭耗氧量的差异不显著,数据均合并计算。实验选在每天下午1时开始,使动物尽可能处于空腹和不活动的状态下进行测定。注意到各组野鸭的体重不同,静止代谢率的计算采用先求出耗氧量与体重的回归方程,然后用公式算出平均体重的静止代谢率,以消除体重不同的影响。当该组野鸭体重变异范围不足以求出回归方程时,则用实测的平均b值来校正。

二、结果与讨论

1. 3种野鸭静止代谢率与环境温度的关系

通常认为,在内热动物耗氧量曲线中,耗氧量最低的温度区称热中性区(thermal neutral zone),或称中性温度区。在中性温度区的下临界温度(lower critical temperature)以下,耗氧量与环境温度呈直线相关(Bartholomew, 1977)。我们曾于35°C下测定3种野鸭的耗氧量,结果3种野鸭都严重喘息。因此从实验结果来看(图1、2、3),在秋、冬、春三季绿翅鸭都是30°C下耗氧量最低;琵嘴鸭是秋季25°C,冬春季30°C;斑嘴鸭冬季20°C,春季25°C,秋季30°C下耗氧量最低。我们在拟合回归方程时,绿翅鸭三季都采用6—25°C的数据;琵嘴鸭秋季用6—20°C,冬春季用6—25°C,斑嘴鸭秋季用6—25°C,冬季用6—18°C,春季用6—20°C的数据。然后用最低的耗氧量代入方程,求出下临界温度的理论值。结果表明,绿翅鸭的下临界温度秋季为29°C,冬季为28°C,春季29°C。琵嘴鸭三季分别为23°C(秋)、27°C(冬)、26°C(春)。斑嘴鸭三季分别为28°C(秋)、19°C(冬)、22°C(春)。比较这3种野鸭的下临界温度大致上可以看出,体重愈大,下临界温度愈低。这是因为体重愈大,单位体重的体表散热面积愈小,因此较大体重的鸭类较能保持体温,物理体温调节能力较强。

3种野鸭不同季节的中性温度的耗氧量也不同,绿翅鸭在中性温度区,冬季的耗氧量最高,春季次之,秋季最低。同样,琵嘴鸭和斑嘴鸭在中性温度区,冬季的耗氧量也最高。这

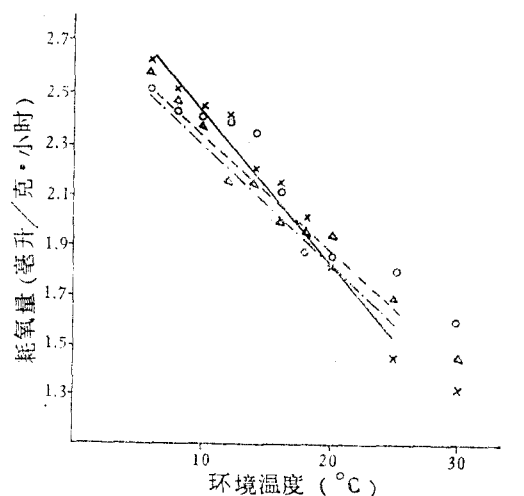


图1 绿翅鸭秋、冬、春季静止代谢率与温度的关系
fig.1 relationship between ambient temperatures and RMR of Common Teal in the autumn, winter and spring

注: 秋8°C、冬12°C、春25°C组用平均b值校正体重

$$M = 3.0417 - 0.06013T \text{ (秋)} \times \text{---}$$

$$M = 2.8152 - 0.04422T \text{ (冬)} \circ \cdots \cdots$$

$$M = 2.7681 - 0.04541T \text{ (春)} \triangle \text{---}$$

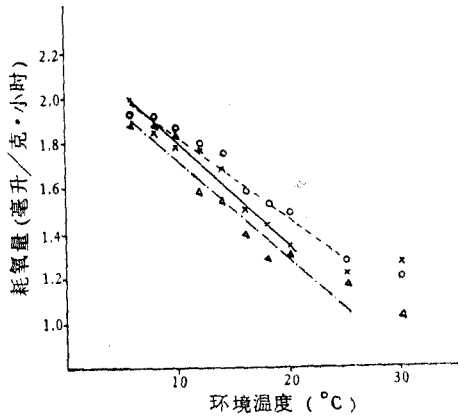


图2 琵嘴鸭秋、冬、春季静止代谢率与温度的关系
fig.2 relationship between ambient temperatures and RMR of Shoveller in the autumn, winter and spring

注: 秋10℃、冬12℃、春8℃组用平均b值来校正体重

$$M = 2.2665 - 0.04608T \text{ (秋)} \times \text{——}$$

$$M = 2.2083 - 0.03667T \text{ (冬)} \circ \text{.....}$$

$$M = 2.1795 - 0.04439T \text{ (春)} \Delta \text{----}$$

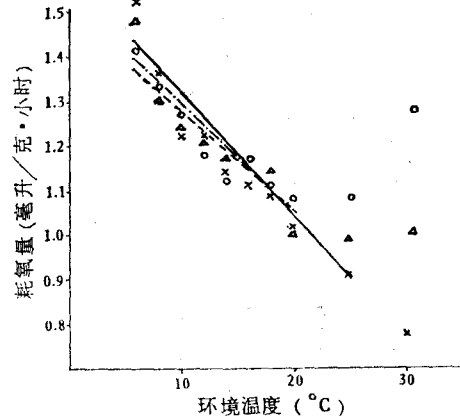


图3 斑嘴鸭秋、冬、春季静止代谢率与温度的关系
fig.3 relationship between ambient temperatures and RMR of spotbill duck in the autumn, winter and spring

注: 秋12℃、冬20℃、春16℃用平均b值来校正体重

$$M = 1.5906 - 0.02882T \text{ (秋)} \times \text{——}$$

$$M = 1.5056 - 0.02272T \text{ (冬)} \circ \text{.....}$$

$$M = 1.5498 - 0.02537T \text{ (春)} \Delta \text{----}$$

从图1、2、3的回归线上也可见到,在温度高的一端冬季的回归线高于春、秋季。动物的代谢强度的季节变化已有许多作者观察到(Dawson, 1964)。Rising (1973)用放射性去甲肾上腺素进行示踪测定生物半衰期,发现冬季的去甲肾上腺素的代谢快于夏季。鸟类在长期的进化中,对冷压发展了多种调节机制。冬季提高代谢水平可使动物易于维持恒定的体温。而相反在低温下冬季野鸭的静止代谢率都比秋季低,这也是由于冬季羽毛和皮下脂肪隔热能力强而造成。利用Kendeigh (1977)关于非雀形目鸟类的代谢与体重的关系公式计算,在相同体重下,冬季0℃时也比夏季0℃时的代谢要低得多。

图1是绿翅鸭不同季节温度与耗氧量的关系。环境温度从30℃降至6℃,实测的单位体重的耗氧量秋季增加了1.3083毫升/克·小时(下同,略);冬季增加了0.909;春季增加了1.1442。琵嘴鸭(图2)温度从30℃降至6℃时(秋季25℃降至6℃),耗氧量分别增加了0.7828(秋);0.7268(冬);0.8650(春)。斑嘴鸭秋季30℃降至6℃,实测的耗氧量增加了0.7468;冬季从20℃降至6℃耗氧量增加了0.3352;春季从25℃降至6℃耗氧量增加了0.3829。从这些结果可见,当环境温度下降而引起耗氧量的增加时,冬季野鸭的耗氧量增加得最少。我们用回归方程计算理论值,结果与实测的一样。

3种野鸭秋、冬、春三季温度与耗氧量的回归方程经F检验,相关系数和回归系数都达到极显著水平($P < 0.01$)。对每一种野鸭不同季节的回归系数的差异作显著性检验,结果发现3种野鸭秋季与冬季的回归系数都有显著的差异,绿翅鸭($P < 0.01$),琵嘴鸭($P < 0.05$),斑嘴鸭($P < 0.05$)。而春秋间(除绿翅鸭外)、春冬间都没有显著差异。秋季的回归系数均显著大于冬季的回归系数,表明3种野鸭的化学体温调节强度存在着明显的季节变化,都是秋季最高,春季次之,冬季最低。从图1、2、3上也可看出,3种野鸭秋季回归线比冬季的要陡。Kendeigh (1977)用温度系数b来表示气温变化1℃而引起静止耗氧量的变化率,

并分别给出了冬季和夏季的公式。利用该公式计算的结果,夏季**b**值高于冬季。鸟类对环境温度降低的代谢反应(或称化学体温调节强度)的季节变化,主要与鸟类体廓的绝热能力的变化有关。冬季野鸭的羽毛厚而密,皮下脂肪多,体重也比秋季重,能有效地防止体内热量的散失。在同一温度下,由于野鸭冬季的体廓绝热能力高于秋季,用于维持体温的代谢产热比秋季少。反映在回归线上,回归线的斜率**b**值冬季的要比秋季的小。秋天野鸭从北方迁到太湖后,新换的羽毛不断生长,入冬后新羽已长成,体廓的隔热程度高。从而使冬季化学体温调节强度降低而物理体温调节强度升高,这样就能使野鸭在寒冷的冬季减少用于维持体温所消耗的能量。

2. 野鸭的体重与静止代谢率

研究动物的体重与静止代谢率的关系,可以得出回归公式。进而根据体重来预测动物的代谢率。King (1974) 和 Kendeigh (1977) 总结了许多作者的工作,提出了雀形目和非雀形目的体重和代谢率的关系公式。实际上鸟类的种类很多,体型,生活习性很不相同。太湖河鸭属鸟类共10种,体重从200多克到1,300克。它们的生活习性,体型都相差不大,体温也比较一致。通过这10种野鸭中的大、中、小鸭的测定求出耗氧量与体重间的回归公式,来估算不同体重野鸭的耗氧量精确性更高。我们分别拟合了秋、冬、春三季6—30℃ 10个温度级的体重与耗氧量的回归公式,结果见表1:

表1 绿翅鸭、琵嘴鸭、斑嘴鸭秋、冬、春三季静止代谢率(RMR)与体重的关系
table.1 regressions of resting metabolic rates (RMR) on weight in three species ducks (*Anas crecca*, *Anas clypeata*, *Anas poecilorhycha*) in the autumn, winter and spring

温度(℃)	秋	季	冬	季	春	季
6			$M = 42.1502W^{-0.4918}$	$r = -0.93$ $n = 14$	$M = 33.8688W^{-0.4564}$	$r = -0.94$ $n = 25$
8	$M = 57.24W^{-0.5441}$	$r = -0.93$ $n = 10$	$M = 52.5896W^{-0.5312}$	$r = -0.97$ $n = 19$	$M = 47.0869W^{-0.5205}$	$r = -0.96$ $n = 16$
10	$M = 55.7442W^{-0.5318}$	$r = -0.91$ $n = 20$	$M = 75.3703W^{-0.5969}$	$r = -0.95$ $n = 19$	$M = 52.0595W^{-0.5364}$	$r = -0.96$ $n = 25$
12	$M = 51.074W^{-0.5392}$	$r = -0.96$ $n = 19$	$M = 55.6416W^{-0.548}$	$r = -0.93$ $n = 19$	$M = 26.996W^{-0.4472}$	$r = -0.93$ $n = 23$
14	$M = 59.4155W^{-0.5709}$	$r = -0.97$ $n = 15$	$M = 50.3501W^{-0.5342}$	$r = -0.94$ $n = 19$	$M = 25.2813W^{-0.4464}$	$r = -0.97$ $n = 21$
16	$M = 40.0867W^{-0.5177}$	$r = -0.96$ $n = 16$	$M = 31.5137W^{-0.4784}$	$r = -0.96$ $n = 21$	$M = 78.5597W^{-0.645}$	$r = -0.94$ $n = 14$
18	$M = 32.5462W^{-0.4925}$	$r = -0.92$ $n = 23$	$M = 39.3822W^{-0.5274}$	$r = -0.91$ $n = 19$	$M = 32.2552W^{-0.4941}$	$r = -0.96$ $n = 20$
20	$M = 25.8167W^{-0.4643}$	$r = -0.97$ $n = 23$	$M = 27.7396W^{-0.4771}$	$r = -0.97$ $n = 18$	$M = 26.8349W^{-0.4696}$	$r = -0.93$ $n = 24$
25	$M = 16.4854W^{-0.4105}$	$r = -0.91$ $n = 24$	$M = 40.2254W^{-0.5486}$	$r = -0.96$ $n = 21$	$M = 42.7563W^{-0.5587}$	$r = -0.96$ $n = 21$
30	$M = 34.8337W^{-0.5513}$	$r = -0.94$ $n = 22$	$M = 12.8588W^{-0.3705}$	$r = -0.92$ $n = 20$	$M = 10.4496W^{-0.3572}$	$r = -0.92$ $n = 22$

注: M : 单位体重耗氧量 ($\text{ml/g}\cdot\text{hr}$) W : 体重 (g) r : 相关系数 n : 样本数 $M = aW^{-b}$

表中的幂函数回归方程的求出是先将公式化为对数方程 $\log M = \log a - b \log W$, 然后再变成直线方程, 再用求回归直线的方法求出**b**和**a**, 并算出相关系数**r**。从表中的相关系数**r**数可见, 三个季节野鸭的静止代谢率与体重的对数呈负相关, 相关系数经**F**检验均达极显著水平 ($P < 0.01$)。利用公式, 我们可以算出某一体重野鸭在不同温度下的静止代谢率。此法可

用来推算和估测野鸭周年或季节性的能量收支。

从三个季节29个回归方程来看，回归系数 b 值范围在 -0.3572 — -0.645 之间，平均值为 -0.5061 ± 0.014 。近年来，国内外许多作者在气体代谢研究中，注意到实验动物体重的差别导致对实验结果的错误估计，采用许多方法校正体重。孙儒泳（1973, 1976）提出用协方差分析方法比较耗氧量的调整平均数，可以很好地消除体重差异的影响。但此法需求出回归方程，需要较大的样本。而在实际工作中常由于样本小而无法求出回归方程，而用 M/W^b 来表示耗氧量以消除体重的影响。这个 b 值常不能从实测中得出，因此常用 Hart（1971）所推荐的 $b = 0.73$ 来校正体重的影响。许多作者对用多大的 b 值来调整体重有不同的意见。Kendeigh（1977）认为，基础代谢率（BMR）是在中性温度下测得的，因此主要与体表散热的速率有关，它与体重的回归斜率 b 应为 0.67 。而标准代谢率 SMR（Kendeigh 的定义相当于一般文献用的静止代谢率 RMR）是低于下临界温度的气温下测得的，它的变化应与体内增加产热有关。Kendeigh（1977）利用 Fourier 冷却定律和羽毛厚度和重量与体重的关系式算出 b 值应接近于 0.5 。Kleiber（1972）也用不同的方法得出了上述结论。本实验的结果平均斜率 b 值也接近于 0.5 。因此，我们认为在低于下临界温度时测定鸟类的静止代谢率，如用 M/W^b 来校正体重， b 值采用 0.5 为好。

参 考 文 献

- 王培潮等 1980 陆生脊椎动物耗 O_2 量的简易测定法。上海师大学报（自然科学版）2:126—131。
王祖望等 1979 高原鼠兔和中华鼯鼠气体代谢的研究。动物学报 25(1):75—83。
孙儒泳等 1973 褐家鼠和社鼠耗氧量研究中协方差分析的应用。动物学报 19(3):283—291。
钱国楨等 1980 太湖野鸭的动物群落学。华东师大学报（自然科学版）80(3):39—57。
Bartholomew, G.A. 1977 Body temperature and energy metabolism. In "Animal physiology" (Eds Gordon, M.S.) New York pp.394—449。
Dawson, W.R. and H.B. Tordoff 1964 Relation of oxygen consumption to temperature in the red- and white-winged crossbills. Auk 81:26—35。
Kendeigh, S.C. 1975 "Measurement of existence energy in Granivorous birds". In "Methods for ecological bioenergetics". (Eds. Grodzinski, W. et al.) pp.341—345。
Kendeigh, S.C., V.R. Dol'nik and V.M. Gavrilov, 1977 Avian energetics. In "Granivorous birds in ecosystem". IBP 12 (Eds. Pinowski, J.) London pp.129—140。
Kleiber, M. 1972 Body size, conductance for animal heat flow and Newton's law of cooling. Journal of Theoretical Biology 37:139—50。
King, J.R. 1974 Seasonal allocation of time and energy resources in birds. In "Avian energetics". (Eds. Paynter, R.A.) pp.4—85。
Rising, D.J. and J.W. Hudson 1974 Seasonal variation in the metabolism and thyroid activity of the Black-capped chickadee (*Parus atricapillus*). Condor 76:198—203。
West, G.C. 1960 Seasonal variation in the energy balance of the Tree Sparrow in relation to migration. Auk 77:307—329。

SEASONAL VARIATION IN THE ENERGY METABOLISM OF THE COMMON TEAL, SHOVELLER AND SPITBILL DUCK

Qian Guozhen Xu Hongfa

(Zoological Ecology Research Program, East China Normal University)

Resting metabolic rate (RMR) of common teal (*Anas crecca*), shoveller (*Anas clypeata*), and spotbill duck (*Anas poecilorhycha*) wintering in Tai Hu lake, Jiangsu province (31°N, 120°E) were determined at ambient temperatures of 6°C, 8°C, 10°C, 12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C, 25°C, 30°C in three different seasons (autumn, winter, spring). The results showed that the relationships between RMR and temperatures in the three species were linear regression. The slopes of regression equations for autumn and winter were significantly different. The coefficient of regression during the autumn was higher than that of regression during the winter. It is supposed that the chemical thermoregulation ability in the autumn in these three ducks was higher than in the winter. RMR at the lower critical temperature of the three species in the winter was the highest among three seasons. This means that wild ducks adopted to low temperature by increasing insulation of body contour (better insulation by plumage and fat) and rising metabolic level. The lower critical temperature of the heaviest duck in the three species was the lowest

The power regression equations of RMR on weight were obtained at ambient temperatures of 6°C, 8°C, 10°C, 12°C, 14°C, 16°C, 18°C, 20°C, 25°C, 30°C in three different seasons. Mean coefficient "b" was -0.5061 ± 0.014 based on 29 regression equations.