

摄食水平对瓦氏黄颡鱼餐后代谢特征的影响

李秀明 曹振东 付世建*

(重庆师范大学进化生理与行为学实验室 重庆市动物生物学重点实验室 重庆 400047)

摘要:以新鲜泥鳅 (*Misgurnus anguillicanddotus*) 肉块为饵料,采用麻醉灌喂的方法,在(25.0 ±0.5) 条件下,研究了瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*) 幼鱼[体重(7.03 ±0.15) g, n = 42]不同摄食水平(饵料分别为体重的0%、1%、2%、4%和8%)对餐后代谢反应的影响。结果显示,在不同摄食水平下,瓦氏黄颡鱼摄食代谢均呈现先上升后下降的整体变化趋势;摄食水平由1%增加到8%,实验鱼的SDA耗能、SDA时间和摄食代谢峰值(PMR)分别从3.09 kJ/kg、8 h和56.08 mg O₂/kg·h增加到47.21 kJ/kg、36 h和97.25 mg O₂/kg·h;其中,8% (饱足摄食水平)和4%摄食水平组的代谢率在峰值水平能够持续20 h左右。瓦氏黄颡鱼最大运动代谢率(MMR)为166.5 mg O₂/kg·h,显著大于饱食组PMR ($P < 0.05$)。本研究还表明,随摄食水平上升,瓦氏黄颡鱼通过PMR的增加和SDA时间的延长来满足SDA耗能增加的需求;从摄食4%组和8%组相似的梯形摄食代谢曲线,可以看出瓦氏黄颡鱼在高摄食水平条件(>4%)下限制了摄食代谢的上升;PMR相对于静止代谢上升倍率较小,暗示其摄食占据的代谢空间较小,进而保留了大量剩余代谢空间用于运动和其他生理活动,这可能与其活跃的觅食活动习性有关。

关键词: 特殊动力作用;摄食水平;代谢率;瓦氏黄颡鱼

中图分类号: Q965.128 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)06-10-07

Effect of Meal Size on Postprandial Metabolic Response in *Pelteobagrus vachelli*

LI Xiu-Ming CAO Zhen-Dong FU Shi-Jian*

(Laboratory of Evolutionary Physiology and Behaviour, Chongqing Key Laboratory of Animal Biology,
Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)

Abstract: Effect of meal sizes (0%, 1%, 2%, 4% and 8% body mass) on postprandial metabolic response was investigated in juvenile Darkbarbel Catfish (*Pelteobagrus vachelli*) (7.03 ±0.15 g, n = 42) at 25 ±0.5 °C. Fish were lightly anaesthetized and force-fed with freshly killed loach. The postprandial metabolic rate firstly increased and then slowly decreased to pre-fed level. The SDA duration were 8, 24, 26 and 36 h and time to peak metabolic rate (PMR) were 4, 4, 6 and 6 h in 1%, 2%, 4% and 8% meal size groups. The peak metabolic rates of 8% meal size (97.25 mg O₂/kg·h) and 4% meal size (87.46 mg O₂/kg·h) groups were significantly higher than that of 2% meal size group (70.37 mg O₂/kg·h), while the latter is significantly higher than that of 1% meal size group (56.08 mg O₂/kg·h) ($P < 0.05$). The energy expended on SDA increased with meal size while the SDA coefficient of 1% meal size group was significantly lower than those of other meal size groups ($P < 0.05$). The maximum exercise metabolic rate

基金项目 国家自然科学基金项目(No. 30700087),重庆市高校优秀人才支持计划项目,重庆市教委科研项目(No. KJ080823);

*通讯作者, E-mail: shijianfu9@hotmail.com;

第一作者介绍 李秀明,男,硕士研究生,研究方向:鱼类生理生态; E-mail: lixiuming.441188@126.com.

收稿日期: 2009-03-20, **修回日期:** 2009-09-04

(MMR, 166.5 mg O₂/kg · h) was significantly higher than PMR ($P < 0.05$). Both PMR and duration increased to fulfill the increased energy expenditure during SDA with the increase of meal size. The similar trapeziform postprandial metabolic profiles of 4% and 8% meal size groups suggested that the increase of PMR is restrained at high meal size range. The lower value of PMR/RMR implied that Darkbarbel Catfish has low feeding metabolic capacity. The withholding of large metabolic scope for locomotion and other physiological activities might be related to its active foraging mode.

Key words: Specific dynamic action; Force-feeding sizes; Oxygen consumption rate; *Pelteobagrus vachelli*

摄食不仅是动物最主要的生理活动之一,同时也是代谢能量消耗的主要过程。在摄食代谢的相关研究中,通常用特殊动力作用(specific dynamic action, SDA)表示动物摄食后代谢耗能增加的生理过程,它包括所有与营养代谢有关的食物消化、吸收、转换、生长等过程的能量支出^[1]。鱼类 SDA 所测得的结果往往不仅包括对食物生化处理过程的能量消耗,还包括了与摄食过程相联系的机械运动(如吞咽、消化道蠕动等)和活动代谢的能量消耗,研究者通常将其统称为摄食代谢(feeding metabolism)。鱼类摄食代谢的研究开展于 20 世纪 70 年代,已有研究发现,摄食代谢可能受食物组成^[2]、温度^[3]、营养状况^[4]、摄食水平^[5]等多种因素的影响。其中,有关摄食水平的研究最受研究者关注,研究发现大多数鱼类随着摄食水平的提高,摄食代谢峰值(peak metabolic rate, PMR)与 SDA 时间通常呈现增加趋势以满足能量需求,而 SDA 系数一般没有显著性变化^[5-8]。

尽管不同鱼类摄食习性如摄食水平、摄食节律等差异很大,而这些摄食习性的差异必然会对摄食代谢特征产生影响。然而,目前摄食代谢的研究主要涉及摄食代谢的生理机制,很少探讨生态学适应的相关问题。最近我们的相关研究发现,鱼类摄食代谢特征与其生活史对策有着密切的关联,反映其对不同食物资源的适应策略^[5,8]。在此基础上,我们提出摄食代谢与运动代谢一样在自然选择压力下存在着适应性进化^[9]。然而,相关理论的验证和深入研究依赖于获取大量不同生活史对策鱼类摄食代谢的相关资料。瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)是分布于我国长江、珠江流域的一种常见底栖

小型鱼类,其生长缓慢,摄食活动频繁^[10]。本研究以瓦氏黄颡鱼为实验对象,探讨摄食水平对其餐后代谢特征的影响,并与其他摄食习性的鱼类进行比较,以期对摄食代谢进化理论研究提供必要的基础数据。另外,瓦氏黄颡鱼是一种广泛养殖的优质鱼类,对摄食代谢的研究也可对养殖者确定适宜的投饵量和投饵频率提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯化 实验采用的瓦氏黄颡鱼幼鱼购于当地渔场,实验前在室内循环水养殖系统中以鲜活泥鳅(*Misgurnus anguillicanddotus*)切成细碎块作饵料,每 2 d 饱足投喂 1 次,驯化 4 周。驯化期间水温控制在(25.0 ± 0.5),溶氧值大于 6 mg/L,为消除光照对摄食代谢的影响,整个实验过程光制为全光照^[5,8]。

1.2 实验设计 采用麻醉灌喂方法^[11]以解决在测定条件下实验鱼主动摄食不充分的问题。驯养环境中实验鱼每天饱足摄食水平为体重的 8%左右,据此本实验以鲜活泥鳅去头、尾、内脏和鳍的碎粒为饵料进行 4 个不同摄食水平(1%、2%、4%和 8%体重的饵料,重复分别为 9、10、8 和 14 次)的处理,以麻醉假灌喂(0%摄食水平,重复为 6 次)作为处理组对照。为了考察麻醉灌喂可能对瓦氏黄颡鱼摄食代谢产生的影响,另设置了 1 个非麻醉非灌喂组(重复为 6 次)为假灌喂组对照。

鱼类力竭运动后的代谢率峰值可以作为其最大代谢率^[12],本研究对追赶力竭后的实验鱼进行最大运动代谢率(maximum metabolic rate,

MMR)的测定^[13,14],并计算了实验鱼摄食代谢率占用最大代谢率的比例。

1.3 实验设备及代谢率测定 采用鱼类流水式呼吸仪^[5]测定实验鱼的耗氧率,作为代谢率的指标。呼吸仪中呼吸室入水口的上方有一个可开启的投喂孔,在呼吸室后下方有一个可开启的排粪孔。实验鱼单独放置在呼吸室(0.1 L)内。每次测定包括一个空白对照和数个测定呼吸室。实验鱼代谢率(R , mg O₂/h)由以下公式计算:

$$R = O_2 \times v \quad (1)$$

式中, O_2 是装有实验鱼的呼吸室和没有实验鱼的空白呼吸室的溶氧差值(mg/L), v 是装有实验鱼的呼吸室水流速度(L/h)。为了消除鱼体重不同对耗氧率产生的影响,以0.75为体重系数把耗氧率标准化为1 kg 体重^[8]:

$$R = (1/m)^{0.75} \times R \quad (2)$$

式中, R 为标准体重代谢率, R 同(1)式, m 为鱼体重(kg)。

溶氧值用溶氧仪(HQ20, Hach Company, Loveland, CO, USA)测定。水流速度用呼吸室1 min内出水口流量称重得到。每一个呼吸室的流速在实验过程中基本保持不变,并且调整到确保大于70%的溶氧饱和度,避免低氧对实验鱼造成生理胁迫。

1.4 实验操作 待实验鱼禁食24 h后,选取体重相近(7.10 ± 0.14)g、健康的瓦氏黄颡鱼幼鱼53条,分别放入呼吸室内驯化48 h,然后分别在09:00、15:00和21:00时测定每尾实验鱼的耗氧率,以平均值作为其静止代谢率(resting metabolic rate, RMR)。将每尾实验鱼分别从呼吸室中取出放入麻醉剂(氨基甲酸乙酯,2 g/L)中麻醉3 min(剂量和时间由预备实验结果确定),使其基本丧失正常反应能力,后用事先准备好的装有新鲜泥鳅碎粒的塑料注射器插入实验鱼胃内,将不同灌喂水平的饵料推入胃中,处理对照组只进行麻醉和灌喂动作处理,并没有任何饵料灌入其胃内,再将其放回呼吸室内,整个灌喂过程在2 min内完成。随后每间隔2 h测定1次耗氧率,假灌喂对照组、处理对照组、

1%和2%摄食水平组连续测定24 h,4%和8%摄食水平组连续测定36 h。4%和8%摄食水平组分别有2条和9条实验鱼在实验期间吐出饵料,故放弃这些实验鱼代谢数据的测定。因此,假灌喂对照组、处理对照组、1%、2%、4%和8%摄食水平组最终重复分别为6、6、9、10、6和5尾。

最大代谢率的具体操作为:待瓦氏黄颡鱼[(6.03 ± 0.44)g, $n = 6$]静止代谢率测定后,于环形水道中(容量150 L)用手不断追逐使鱼被迫持续运动至力竭性状态,通常为失去平衡或当继续追逐时不再有明显应激反应^[13,14];然后立即将力竭性状态的实验鱼放回呼吸室内进行代谢率的测定,每分钟测定一次,持续测定30 min;测定所采用的呼吸室体积为0.1 L,水流速度约为0.6 L/min,根据文献^[5]计算该水体1 min内即可置换99%,足以准确考察实验鱼的最大运动代谢水平。

1.5 实验参数及统计方法 本实验主要采取以下参数描述摄食代谢特征。

(1)摄食水平(%body mass):灌喂饵料重量占鱼体重的百分比;

(2)能量摄食率(kJ/kg):实验鱼单位体重所灌注的食物所含能量,饵料含能量采用(4.97 ± 0.02)kJ/g计算^[5];

(3)静止代谢率(mg O₂/kg·h):将实验鱼禁食驯化48 h,然后分别在09:00、15:00和21:00时测定每尾实验鱼的耗氧率,以平均值作为其静止代谢率;

(4)摄食代谢峰值(mg O₂/kg·h):摄食代谢过程观察到的代谢率中的最大值作为摄食代谢峰值;

(5)峰值到达时间(h):摄食代谢峰值出现的时间;

(6)SDA时间(h):从灌喂开始到摄食代谢率回落至静止代谢率的1倍标准误范围内的首个数据所对应的时间长度为SDA时间;

(7)SDA总耗能量(kJ/kg):用SDA时间内各段摄食代谢率和静止代谢率之差在时间上的积分求得每尾鱼单位体重的耗氧量,该耗氧量

与氧热当量系数(13.84 J/mg O₂)相乘得到 SDA 总耗能量;

(8) SDA 系数(%): SDA 总耗能量占摄入食物能量的比例。

实验数据用 EXCEL (2003) 进行常规计算后,用 SPSS 11.5 软件进行显著性分析,如差异显著进行多重比较(LSD)。描述统计值用“平均值 ±标准误”,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

本实验中各组鱼的体重和静止代谢率都没有显著性差异(表1);除了假灌喂对照组和处理对照组外,其余各实验处理组摄食代谢率在灌喂2h后显著增加($P < 0.05$),峰值出现在灌喂后的4~6h,然后代谢率总体上逐步下降到灌喂前水平(图1)。

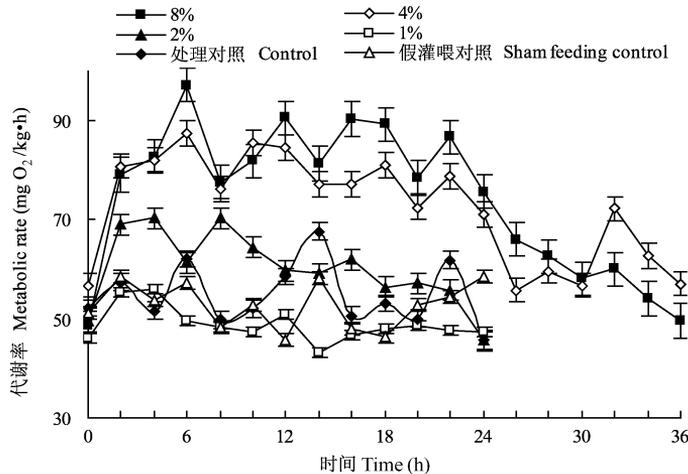


图1 摄食水平对瓦氏黄颡鱼幼鱼餐后代谢率的影响(Mean ±SE)

Fig. 1 The postprandial metabolic response of *Pelteobagrus vachelli* after fed with different meal sizes and sham force-feeding

2.1 假灌喂对照组和处理对照组的代谢率

将假灌喂对照组和处理对照组各测定时间点的代谢率进行 t 检验,发现各数据点均无显著差异,表明本实验中所采用的麻醉灌喂操作处理对摄食代谢率的测定没有显著影响。

2.2 摄食水平对 SDA 时间和峰值到达时间的影响 随着摄食水平的增加,SDA 时间和峰值到达时间均呈现增加趋势。当摄食水平从 1% 逐渐增加到 8% 时,SDA 时间分别为 8、24、26 和 36 h,峰值到达时间分别为 4、4、6 和 6 h(表 1)。

2.3 摄食水平对摄食代谢峰值的影响 随着摄食水平的增加,摄食代谢峰值和峰值比率均呈上升趋势,其中 4% 和 8% 摄食水平组的摄食代谢峰值显著大于 2% 摄食水平组,而后者显

著大于 1% 摄食水平组($P < 0.05$)。

2.4 摄食水平对 SDA 总耗能和 SDA 系数的影响 随着摄食水平的增加,瓦氏黄颡鱼 SDA 总耗能显著增加($P < 0.05$),当摄食水平从 1% 增加到 8% 时,SDA 总耗能从 3.09 kJ/kg 增加到 47.21 kJ/kg。2%、4% 和 8% 摄食水平组的 SDA 系数(%) 之间无显著性差异,但均显著高于 1% 摄食水平组($P < 0.05$)。

2.5 黄颡鱼的最大运动代谢率(MMR) 在本实验条件下瓦氏黄颡鱼幼鱼的最大运动代谢率为 $(166.5 \pm 13.2) \text{ mg O}_2/\text{kg} \cdot \text{h}$,为其静止代谢率的 (3.81 ± 0.29) 倍(图 2),其绝对大小及上升比率均显著大于最大摄食水平组的摄食代谢峰值和峰值比率 (2.00 ± 0.13) ($P < 0.05$)。

表 1 摄食水平对瓦氏黄颡鱼幼鱼摄食代谢参数的影响 (Mean ±SE)

Table 1 Effect of meal size on several variables of postprandial metabolic response in *Pelteobagrus vachelli*

	假灌喂对照 Sham feeding control	处理对照 Control	摄食水平处理组 Meal size groups (% body mass)			
			1	2	4	8
样本数 Sample size	6	6	9	10	6	5
体重 Body mass (g)	7.61 ±0.37	7.23 ±0.35	7.67 ±0.23	7.33 ±0.30	6.4 ±0.49	6.58 ±0.39
静止代谢率 (mg O ₂ /kg h) Resting metabolic rate	51.32 ±3.78	52.18 ±5.01	46.01 ±2.67	49.58 ±1.91	56.76 ±5.30	48.60 ±1.24
摄食水平 Meal size (% body mass)			1.03 ±0.04 ^d	1.97 ±0.05 ^c	4.03 ±0.04 ^b	7.94 ±0.07 ^a
能量摄食率 (kJ/kg) Energy ingested			51.17 ±1.92 ^d	97.93 ±2.31 ^c	200.52 ±1.92 ^b	394.80 ±3.60 ^a
SDA 时间 Duration (h)			8.00	24.00	26.00	36.00
峰值时间(h) Time to peak metabolic rate			4.00	4.00	6.00	6.00
摄食代谢峰值 (mg O ₂ /kg h) Peak metabolic rate			56.08 ±2.95 ^c	70.37 ±4.32 ^b	87.46 ±6.51 ^a	97.25 ±7.09 ^a
SDA 总耗能量 (kJ/kg) Energy expended on SDA			3.09 ±0.81 ^d	14.20 ±2.10 ^c	25.86 ±2.41 ^b	47.21 ±2.45 ^a
SDA 系数 SDA coefficient (%)			6.06 ±0.12 ^b	14.58 ±0.02 ^a	12.91 ±0.01 ^a	11.97 ±0.01 ^a

上标字母不同的同一行数数值差异显著 ($P < 0.05$)。

Values in each row without a common superscript indicates a significant difference ($P < 0.05$).

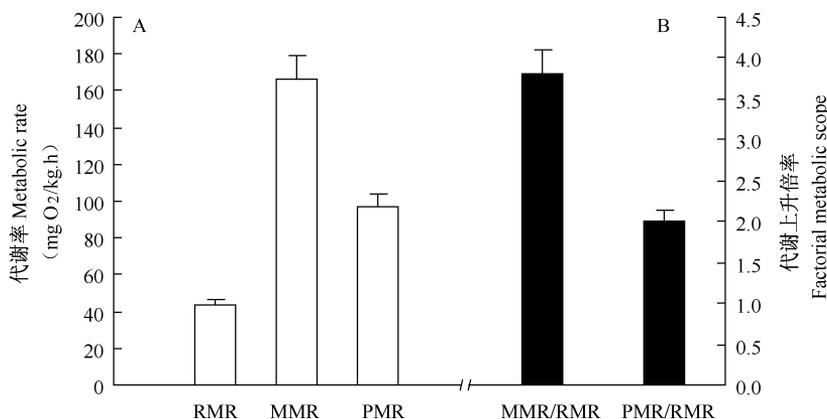


图 2 A、瓦氏黄颡鱼静止代谢率 (RMR)、最大运动代谢率 (MMR) 和最大摄食代谢峰值 (PMR)
B、瓦氏黄颡鱼运动代谢上升倍率 (MMR/RMR) 和摄食代谢上升倍率 (PMR/RMR)

Fig. 2 The maximum metabolic rate, resting metabolic rate and factorial metabolic scope of *Pelteobagrus vachelli* (Mean ±SE)

MMR 显著大于 PMR, MMR/RMR 显著大于 PMR/RMR ($P < 0.05$)。

MMR was significantly higher than PMR and MMR/RMR was significantly larger than PMR/RMR ($P < 0.05$).

3 讨 论

与以往研究结果相似,瓦氏黄颡鱼在摄食后代谢呈现先上升然后缓慢下降的过程(图1)。SDA 时间通常会随着摄食水平的提高而延长,由于实验环境条件、实验对象或实验饵料的差异,不同鱼类 SDA 时间变化从数小时到数十小时不等^[1,5,8],本研究瓦氏黄颡鱼 SDA 时间的长短及其随着摄食水平的变化与大多数研究结果相似。与其他陆生脊椎动物相比,鱼类的 SDA 系数较低,一般在 9%~19%之间^[1]。由于鱼类摄食代谢的能量消耗主要用于体内的蛋白质合成,能量消耗一般与摄入的食物总能量呈线性相关,因此鱼类在不同摄食水平的 SDA 系数通常无显著性差异^[5]。本研究发现,2%、4%和 8%摄食水平组的 SDA 系数在 12%~15%之间,且无显著性差异(表 1),这与大部分研究结果一致^[6~8],但是 1%摄食水平组的 SDA 系数明显低于其他摄食水平组($P < 0.05$),可能原因之一是瓦氏黄颡鱼在空腹状态下有一定基础水平的消化生理活动(如消化酶的分泌)^[16],因此低摄食水平的摄食代谢反应不明显。另一个原因是由于瓦氏黄颡鱼在实验测定过程中有一些自发运动可能造成实验误差,这种误差在较低摄食水平下对实验结果分析可能产生更大的影响。从表 1 SDA 系数的标准误可以看出,1%摄食水平组 SDA 系数变异远大于其他摄食水平组。

鱼类餐后代谢一般呈现先迅速上升然后缓慢下降的偏“钟型”曲线^[8],研究者通常认为摄食代谢是机体摄食后各种生理反应的能量消耗的叠加,摄食代谢峰值(PMR)会随着摄食水平的提高呈现上升的变化趋势^[6~8]。然而最近我们的研究发现,对于伏击取食鱼类南方鲇(*Silurus meridionalis*),当摄食水平提高到一定程度,PMR 不再继续增加;而摄食代谢曲线由“钟型”转换为“梯形”,此时 PMR 与其最大运动代谢率(MMR)在数值上相近,均约为静止代谢率(RMR)的 4 倍^[5,8]。因此我们认为,南方鲇在高摄食水平下摄食代谢受到最大代谢能力(心血

管运输氧气能力)的限制而无法进一步上升,摄食代谢长时间持续在最大水平上,此时其运动能力会大幅度下降^[17]。这种摄食代谢对策可能与南方鲇伏击取食(摄食水平高、摄食频率低),位于食物链顶端缺乏天敌,以及静息隐匿消化食物的习性相关^[5]。非常有趣的是,本实验发现典型的经常摄食的瓦氏黄颡鱼的摄食代谢反应与伏击取食的南方鲇^[5]类似,即 PMR 在高摄食水平范围不再上升,而摄食代谢曲线由“钟型”转换为“梯形”(图 1)。但此时其 PMR 只是 RMR 的 2 倍左右(图 2),远低于南方鲇的 4 倍^[5]。通过与 MMR 比较发现,PMR 远低于 MMR,瓦氏黄颡鱼摄食代谢仅占用总代谢范围 $[(PMR - RMR)/(MMR - RMR)]$ 的 40%。这说明本实验瓦氏黄颡鱼的这种“矮梯形”的摄食代谢反应对策与南方鲇在内在机理上完全不同。总体说来,瓦氏黄颡鱼消化系统具有较低的代谢能力,在较低摄食水平下消化、同化能力即达到饱和,摄食代谢无法进一步上升,此时机体还保留有较大代谢范围用于其他生理活动(如运动)。进一步研究发现,瓦氏黄颡鱼摄食后游泳速度没有明显的下降^[17]。这也表明消化食物这一生理活动对瓦氏黄颡鱼代谢空间的占用并不大,这可能与瓦氏黄颡鱼主要以小鱼、小虾、软体动物和各种昆虫幼虫等为食,在消化食物之外需要频繁进行觅食活动的生活习性有关。

参 考 文 献

- [1] Jobling M. The influences of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review. *Journal of Fish Biology*, 1981, **18**: 385 ~ 400.
- [2] Fu S J, Xie X J, Cao Z D. Effect of dietary composition on specific dynamic action in southern catfish, *Silurus meridionalis*. *Aquaculture Research*, 2005, **36**: 1 384 ~ 1 390.
- [3] Luo Y P, Xie X J. Effects of temperature on the specific dynamic action of the southern catfish, *Silurus meridionalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology A*, 2008, **149**: 150 ~ 156.
- [4] Lyndon A R, Houlihan D F, Hall S J. The effect of short-term fasting and a single meal on protein synthesis and oxygen consumption in cod, *Gadus morhua*. *Journal of Comparative Physiology B*, 1992, **162**: 209 ~ 215.

- [5] Fu S J , Xie X J , Cao Z D . Effect of meal size on specific dynamic action in southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) . *Comparative Biochemistry and Physiology A* , 2005 , **140** : 445 ~ 451 .
- [6] Chakraborty S C , Ross L G , Ross B . Specific dynamic action and feeding metabolism in common carp , *Cyprinus carpio* L . *Comparative Biochemistry and Physiology A* , 1992 , **103** : 809 ~ 815 .
- [7] Guinea J , Fernandez F . Effect of feeding frequency , feeding level and temperature on energy metabolism in *Sparus aurata* . *Aquaculture* , 1997 , **148** : 125 ~ 142 .
- [8] Fu S J , Cao Z D , Peng J L . Effect of meal size on specific dynamic action in Chinese catfish . *Journal of Comparative Physiology B* , 2006 , **176** : 489 ~ 495 .
- [9] 付世建 , 曹振东 , 谢小军 . 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展 . *动物学杂志* , 2008 , **43** (2) : 150 ~ 159 .
- [10] 段中华 , 孙建贻 . 瓦氏黄颡鱼年龄与生长的研究 . *水生生物学报* , 1999 , **23** (6) : 610 ~ 616 .
- [11] Thorarensen H , Farrell A P . Postprandial intestinal blood flow , metabolic rate , and exercise in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) . *Physiological and Biochemical Zoology* , 2007 , **79** : 688 ~ 694 .
- [12] von Herbing I H , White L . The effects of body mass and feeding on metabolic rate in small juvenile Atlantic cod . *Journal of Fish Biology* , 2002 , **61** (4) : 945 ~ 958 .
- [13] Milligan C L . Metabolic recovery from exhaustive exercise in rainbow trout . *Comparative and Biochemistry Physiology A* , 1996 , **113** : 51 ~ 60 .
- [14] 彭姜岚 , 曹振东 , 付世建 . 鲇鱼力竭性运动后的过量耗氧及其体重的影响 . *水生生物学报* , 2008 , **32** : 380 ~ 386 .
- [15] Steffensen J F . Some errors in respirometry of aquatic breathers : how to avoid and correct for them . *Fish Physiology and Biochemistry* , 1989 , **6** : 49 ~ 59 .
- [16] 王志铮 , 施建军 , 吕敢堂等 . 受短期饥饿胁迫下麦瑞加拉鲮鱼幼鱼的生长、肌体组分及其内脏消化酶活力的变化特征 . *海洋与湖沼* , 2006 , **37** : 218 ~ 224 .
- [17] Fu S J , Zeng L Q , Li X M *et al* . The behavioral , digestive and metabolic strategies in four fishes with different foraging behavior . *The Journal of Experimental Biology* , 2009 , **212** : 2 296 ~ 2 302 .

上海市大莲湖发现白胸翡翠

2009年9月29日,在对上海大莲湖(N31°04'16.27", E121°00'17.63")进行鸟类野外调查中,观察到白胸翡翠(*Halcyon smyrnensis*),共计4只。查阅文献后确认为上海市新纪录(黄正一等,1993;约翰·马敬能等,2000;郑光美,2005)。

特征描述:头、后颈、上背棕赤色;翼、下背、腰、尾上覆羽、尾羽亮蓝色;翼上覆羽上部及翼端黑色。颈、喉及胸部中央白色,胸两侧略带麻斑;眼下、耳羽、颈的两侧、胸侧、腹、尾下覆羽棕赤色。虹膜褐色;嘴、脚珊瑚红色;体长约25~30 cm。

白胸翡翠已被列入《世界自然保护联盟》(IUCN) ver 3.1: 2008年鸟类红色名录,等级为LC(IUCN, 2009)。白胸翡翠在中国主要分布于北纬28°以南包括海南岛在内的大部分地区(约翰·马敬能等,2000;庾太林等,2002;蒋爱伍等,2006;彭逸生等,2008),但近年来在湖北省赤壁市(耿栋等,2004)、江苏省南京市(More, 2008)都出现了该鸟的报道。上海大莲湖湿地从2008年11月开始动工修复,首期施工将原有部分精养鱼塘改造成粗放型鱼塘,在2009年5月已经结束。发现白胸翡翠的地点位于修复后鱼塘旁的河道内,河道两边植物密布,隐蔽性较好。

岳峰 罗祖奎 吴迪 任文玲 王天厚*

(华东师范大学生命科学学院 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室 上海 200062;
华东师范大学资源与环境科学学院 上海 200062)

基金项目 上海市科学和技术委员会重大科技支撑项目(No. 08DZ1203200, 08DZ1203202);

*通讯作者, E-mail: thwang@bio. encu. edu. cn;

第一作者介绍 岳峰,男,硕士研究生;研究方向:湿地生态学; E-mail: yuefengfeifei@126.com。