

温度和活动对仔鲱氧代谢的影响*

殷名称

(上海水产大学养殖系 200090)

R. S. Batty

(英国 苏格兰海洋科学协会, Dunstaffnage 海洋所)

C. E. Franklin, I. A. Johnston

(英国 St. Andrews 大学, Gatty 海洋所)

提要 于1993年春在苏格兰采用微量测氧仪测定大西洋鲱仔鱼在封闭式呼吸器内的耗氧量,并以其作为代谢率;通过红外光源录象系统同步纪录仔鲱的游泳活动,从而首次实现仔鱼在不同温度条件下代谢与活动的相关。同时,还分别测定仔鲱在浅麻醉(静止)和黑暗状态下的耗氧量。仔鲱的实验和饲养温度一致,分为7.3, 11.0和12.9℃ 3个组别。结果表明,仔鲱在常规、静止和黑暗条件下的耗氧量均与体重显著相关,且随温度而提高。仔鲱的静止耗氧(V_{O_2} , $\mu\text{g/h}$)约是常规的1/2。它与干体重(M , mg)及温度(T , $^{\circ}\text{C}$)的相关式为: $V_{O_2} = 0.394M^{0.677}e^{0.129T}$ 。在呼吸器中仔鲱的活动水平较之在自由游泳时低。仔鲱的净活动耗氧由常规耗氧减去静止耗氧,其体重指数为1.05。净活动耗氧在低温组(7.3℃)显著大于高温组。初步估测仔鲱的活动、维持及生长的相对能耗;自由游泳仔鱼的活动代谢率约是静止水平的9倍;而其常规代谢率按个体大小不同,约是静止水平的5—8倍。

关键词 鲱 仔鱼 温度 活动 呼吸测定 代谢率

稚幼鱼和成鱼的耗氧量(V_{O_2})与体重(M)相关式($V_{O_2} = aM^b$)的指数 b ,大都在0.6—0.9之间(Beamish, 1978)。但是,在为数甚少的仔鱼代谢研究文献中,大西洋鲱(Giguere et al., 1988)和硬头鳉仔鱼(Rombough, 1988)的常规代谢率与体重可呈正相关($b > 1$)。Laurence (1978)亦发现,黑线鳉仔鱼代谢率的体重指数依温度变动于0.55—1.26之间。看来,种间和温度引起活动水平的变化,可以对仔鱼常规代谢体重指数的变动起显著作用。然而,除了Holliday等(1964)、Almatar (1984)曾研究过温度对仔鲱常规代谢的即时作用外,迄今很少有人试图研究饲养和适应于某一特定温度范围内仔鱼的常规代谢,特别是由于技术的限制,定量研究一定温度条件下仔鱼的游泳活动水平,并将其与代谢率相关,几乎成了仔鱼研究领域的一大难题。

本研究首先是估测不同饲养温度对仔鲱能量利用的直接作用以及在发育过程中的可能作用。所采用的微量测氧法(Peck, 1989),可以直接测定微量氧耗,而不受温度或

* 总课题由英国自然环境研究理事会(NERC)下达。第一作者赴英合作科研是应英国水产学会主席 J.H. S. Blaxter 教授邀请,并获苏格兰海洋科学协会(SAMS)的资助,特此表示衷心感谢。殷名称,男,出生于1940年3月,教授。

收稿日期:1994年1月31日,接受日期:1994年5月16日。

大气压的影响。将微电量测氧法和红外光源录象相结合,从而首次实现仔鱼在小型封闭式呼吸器中的代谢率与其活动的相关。采用浅麻醉法以估测静止耗氧量,再从常规耗氧中减去静止耗氧,便可实现对仔鲱在不同温度条件下活动、维持及生长相对能耗的估测。

1 材料与方 法

1.1 实验动物和饲养条件 于1993年3月在苏格兰西海岸 Clyde 湾捕得成熟大西洋鲱 (*Clupea harengus* L.), 取其精卵。8尾雌鱼的卵分别由6尾雄鱼的混合精液授精。同一雌鱼的受精卵分成3组,分别饲养在200L圆形饲养箱,安放在3个不同温度的恒温室内。孵化前,受精卵被转移到450L的饲养箱,以便饲养仔鱼。仔鱼饲养温度开始时和孵化时一致,但逐步随自然海水温度的上升而相应提高。卵和仔鱼的饲养温度见表1。仔鱼最初投喂轮虫 (*Bryachionus plicatilis*); 轮虫用海洋单细胞藻 *Isochrysis galbana* 和 *Pavlova lutheri* 培养。在仔鱼建立摄食后,再加喂卤虫 *Artemia* sp. 幼体和天然浮游动物。饲养箱光照强度为200lx。海水经过滤,在进入饲养箱之前经浸没式加热器或带有钛热辐射交换器的冷却器调节水温;盐度约为32—33。

实验仔鱼从初次摄食期到变态前期,其全长、湿重和干重范围见表1。

表 1 鲱卵和仔鱼的饲养温度以及实验仔鱼的全长、干重、湿重范围

Tab. 1 Rearing temperature for eggs and larvae and the ranges of total length, dry and wet body mass of *Clupea harengus* larvae

组别	温度 (均数 ±SD, °C)		体 重 (mg)		全长 (mm)
	卵	仔鱼	干重	湿重	
1	4.4±0.2	7.3±0.6	0.165—4.560	1.95—29.3	10.72—27.17
2	7.6±0.1	11.0±0.5	0.262—4.355	2.35—26.5	11.63—23.61
3	12.5±0.2	12.9±0.4	0.190—3.275	1.78—21.0	10.45—20.62

1.2 耗氧量测定 仔鲱的耗氧量采用封闭式呼吸器测定。呼吸器具有两个玻璃圆盘,以橡皮圈隔开,外围塑料柱环,使紧密固定在一起。在顶面圆盘上有一小孔,经此孔采水样。这样的设计使得在其内的仔鱼能被录象而不受干扰。呼吸器容量为3.72ml。所用海水经微波炉消毒(2L海水在650W下20—30min),然后冷却到所需温度并充气至饱和状态。每次试验,引入呼吸器2尾大小相仿仔鱼,然后将呼吸器立即移至恒温的海水浴中。仔鱼在进入呼吸器的前1—3min,因受到人为干扰呈快速游泳。但较快便呈现一种较低的活动水平;这种活动水平一般可持续30—45min,然后下降,特别是在低温组。所以第一次水样一般在仔鱼进入呼吸器后5min才采取,1h后采第二次水样。每次水样量为50μl。仔鱼的耗氧量为两次采样之间的差,并经空白(无仔鱼)对照呼吸器内海水的氧含量变化予以修正。

用微电量测氧仪 (couloximeter) 测定水样氧浓度,其主要部件是氢燃料管(美国,Minneapolis市,Mocon公司产品)。(Hersh, 1973; Peck, 1989)。在测定耗氧量后,称取仔鱼湿重和干重(Yin et al., 1992)。在饲养温度条件下,测定仔鱼的常规耗氧量(ROU)。饲养箱投饵时间上午9:00;仔鱼随机采样为10:00。实验光照强度和饲养时一致。随仔鱼生长,不同大小范围仔鱼被采样,以便获得不同饲养温度条件下常规耗氧与仔

鱼干体重之间的相关。

测定仔鱼在浅麻醉情况下的耗氧量,用以估测静止或基础代谢率(BOU)。方法是将仔鱼放入 200×10^{-6} 的苯佐卡因(ethyl p-amino benzoate) 3—5min,予以浅麻醉,然后立即移入呼吸器。被麻醉的仔鱼在呼吸器内不会苏醒,但在测试结束移入新鲜海水后,

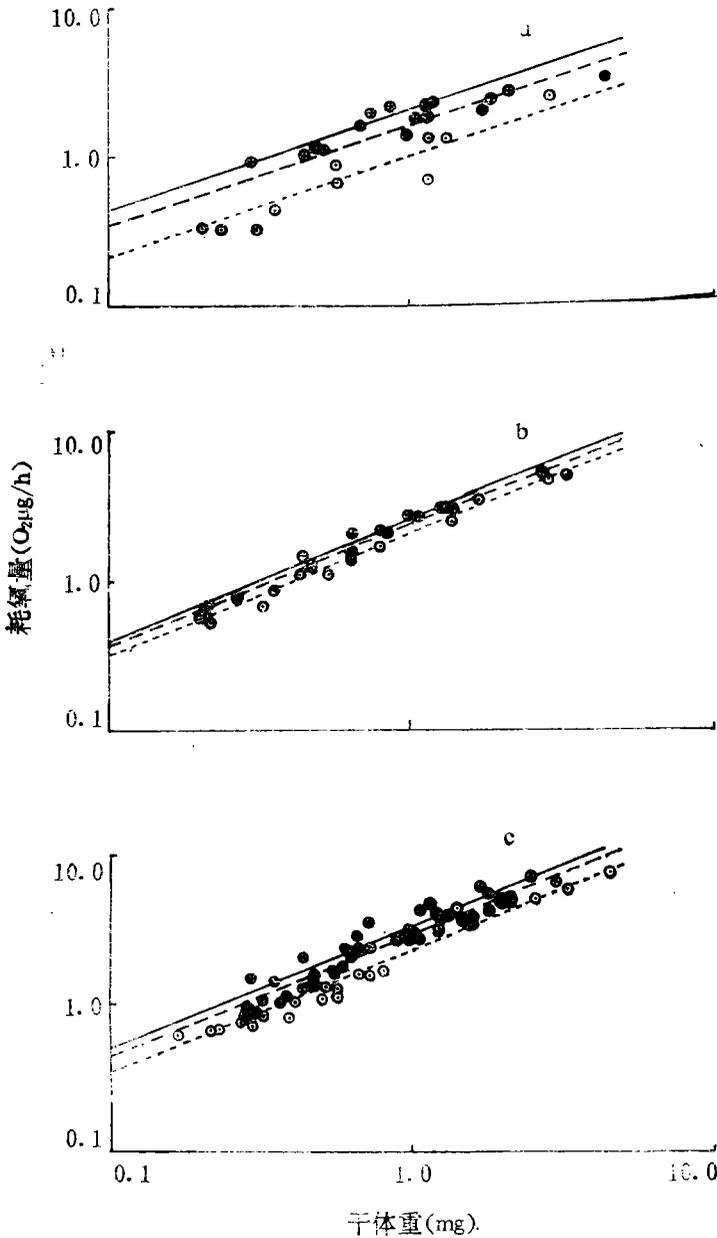


图 1 在 3 个饲养温度组仔鲱的耗氧量与其干体重的相关

Fig. 1 Oxygen uptake of *Clupea harengus* larvae at three rearing temperatures as a function of dry body mass

a,b,c 分别表示静止、黑暗和常规(有光照)条件下的耗氧量每一点为 2 尾相仿大小仔鱼的平均值(图 3、图 4 同)。相关线绘自多因子相关式 ($V_{O_2} = aM^b e^{cT}$; 见表 3)。○7.3°C; ●11.0°C; ⊗12.9°C(图 3、图 4 同)。

30min 内能恢复游泳活动。

将引入仔鱼后的呼吸器用铝箔包裹,除外光线,然后测定仔鱼在暗适应条件下的耗氧量(DOU)。

1.3 游泳活动定量 在常规条件下,测定游泳活动的耗氧量。在部分测试中,采用录象系统摄录仔鱼在呼吸器内的游泳活动。光源由位于呼吸器下的脉冲式红外放射两极管提供(实验装置见 Batty, 1983; 殷名称等, 1989)。在两极管和呼吸器之间放置聚光透镜,使光照聚焦到位于呼吸器上的录象相机的镜头,产生仔鱼的黑色剪影。然后进行录象带的逐幅分析,并统计 1h 尾鳍煽动的累计次数。

1.4 资料分析 结果以均数±均数标准误(S.E.M.)表示。每一批实验(常规、麻醉和黑暗状态下)的耗氧量都与仔鱼干重相关,采用最小二乘法适配,求得线性相关式。采用这些线性相关式,将每批实验仔鱼的耗氧量标准化为 1mg 仔鱼干体重的耗氧率。常规、静止和黑暗耗氧资料还进行多因子线性分析,以包括温度的作用。在温度(T , °C)因子被引入多因子相关式之前,必须采用协方差分析确定各相关线斜率在统计学上无差别,即函数相关系数的同质性检验(testing homogeneity of regression coefficients)。所采用的多因子相关式为: $V_{O_2} = aM^{bc}e^T$ 。式中, V_{O_2} 为耗氧量(以每一仔鱼每小时氧耗 O_2 $\mu\text{g}/\text{h}$ 表示); $M(\text{mg})$ 为干体重; a, b, c 为常数。所获资料采用多因子函数分析适配于这一模型。全部统计分析由 IBM 计算机完成。

2 结果

2.1 仔鲢氧代谢与体重、温度相关 仔鲢在 3 个饲养温度组的静止、黑暗和常规耗氧量变化式型基本一致,均为其干体重的函数(图 1a, b, c)。所适配的相关线均呈显著相关($P < 0.01$)。相关式见表 2。

仔鲢在静止、黑暗和常规条件下的耗氧量亦均随温度的增加而显著增加(图 2, $P <$

表 2 在 3 个饲养温度组仔鲢的耗氧量与其干体重的函数相关式($V_{O_2} = aM^b$)

Tab. 2 Regression equations ($V_{O_2} = aM^b$) for oxygen uptake dependent upon dry body mass of *Clupea harengus* larvae at three rearing temperatures

条 件	温度(°C)	a	b	r^2	N
静止(麻醉后)	7.3	1.053	0.764	0.910	11
	11.0	1.728	0.507	0.861	10
	12.9	1.954	0.591	0.875	6
黑 暗	7.3	2.071	0.834	0.988	10
	11.0	2.325	0.854	0.985	10
	12.9	2.488	0.710	0.959	6
常规(有光照)	7.3	2.328	0.839	0.960	30
	11.0	2.741	0.856	0.958	36
	12.9	3.396	0.702	0.915	20
净活动 (按协方差分析)	7.3	1.295	1.050	0.957	17
	11.0	0.794			
	12.9	0.854			

r = 相关系数; N = 测试次数。表 3 同。

0.01)。不同温度之间仔鲱耗氧量差别在静止代谢时特别明显, 常规(有光照)代谢居中, 而黑暗代谢较小。在光照条件下, 饲养于 12.9°C 时的常规耗氧量大约比 7.3°C 时的高 46%。因此, 其 Q_{10} 值约等于 2 (Q_{10} 表示温度每升高 10°C, 机体代谢速率增快的倍数, Blaxter, 1992)。仔鲱在浅麻醉情况下的静止代谢率约为常规代谢率的 50% (图 2, $P < 0.01$), 但随仔鱼的大小会有所变化, 在 30%—70% 之间。仔鲱在黑暗状态下的耗氧量, 与光照条件下的常规耗氧量比较亦显著下降(图 2, $P < 0.01$); 暗适应状态下的代谢率约为常规代谢率的 87% (在 73%—101% 之间)。

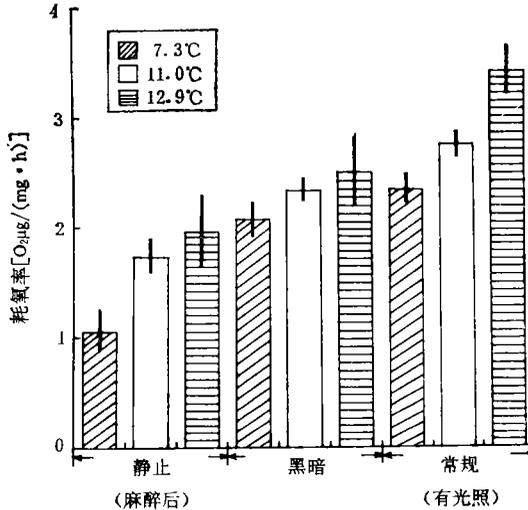


图 2 在 3 个饲养温度组仔鲱的静止(麻醉后)、黑暗和常规(有光照)耗氧量的比较

Fig.2 Comparison of oxygen uptake of *Clupea harengus* larvae at three rearing temperatures under basic (anaesthetized), dark and routine (light) conditions

耗氧量采用在不同实验条件和温度情况下的相关式(见表 2) 计算,并标准化为 1mg 干体重仔鱼的耗氧量;垂直线段表示±2 标准误。

将每批实验资料适配多因子相关式 ($V_{O_2} = aM^b e^{cT}$; 见表 3) 显示: 仔鲱在常规(有光照)条件下耗氧量变动的体重指数为 0.816, 暗适应情况下为 0.803, 而麻醉后为 0.677。这表明, 随着仔鲱长大(体重增加), 其静止耗氧量增加的速率低于常规和黑暗耗氧量增加的速率。

表 3 仔鲱的静止(麻醉后)、黑暗和常规(有光照)耗氧量与其干体重和温度的多因子相关式 ($V_{O_2} = aM^b e^{cT}$)

Tab. 3 Multiple regression equations ($V_{O_2} = aM^b e^{cT}$) for oxygen uptake dependent upon dry body mass and temperature of *Clupea harengus* larvae under basic (anaesthetized) dark and routine (light), conditions

条 件	a	b	c	r^2	N
静止(麻醉后)	0.394	0.677	0.1291	0.929	27
黑暗	1.520	0.803	0.0390	0.978	26
常规(有光照)	1.410	0.816	0.0645	0.955	86

2.2 仔鲢净活动代谢与体重、温度的相关 在测定常规耗氧量时,仔鲢在呼吸器中的行为与饲养箱内观察到的典型的几乎持续不断的自由游泳运动并不相似。仔鲢在呼吸器内的活动水平较自由游泳时低,并随实验时间的延长而下降,特别在低温组。所统计的1h尾鳍累计煽动次数,在7.3℃时,最初30min记录下的约占总数的73%;而在12.9℃时,最初30min记录下的尾鳍煽动累计数仅占61%。

录象实验发现,表达为每小时尾鳍煽动累计数的游泳活动和常规耗氧率 [$O_2\mu g/(mg \cdot h)$] 两者亦均随温度增加而增加(图3)。为了比较个体大小,即体重和温度对游泳活动能量消耗的可能作用,可以先从图3所获常规耗氧中减去其静止耗氧。为此,静止耗氧可以从浅麻醉仔鱼所得函数相关式(表2)求得。完成这一修正后,伴随已知尾鳍煽动累计数的游泳活动,其净耗氧即可得知。然后,便可求得每1000次尾鳍煽动的标准耗氧量,用以适配其与重量的函数相关(图4)。对这些资料进行协方差分析,表明每1000次尾鳍煽动的耗氧量与仔鱼的干体重呈等速正相关,体重指数为1.050(表2);而且,温度对仔鲢活动的能耗具有显著的作用($P = 0.0001$)。每1000次尾鳍煽动的耗氧量在7.3,11.0和12.9℃时,分别为1.295,0.794和0.854 $O_2\mu g/mg$,即在低温组(7.3℃)显著大于高温组(11.0和12.9℃)(表2)。

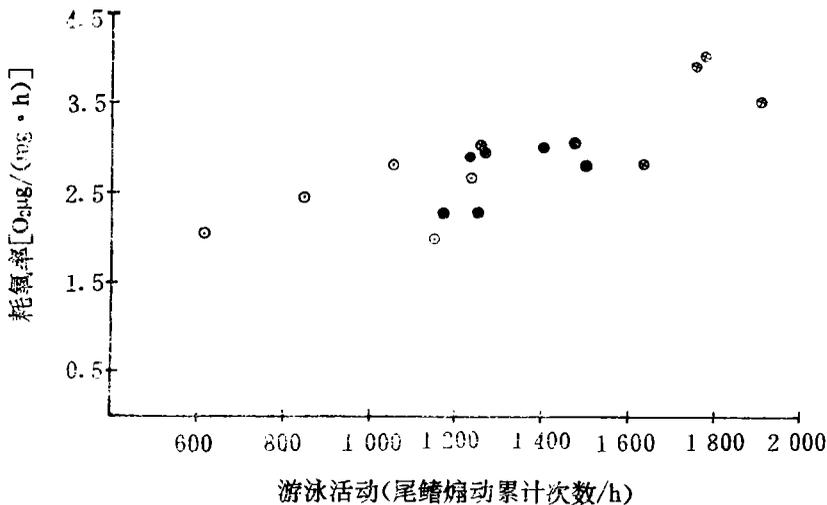


图3 在3个饲养温度组仔鲢的常规耗氧率 [$O_2\mu g/(mg \cdot h)$] 与每小时尾鳍煽动累计数的相关

Fig. 3 Relation between the routine oxygen uptake [$O_2\mu g/(mg \cdot h)$] and tail aggregate beats per hour of *Clupea harengus* larvae at three rearing temperatures

3 讨论与结语

3.1 关于实验条件 按 Fry (1971) 的定义,动物在正常(或本能)活动时的常规代谢,在静止时的静止或基础代谢,以及在最强烈活动时的活动代谢,都是在摄食条件下的代谢。然而,由于仔鱼不摄食而能保持正常健康状态的时间相当短促(Blaxter, 1992),本文用以测定常规和静止代谢的仔鱼,尽管在呼吸器内不再摄食,但其消化道内可能不同程度地带有食饵,即可能存在微量特殊动力活动(SDA)耗能。但是,这对于本文测试温

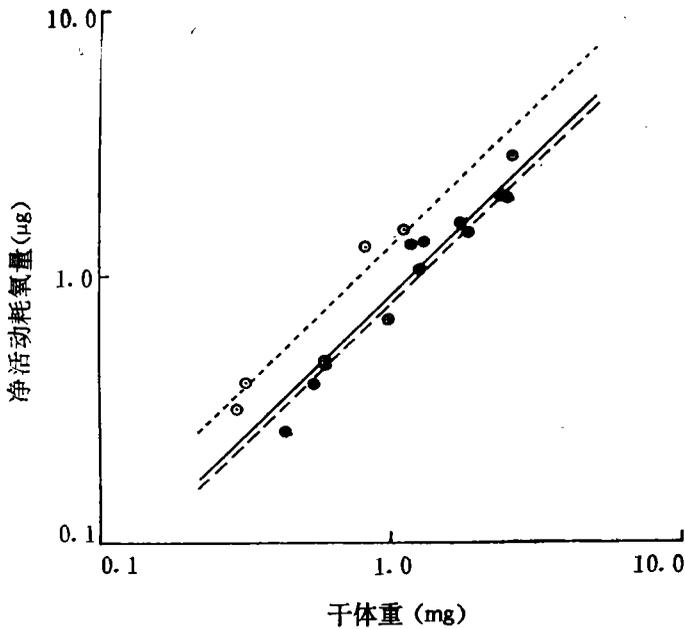


图 4 在 3 个饲养温度组仔鲱个体大小(干体重)对每 1 000 次尾鳍煽动的净活动耗氧量的作用

Fig. 4 Effect of body size (dry mass) of *Clupea harengus* larvae on net oxygen uptake per 1 000 tail beats at three rearing temperatures

相关线绘自经协方差分析适配的相关式。纵座标为每 1 000 次尾鳍煽动的净活动耗氧量。

度和活动同代谢相关没有多少影响,特别是测试常规、黑暗和静止代谢所用仔鱼,其消化道可能含有食饵的机率是相同的,所以更不会影响到对净活动代谢耗能的估算。

3.2 代谢率与温度、光照、活动和体重的相关 本文结果,在 3 个饲养温度组仔鲱的常规、黑暗和静止代谢率均与体重呈显著相关(图 1)。常规代谢率的体重指数在 0.8 左右,与 Beamish (1978) 报道在各种稚幼鱼和成鱼中所见一致。本文测试的仔鲱在浅麻醉状态下的静止代谢率,亦与 Holliday 等(1964), de Silva 等(1973)及 Kiørboe 等(1987)的报道相仿。还有,仔鲱静止代谢较常规代谢的耗氧量,在 7.3℃ 时下降 45%,而 12.9℃ 时下降 57%。这提示,仔鲱在呼吸器内游泳活动的能耗约占常规代谢的 1/2;这与从其它鱼类仔鱼获得的估计亦相似(Rombough, 1988)。Kiørboe 等(1987)还研究过 8℃ 时食量和生长率对仔鲱静止耗氧的作用,结果表明:静止耗氧随体重 $M^{0.8}$ 而变化;而对于 1mg 重仔鱼,其代谢率依摄取食量而变动于 0.833—1.250 $O_2 \mu\text{g}/\text{h}$ 。按本研究资料所适配的相关式,预测 8℃ 时 1mg 干体重仔鱼的代谢率为 1.11 $O_2 \mu\text{g}/\text{h}$ 。符合这一范围。

如果将本实验录下的仔鲱的游泳活动与相仿大小自由游泳的仔鲱比较(Batty, 1987),显然,由于呼吸器大小的限制,活动水平下降。Batty (1987) 报道, 11mm 长的仔鲱,其活动时间约占 60%,尾鳍煽动频率接近 3.33Hz。这大约符合每小时 7 200 次尾鳍煽动。而这一活动水平所相当的净活动代谢率,按本文所获结果估算,约为 1.783 $O_2 \mu\text{g}/\text{h}$,约是这一大小仔鲱静止代谢的 3.5 倍。也就是说,同样大小的 1 尾仔鲱,在常规条件下以巡游方式游泳,就会产生 5 倍于静止水平的常规(活动)代谢。随着生长,仔鲱活动的时间百分

比增长, 21mm 长仔鲱用在活动上的时间高达 90% (Batty, 1987)。这一活动水平需要的耗氧量为 $20.24\text{O}_2\mu\text{g}/\text{h}$, 约是静止耗氧的 8 倍。本文的这一研究结果, 支持了若干较早的估测 (Holliday et al., 1964; Lasker et al., 1962; Post, 1990)。

光照强度对于仔鱼运动、食物搜索率以及索食成功是决定性因子。本研究发现, 全长 11mm 仔鲱在黑暗中常规代谢率大约仅下降 15%。这一活动水平代表 1.3 倍于静止代谢, 相当于每小时 700 次尾鳍煽动的活动水平, 或者是尾鳍煽动频率 3.33Hz , 6% 时间用于游泳的活动水平。这一结果与 Batty (1987) 的观测极为吻合。随着仔鲱的长大, 其黑暗代谢率升高。1 尾 22mm 长、干体重 2.3mg 的仔鲱, 其黑暗代谢率约为静止时的 1.74 倍; 表明它具有较高的、相当于每小时 1 000 次尾鳍煽动的活动水平。而据 Batty (1987) 观测, 22mm 长的仔鲱在黑暗中更加活跃, 游泳时间约占 40%, 游速为 $12\text{mm}/\text{s}$, 大约相当于每小时 3 000 次尾鳍煽动的活动水平。这表明, 较大仔鱼在呼吸器内黑暗状态下的活动也是受到压抑的。

本文还发现, 仔鲱在常规 (有光照) 与静止情况下的耗氧量比率变化, 从 11mm 长 (0.2mg 干体重) 仔鲱的 1.49 上升到 22mm 长 (2.3mg 干体重) 仔鲱的 2.3, 其型式, 与黑暗状态下这一比率的增长 (1.3→1.74) 是一致的。Walsh 等 (1989) 观察鳕 (*M. cephalus*) 的这一比率, 其增长情况亦相似。常规与静止耗氧率比率随仔鱼生长而升高这一现象, 现在可以用本文所获结果予以解释: 即静止代谢与 $M^{0.7}$ 相关, 而游泳活动耗能与 $M^{1.05}$ 相关。所以, 随着仔鲱长大, 活动耗能在代谢率中所占百分比变大。于是, 常规与静止代谢的比率增大。

3.3 净活动耗能 为了便于比较, 游泳代谢耗能往往被表达为单位重量动物通过单位距离所需要的能量。现知仔鱼运动的净耗能要大大高于稚幼鱼和成鱼 (Kaufmann, 1990)。17mm 长 (1mg 干体重) 的仔鲱, 以常规巡游速度游泳, 一次尾鳍煽动所通过的垂直跨度约是 0.3BL (仔鱼体长)。假定肉食性仔鱼的氧卡当量可定为每毫克氧 13.6J (Kamler, 1992), 1 尾 1mg 干体重仔鱼用于运动的净耗能就可以被估计。这一运动能耗还取决于温度的高低。本实验发现, 每 1000 次尾鳍煽动在 7.3°C 时耗氧量显著高于 11.0 或 12.9°C (图 4) 时的。据估算, 7.3°C 时运动需要的能量为每克湿重每千米 522J, 但在 11.0 和 12.9°C 时分别降为 320 和 344J 为什么低温组的活动耗能反而大于高温组呢? 据 Batty 等 (1992) 发现, 在 $5-15^\circ\text{C}$ 这一温度范围, 仔鲱突发性游泳所越过的跨度是一常数。而且, 目前也无证据表明, 在这一温度范围, 仔鱼巡游时每次尾鳍煽动所越过的距离会发生变动。因此, 完全可以说明, 低温组运动净耗能的上升, 并非由于水力学作用, 即能使每次尾鳍煽动所游过的距离下降的水的粘度的增加而引起, 而是由于卵和仔鱼阶段在低温水域发育, 其 (体轴) 肌纤维数目及线粒体容量密度改变 (Vieira et al., 1992), 导致肌纤维代谢效率下降的结果。这恰恰是仔鱼活动和能量学方面的值得进一步研究的课题。

参 考 文 献

- 殷名称, Blaxter, J. H. S., 1989, 海洋鱼类仔鱼在早期发育和饥饿期的巡游速度, 海洋与湖沼, **20**(1): 1—10。
 Vlmatar, S. M., 1984, Effects of acute changes in temperature and salinity on the oxygen uptake of larvae in herring (*Clupea harengus*) and plaice (*Pleuronectes platessa*), *Mar. Biol.*, **80**: 117—124。

- Batty, R. S., 1983, Observation of fish larvae in the dark with television and infra-red illumination, *Mar. Biol.*, **76**: 105—107.
- Batty, R. S., 1987, Effect of light intensity on activity and food-searching of larval herring, *Clupea harengus*: a laboratory study, *Mar. Biol.*, **94**: 323—327.
- Batty, R. S. and Blaxter, J. H. S., 1992, The effect of temperature on the burst swimming performance of fish larvae, *J. exp. Biol.*, **170**: 187—201.
- Beamish, F. W. H., 1978, Swimming capacity, *In Fish Physiology*, Vol. VII. Locomotion, ed. by Hoar & Randall, Academic Press (New York), pp. 101—189.
- Blaxter, J. H. S., 1992, The effect of temperature on larval fish, *Neth. J. Zool.*, **42**: 336—357.
- Fry, F. E. J., 1971, The effect, of environmental factors on the physiology of fish, *In Fish Physiology*, Vol. VI. Environmental relation and behaviour, ed. by Hoar & Randall, Academic Press (New York), pp. 1—98.
- Giguere, L. A., Cote, B. and St-Pierre, J. F., 1988, Metabolic rates scale isometrically in larval fishes, *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **50**: 13—19.
- Hersch, P. A., 1973, Coulometer, *Amer. Lab.*, **5**: 29—36.
- Holliday, F. G. T., Blaxter, J. H. S. and Lasker, R., 1964, Oxygen uptake of developing eggs and larvae of herring (*Clupea harengus*), *J. mar. biol. ass. U. K.*, **44**: 711—723.
- Kamler, E., 1992, Early life history of fish: an energetics approach, Chapman & Hall (London), pp. 182—210.
- Kaufmann, R., 1990, Respiratory cost of swimming in larval and juvenile cyprinids, *J. exp. Biol.*, **150**: 343—366.
- Kjørboe, T., Munk, P. and Richardson, K., 1987, Respiration and growth of larval herring *Clupea harengus*: relation between specific dynamic action and growth efficiency, *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **40**: 1—10.
- Lasker, R. and Theilacker, G. H., 1962, Oxygen consumption and osmoregulation by single Pacific sardine eggs and larvae (*Sardinops caerulea* Girard), *J. Cons. Int. Exp. Mer.*, **27**: 25—33.
- Laurence, G. C., 1978, Comparative growth, respiration and delayed feeding abilities of larval cod and haddock as influenced by temperature during laboratory studies, *Mar. Biol.*, **50**: 1—7.
- Peck, L. S., 1989, Temperature and basal metabolism in two Antarctic marine herbivores, *J. exp. Biol. Ecol.*, **127**: 1—12.
- Post, J. R., 1990, Metabolic allometry of larval and juvenile yellow perch (*Perca flavescens*): in situ estimates and bioenergetic models, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**: 554—560.
- Rombough, P. J., 1988, Growth, aerobic metabolism and dissolved oxygen requirements of embryos and alevins of steelhead, *Salmo gairdneri*, *Can. J. Zool.*, **66**: 651—660.
- de Silva, C. D. and Tytler, P., 1973, The influence of reduced environmental oxygen on the metabolism and survival of herring and plaice larvae, *Neth. J. Sea Res.*, **7**: 345—362.
- Vieira, V. L. A. and Johnston, I. A., 1992, Influence of temperature on muscle-fibre development in larvae of the herring *Clupea harengus*, *Mar. Biol.*, **112**: 333—341.
- Walsh, W. A. *et al.*, 1989, Oxygen consumption by eggs and larvae of striped mullet, *Mugil cephalus*, in relation to development, salinity and temperature, *J. Fish Biol.*, **35**: 347—358.
- Yin, M. C. and Craik, J. C. A., 1992, Biochemical changes during development of eggs and yolk-sac larvae of herring and plaice, *J. Oceanol. Limnol.*, **10**: 347—358.

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND ACTIVITY ON OXYGEN CONSUMPTION OF LARVAL HERRING (*CLUPEA HARENGUS* L.)

Yin Mingcheng (M. C. Yin)

(Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090)

R. S. Batty

(SAMS, Dunstaffnage Marine Laboratory, Scotland, U. K.)

C. E. Franklin, I. A. Johnston

(Gatty Marine Laboratory, University of St. Andrews, Scotland, U. K.)

ABSTRACT

The metabolic rate of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) larvae was measured as oxygen uptake within sealed respirometer chambers using coulometry. Larvae were reared and tested at three temperatures (7.3, 11.0 and 12.9°C) in order to avoid the acute effects of transfer. Anaesthesia allowed basic resting oxygen uptake to be measured and video recording of activity enabled correlation of activity levels with rates of oxygen uptake. Oxygen consumption varied with body mass, temperature and activity level and was reduced in darkness.

The lowest rates of oxygen uptake ($O_2 \mu\text{g}/\text{h}$) were recorded under shallow anaesthesia to provide the following estimate of basic metabolism $VO_{2(\text{BOU})} = 0.394M^{0.677} \cdot e^{0.129T}$ where M is dry body mass (mg) and T is temperature (°C). Activity in the respiration chambers was less than that reported for free swimming herring larvae. Net oxygen consumption due to activity, after subtracting basic metabolism, had a mass exponent of 1.05 and swimming activity was significantly more energy expensive at 7.3°C than at higher temperatures. The relative energy requirements for activity and for maintenance/growth were assessed. Free swimming larvae were estimated to have an active metabolic rate of up to 9 times that at the resting level, and depending on body size, a usual metabolic rate of 5 to 8 times that at the resting level.

Key words Atlantic herring Fish larvae Temperature Swimming exercises Respiration Metabolic rate