

不同温度对草鱼 C、N、P 营养要素收支的影响

朱祥宇, 高勤峰*, 董双林

(中国海洋大学水产学院,海水养殖教育部重点实验室,山东 青岛 266003)

摘要: 模拟草鱼养殖周期内的温度波动范围,研究了温度变化对草鱼 C、N、P 营养要素收支的影响。实验采用 4 个温度条件(15、18、24 和 30 °C)培养草鱼,测定了不同温度处理组内草鱼 C、N、P 营养要素的收支情况。结果表明:温度对草鱼 C、N、P 营养要素收支具有显著影响。15 °C 处理组中,草鱼摄食率、排氮率、排磷率和排粪率分别为 3.405 7、7.533 4、0.000 8 和 0.601 3 mg/h,显著低于其他处理组,在 24 °C 处理组中,达到最大值,分别为 10.442 0、18.995 6、0.001 7 和 1.647 0 mg/h。草鱼的耗氧率随温度的升高而增加,耗氧率和温度之间变化规律符合方程 $OR = 0.0059 \times T^{1.2532}$ ($R^2 = 0.84$)。15 °C 处理组中,C、N、P 营养要素的生长余力分别为 1.064 9、0.126 4 和 0.018 8 mg/h,显著低于其他处理组,在 24 °C 处理组中,达到最大值,分别为 3.402 8、0.397 1 和 0.071 8 mg/h。15 °C 处理组中,C、N、P 营养要素的吸收效率分别为 81.38%、83.05% 和 80.30%,显著低于 24 和 30 °C 处理组。

关键词: 草鱼; 温度; 营养要素收支

中图分类号: Q 178.1; S 965

文献标志码: A

鱼类是变温动物,易受外界环境温度的影响。在不同的水温状态下,鱼体的生理机能会发生显著变化,研究水温对鱼类生理代谢的影响具有重要意义。

草鱼是我国主要的淡水鱼类养殖品种之一,在我国水产养殖领域具有不可或缺的地位。关于温度对草鱼呼吸、摄食及排泄等影响的研究,国内外已经取得了一些进展。谭尚尧等^[1]发现随温度的上升,草鱼的呼吸代谢增强,心肌兴奋性增高,温度过高时,反而会导致呼吸活动和心脏功能的紊乱。Wiley 等^[2]和崔奕波等^[3]不仅研究了草鱼的摄食率和生长率与温度的关系,而且测定了草鱼的食物能和代谢耗能,从能量收支方面说明了温度对草鱼呼吸排泄等代谢活动的影响。除了研究鱼体能量收支过程外,研究鱼体内碳水化合物、蛋白质和脂肪等有机化学物质的吸收消耗情况,可以更加详细地探讨草鱼从摄食到排泄的整个生理过程。C、N、P 是构成这些有机化学物质

的主要成分,为生物体重要的营养要素。因此,研究 C、N、P 等营养要素的收支过程,可以为草鱼的生长和代谢等生理过程的研究提供理论依据。目前,有关不同温度对草鱼 C、N、P 营养要素收支的影响未有研究报道。本研究测定了 4 个不同温度处理组中,草鱼对 C、N、P 营养要素收支利用情况,旨在阐明不同温度条件下,其呼吸和排泄等代谢过程及摄食过程中对营养要素的需求变化和利用情况。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验于 2012 年 8 月在山东省青岛市鳌山卫镇国家海洋科学研究中心进行。实验为一龄草鱼苗,购买于山东省济宁市鱼台县池塘养殖基地,均为体色正常、健康活泼个体。

草鱼苗运回后,先暂养于直径 1 m,高度 0.8 m 的大型圆缸内。暂养期间温度控制在

收稿日期:2013-04-03 修回日期:2013-04-19

资助项目:国家“九七三”重点基础研究发展计划项目(2009CB118706);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0466)

通信作者:高勤峰,E-mail:qfgao@ouc.edu.cn

(22 ± 0.5) °C, 光照周期为 12 L: 12 D, 溶解氧大于 5 mg/L。每天早 6:30、晚 17:30 投喂草鱼苗饲料, 及时吸底。每 2 天彻底换水一次。暂养 5 周后开始实验温度驯化。

实验温度驯化方式如下: 从暂养温度 22 °C 开始, 以 1.0 °C/d 的速度向高温、低温同时进行温度调节, 直至实验设定的温度。实验在自动控温的循环水族箱 (55 cm × 35 cm × 30 cm) 系统内进行, 低温采用制冷水泵处理, 高温采用加热棒加热, 温度感应探头自动调控加热棒开启和关闭。草鱼在实验温度下培养 7 d 后, 开始进行耗氧率和排泄率的测定。

1.2 实验设计

实验设 4 个温度水平, 分别为 15、18、24 和 30 °C, 实验草鱼的规格为 (10.00 ± 0.15) g, 差异为不显著 ($P > 0.05$), 每个温度水平下设 5 个重复, 每个重复 3 条草鱼。草鱼体内 C、N、P 营养要素的收支过程: 通过摄食获得 C、N、P 营养要素, 除鱼体自身利用外, 通过呼吸、排粪和排泄途径, 支出 C、N、P 营养要素。

1.3 样品的收集和测定

实验收集各温度处理组内草鱼 24 h 内的残饵和粪便, 65 °C 烘干保存。耗氧率和排泄率的测定: 挑选健康、活泼个体, 所用容器为 3.5 L 水族箱, 每个水族箱放置 1 条草鱼, 置于恒温水槽中, 小心地移动草鱼。为防止草鱼移动过程中呼吸变化较大, 经预实验确定, 草鱼每天上午 8:00 ~ 10:00 的呼吸和代谢最接近于一天的平均值, 故于上午 8:00 前取空白对照瓶和放鱼瓶的水样, 8:00 将鱼放入放鱼瓶, 10:00 时再取水样, 测出水样中溶氧量、氨氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 含量和活性磷 ($\text{PO}_4^- - \text{P}$) 含量变化, 得出草鱼的耗氧率、排氨率和排磷率。具体计算公式如下:

(1) 耗氧率 (OR) 的测定采用碘量法^[4], 根据实验前后溶解氧浓度的变化计算草鱼的耗氧率 (mg/h):

$$OR = [(DO_t - DO_0) \times V] / t \quad (1)$$

式中, DO_t 和 DO_0 分别为有鱼代谢瓶内水样和空白对照代谢瓶内水样中 DO 变化量 (mg/L), V 为实验容器的体积 (L), t 为实验持续时间 (h)。

(2) 氨氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 排泄率和活性磷 ($\text{PO}_4^- - \text{P}$) 排泄率的测定分别采用纳氏试剂法和磷钼蓝法^[4], 根据实验前后氨氮/活性磷浓度变化计算

草鱼的排氨率 AER (ammonium excretion rate, mg/h) 和排磷率 PER (phosphorus excretion rate, mg/h):

$$NR = [(N_t - N_0) \times V] / t \quad (2)$$

式中, N_t 和 N_0 分别为有鱼代谢瓶内水样和空白对照代谢瓶内水中氨氮浓度/活性磷浓度 (mg/L) 变化量, V 为实验容器的体积 (L), t 为实验持续时间 (h)。

(3) 草鱼对 C、N、P 营养要素的生长余力 SFG (scope for growth, mg/h) 为其摄入率和排出率之差, 参考 Gao 等^[5] 和孙侦龙^[6] 的方法:

$$SFG = FIR \times \alpha\% - FPR \times \beta\% - R' \quad (3)$$

草鱼对 C、N、P 营养要素的吸收效率 AE (absorption efficiency, %):

$$AE(\%) = 100 \times SFG / (FIR \times \alpha\%) \quad (4)$$

式中, FIR 为草鱼的摄食率 (feed intake rate, mg/h), 由单位时间内投入饲料干重与残饵干重之差所得, $\alpha\%$ 为饲料中有机 C、N、P 营养要素所占百分比, FPR 为草鱼的排粪率 (fecal production rate, mg/h), $\beta\%$ 为粪便中有机 C、N、P 营养要素所占百分比, R' 为 C、N、P 的排泄率。

其中, 耗氧率用基于 0.85 的平均呼吸系数转化为碳排泄, 即 1 mg $\text{O}_2 \equiv 0.32 \text{ mg C}^{[7]}$ 。草鱼主要通过呼吸活动排出 C, 通过排泄活动排出 N 和 P^[6]。

1.4 有机碳 (TOC)、有机氮 (TON) 和有机磷 (TOP) 的测定

收集的饲料、残饵及粪便, 经过烘干、粉碎、过筛和无机物消耗处理后, 包于规定的锡纸内, 利用 CHNS/O 元素分析仪 (型号 Vario EL III, 德国) 测定 TOC 和 TON。利用湿法消解法测定 TOP^[5]。

1.5 数据分析

所得数据均用 SPSS 17.0 统计分析, 以单因子方差分析 (One-Way ANOVA) 各温度处理组之间的差异显著性, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平, $P < 0.01$ 作为差异极显著水平。

2 结果

2.1 不同温度处理组草鱼的摄食率和排粪率

草鱼的摄食率 (图 1-a) 和排粪率 (图 1-b) 在不同温度条件下差异显著 ($P < 0.05$), 在 24 °C 时草鱼摄食率和排粪率最高, 15 °C 时摄食率和排粪

率最低。在一定温度范围内,随温度的上升,草鱼的摄食率和排粪率增加,温度过高,草鱼的摄食率

和排粪率反而下降。

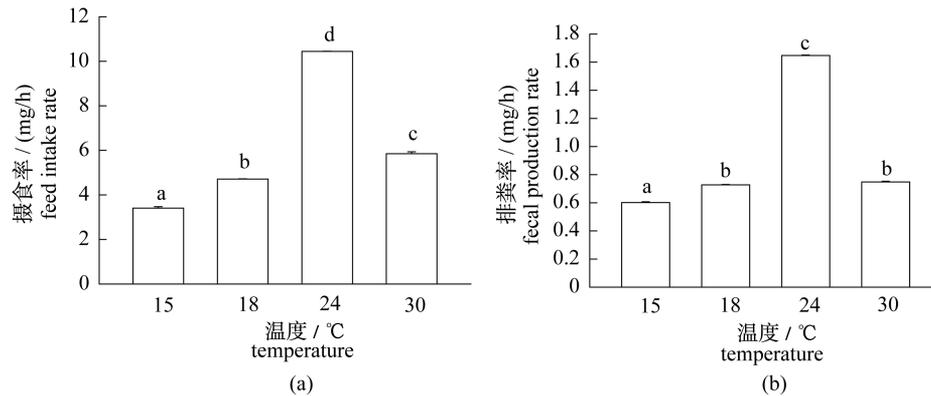


图 1 温度对草鱼摄食率 (a) 和排粪率 (b) 的影响

不同字母表示处理组间差异显著 ($P < 0.05$)

Fig. 1 Impact of temperature on the feed intake rate and fecal production rate of grass carp

Different letters in the same column mean significant difference at 0.05 levels among treatments

2.2 不同温度处理组草鱼的耗氧率和排泄率

在 4 个温度处理组内,草鱼的耗氧率随温度的升高而显著增加,而且温度和耗氧率之间变化规律符合方程: $OR = 0.0059 \times T^{1.2532}$ ($R^2 = 0.84$)。

草鱼的排氨率和排磷率在不同温度下,差异显著 ($P < 0.05$),并且在 24 °C 时达到最大值,分别为 18.995 6 和 0.001 7 mg/h,15 °C 时排泄率达到最小值,排氨率和排磷率分别为 7.533 4 和 0.000 8 mg/h。

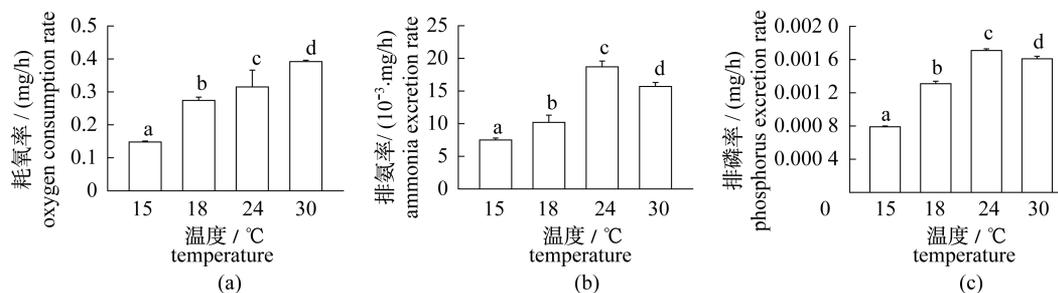


图 2 温度对草鱼耗氧率 (a),排氨率 (b) 和排磷率 (c) 的影响

Fig. 2 Impact of temperature on the rate of oxygen consumption, ammonia excretion rate (b) and phosphorus excretion rate (c) of grass carp

2.3 不同温度处理组草鱼对 C、N、P 营养要素的摄入量、生长余力和吸收效率

不同温度处理组中,投喂草鱼饵料一致,因此草鱼对 C、N、P 营养要素的摄入量与草鱼的摄食率是一致的。

从图 3 可知,不同温度下,草鱼对 C、N、P 营养要素的生长余力 (SFG) 差异显著 ($P < 0.05$),并且在 24 °C 时,达到最大值,分别为 1.064 9、0.126 4 和 0.018 8 mg/h。

从图 4 可知,不同温度处理组中,草鱼在 15 °C

条件下对 C 营养要素的吸收效率显著低于 24 和 30 °C 处理组 ($P < 0.05$),15 和 18 °C 处理组之间无显著差异 ($P > 0.05$),24 和 30 °C 处理组之间也无显著差异 ($P > 0.05$);15 °C 处理组中,草鱼对 N 营养要素的吸收效率显著低于其他 3 个处理组 ($P < 0.05$),18、24 和 30 °C 处理组之间差异不显著 ($P > 0.05$);15 °C 处理组中,草鱼对 P 营养要素的吸收效率显著低于 24 和 30 °C 处理组 ($P < 0.05$),15 和 18 °C 处理组无显著差异 ($P > 0.05$),18、24 和 30 °C 处理组之间差异也不显著 ($P > 0.05$)。

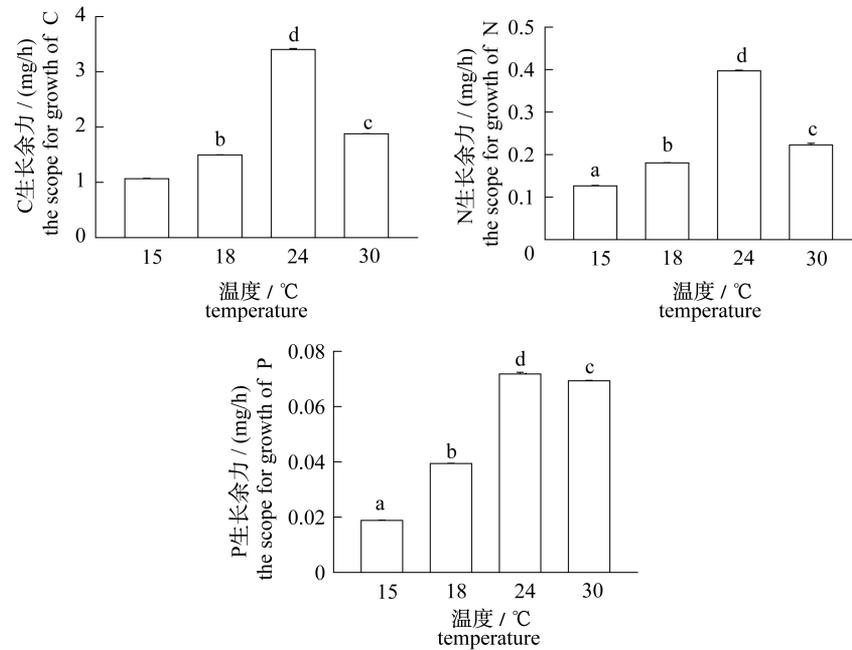


图3 不同温度条件下草鱼对 C、N、P 营养要素的生长余力

Fig. 3 The scope for growth of C, N and P of grass carp under different temperature conditions

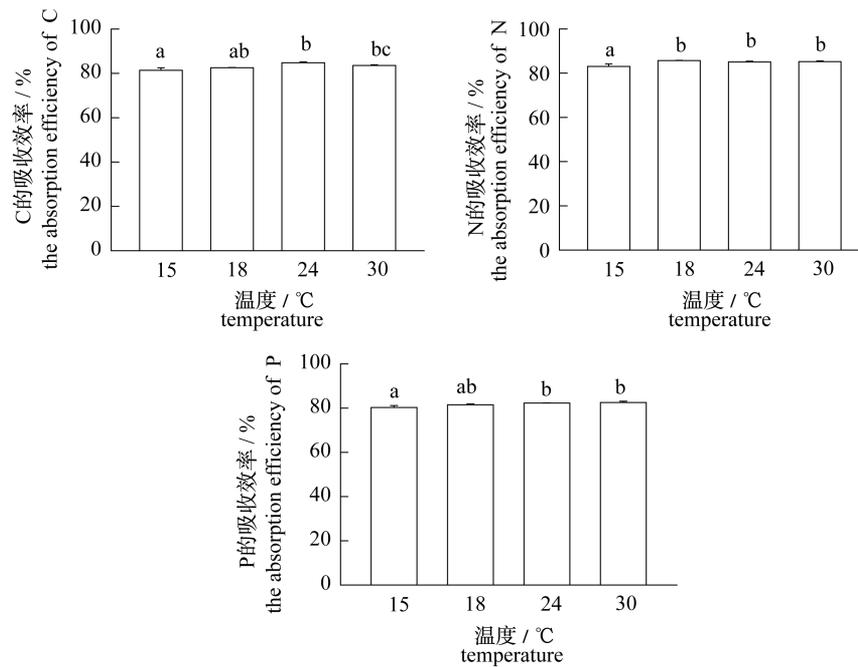


图4 不同温度条件下草鱼对 C、N、P 营养要素的吸收效率

Fig. 4 The absorption efficiency of C, N and P of grass carp under different temperature conditions

3 讨论

水温与鱼类耗氧率之间具有密切联系,在一定温度范围内,水温的高低和鱼类耗氧率的多少,呈一定的相关性^[8],江丽华等^[9]和闫茂仓等^[10]研究了美国红鱼和鲢鱼幼鱼的耗氧率与温度的关

系,结果表现为明显的指数相关性。宋苏祥等^[11]和张兆琪等^[12]认为,随水温的升高,鱼类维持生命的脑、心、肝等重要组织器官的活性增强,鱼类的生理代谢水平增大,外在表现即为耗氧率的增加。本研究中,随温度的升高,草鱼的耗氧率明显增加,表明在一定范围内,随温度的升高,草鱼的

代谢能力增强。廖朝兴等^[13]也研究了不同水温下草鱼的耗氧率情况,结果表明一龄小草鱼在水温 28 ℃ 时,耗氧率达到最高。本实验中草鱼在 30 ℃ 时,耗氧率为 4 个处理组的最高值,而且温度与耗氧率呈现指数方程,说明 30 ℃ 仍处于草鱼的适温呼吸范围。

Cui 等^[14-15]和 Elliot^[16]对真鲢、褐鲟等鱼类进行了研究,发现温度对鱼类的排泄具有显著影响。周洪琪等^[17]对于温度对草鱼氮排泄的影响也进行了研究,对比了 20 和 28 ℃ 草鱼的排泄率,得出随温度升高草鱼排泄增加的结论。本实验研究结果显示,在不同温度下,草鱼排泄率显著不同 ($P < 0.05$),而且随温度的升高,呈现了先升高后降低的趋势,表明草鱼的最高排泄率出现在 24 ~ 30 ℃。另外,本研究中氮排泄率结果可能会偏低,因为草鱼排泄氮除了以氨的形式排出外,还有尿素成分^[17]。本研究中仅测定了氨的排泄量。鱼为变温动物,水温的改变会直接影响到鱼体代谢酶的活性,酶活性的改变进一步影响鱼体组织的代谢速率,从而实现温度对鱼体排泄率的影响。在一定适宜温度范围内,酶的活性会随着水温的升高而增强,随着鱼体代谢增强,代谢产物也会增多,但当温度过高时,酶会失去部分活性,鱼体组织代谢减弱,排泄亦会减少^[18]。

草鱼对 C、N、P 盐的生长余力和摄食率随温度的上升呈先增加后减少的变化,说明相较于其它实验温度,24 ℃ 时,草鱼能更好的生长。随温度的变化,草鱼对 C、N、P 营养要素的吸收效率也不同。N 营养要素的吸收效率除 15 ℃ 外,其他均差异不显著,表明在鱼类的摄食率随温度上升而增加,排粪率和排泄率也随之增加的情况下,鱼类对 N 营养要素的吸收利用情况相差不大。P 营养要素的吸收效率随温度的变化与 N 营养要素相似。雷慧僧^[19]探寻了温度对鱼类饵料利用率的影响,发现在适宜温度范围内,当温度升高时,因消化酶活性和消化速度的增大,饵料的消化率会明显增大。消化的饵料可能会随着代谢作用的增强而被消耗,因此饵料的吸收效率并不会随温度的升高而增加。C 营养要素的吸收效率随温度的升高呈上升趋势,表明草鱼在高温下增加的摄食量并未完全被高温下草鱼增加的呼吸耗氧消耗掉。

综上所述,在不同的温度下,草鱼会通过摄

食、吸收和排泄等各种生理过程调节本身对 C、N、P 营养要素的收支情况。对于一龄草鱼苗,低温更能影响其对 C、N、P 营养要素的吸收利用。

参考文献:

- [1] 谭尚尧,黄溢明. 温度对草鱼呼吸运动和心脏活动的影响[J]. 仲恺农业技术学院学报,1988,1(1): 44-50.
- [2] Wiley M J, Wike L D. Energy balances of diploid, triploid and hybrid grass carp[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1986, 115(6): 853-863.
- [3] 崔奕波,陈少莲,王少梅. 温度对草鱼能量收支的影响[J]. 海洋与湖沼,1995,26(2):169-174.
- [4] 雷衍之. 养殖水环境化学实验[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [5] Gao Q F, Xu W Z, Liu X S, et al. Seasonal changes in C, N and P budgets of green-lipped mussels *Perna viridis* and removal of nutrients from fish farming in Hong Kong [J]. Marine Ecology Progress Series, 2008, 353(1): 137-146.
- [6] 孙侦龙. 刺参养殖主要营养要素代谢过程的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [7] Smaal A C, Vonck A P M A. Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis* [J]. Marine Ecology Progress Series, 1997, 153(7): 167-179.
- [8] 朱爱意,赵向炯,付俊. 褐菖鲉耗氧率及窒息点的初步研究[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(1): 95-100.
- [9] 江丽华,朱爱意. 温度和盐度对美国红鱼耗氧率和排氮率的影响[J]. 水产养殖, 2009, 30(10): 27-30.
- [10] 闫茂仓,单乐州,邵鑫斌,等. 温度及体重对鳊鱼幼鱼耗氧率和排氮率的影响[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(1): 45-48.
- [11] 宋苏祥,刘洪柏,孙大江,等. 史氏鲟稚鱼的耗氧率和窒息点[J]. 中国水产科学, 1997, 4(5): 100-103.
- [12] 张兆琪,张美昭,李吉清,等. 牙鲆鱼耗氧率,氮排泄率与体重及温度的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(4): 483-489.
- [13] 廖朝兴,黄忠志. 草鱼在不同的状况下耗氧率的测定[J]. 淡水渔业, 1986(3): 14-16.
- [14] Cui Y, Wootton R J. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus* (L.): the effect of ration, temperature and body size on food

- consumption, fecal production and nitrogenous excretion[J]. *Journal of Fish Biology*, 1988, 33(9): 431 - 443.
- [15] Cui Y, Liu X, Wang S. Growth and energy budget of young grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* Val., fed plant and animal diets [J]. *Journal of Fish Biology*, 1992, 41(2): 231 - 238.
- [16] Elliot J M. Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L.) [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1976, 45(2): 561 - 580.
- [17] 周洪琪, 潘兆龙, 李世钦, 等. 摄食和温度对草鱼氮排泄影响的初步研究[J]. *上海水产大学学报*, 1999, 8(4): 293 - 297.
- [18] 王瑁, 邱书院. 花尾胡椒鲷幼鱼内、外源性氮和总氮排泄率的研究[J]. *热带海洋学报*, 2001, 20(3): 87 - 92.
- [19] 雷慧僧. 池塘养鱼学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1981.

Effects of temperature on the C, N, P nutrient budgets of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*)

ZHU Xiangyu, GAO Qinfeng*, DONG Shuanglin

(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The present experiment simulated the temperature fluctuation during the culture period of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) to examine the effects of the changes in temperature on the budgets of C, N and P nutrients. Grass carp were cultured at temperatures of 15, 18, 24 and 30 °C and the processes of C, N and P budgets were examined. The results showed that C, N, P nutrient budgets of grass carp were significantly different between the 4 temperature groups ($P < 0.05$). The feed uptake rate, nitrogen excretion rate, phosphorus excretion rate and fecal production rate of grass carp were 3.405 7, 7.533 4, 0.000 8 and 0.601 3 mg/h at 15 °C, respectively, which were significantly lower than other groups ($P < 0.05$), and reached the maximum values at 24 °C, which were 10.442 0, 18.995 6, 0.001 7 and 1.647 0 mg/h, respectively. The oxygen consumption rate (OR) increased with increasing temperatures (T) following the formula $OR = 0.0059 \times T^{1.2532}$ ($R^2 = 0.84$). The scope for growth (SFG) of C, N and P of grass carp were 1.064 9, 0.126 4 and 0.018 8 mg/h at 15 °C, respectively, which were significantly lower than other groups ($P < 0.05$), and reached the maximum values at 24 °C, which were 3.402 8, 0.397 1 and 0.071 8 mg/h, respectively. The absorption efficiencies of C, N and P of grass carp were 81.38%, 83.05% and 80.30% at 15 °C, respectively, which were significantly lower than the 24 °C and 30 °C groups ($P < 0.05$).

Key words: *Ctenopharyngodon idellus*; temperature; nutrient budgets

Corresponding author: GAO Qinfeng. E-mail: qfgao@ouc.edu.cn