

雌雄动物个体大小的探索

华惠伦 沈一元

(上海自然博物馆)

关于雌雄动物个体大小的差异、原因以及相互之间个体大小的比值，是动物学家长期探索和研究的课题之一。现综合前人、同行和自己的研究情况，简述于下：

一、雌雄动物个体大小的差异 在一般情况下，同一种动物在雌雄个体大小差异上并不十分显著。通常雄性的个体大于雌性。但绝大多数的蝴蝶和螳螂却是雌性大于雄性，一些鸟类，如隼、鸱和贼鸥等等也是如此。据海洋生物学家研究，世界上最大、最重的动物——蓝鲸，也是雌性大于雄性。在一些鮫鱈鱼类中，有的雌性鱼竟比雄性鱼大数百倍。生活在海洋里的一种蠕虫(*Bonellia virrbis*)，雌性虫体的体长在10~100厘米之间而雄性虫体的体长仅有1~3毫米。雌虫的体重要比雄虫重几百万倍。

二、雌雄动物个体大小差异的原因 英国著名生物学家查理·达尔文，是第一个探索雌雄动物个体大小差异之因的学者。他以自己亲身考察和研究的大量事实证明，一些动物种类之所以雄性个体大于雌性，这是由于它们可以在种群中间更好地去接近雌性。因此推论：较大个体的雄性动物比个体小的雄性动物容易争得雌性动物，自然选择是有利于较大的雄性动物。以后许多事实也都证明了这一点。在鸟类方面，诸如鹌鸡、鳍鹬、水雉等是雌鸟竞争雄鸟，所以雌性个体比雄性个体大。

据美国学者凯瑟琳·罗尔斯博士研究，探索雌雄动物个体大小差异之因，不能从单一因子考虑，要看到自然选择力对雌雄动物都会产生影响。例如，生活在南极洲的威德尔海豹，雌性个体大于雄性个体，能够更有效地养育它们的仔兽。在许多无脊椎动物、鱼类和爬行动物中，有些个体较大、较重的雌性动物，能繁殖出更多的后代。

在深海鮫鱈鱼类中，雌性鱼较雄性鱼的个体大许多倍，这是因为它们生活在幽暗的深渊里，相遇机会极少，一旦相遇，微小的雄鱼会立即咬住雌鱼，永不分离。

三、解释雌雄动物个体大小的贝氏数学模式 我们需要一个能够解释雌雄动物个体大小的理想数学模式。新近，美国格雷·贝洛夫斯基博士通过研究，找到了一个以食物营养为主要因素的数量分析方法，简称为贝氏数学模式。他认为：一头母驼鹿提供给它仔鹿的能量，大体上相当于它摄取的能量减去本身所需要能量的剩余部分。在能量的转换中，后者依赖于它的体重，所以体重决定了可供给仔鹿的能量。自然选择将产生这样一个雌性，要求它的体重能够供给仔鹿能量达到最大。本身所需能量的增加，几乎与体重成正比，而吸收能量开始随着体重增加而增加，以后增加缓慢。也就是说，一只体大的雌性驼鹿所需的能量要比一只体小雌性驼鹿多，但同时又不能得到更多的能量。

图1中的两条曲线，一条是根据体重标出

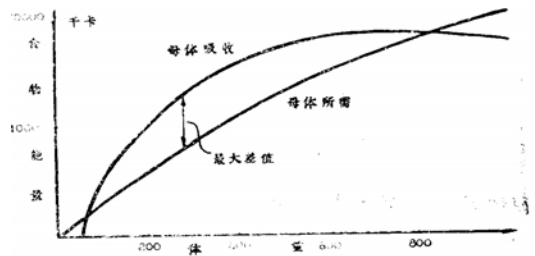


图1 探索驼鹿最佳雌性体重的贝洛夫斯基模式

的所吸收的能量，另一条是根据体重标出的所需要的能量。两条曲线的上交点指出了动物生长发育的上限：母驼鹿不能超出自己的能力来为自己提供养料。在两条曲线豁缝间隔最大的地方，母驼鹿有最大可提供给仔鹿的能量，并能享受到最成功的繁殖(在其他方面相同)。根据这一数学模式，母驼鹿的体重应为295公斤左右。事实上，它们的体重为330公斤，稍重些，但是它很接近于这一简单的数学模式。

公驼鹿的情况比较复杂，贝洛夫斯基博士不能肯定是何种因素对它们的体重大小起决定作用。公驼鹿在繁殖中的贡献是一些精液，不需要提供很多的能量；但也消耗它们的一些能量。所以上面交叉部分能量需要的曲线还在上升，繁殖超出了能量的吸收，最后对公驼鹿的大小加了上限。曲线在645公斤处划断，事实上公驼鹿还没有超出630公斤的最高纪录，而其平均体重接近于450公斤。贝氏结论已接近于公驼鹿和雌驼鹿的实际体重。

四、“0~4.36”比值法则 美国赖斯博士计算赤鹿瘤胃内食物与体重的线性关系，发现较大的动物能够装载更多的食物。一只较大的赤鹿个体，吃下的食物在瘤胃中要经过较长的通道，这意味着大型有蹄动物消化吃进食物的比例较高，但是主要生效的是每天能够“加工”（经过反刍作用）食物总量中的部分。虽然一只动物瘤胃中食物的重量与其体重成正比，但对于较大的个体每天对食物总量的实际消化和吸收相对于体重要少一些。那么，实际上正如贝洛夫斯基博士所断言的，能量的吸收还是会对体重加上了上限。

对驼鹿和赤鹿的研究，为雌雄动物个体大小差异的解释，初步找到了一般数学模式。对于许多有蹄类动物、大多数无脊椎动物，人们已经能够直接测量出一个个体吸收的能量作为它体重 W 的函数。据测量，发现一只动物吸收的总能量，在一般情况下与它体重的三分之二次方($W^{0.67}$)成正比。因为动物吸收的能量取决于消化与吸收的能力，而消化与吸收依赖于消化器官的表面积的大小。当一只动物长大后，它的胃壁和肠壁的表面积是按线性的平方增长的。而动物的体重 W 取决于它的体积，体积是按线性的立方增加的。为了维持生命所需要消耗的能量，也取决于体重。虽然我们现在还不能完全弄清其他因子的影响，但是可以确定动物本身需要的能量与体重的四分之三次方($W^{0.75}$)成正比(图2)。通过这两条曲线，我们可以对动物的个体大小作出判断。

前面已经作出这样的假设：雌性动物将尽量提高可供繁殖的能量。如果用 E_{rep} 来表示任何动物为繁殖提供的能量，用 W_f 表示成年雌性动物的体重，那么 E_{rep} 可以用下列公式表达：

$$E_{rep} = k_2 W_f^{0.67} - k_1 W_f^{0.75}$$

其中 k_1 和 k_2 对任何一种动物来说都是常数，而不同种的动物，其 k_1 和 k_2 则有很大

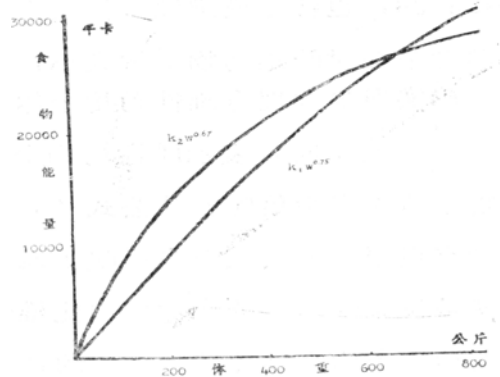


图2 不繁殖时需要的能量 $k_1 W^{0.75}$ 和吸收的能量 $k_2 W^{0.67}$ 与体重之间的函数关系

意义的变化。

在数学函数中，只要对函数求导，并当这导函数等于零时，就是f的极值点。为了寻找 E_{rep} 的极大值，我们求 E_{rep} 对体重W导数：

$$\frac{dE_{rep}}{dW} = \frac{d(k_2 W_f^{0.67} - k_1 W_f^{0.75})}{dW} = 0.67 k_2 W_f^{-0.33} - 0.75 k_1 W_f^{-0.25} = 0 \quad (1)$$

$$W_f^{0.08} = \frac{0.67 k_2}{0.75 k_1} \quad (2)$$

如果用 W_m 来表示雄性动物的体重，那么它对繁殖提供的能量公式可表达如下：

$$E_{rep} = k_2 W_m^{0.67} - k_1 W_m^{0.75} > 0 \quad (3)$$

$$\text{得出：} 0 < W_m^{0.08} < \frac{k_2}{k_1} \quad (4)$$

通过公式(2)和公式(4)，就可以回答雌雄动物体重之比如下：

$$0 < \frac{W_m^{0.08}}{W_f^{0.08}} < \frac{k_2}{K_1} \frac{0.67 K_2}{0.75 k_1}$$

$$0 < \frac{W_m}{W_f} < \left(\frac{0.75}{0.67} \right)^{\frac{1}{0.08}}$$

$$0 < \frac{W_m}{W_f} < 4.36 \quad (5)$$

所以对任何一种动物的雄性和雌性的体重之比，应在0~4.36之间。如果我们进一步设想，任何一种动物的单雄和多雌都处于同样两条曲线上，它必然遵循雄与雌的体重之比为0~4.36之间。

当 $\frac{W_m}{W_f} = 1$ 时，表示某种动物的雌雄个体大小近似相等。

当 $\frac{W_m}{W_f} > 1$ 时，表示这种动物的雄性个体比雌性个体大。但从公式(5)中得出

$\frac{W_m}{W_f} < 4.36$ ，也就是说雄性个体最大不超过雌性个体的4.36倍。当然，我们只是单纯从

能量角度来探讨雌雄动物个体大小，所以4.36还不是绝对的。尽管如此，我们在整个动物界中确实很少发现有雄性动物个体比雌性动物个体大好多倍而超出这一界限的。

当 $\frac{W_m}{W_f} < 1$ 时，表示雌性动物个体比雄性动物个体大。那么，雌性动物究竟能比雄

性动物个体大多少倍呢？从公式(5)来看，似乎不存在极限。虽然现实的动物界中不可能没有极限，但公式至少反映了雌性动物可以比雄性动物大很多。如果 $\frac{W_m}{W_f} = 0.01$

时，就是说雌性动物的个体可以比雄性动物个体大100倍。如果 $\frac{W_m}{W_f} = 0.0001$ 时，就是

说雌性动物个体为雄性动物个体的10,000倍。我们前面提到的一种生活在海洋里的蠕虫，雌虫体长在10~100厘米之间，而雄虫体长只有1~3毫米，雌虫的体重竟是雄虫的几百万倍。

虽然“0~4.36”比值法则是简单的，但是它与动物界雌雄个体大小差异的实际情况是如此的接近，所以具有一定意义。