

溪红点鲑的特殊动力作用

杨贵强 徐绍刚* 王跃智 张永旺

(北京市水产科学研究所 北京 100068; 中国水产科学研究院鲟鱼繁育技术工程中心 北京 102411)

摘要: 在水温 (14.5 ±0.5) 条件下,测定了平均体重 (26.5 ±2.0) g ($n = 260$) 溪红点鲑 (*Salvelinus fontinalus*) 饱食和空腹状态下的耗氧率及排氨率。实验组共测定了 260 尾个体,空腹状态下标准耗氧率和标准排氨率分别为 (175.00 ±8.49) mg/kg·h 及 (2.91 ±0.40) mg/kg·h; 饱食后耗氧率和排氨率变化趋势均呈现迅速上升,到达最大值后再缓慢下降,然后恢复到初始水平,最大值分别为 (375.93 ±9.73) mg/kg·h 和 (16.01 ±0.37) mg/kg·h,最大值出现时间分别为饱食后 (6.0 ±0.3) h 和 (7.0 ±0.5) h,饱食后耗氧率和排氨率发生改变的持续时间分别为 (23.0 ±1.5) h 及 (23.0 ±2.0) h,耗氧总增量和排氨总增量分别为 (2 641 ±137) mg 及 (164 ±10) mg。结果显示,溪红点鲑饱食排氨率的变化过程与其饱食耗氧率的特殊动力作用 (SDA) 具有类似的特征,表明二者在能量代谢机制上相互关联,溪红点鲑的 SDA 总耗能的 18.8% ±1.2% 由蛋白质分解代谢所提供。

关键词: 溪红点鲑; 特殊动力作用; 饱食; 空腹

中图分类号: Q955, Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)03-16-07

Specific Dynamic Action of *Salvelinus fontinalus*

YANG Gui-Qiang XU Shao-Gang* WANG Yue-Zhi ZHANG Yong-Wang

(Beijing Fisheries Research Institute, Beijing 100068;

Technological and Engineering Center of Sturgeons Reproduction, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 102411, China)

Abstract: At 14.5 ±0.5 °C, the oxygen consumption and ammonia excretion rate of the Brook Trout (*Salvelinus fontinalus*) (mean body weight 26.5 ±2.0 g, $n = 260$) were measured in satiation and starvation stage. The results indicated that the standard oxygen consumption and ammonia excretion rate were 175.00 ±8.49 mg/kg·h and 2.91 ±0.40 mg/kg·h respectively. The postprandial changing patterns in oxygen consumption and ammonia excretion were similar: after feeding, both rates increased drastically, and reached their maximum levels (375.93 ±9.73 mg/kg·h and 16.01 ±0.37 mg/kg·h, $n = 130$) in a short time (6.0 ±0.3 h and 7.0 ±0.5 h, $n = 130$), then decreased slowly towards their standard levels. The duration for the postprandial changes were 23.0 ±1.5 h and 23.0 ±2.0 h, the increased magnitude of oxygen consumption and ammonia excretion were respectively 2 641 ±137 mg and 164 ±10 mg compared with the standards. This study suggests that the response in the rate of ammonia excretion in satiation should be closely related to that in the oxygen consumption, and 18.8% ±1.2% of energy expenditure for the specific dynamic action (SDA) of the brook trout in postprandial metabolism might be due to protein catabolism.

Key words: Brook Trout (*Salvelinus fontinalus*); Specific dynamic action; Satiation; Starvation

特殊动力作用 (specific dynamic action, SDA) 表现为动物体摄食后代代谢产热增加的现象^[1,2], 包括在食物的消化、同化、储存和氨基酸脱氨基、氮排泄物合成等过程中消耗的能量。对于 SDA 现象机制的解释主要有两种观点: (1) SDA

基金项目 北京市科技攻关项目 (No. Z080005032508019);

* 通讯作者, E-mail: xushaogang@bjfishery.com;

第一作者介绍 杨贵强, 男, 硕士; 研究方向: 鱼类生理生态学; E-mail: ygqheb@yahoo.com.cn.

收稿日期: 2008-12-18, 修回日期: 2009-03-02

主要与摄食后氨基酸合成蛋白质有关^[3]; (2) SDA 主要与蛋白质的分解代谢过程中氨基酸的脱氨基降解有关,并认为 SDA 过程中耗氧率的变化反映了氨基酸脱氨基降解所消耗的能量^[4~6]。研究饱食对耗氧率和排氮率的影响有利于了解鱼类代谢活动的变化规律,其中耗氧率体现了 SDA 过程的能量需求,排氮率反映了蛋白质分解后参与氧化供能而转化为代谢产物的水平。排氮率与耗氧率的比值即氮商(ammonia quotient, AQ)则是蛋白质分解氧化为代谢过程供能的水平^[7~9]。因此,通过探讨饱食后 SDA 过程中耗氧率、排氮率以及 AQ 的变化情况,可以更好地了解 SDA 效应的本质和食物中蛋白质参与摄食代谢的情况。

溪红点鲑(*Salvelinus fontinalis*)又名美洲红点鲑,在鱼类分类学上隶属鲑形目鲑科红点鲑属,原产于加拿大、美国、新西兰、前苏联和日本等地,为当地名贵冷水鱼之一。目前,已有研究提供了溪红点鲑人工繁殖和线粒体 DNA 核苷酸的相关资料^[10,11]。本文以加拿大引进的溪红点鲑为材料,测定其在空腹状态与饱食状态下的耗氧率和排氮率,分析 SDA 过程中蛋白质分解供能的情况,为探讨 SDA 效应产生的原因提供基础资料;同时进一步了解其生理生态学,为我国研发溪红点鲑人工养殖技术和创建养殖新模式提供理论基础及科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及其驯化 实验鱼购自北京市水产科学研究所玉渡山冷水鱼基地,选取平均体重约(26.5 ± 2.0)g 溪红点鲑 600 尾放入室内循环水系统中暂养 1 周。采用北京汉业科技有限公司生产的粒径为 2.5 mm 苗种料投喂,每天投喂 2 次(10:00 时、16:00 时),实验水经过充分曝气,pH 7.60~8.01,溶氧量 8~11 mg/L,水温为(14.5 ± 0.5)。

1.2 实验设计 实验分为空腹和饱食 2 个处理组,每个组设 5 个重复,每个重复为 26 尾鱼,另设 1 个空白对照,2 个处理组的样本量 n 均

为 130。处理组均在禁食 3 d 后测定耗氧率和排氮率作为标准耗氧率及标准排氮率。饱食处理组投喂至饱食后立即轻轻放入以黑布遮光(留有观察孔)的呼吸室适应 1 h 左右,待其呼吸平稳后开始实验;空腹组采用禁食 3 d 的鱼不投喂放入呼吸室,操作方法同饱食组。2 处理组分别每隔 1 h 测定一次耗氧率和排氮率。实验期间,呼吸室适时调整水流速以保证呼吸室进、出口溶氧浓度差大于 2 mg/L,以减小误差,且出水口溶氧大于 6 mg/L,以避免低氧造成胁迫。水温为(14.5 ± 0.5),水流速为 1.084 L/min。其中溶氧采用测氧仪(YSI 550A, YSI Incorporated, USA)测定,碘量法标定,氨氮采用次氯酸钠-水杨酸分光光度法测定^[12]。

1.3 实验装置 采用本实验室设计的流水式耗氧测定装置(图 1)测定溪红点鲑饱食和空腹状态下的耗氧率与排氮率。呼吸室容积 41.7 L,有一个进水口和出水口,进出水口处有阀门可适时调节通过呼吸室的水流速度。

1.4 相关参数及计算方法

1.4.1 耗氧率(oxygen consumption rate, OR)和排氮率(ammonia excretion rate, NR)

$$OR = [(C_1 - C_0) V_1 - (C_1 - C_2) V_2] / W;$$

$$NR = [(C_1 - C_0) V_1 - (C_1 - C_2) V_2] / W$$

式中, C_0 、 C_1 、 C_2 分别为处理组呼吸室出水口、进水口和对照组呼吸室出水口的溶解氧的浓度(mg/L), C_0 、 C_1 、 C_2 分别为处理组呼吸室出水口、进水口和对照组呼吸室出水口的氨氮浓度(mg/L); W 为实验鱼体重(kg); V_1 和 V_2 分别为通过处理组和空白对照呼吸仪的水流速度(L/h)。

1.4.2 耗氧持续时间(D_{OR})和排氮持续时间(D_{NR}) D_{OR} 和 D_{NR} 分别为饱食后耗氧率及排氮率上升至直回落到标准耗氧率和标准排氮率的标准误差范围内的首个数据所用的时间(h)。

1.4.3 耗氧率峰值时间(T_{OR})和排氮率峰值时间(T_{NR}) T_{OR} 和 T_{NR} 分别为饱食后耗氧率、排氮率上升到最大值所经历的时间(h)。

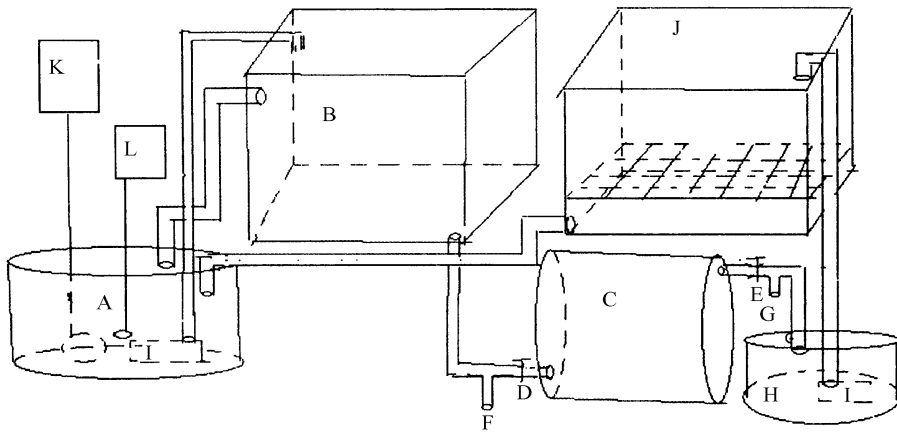


图1 流水式耗氧测定装置结构原理图

Fig. 1 Diagram of the oxygen determining apparatus by flowing water system

A. 蓄水池; B. 上位水槽; C. 呼吸室; D. 进水口阀门; E. 出水口阀门; F. 进水口采样处; G. 出水口采样处; H. 下位水槽; I. 水泵; J. 水处理装置; K. 控温仪; L. 气泵。

A. Water stocking; B. Constant-level tank; C. Respiratory chamber; D. Letting-in valve; E. Letting-out valve; F. Letting-in sampling bottle; G. letting-out sampling bottle; H. Bottom reservoir; I. Water pump; J. Water treatment system; K. Thermostat meter; L. Air pump.

1.4.4 耗氧率上升最大倍率(F_{OR})和排氮率上升最大倍率(F_{NR}) F_{OR} 和 F_{NR} 分别为最大耗氧率与标准耗氧率的比值,最大排氮率与标准排氮率的比值。

1.4.5 SDA耗氧总增量(M_{OR})和SDA排氮总增量(M_{NR}) M_{OR} 和 M_{NR} 分别为耗氧持续时间内的耗氧量与标准耗氧量之差在时间上的积分,排氮持续时间内的排氮量与标准排氮量之差在时间上的积分。

1.4.6 氮商(AQ) 饱食后各时刻的实测排氮率与耗氧率的比值,即 $AQ = \text{排氮率}/\text{耗氧率}$ 。

1.4.7 SDA总耗能中蛋白质供能的比例 ($\text{Protein \% SDA}_{\text{总耗能}}$) $\text{Protein \% SDA}_{\text{总耗能}} = (\text{SDA排氮总增量} \times 100) / (\text{SDA耗氧总增量} \times 0.33)$ 。鱼类的代谢能量全部由蛋白质氧化时提供的氮商(AQ)为0.33^[13]。

1.5 数据处理 所得数据用SPSS 16.0软件进行统计分析,然后用EXCEL作图。不同生理状态下的耗氧和排氮及其相关参数的差异用单因素方差(One-Way ANOVA)分析,Duncan法进行显著性检验及多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。实验数据表示为平均值 \pm 标准误(Mean \pm SE)。

2 结果

2.1 耗氧率 空腹状态下的标准耗氧率(175.00 ± 8.49) mg/kg \cdot h与空腹处理组耗氧率(180.00 ± 9.73) mg/kg \cdot h无显著差异($P > 0.05$)。溪红点鲑饱食后耗氧率的变化趋势呈现3个阶段(图2):(1)饱食后0~5 h期间,OR迅速从(185.00 ± 6.33) mg/kg \cdot h上升为(375.93 ± 9.73) mg/kg \cdot h;(2)饱食后5~8 h,OR维持在最大值(375.93 ± 9.73) mg/kg \cdot h;(3)饱食后9~23 h,OR缓慢下降到标准水平。上升阶段历时(约5 h)显著短于下降阶段历时(约14 h)($P < 0.05$),耗氧率峰值出现的时间(T_{OR})为第(6.0 ± 0.3) h,耗氧率上升的最大倍率(F_{OR})为(2.1 ± 0.2),摄食引起耗氧率升高的持续时间(D_{OR})为(23.0 ± 1.5) h。

2.2 排氮率 空腹状态下的标准排氮率为(2.91 ± 0.40) mg/kg \cdot h,空腹处理组排氮率为(3.02 ± 0.45) mg/kg \cdot h,二者无显著差异($P > 0.05$)。溪红点鲑饱食后排氮率的变化趋势呈现3个阶段(图3):(1)饱食后0~6 h期间,NR迅速从(3.45 ± 0.33) mg/kg \cdot h上升为($16.01 \pm$

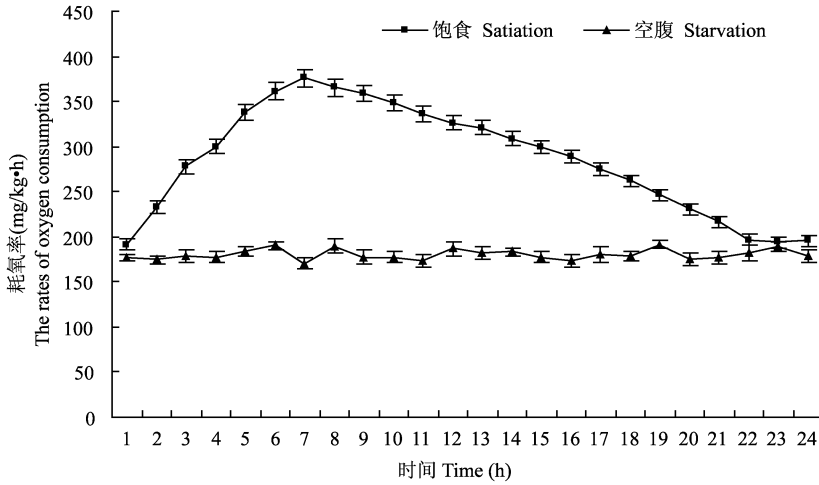


图 2 溪红点鲑饱食和空腹状态的耗氧率

Fig. 2 The oxygen consumption rates of *Salvelinus fontinalis* in satiation and starvation

0.37) mg/kg·h; (2) 饱食后 6~9 h, NR 维持在最大值 (16.01 ± 0.37) mg/kg·h; (3) 饱食后 10~23 h, NR 缓慢下降到标准水平。上升阶段历时 (约 6 h) 显著短于下降阶段历时 (约 13 h) ($P < 0.05$), 排氨率峰值出现的时间 (T_{NR}) 为第 (7.0

± 0.5) h, 排氨率上升的最大倍率 (F_{NR}) 为 5.5 ± 0.4, 饱食引起耗氧率升高的持续时间 (DNR) 为 (23.0 ± 2.0) h。饱食后, 排氨率峰值时间比耗氧率峰值时间晚 1~2 h, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。

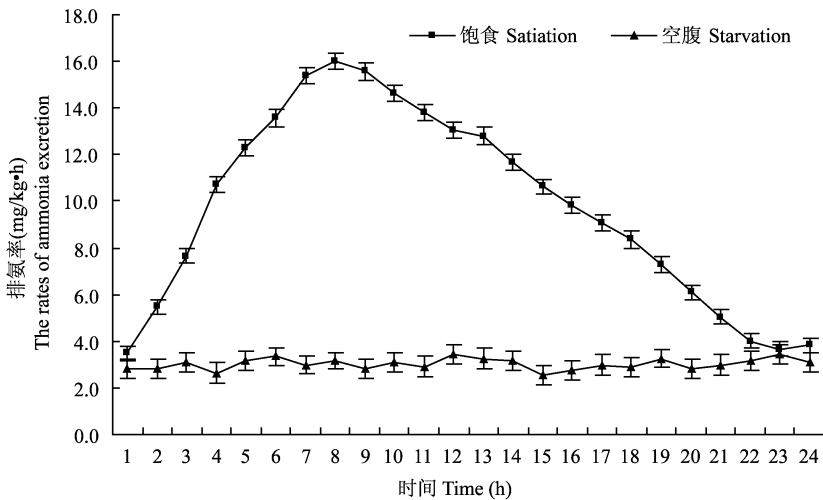


图 3 溪红点鲑饱食和空腹状态的排氨率

Fig. 3 The ammonia exertion rates of *Salvelinus fontinalis* in satiation and starvation

2.3 氨商 饱食后各时刻氨商(AQ)的变化情况(图 4), 同样可以分为 3 个阶段: (1) 饱食后 0~6 h, AQ 由 0.018 ± 0.002 上升为 0.044 ± 0.004; (2) 饱食后 6~12 h, AQ 维持在最大值 0.044 ± 0.004 阶段; (3) 饱食后 13~23 h, AQ 从

最大值下降到标准水平。饱食引起的氨商、耗氧率和排氨率升高的持续时间相近, 差异不显著 ($P > 0.05$), 因此可以认为, SDA 持续时间为 23 h 左右。将 SDA 过程的排氨总增量与 SDA 总耗氧量的比值换算为蛋白质供能比, 得到

SDA 持续时间内 SDA 总耗能的 $18.8\% \pm 1.2\%$ 由蛋白质提供 (表 1), 脂肪和碳水化合物为 SDA 供能的比例总计为 81.2% 。在空腹条件下蛋白质供能的比例仅为 $6.8\% \pm 0.5\%$, 脂肪和碳水化合物供能的总比例高达 93.2% 。

表 1 溪红点鲑的耗氧率和排氨率的相关参数

Table 1 The correlative parameters of oxygen consumption and ammonia excretion of *Salvelinus fontinalis*

参数 Parameter	耗氧 Oxygen consumption	排氨 Ammonia excretion
标准率 Standard rate (mg/kg h)	175.00 \pm 8.49	2.91 \pm 0.40
峰值 Peak rate (mg/kg h)	375.93 \pm 9.73	16.01 \pm 0.37
最大上升倍率 Factorial rise	2.1 \pm 0.2	5.5 \pm 0.4
峰值时间 Time to peak (h)	6.0 \pm 0.3	7.0 \pm 0.5
SDA 持续时间 Duration (h)	23.0 \pm 1.5	23.0 \pm 2.0
SDA 过程的总增量 Magnitude (h)	2 641 \pm 137	164 \pm 10
蛋白质供能占 SDA 总耗能的比例 (%) Protein % SDA _{all energy expenditure}	18.8 \pm 1.2	6.8 \pm 0.5

3 讨论

3.1 特殊动力作用及其耗氧率与排氨率的相互关系 摄食后耗氧率的变化体现了动物对食

物的消化和吸收、蛋白质的合成与转运以及含氮废物的合成等代谢过程的能量需求^[14]。通常以耗氧率的峰值、耗氧率峰值出现时间、饱食引起的耗氧率升高的持续时间和耗氧增量等作为 SDA 效应的能量学指标, 即 SDA 峰值 (peak)、SDA 峰值时间 (time of peak)、SDA 持续时间 (SDA duration) 和 SDA 总消耗量 (SDA magnitude) 等。饱食后溪红点鲑的耗氧率和排氨率变化的始末均表现为迅速上升到最大值, 缓慢下降到基础水平, 这与大多数研究结果较一致^[15,16]。本实验结果显示, 溪红点鲑饱食耗氧率峰值为对照组的 (2.1 ± 0.2) 倍 (即 F_{OR}); 最大排氨率为对照组的 (5.5 ± 0.4) 倍 (即 F_{NR}), 氨氮排泄峰值出现的时间 T_{NR} (6.0 ± 0.3) h 滞后于耗氧率最大峰值时间 T_{NR} (7.0 ± 0.5) h, 这些结果比南方鲇 (*Silurus meridionalis*) 的相应结果^[17]小一些, 可能与鱼的种类及受食饵料有关。Jobling^[3]认为能促进良好生长的饵料必然会带来高的 SDA, 则相应的耗氧率上升最大倍率 (F_{OR})、排氨率上升最大倍率 (F_{NR})、耗氧率最大峰值时间 T_{NR} 和氨氮排泄峰值出现的时间 T_{NR} 也会较高, 这也可能是投喂人工饲料的溪红点鲑的结果小于投喂鲜活泥鳅 (*Misgurnus*

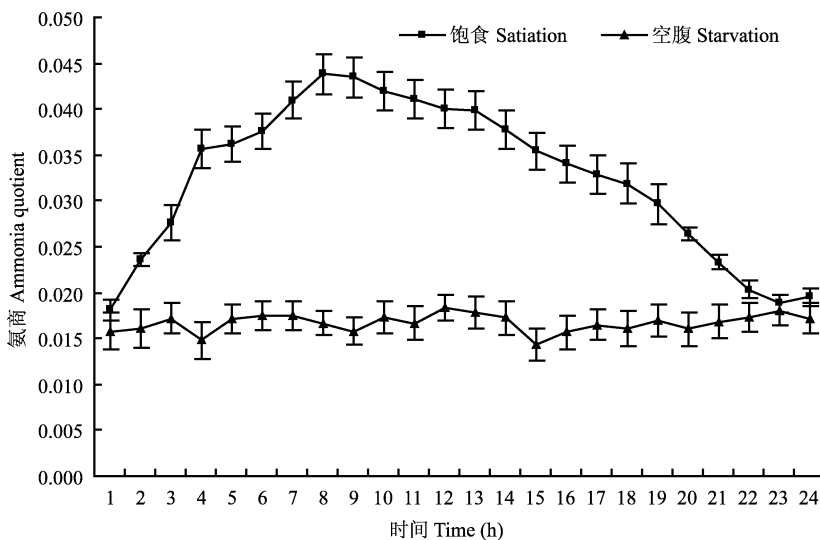


图 4 溪红点鲑饱食和空腹状态的氨商

Fig. 4 The ammonia quotient of *Salvelinus fontinalis* in satiation and starvation

anguillicaudotus) 肉块的南方鲇的原因之一。

通过比较溪红点鲑饱食后 SDA 过程中 (0 ~ 23 h) 的耗氧率和排氮率变化的异同 (图 2、3), 发现饱食后排氮率与耗氧率的变化规律相似, 也表现为迅速上升到最大值, 然后缓慢下降到标准水平, 相应的具有排氮率峰值 (P_{NR})、排氮率峰值出现时间 (T_{NR})、饱食引起排氮率升高的持续时间 (D_{NR}) 和总排氮量 (M_{NR}) (表 1); 并且饱食后排氮率的峰值时间 T_{NR} (7.0 ± 0.5) h ($n = 130$) 与耗氧率的峰值时间 T_{OR} (6.0 ± 0.3) h 相近 ($P > 0.05$); 饱食引起的排氮率升高的持续时间 D_{NR} (23.0 ± 2.0) h 与耗氧率升高的持续时间 D_{OR} (23.0 ± 1.5) h 也相近 ($P > 0.05$) (表 1)。由此可见, SDA 过程中排氮率的变化规律与耗氧率的变化规律具有及其的相似性, 饱食后排氮率的变化也反映了 SDA 过程能量代谢的情况。

综上所述, 耗氧率可以作为检测 SDA 过程中的能量需求水平的指标, 排氮率可以作为检测 SDA 过程中的物质代谢水平的指标。

3.2 特殊动力作用的能量代谢底物 在摄食代谢的相关研究中, 通常用特殊动力作用 (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、转换和生长等过程的能量支出^[18]。Jobling 认为^[19], 鱼类的 SDA 作用的形成是由于摄食后细胞内蛋白质周转过程加速引起的代谢耗能增长所造成。本研究发现, 溪红点鲑饱食后排氮率与耗氧率在 SDA 过程中的变化规律具有密切的相似性, 排氮率的峰值出现于耗氧率峰值之后 1 ~ 2 h。这说明两个不同的生理学过程存在紧密的内在联系, 即由食物消化吸收和体内蛋白质分解进入体液的游离氨基酸构成了动物的氨基酸代谢库, 组织生长按所需的比例利用各种氨基酸。当蛋白质合成加速, 氨基酸氧化过程中的脱氨基作用加强, 因而有更多的氨氮排出^[2]。显然, 氨基酸氧化过程中的脱氨基作用是 SDA 能量消耗的主要生化基础^[20]。

鱼体进行氮代谢的产物主要是氨氮, 其次

是尿素。前者的排泄水平与鱼体摄入的外源性蛋白质水平密切相关, 而后者是体内组织蛋白和核苷酸及嘌呤代谢的产物, 主要受温度和体重的影响, 受外源性蛋白质摄入水平的影响不大^[21]。排氮率与耗氧率的比值即氮商 (AQ) 反映了蛋白质作为代谢底物供能占总供能的比例。在硬骨鱼类中, 代谢能量全部以蛋白质为底物氧化分解提供时, AQ 值为 0.33^[13]; 若 AQ 值高于 0.33, 可能存在着厌氧代谢; 若低于 0.33, 则有一定比例的脂肪和碳水化合物参与供能。通常代谢消耗的能量主要由蛋白质、脂肪和碳水化合物提供。本研究结果表明, SDA 过程共持续了 23 h 左右, 在此过程中, 由排氮总增量与总耗氧量计算出此过程中 SDA 总耗能 (Protein % SDA_{总耗能}) 的 18.8% \pm 1.2% 由蛋白质提供。而在空腹条件下, 即不在 SDA 效应时, 蛋白质为鱼体总代谢的供能比仅为 6.8% \pm 0.5%, 说明溪红点鲑 SDA 过程所需的能量由蛋白质分解提供的比例较空腹状态下有大幅度的提升。这表明由摄入的蛋白质分解为氨基酸后进一步脱氨基并氧化产生能量是导致饱食后 SDA 总耗能升高的原因之一。

参 考 文 献

- [1] Kelsch S W, Neill W H. Temperature preference versus acclimation in fishes: selection for changing metabolic optima. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1990, **119**: 601 ~ 610.
- [2] 谢小军, 孙儒泳. 鱼类特殊动力的研究进展. *水生生物学报*, 1991, **15**(1): 82 ~ 89.
- [3] Jobling M. Growth. In: Tytler P, Calow P eds. *Fish Energetics: New Perspectives*. London: Croom Helm, 1985, 213 ~ 230.
- [4] Houlihan D F, Waring C P, Mathers E, et al. Protein synthesis and oxygen consumption of the shore crab *Carcinus maenas*. *Physiol Zool*, 1990, **63**: 749 ~ 756.
- [5] David R H, Irving M G. Oxygen consumption and ammonia excretion of the brown tiger prawn *Penaeus esculentus* fed diets of varying protein content. *Journal of Comparative Biochemistry and Physiology*, 1990, **96**(3): 373 ~ 378.
- [6] Munro H, Allison J B. *Mammalian Protein Metabolism*. London: Academic Press, 1964, 195 ~ 208.
- [7] Lauff R F, Wood C M. Effects of training on respiratory gas exchange, nitrogenous waste excretion and fuel usage during

- aerobic swimming in juvenile rainbow trout. *Canada Journal of Fish Aquatic Science*, 1997, **54**:566 ~ 571.
- [8] Alsop D H, Wood C M. The interactive effects of feeding and exercise on oxygen consumption, swimming performance and protein usage in juvenile rainbow trout. *The Journal of Experimental Biology*, 1997, **200**:2 337 ~ 2 346.
- [9] Lam R F, Wood C M. Respiratory gas exchange, nitrogenous waste excretion, and fuel usage during starvation in juvenile rainbow trout. *Journal of Comparative Physiology B*, 1996, **165**:542 ~ 551.
- [10] 孙中武译. 澳大利亚塔斯马尼亚地区大西洋鲑、河鲈、虹鳟和溪红点鲑的线粒体 DNA 核苷酸序列之差异. 水产学杂志, 1994, **7**(1): 73 ~ 78.
- [11] 任维美译. 土耳其研究用溪红点鲑代替虹鳟进行养殖. 水产科技情报, 2003, **30**(1): 46.
- [12] 胡小玲, 吴鹏. 水杨酸-次氯酸盐测定水中氨氮方法的改进. 干旱环境监测, 2005, **19**(3): 184 ~ 185.
- [13] Kuttly M N. Ammonia quotient in Sockeye salmon. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1978, **35**: 1 003 ~ 1 005.
- [14] Jobling M. Bioenergetics: feed intake and energy partitioning. London: Chapman & Hall, 1993, 1 ~ 44.
- [15] Peres H, Olivar-Teles A. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 2002, **205**:287 ~ 299.
- [16] Carter C G, Houlihan D F, Brechin J, et al. The relationships between protein intake and protein accretion, synthesis, and retention efficiency for individual grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes). *Canada Journal of Zoology*, 1993, **71**:392 ~ 400.
- [17] 李治, 谢小军, 曹振东等. 摄食对南方鲂耗氧和氨氮排泄的影响. 水生生物学报, 2005, **5**(3): 247 ~ 253.
- [18] 付世建, 谢小军, 曹振东. 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.
- [19] Jobling M. Towards an explanation of specific dynamic action (SDA). *Fish Biol*, 1983, **23**:549 ~ 555.
- [20] Cho C Y, Slinger S J, Beyley H S. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. *Comp Biochem Physiol B*, 1982, **73**:25 ~ 41.
- [21] Jobling M. Evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1994, **31**: 1 641 ~ 1 647.

白头鸚鵡重现我国

2008年5月13日下午,贵州草海国家级自然保护区工作人员发现草海东侧空中飞行的一群大型涉禽,随即跟到鸟群降落的地方仔细观察,并拍下照片(图1,见封4图片,周秋亮2008年6月2日摄)。

经鉴定,确认这群鸟为白头鸚鵡(*Mycteria leucocephala*),共13只,全部为亚成体。该鸟体形较草海常见的黑颈鸚鵡偏小,颈、脚甚长,头的前半部裸出无羽,呈污橙黄色,额、眼先、颊至嘴基粘褐色;自头的后半部至颈上半部棕褐,向下渐浅转为灰褐色;背浅灰粘褐色,向后转为灰白色;翼表面呈灰褐、灰白和黑色三条宽带;上胸与背同色,下胸褐灰,腹灰白色,尾黑色。嘴形粗大而长,呈浅橙黄色,向前转铅灰色,先端略向下弯曲;脚呈灰粉红色,胫大部裸出。

白头鸚鵡又名彩鸚,主要分布于南亚和东南亚的印度、巴基斯坦、孟加拉国、斯里兰卡、泰国、缅甸、老挝、柬埔寨、越南、马来西亚等国,属典型的东洋界鸟类。20世纪20~30年代在我国曾记录分布于四川东部、云南东南部、长江下游、广东、福建、海南、河北沿海等地区(Rothschild, 1926; La Touche, 1934),但自20世纪50年代以来,就再未有过任何标本采集和野外目击记录,因此曾被认为在我国“估计已绝迹”、“野外绝迹”或“可能已绝迹”(郑作新等, 1997; 郑光美、王岐山, 1998; 中国物种红色名录2003; IUCN Redlist 2008)。我国以往的记录为有繁殖,或是夏候鸟。此次在贵州草海发现的白头鸚鵡亚成体群,于5月中旬迁到,至10月上旬迁离,故应为草海的夏候鸟。其在迁离前虽仍呈亚成体形态,但眼后部裸皮橙黄色更显鲜亮,上体灰褐成分减淡,背部、大覆羽、尾上覆羽白色转著,且尾上覆羽已沾染淡粉红色,下胸至腹部转浅污橙黄色,体色更接近成体(图2,见封4图片,许如鹏2008年7月12日摄)。

李筑眉 余志刚 蒋 鸿 刘 文 李振吉

(贵州省生物研究所 贵阳 550009; 草海国家级自然保护区管理局 威宁 553100)