

草鱼代谢能的研究

周洪琪 潘兆龙 李世钦 覃志彪

(上海水产大学渔业学院, 200090)

摘 要 测定了草鱼(体重 15~20 克)标准代谢的昼夜变化以及食物的特殊动力作用, 据此换算成相应的能值。20℃时的平均标准代谢率为 $114\text{mgO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$, 标准代谢能为 $50.16\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$ 。食物特殊动力作用为 $38.64\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$, 占摄入能的 10.09%。28℃时的标准代谢及食物特殊动力作用均为 20℃时的 1 倍多。

关键词 草鱼, 代谢能, 温度

鱼类的能量代谢是鱼类生理能量学中的一个重要部分, 在鱼类的能量代谢收支模式中鱼类用于代谢的能量约占其摄入能的 44%~69%。代谢能是易受鱼的种类、体重以及环境因子影响的变量, 如 Carter 和 Brafield[1992] 曾研究草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) 分别摄取高蛋白、高脂肪、高碳水化合物饲料时的能量收支和代谢能, Cui 和 Liu[1992]、Fisher 和 Lyakhnoich[1973] 先后报道草鱼分别摄取动、植物饲料时的能量收支和代谢能。鱼类损耗在代谢过程中的能量有标准代谢、食物特殊动力作用以及运动代谢这三部分, Carter 和 Brafield[1992]、Cui 和 Liu[1990]、Fisher 和 Lyakhnoich[1973] 都研究了饲料对总代谢能在能量收支分配的影响, 为了了解草鱼代谢能变化的规律, 本试验以体重 15~20 克的草鱼为试验对象, 研究其标准代谢的昼夜变化、食物特殊动力作用以及温度对代谢的影响, 为建立草鱼的能量收支模式和养殖生产中的水质管理提供资料。

1 材料与方法

1.1 试验鱼的驯养

试验草鱼取自川沙县孙桥养殖场, 选择无伤病、体重 15~20 克的鱼暂养在二个控温、循环水族箱中, 然后分别逐渐调节水温到试验温度(20℃和 28℃), 每天早上投配合饲料(表 1)一次, 日投饵量为鱼体重的 2.25%, 投饵前排污, 每日换水量为箱内水量的 1/3, 驯养二周。

表 1 配合饲料的主要成份

Tab. 1 Main Composition of Formulated Diet (%)

水分	蛋白质	脂肪	糖	燃烧热
3.92	29.78	4.41	38.50	17.61

1.2 代谢的测定和计算

标准代谢的测定: 试验之前鱼禁食 1 天。试验时将 5 或 6 个 1 L 的代谢瓶放在 20℃的恒

温水族箱中, 其中 1 瓶作为空白对照, 其余每瓶放 2 尾鱼, 在代谢瓶内的 2 尾鱼分别置于透明的塑料园筒内以限制其运动, 待其适应 1 小时之后才开始测定。将代谢瓶密闭 5 分钟左右, 用溶氧仪(YSI Model-57 型)测定密闭前后代谢瓶内水样的溶解氧浓度(密闭后代谢瓶内的溶解氧不低于 5mg/L), 计算代谢率, 每隔三小时测定一次, 作昼夜 24 小时测定, 根据 Huisman [1976] 对于生长的鱼所提出的氧热系数 14.85J/mgO₂ 将鱼的耗氧换算成代谢能。

食物特殊动力作用的测定: 试验前 7:30 投饵, 投饵量为鱼体重的 2.25%, 然后用与测定标准代谢相同的方法测定摄食鱼 24 小时的代谢率, 并用相同的方法换算成代谢能, 将鱼摄食后的代谢能减去标准代谢能就是鱼因摄食而使机体产生的额外能量, 即食物特殊动力作用, Kleiber[1967] 称之为热增量。

将 5 或 6 个 1 L 的代谢瓶放在 28℃ 的恒温水族箱中, 用与上述相同的方法测定鱼在 28℃ 时的标准代谢以及食物特殊动力作用。

1.3 摄入能的测定与计算

配合饲料烘干称重, 用自动氧弹热量计(岛津 CA-B 型)测定燃烧热, 然后按下式进行计算: 摄入能 = 摄入饲料干重 × 燃烧热。

2 结果

2.1 标准代谢的昼夜变化

表 2 表明试验草鱼在 20℃ 时的标准代谢的昼夜变化。从表中可以看出草鱼白天的标准代谢比晚上高, 自 12:00 至 15:00 时的标准代谢达到最高水平, 约为 2.50kJ/kg·h, 15:00 以后代谢逐渐降低, 凌晨 5:00~6:00 的代谢为最低水平, 约为 1.74kJ/kg·h。根据标准代谢的昼夜变化计算日均代谢率为 140.39mgO₂/kg·h, 标准代谢能为 50.16kJ/kg·d。

表 2 草鱼在 20℃ 时的代谢

Tab. 2 Energy metabolism of *C. idella* at 20℃

测定时间	标准代谢(体重 18.17±1.67 克)		摄食后的代谢(体重 18.33±1.00 克)	
	代谢率 mgO ₂ /kg·h	代谢能 kJ/kg·h	代谢率 mgO ₂ /kg·h	代谢能 kJ/kg·h
8:30~9:00	129.13±11.30	1.92	218.24±53.07	3.24
12:00~12:30	168.08±31.27	2.50	246.63±55.30	3.66
14:30~15:00	167.84±20.75	2.49	248.53±59.92	3.69
18:30~19:00	140.50±17.83	2.09	295.95±50.32	4.39
22:00~22:30	131.46±26.81	1.95	245.54±25.56	3.65
1:30~2:00	128.62±11.51	1.91	238.39±17.53	3.54
5:00~6:00	117.12±10.66	1.74	220.15±19.76	3.27
日 平 均	140.39±20.03	2.09	248.88±25.62	3.70

2.2 食物特殊动力作用

表 2 还表明不运动的试验鱼摄食以后代谢的变化。由表可知试验鱼的代谢在摄食后 1 小时即有显著的升高, 摄食后 11 小时的代谢达到最高水平, 即达到食物特殊动力作用的峰值, 约

为 $4.39\text{kJ/kg}\cdot\text{h}$, 此时的代谢能为同一时间标准代谢能的 2 倍多, 然后代谢率缓慢降低, 摄食鱼在 24 小时以内的日均代谢率为 $248\text{mgO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$, 热增量为 $38.64\text{kJ/kg}\cdot\text{d}$, 占摄入能的 10.09% 。

2.3 温度对代谢的影响

表 3 表明了试验草鱼在 28°C 时的标准代谢以及摄食后的代谢。将它们与相同时间 (20°C) 的代谢相比较, 可见标准代谢以及摄食后的代谢随着水温的升高而增大, 在 28°C 时的标准代谢以及摄食后的代谢分别为 20°C 时的 1.4 倍和 1.3 倍。

表 3 草鱼在 28°C 时的代谢

Tab. 3 Energy metabolism of *C. idella* at 28°C

测定时间	标准代谢(体重 16.60 ± 1.24 克)		摄食后的代谢(体重 16.95 ± 0.59 克)	
	代谢率 $\text{mgO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$	代谢能 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{h}$	代谢率 $\text{mgO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$	代谢能 $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{h}$
8:30~9:00	197.95 ± 6.14	2.94	291.36 ± 33.42	4.33
14:30~15:00	232.87 ± 21.38	3.46	312.34 ± 38.65	4.64
18:30~19:00	208.08 ± 7.06	3.10	369.01 ± 12.12	5.78

3 讨论

鱼的标准代谢是指鱼在某水温时禁食、安静、不运动时的代谢, 事实上要在鱼安静不运动时测定很困难, 本试验是限制鱼的运动, 并让其适应 1 小时之后再行测定, 所以测得的代谢率是标准代谢率的近似值。

Clausen[1936] 提出鱼类的耗氧具有日周期的变化。本试验中草鱼的标准代谢确实是昼夜变化, 其变化特点与陈宁生和施王泉芳[1955] 对草鱼鱼苗、叶奕佐[1959] 对鳙鱼苗、鱼种以及鲢鱼种的报道相一致, 这是由于这些养殖鱼类的摄食节律也有昼夜的变化, 白天摄食、夜间活动程度减小。此外, Brett 和 Groves[1979] 对红大麻哈鱼、Alexander[1972] 对鲱鱼、Marais[1978] 对黑鲈、Du Preez 等[1986] 对石鲈的研究都观察到鱼类代谢的昼夜变化, 唯它们的特征不同, 这与鱼的种类、生活习性有关, 因此鱼类代谢的昼夜变化是鱼本身内在的生理节律。

根据代谢的昼夜变化, 试验鱼在 20°C 时的日均标准代谢率为 $144\text{mgO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$, 这与 Brett 和 Groves[1979] 报导的 34 种温水性鱼类的标准代谢率范围 ($26\sim 229\text{mgO}_2/\text{kg}\cdot\text{h}$) 相符合。标准代谢能是鱼类维持生命的最低能量消耗, 本试验草鱼的标准代谢能是 $50.16\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$, 根据以往的报导, 鲤、黄颡鱼、金鳅、小副沙鳅的标准代谢能为 $63.4\sim 111.8\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$ [Cui 和 Liu 1990]、湖红点鲑为 $275\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$ [Stewart 等 1983]、三角刺为 $183\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$ [Wootton 1984]、灰西鲱为 $244\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$ [Stewart 和 Binkowski 1986], 标准代谢能的差异主要是由于鱼的种类、大小以及水温不同所致。

食物特殊动力作用在高等脊椎动物中是普遍现象, 然而有关鱼类的研究 1967 年才见报导 [Warren 和 Davies 1967, Kleiber 1967]。本试验草鱼因摄食而使代谢能也有明显增加, 其热增量是以摄食后 24 小时内额外的产热量计算, 事实上草鱼热增量的持续时间超过 24 小时, 因此实际的热增量会大于 $38.64\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{d}$, 热增量占摄入能的比例也会高于 10.09% 。Brett 和 Groves[1979] 提出肉食性鱼类的热增量占 14% , Jobling[1981] 在综述中提出的热增量占 $9\%\sim 20\%$, 因此本实验的结果与它们的报导是相符合的。

鱼类的体温随水温而变动, 鱼体内的代谢是一系列的酶促反应, 水温的变化会影响酶的活

性,因此代谢率会随之而变化,水温是影响鱼类代谢的重要生态因子之一。本试验选择的水温均为草鱼的适宜水温,草鱼的标准代谢以及摄食后的代谢均随着水温的升高而增加。Brett [1976] 对红大麻哈鱼、Soonfiani 和 Hawkins [1982] 对大西洋鳕热增量的研究都有相似的报导,然而 Kleiber [1967] 则提出鲑的热增量不受水温的影响。至于温度对标准代谢的影响, Brett 和 Groves [1979] 对红大麻哈鱼、Beamish [1964] 对鲫、Elliot [1976] 对褐鳟、Eccles [1985] 对南非鲤都有相似的报导。

参 考 文 献

- 叶奕佐. 1959. 鱼苗、鱼种耗氧率、能需量、室息点及呼吸系数的初步报告. 动物学报, 11(2): 117~135.
- 陈宁生, 施琛芳. 1955. 草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率. 动物学报, 7(1): 43~57.
- Alexander R M. 1972. The energetics of vertical migration by fishes. Symp Soc Exp Biol, 26: 273~294.
- Beamish F W H. 1964. Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. II. Influence of weight and temperature on respiration of several species. Can J Zool, 42: 177~188.
- Brett J R. 1976. Feeding metabolic rates of young sockeye *Oncorhynchus nerka*, in relation to ration level and temperature. Fish Mar Serv Res Dev Tech Rep, 675: 439.
- Brett J R, Groves T D D. 1979. Physiological energetics. In: Hoar W S, Randall D J, Brett J R eds. New York: Academic Press, 8: 279~352.
- Carter C G, Brafield . 1992. The bioenergetics of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val.; energy allocation at different planes of nutrition. J Fish Biol, 39: 873~887.
- Clausen R G. 1936. Oxygen Consumption in freshwater fishes. Ecology, 17: 216~226.
- Cui Y, Liu J. 1990. Comparison of energy budget among six teleosts. II. Metabolic rates. Comp Biochem Physiol 97A(2): 169~174.
- Cui Y, Liu J. 1992. Growth and energy budget in young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets. J Fish Biol, 41: 231~238.
- Du P, McLachlan A, McLachlan A et al. 1986. Oxygen consumption of a shallow water teleost, the spotted grunter, *Pomadasys commersoni* (Lacepede, 1802). Comp Biochem Physiol, 84A: 61~70.
- Eccles D H. 1985. The effect of temperature and body mass on routine oxygen consumption in the South African cyprinid fish *Baerbus Aeneus Burchell*. J Fish Biol, 27: 155~165.
- Elliott J M. 1976. The energetic of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to body weight, water temperature and ration size. J Anim Ecol, 45: 923~948.
- Fisher Z, Lyakhnovich V P. 1973. Biology and bioenergetics of grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.). Polskie Archiwum Hydrobiologii, 20: 521~557.
- Huisman E A. 1976. Food conversion efficiencies at maintenance and production levels for carp, *Cyprinus carpio* L. and rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. Aquaculture, 9: 259~273.
- Jobling M. 1981. The influence of feeding on the metabolic rate of fish; a short review. J. Fish Biol. 18: 385~400.
- Kleiber M. 1967. An old professor of animal husbandry ruminates. Annu Rev Physiol, 29: 1~20.
- Marais J F K. 1978. Routine oxygen consumption of *Mugil cephalus*, *Liza dumerili* and *L. richardsoni* at different temperature and salinities. Mar Biol, 50: 9~16.
- Soonfiani N M, Hawkins. 1982. Energetic costs at different levels feeding in juvenile cod, *Gadus morhua* L. J Fish Biol, 21: 577~592.
- Stewart D J, Weininger D, Rottiers D V, et al. 1983. An energetics model for lake trout, *Salvelinus namaycush*; application to the lake Michigan population. Can J Fish Aquat. Sci. 40: 681~698.
- Stewart D J, Binkowski F P. 1986. Dynamics of consumption and food conversion by lake Michigan alewives; an energetic modeling synthesis. Trans Am Fish Soc, 115: 643~661.
- Warren C E, Davies G E. 1967. Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish. In: Gerking S D ed. The biological basis of fresh water fish production. Oxford: Blackwell Sci Publ. 175~214.
- Wootton R J. 1984. A Functional Biology of Sticklebacks. London: Croom Helm.

METABOLIC ENERGY OF *CTENOPHARYNGODON IDELLA*

ZHOU Hong-Qi, PAN Zhao-Long, LI Shi-Qin, QIN Zhi-Biao

(Fisheries College, Shanghai Fisheries University, 200090)

ABSTRACT Diurnal change of standard metabolism and specific dynamic action of *Ctenopharyngodon idella* (body weight in 15—20g) were measured. The mean rate of standard metabolism and metabolic energy were 114mgO₂/kg^oh and 50.16kJ/kg^od at 20^oC respectively. Heat increment was 38.64kJ/kg^od which was 10.09% of intake energy. Energy of standard metabolism and heat increment at 28^oC were 1.4 and 1.3 times as much as those at 20^oC.

KEYWORDS *Ctenopharyngodon idella*, Metabolic energy, Temperature