

文章编号: 1674 - 5566(2010)06 - 0763 - 05

温度对吉富罗非鱼呼吸的影响

李利¹, 江敏^{1,2}, 马允³, 李晓琴³

(1. 上海海洋大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放试验室, 上海 201306;

2. 水域环境生态上海高校工程研究中心, 上海 201306

3. 新疆奔腾生物技术有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830016)

摘要: 在 10 - 30 °C 条件下, 测定呼吸室内吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*, GIFT) 呼吸频率、水体溶解氧、pH、游离二氧化碳以及氨氮的变化。结果表明, 吉富罗非鱼耗氧率 (Y_{cr}) 和排氨率 (R_{an}) 随着温度 (t) 的升高而增大, 线性回归方程分别为 $Y_{cr} = 0.0038t^2 - 0.0023t + 0.0312$ ($R^2 = 0.9549$), 及 $R_{an} = 0.0009t^2 - 0.0027t + 0.0037$ ($R^2 = 0.9475$); 氨氮 (Q_a) 为 0.065 - 0.099 (<0.33), 蛋白质供能比为 5% ~ 30%, 表明吉富罗非鱼主要由脂肪和碳水化合物供能。当温度在 15 ~ 30 °C 时, 随着温度的降低, 二氧化碳排放率从 0.0684 mg/(g·h) 下降至 0.0114 mg/(g·h)。出水 pH 明显低于进水 pH, 且进出水口 pH 的降低幅度随温度升高而增大。试验期间, 10 ~ 30 °C 的呼吸商 (Q_p) 为 0.55 ± 0.10 (<1), 吉富罗非鱼主要进行有氧呼吸。

关键词: 吉富罗非鱼; 温度; 呼吸; 溶解氧; 耗氧率; 排氨率

中图分类号: S 912 文献标识码: A

Effects of temperature on the respiration of GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

LI Li¹, JIANG Min^{1,2}, MA Yun³, LI Xiao-qin³

(1. Key Laboratory of Aquatic Resources and Aquacultural Ecology Certificated

by the Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Research and Engineering Center on Aquatic Environment Ecosystem, Shanghai 201306, China;

3. Xinjiang Benteng Biotechnology Co. Ltd, Urumuqi 830016, China)

Abstract: Experiments were conducted and the respiratory rate of the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), DO, pH, carbon dioxide and ammonia in water were analyzed to evaluate the effects of temperature from 10 - 30 °C on the respiration of experimental fish. The results indicated that the oxygen consumption rate (Y_{cr}) and the ammonia excretion rate (R_{an}) of GIFT increased with water temperature (t), and the regression equations were $Y_{cr} = 0.0038t^2 - 0.0023t + 0.0312$ ($R^2 = 0.9549$) and $R_{an} = 0.0009t^2 - 0.0027t + 0.0037$ ($R^2 = 0.9475$) respectively; The ammonia quotient (Q_a) was 0.065 - 0.099 (<0.33), and the proportion of protein as energy supply was 5% - 30%, which indicated that the energy consumption of GIFT was mainly offered by fat and carbohydrate. The carbon dioxide excretion rate declined from 0.0684 to 0.0114 mg/(g·h) with the temperature decreasing from 30 °C to 15 °C. pH in effluent was lower

收稿日期: 2010-03-16

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD30B07); 上海市教委重点学科建设项目(J50701)

作者简介: 李利(1985-), 女, 硕士研究生, 专业方向为渔业环境及调控。E-mail: lili0315115@126.com

通讯作者: 江敏, E-mail: mjiang@shou.edu.cn

significantly than that in influent while the reduction increased with the rising of the temperature. The respiratory quotient (Q_r) of GIFT was 0.55 ± 0.10 (< 1), which indicated that aerobic respiration was the main respiration style of GIFT.

Key words: GIFT; temperature; respiration; DO; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate

罗非鱼 (*Oreochromis spp.*) 是原产于热带、亚热带的暖水性鱼类,是联合国粮农组织向世界各国推荐养殖的鱼类之一^[1]。具有生长快、食性杂、商品鱼形象好等特点,适宜在各种水体、采取多种方式养殖。近年来,全世界对其消费需求逐年上升。

呼吸代谢的变化是鱼体对环境应激所产生的最有代表性的变化之一;耗氧率、排氨率、二氧化碳排放率则是鱼体内代谢活动的重要标志。本试验主要研究吉富罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*, GIFT) 在不同温度下,其耗氧率、呼吸频率、排氨率、二氧化碳排放率等呼吸代谢指标以及水体 pH 等变化,以期为吉富罗非鱼的养殖和保活运输提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验用吉富罗非鱼购自上海青浦养殖场,个体健康,体长 22.98 ± 0.75 cm/尾,体重 425.6 ± 43.3 g/尾。试验前于水深 40 cm 的水池 (250 cm \times 150 cm \times 60 cm) 内暂养 7 日以上,水温为 25 ± 1 $^{\circ}\text{C}$,溶解氧保持在 6.0 mg/L 以上;暂养期间,每天定时投喂饵料两次,正式试验前禁食 24 h。

1.2 方 法

正式试验设 10、15、20、25、30 $^{\circ}\text{C}$ 5 个温度组,每个温度设两个平行组。试验前采用 SL-020R 冷暖机,按 3 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降(升)温梯度将各组罗非鱼试验水体温度调节至设定值。试验于有机玻璃呼吸室 (45 cm \times 25 cm \times 25 cm) 内进行。试验鱼水比为 1:5.2,经驯化至设定温度养殖的吉富罗非鱼置于呼吸室适应 1 h 后开始试验,每隔 2 h 测定水中溶解氧 (DO)、氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、pH、游离二氧化碳 (CO_2) 及罗非鱼的呼吸频率至 24 h 后结束。

呼吸室仿黄良敏等^[2]的设计(图 1),DO 和 pH 分别使用 YSI 溶氧仪 (ProDO) 和酸度计 (pH330i) 测定,氨氮测定采用纳氏试剂比色法 (GB/T 7479 - 1987),游离二氧化碳采用碱滴定

法 (SL 80 - 1994)。呼吸频率为罗非鱼每分钟鳃盖张开的次数。

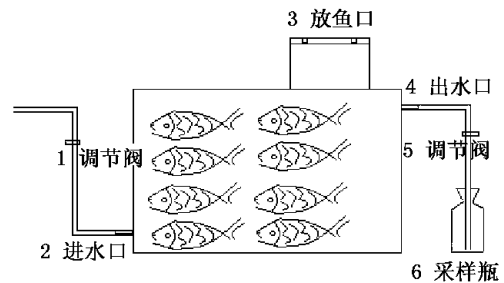


图 1 实验装置

Fig. 1 The diagram of experimental facility

1.3 数 据 处 理

排氨率 R_{an} (mg/g \cdot h) = $(N_t - N_0) \times V / (W \times t)$ ^[3]

耗氧率 Y_{cr} (mg/g \cdot h) = $(DO_0 - DO_t) \times V / (W \times t)$

氨熵 $Q_a = R_{an} / Y_{cr}$

二氧化碳排放率 R_{cd} (mg/g \cdot h) = $(C_t - C_0) \times V / (W \times t)$

呼吸商 $Q_r = R_{cd} / Y_{cr}$

式中: N_0 和 N_t 、 DO_0 和 DO_t 以及 C_0 和 C_t 分别表示呼吸室进水口和出水口氨氮质量浓度 (mg/L)、溶解氧 (mg/L) 和游离二氧化碳浓度 (mg/L); V 表示 t 时间内的流量 (L), W 为鱼体重 (g); t 表示每次采样间隔时间 (h)。

2 结 果 与 讨 论

2.1 温度对吉富罗非鱼呼吸耗氧的影响

2.1.1 不同温度下进出水口溶解氧的变化

表 1 为不同温度下 24 h 试验周期中呼吸室进出水中 DO 的含量变化,在 10 ~ 30 $^{\circ}\text{C}$,进出水口的 DO 值总体随着温度的上升而下降。24 h 试验周期中充分曝气的 5 个温度组进水口 DO 饱和度在 95% ~ 100% 之间;随着温度的升高,出水口 DO 饱和度逐渐降低,依次为 $71\% \pm 17\%$ 、 $69\% \pm 4\%$ 、 $56\% \pm 8\%$ 、 $26\% \pm 14\%$ 、 $24\% \pm 6\%$ 。

表 1 不同温度下进出水口溶解氧的变化

Tab.1 Changes of DO of the in-flow and the out-flow under different temperatures

温度 (°C)	进水溶解氧 (mg/L)	出水溶解氧(mg/L)													
		18:30	20:30	22:30	0:30	2:30	4:30	6:30	8:30	10:30	12:30	14:30	16:30	18:30	
10	10.88	3.99	5.16	8.40	9.08	9.32	9.26	9.55	9.70	9.63	9.93	10.11	7.87	8.81	
15	10.10	7.23	7.78	7.40	7.18	6.97	6.88	7.31	6.66	6.35	6.64	6.87	6.60	6.99	
20	9.00	5.35	5.32	5.83	5.03	5.34	6.22	5.65	4.77	5.26	5.07	4.06	3.50	4.54	
25	8.20	1.31	0.99	0.95	1.05	1.62	3.38	3.00	2.26	3.16	3.17	4.54	1.28	1.10	
30	7.20	2.20	1.41	1.31	2.01	2.19	2.42	2.24	1.82	2.06	1.63	1.71	1.38	1.01	

2.1.2 温度对吉富罗非鱼呼吸频率的影响

呼吸瓣的工作效率是稳定不变的,呼吸频率决定通过呼吸器官的水流量,也即决定了通过呼吸器官的氧气量,所以呼吸频率既反映水体的溶解氧量,也反映鱼体的耗氧量。在含氧量基本稳定的水体中,呼吸频率是由耗氧量决定的。如图 2 所示,5 个温度组试验鱼的呼吸频率分别为(21±2)次/min、(29±1)次/min、(52±2)次/min、(72±5)次/min 和(83±13)次/min,即随着温度的升高,呼吸频率呈上升趋势,这是鱼体代谢率增加所致。温度不仅直接影响鱼类的新陈代谢强度(量),而且对代谢质的方面也有极大的影响。水温升高,鱼体新陈代谢旺盛,体内氧化过程增强,气体交换频繁,代谢速率增加。因此水体温度升高时,鱼体反射性地增加呼吸频率摄取足够的氧是调节机体维持较高代谢速率的有效途径。试验发现,温度不仅影响了罗非鱼的呼吸频率,而且影响到呼吸频率的稳定性:25℃和30℃两个温度组中呼吸频率的变化起伏较大,而其他3个温度组比较平稳。

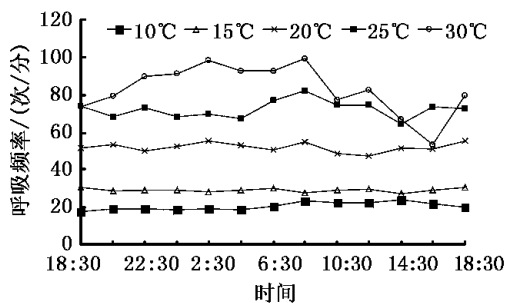


图 2 不同温度下吉富罗非鱼呼吸频率的变化

Fig.2 Changes of respiratory rate of GIFT under different temperature

2.1.3 温度对吉富罗非鱼耗氧率的影响

鱼的体温随外界水温而变化,体温直接影响体内生物化学的反应速度和生理活动强度。耗氧率恰好可以反映这些指标。从10~30℃,吉

富罗非鱼耗氧率依次为 0.0372 ± 0.0515 、 0.0304 ± 0.0040 、 0.0648 ± 0.0116 、 0.0844 ± 0.0133 和 0.1113 ± 0.0279 mg/(g·h)。温度与耗氧率的线性回归方程为 $Y_{cr} = 0.0038t^2 - 0.0023t + 0.0312$ ($R^2 = 0.9549$)。

如图 3 所示,试验期间罗非鱼的耗氧率变化呈现四种情况:(1)16 h 之前,随着温度的升高,耗氧率总体呈现上升趋势。这是由于温度上升,鱼体新陈代谢增强,从而导致需氧量增大,这与陈宁生等^[4]、Paul Miklos 等^[5]的研究结论一致。(2)30℃组罗非鱼的耗氧率为(0.1113±0.0279) mg/(g·h),起伏相对较大,尤其后期增幅较大。这是由于其进水口溶解氧饱和度达到95%,但是出水口溶氧饱和度只有24%,溶解氧低于2 mg/L,为(1.80±0.43) mg/L;相比于低温,30℃组吉富罗非鱼代谢强度大,耗氧率增大,这样就需要消耗更多的动能来获取更多的溶解氧,因此后期耗氧率逐渐增大,处于窒息前期状态;24 h 试验结束时,两个平行组分别有2条和3条吉富罗非鱼死亡,这是因为在溶氧很低的情况下,尽管增加呼吸频率,鱼体能得到的氧仍然不足以弥补氧气消耗量,导致鱼体窒息甚至死亡。(3)10℃温度组吉富罗非鱼耗氧率为 0.0372 ± 0.0515 ,起伏最大,尤其是16 h 后,10℃组耗氧速率急剧上升,可能是前期鱼在低温时通过神经、内分泌调节了更多的代谢底物和酶,以抵抗低温造成的不利影响,但同时导致能量消耗增大,与彭姜岚等关于急性低温胁迫对瓦氏黄颡鱼耗氧率和呼吸频率的影响结论一致^[6];从第14 h 开始出现死亡,至24 h 试验结束时,两个平行组都只有一条鱼存活,说明10℃已超过其低温耐受限,符合李晨虹关于吉富罗非鱼致死低温为8.4~11℃的结论^[7]。冯祖强等^[8]、林浩然^[9]也认为超出适温范围,鱼不但不能调节其代谢水平反而导致代谢的紊乱,直至死亡。(4)5个温度组

的耗氧率(表2)都有一定波动,白天耗氧率大于夜晚,显示出一定的昼夜变化特征,这也导致白天出水口处溶解氧总体上略低于晚上测得的溶解氧值(表1)。

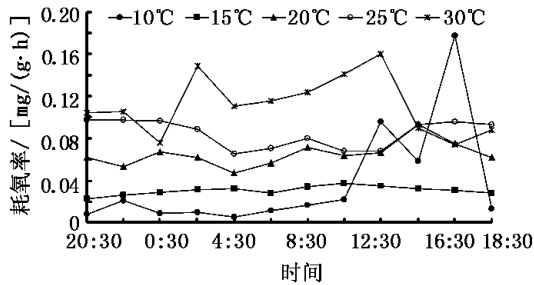


图3 不同温度下吉富罗非鱼耗氧率的变化

Fig. 3 Changes of oxygen consumption rate of GIFT under different temperatures

表2 温度对吉富罗非鱼昼夜耗氧率的影响

Tab. 2 Effects of temperature on diel profile of oxygen consumption rate of GIFT

温度(°C)	夜间 18:30 - 4:30	白天 6:30 - 16:30
10	0.010 6	0.063 8
15	0.028 0	0.032 8
20	0.057 9	0.071 7
25	0.085 9	0.082 9
30	0.110 0	0.112 6

2.2 温度对吉富罗非鱼排氨率和氨熵(Q_a)的影响

呼吸运动是机体生理状况和能量代谢的综合

反应。温度作为影响鱼类生理活动的重要生态因子之一,通过影响代谢率进而影响耗氧率和排氨率,并且无论是摄食还是禁食状态的鱼类排氨率都随温度升高而增大^[10-11]。试验中,温度与排氨率的线性回归方程为 $R_{an} = 0.000 9 t^2 - 0.002 7 t + 0.003 7$ ($R^2 = 0.947 5$)。如表3所示,15~30°C时排氨率随温度的升高而增大;10°C与15°C相比则有所升高,这可能是由于随着温度的降低,呼吸频率和呼吸强度随之减小变弱,最后出现衰竭,致使能量物质的供应失去调控,形成低温昏迷状态,降温到10°C后,已超过其低温忍受限,最终导致吉富罗非鱼代谢紊乱至死。

脂肪、蛋白质和碳水化合物是鱼体的三大供能物质,在不同条件下,三者供能的比例会有所变化。一般用氨熵(Q_a)反映不同条件下利用不同代谢底物的比例。通常蛋白质完全氧化分解为 CO_2 、 H_2O 时, NH_3 的 Q_a 值为0.33。若 Q_a 值高于0.33,有可能发生了厌氧呼吸;低于0.33,则有其它呼吸底物的参与。如表3,在15~30°C条件下,随着温度的升高,其 Q_a 逐渐增大;相比于15°C,10°C温度组 Q_a 比较大为0.065;并且5个温度组的 Q_a 远<0.33,蛋白质供能比为5%~30%,说明吉富罗非鱼主要由脂肪和碳水化合物供能。与沈勤等^[12]关于花鲈蛋白质供能比为11.84%~23.00%和况莉等^[13]关于南方鲷幼鱼蛋白质供能为16%~19%的结论比较接近。

表3 温度对吉富罗非鱼排氨率和氨熵的影响

Tab. 3 Effects of temperature on R_{an} and Q_a of GIFT

温度(°C)	10	15	20	25	30
排氨率 R_{an} / (mg/g·h)	0.002 4	0.000 5	0.003 1	0.007 9	0.011 0
氨熵 Q_a	0.065	0.016	0.048	0.094	0.099

2.3 温度对吉富罗非鱼二氧化碳排放率、水体pH的影响

二氧化碳在水中主要以溶解气体分子的形式存在,但也有一部分与水作用形成碳酸,通常两者的总和称为游离二氧化碳。如图4所示,当温度在15~30°C时,随着温度的升高,吉富罗非鱼的二氧化碳排放率增大,从0.011 4 mg/g·h上升至0.068 4 mg/g·h。这是由于随着温度的上升,鱼体耗氧率增大,新陈代谢强度加大,体内积累的二氧化碳增多,排放率也随之升高。而10°C组与15°C组相比,罗非鱼的耗氧率和排氨率

均较后者高,同样二氧化碳排放率也高于后者。

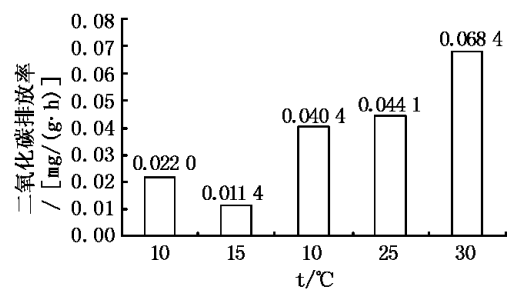


图4 不同温度下吉富罗非鱼二氧化碳排放率的变化

Fig. 4 Changes of carbon dioxide excretion rate of GIFT under different temperatures

表 4 显示了不同温度条件下,呼吸室进、出水口 pH 的差异。进水 pH 随着温度的升高而增大,而出水 pH 均较进水显著降低,且进、出水 pH 的差值随着温度的上升而显著增大,这是由于温度升高,吉富罗非鱼二氧化碳排放率增加所致。

表 4 不同温度进水口和出水口 pH 的变化

Tab.4 Changes of pH of the in-flow and the out-flow under different temperatures

温度(℃)	pH		
	进水口	出水口	变化值
10	7.806	7.486 ± 0.113	0.320 ± 0.113
15	7.931	7.420 ± 0.094	0.510 ± 0.094
20	8.003	7.314 ± 0.076	0.689 ± 0.076
25	8.238	7.449 ± 0.085	0.788 ± 0.085
30	8.242	7.418 ± 0.090	0.824 ± 0.090

3 呼吸商(Q_r)

鱼类维持机体生命活动的能量主要来自有氧呼吸,但也有一小部分来自无氧呼吸或体内其他生化过程,其他生化过程供能最后也放出二氧化碳,因此,要确切地表示鱼类的呼吸强度,还必须采用呼吸商(Q_r)指标。呼吸商,也称呼吸系数,是鱼体 CO_2 产生量与同一时间内耗氧量的比值(CO_2/O_2)。鱼类的呼吸商一般 < 1 ,即它们在呼吸时吸收的 O_2 多,而释放的二氧化碳少,这表明鱼类在生活中很少进行无氧呼吸。若呼吸商 > 1 ,则是由于在缺氧条件下进行厌氧代谢,将葡萄糖降解为乳酸,而乳酸又分解为乙醇和二氧化碳。因而,氧摄取量很少,二氧化碳排出量很多,导致呼吸商增大。本试验中,10 ~ 30 ℃ 呼吸商为 0.38 - 0.62,均 < 1 ,说明在试验中,吉富罗非鱼主要进行有氧呼吸。

4 结论

由于自然水温随季节变化,鱼类常面临着温度波动对自身生理的影响。温度通过影响代谢率进而对排氨率和耗氧率产生影响。不同鱼种及处于不同生理状态下的鱼类,对温度波动的耐受能力不同,适应方式也存在差异。对于大多数鱼类来说,在适温范围内,温度升高,鱼体内生物化学反应速度和生理活动受到影响,主要是新陈

代谢强度增大。在本试验中,吉富罗非鱼的呼吸频率、耗氧率、排氨率、二氧化碳排放率以及呼吸室进、出水口 pH 变化幅度都随着温度的升高而增大。随着温度的降低,新陈代谢强度降低,但超过低温忍受限,就导致其代谢紊乱,甚至死亡。所以在吉富罗非鱼的养殖和保活运输中,要保证水体稳定且含有充足的溶解氧,同时更重要的是要控制好水温。

参考文献:

- [1] 夏德全. 中国罗非鱼养殖现状及发展前景[J]. 科学养鱼, 2002, (5): 1, 21.
- [2] 黄良敏, 谢仰杰, 刘涛, 等. 条纹斑竹鲨耗氧率的研究[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2005, 10(4): 305 - 310.
- [3] 李金碧, 龚世园, 喻达辉. 温度和盐度对栉江珧耗氧率和排氨率的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 2016 - 2018.
- [4] 陈宁生, 施泉芳. 草鱼、白鲢和花鲢的耗氧率[J]. 动物学报, 1955, 7(1): 43 - 58.
- [5] Miklos P, Katzman S, Cech Jr J. Effect of Temperature on Oxygen Consumption of the Leopard Shark, *Triakis semifasciata* [J]. Environmental Biology of Fishes, 2003, 66: 15 - 18.
- [6] 彭姜岚, 曹振东, 付世建. 急性低温胁迫对南方鲇和瓦氏黄颡鱼耗氧率和呼吸频率的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7846 - 7848.
- [7] 李晨虹, 李思发. 不同品系尼罗罗非鱼致死低温的研究[J]. 水产科技情报, 1996, 23(5): 195 - 198.
- [8] 冯祖强, 王祖熊. 鱼类对环境温度适应问题[J]. 水产学报, 1984, 8(1): 79 - 83.
- [9] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2000: 61 - 65.
- [10] Forsberg J A, Summerfelt R C. Ammonia Excretion by Fingerling Walleyes Fed Two Formulated Diets [J]. Prog Fish-Cult, 1992, 54: 45 - 48.
- [11] Zakes Z, Karpinski A. Influence of Water Temperature on Oxygen Consumption and Ammonia Excretion of Juvenile Pikeperch, *Stizostedion lucioperca* (L.) Reared in a Recirculating System [J]. Aquacult Res, 1999, 30: 109 - 114.
- [12] 沈勤, 徐善良, 严小军, 等. 温度对花鲈饥饿代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 500 - 504.
- [13] 况莉, 谢小军. 温度对饥饿状态下南方鲇幼鱼氨氮排泄的影响[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2001, 26(1): 45 - 50.