

文章编号: 1004 - 7271(2005)02 - 0202 - 05
·研究简报·

白斑狗鱼耗氧率和窒息点研究

Study on oxygen consumption rate and suffocation point of white spot pike (*Esox lucius*)

乔德亮¹, 李思发¹, 凌去非¹, 殷建国², 蔡晓琴², 李岩平², 何智杰²

(1. 上海水产大学农业部水产种质资源及养殖生态重点开放实验室, 上海 200090;

2. 新疆生产建设兵团农十师额尔齐斯河特种鱼类繁育场, 新疆 北屯 836000)

QIAO De-liang¹, LI Si-fa¹, LING Qu-fei¹, YIN Jing-guo²,

CAI Xiao-qing², LI Yie-ping², HE Zhi-jie²

(1. Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

2. Ertix River Special Fish Breeding Farm of the 10th Subgroup of Xinjiang Construction Group, Beitun 836000, China)

关键词: 白斑狗鱼; 耗氧量; 耗氧率; 窒息点

Key words: white spot pike; oxygen consumption; oxygen consumption rate; suffocation point

中图分类号: S 917 文献标识码: A

白斑狗鱼 (*Esox lucius*) 属鲑形目 (Salmoniformes)、狗鱼科 (Esocidae)、狗鱼属 (*Esox*), 北半球北部亚冷水性大型凶猛淡水鱼类, 我国仅产于新疆北部额尔齐斯河流域, 如额尔齐斯河、布尔津河、哈巴河等及附属水体。鱼类大多数代谢活动都和氧的利用有关, 耗氧率直接或间接地反映新陈代谢规律、生理和生活状况。对鱼类耗氧率的测定不仅在鱼类呼吸生理学研究上有重要意义, 在鱼类养殖上也有应用价值^[1-4]。关于鱼类耗氧率和窒息点的研究报道较多, 研究方法有流水呼吸室法和静水呼吸室法, 但白斑狗鱼耗氧率和窒息点的研究未见报道。本文对白斑狗鱼耗氧率和窒息点进行研究, 以期丰富其呼吸生理学知识, 并希能对其池塘合理养殖、安全越冬与度夏、以及活鱼运输等有一定指导意义。

1 材料和方法

1.1 材料来源

白斑狗鱼试验鱼取自新疆生产建设兵团农十师额尔齐斯河特种鱼类繁育场, 几种规格均系额尔齐斯河原种亲鱼繁育得来。四个体重组分别是: A组—均体重 0.014 g; B组—均体重 1.34 g; C组—均体重 9.2 g; D组—均体重 39.7 g, 各组内鱼体大小相似。受试前将鱼放在小水簇箱内暂养 1~2 d, 使鱼适应小水体环境, 并排空粪便, 使测定值尽可能接近其基础代谢水平或标准代谢水平。

试验用水取自场附近额尔齐斯河水系一支流, 此支流乃白斑狗鱼自然生活水系之一, pH = 8.0 ~

收稿日期: 2004-06-30

基金项目: 新疆生产建设兵团科委资助项目 (NK02N10NK16XM)

作者简介: 乔德亮 (1970 -), 男, 安徽和县人, 硕士, 主要从事水产动物种质资源与种苗工程方面的研究。

通讯作者: 李思发 (1938 -), 男, 江苏镇江人, 上海水产大学首席教授, 博士生导师, 主要从事水产动物种质资源与种苗工程方面的研究。E-mail: ls038@mail.online.sh.cn

8.5, DO = 6.5 ~ 9.5 mg/L, 水质清新无污染, 适于白斑狗鱼生活生长。暂养用水与试验用水为同一水源。

1.2 试验方法

1.2.1 昼夜耗氧率变化规律测定

昼夜耗氧率变化规律测定装置仿陈宁生等^[5]流水呼吸室稍加改动。将鱼放入呼吸室内, 排尽空气, 让鱼适应 2 ~ 3 h 后再测定。调节水流量使出水口溶解氧在 4 mg/l 左右, 以后每 2 h 测定一次水温、呼吸室进出水口的溶解氧和单位时间的水流量, 计算耗氧量和耗氧率, 连续测量 24 h。试验结束后关闭进出水口, 使鱼密封在呼吸室内, 待鱼 50% 死亡时测定呼吸室内溶解氧, 此时的溶解氧即为窒息点。

1.2.2 体重对耗氧率影响测定

采用静水呼吸室法, 呼吸室体积约 4000 mL。试验水温 23 °C, 试验时间 17:00 - 18:00, 受试鱼分为四个体重组(A组、B组、C组和D组), 每组 10 尾。将试验鱼放入呼吸室内, 排尽空气, 用石蜡封口, 测量约 1 h 前后呼吸室内的溶解氧和 50% 死亡时呼吸室内的溶解氧, 计算耗氧量、耗氧率和窒息点。

1.2.3 水温对耗氧率影响测定

采用静水呼吸室法, 呼吸室体积约 4000 mL。受试鱼平均体重 1.34 g, 试验时间 11:00 - 12:00, 水温梯度为 20 °C、25 °C 和 29 °C。试验前采用逐级升温的办法使鱼体适应试验水温, 每组取 10 尾鱼试验, 其它方法同体重对耗氧率影响测定所采用的方法。

以上溶解氧的测定均用虹吸法取水样, 采用温克勒(Winkler)碘量法测量^[6], 设两个平行取平均值。

1.3 数据处理

流水呼吸室: $OC = (A_1 - A_2) \times S/M$, $OCR = (A_1 - A_2) \times S/W$

静水呼吸室: $OC = (B_1 - B_2) \times V/(M \times T)$, $OCR = (B_1 - B_2) \times V/(W \times T)$

OC—耗氧量(mg/ind.h), OCR—耗氧率(mg/g.h), A_1 —进水口溶解氧(mg/l), A_2 —出水口溶解氧(mg/l), S—呼吸室水流量(l/h), M—试验鱼尾数(ind), W—试验鱼体总重量(g), B_1 —试验前溶解氧(mg/l), B_2 —试验后溶解氧(mg/l), V—呼吸室水体积(l), T—试验前后时间差值(h)。

以上所得数据均用 Microsoft Excel 软件处理, 作有关统计及图表分析。

2 试验结果

2.1 耗氧量和耗氧率昼夜变化

采用流水呼吸室法连续 24 h 观察测量, 整个试验过程鱼体, 无异常表现。测定结果如表 1、图 1 所示。三体重组白斑狗鱼耗氧变化曲线基本一致, 白天(7:00 - 21:00)平均耗氧高于夜间(23:00 - 5:00)平均耗氧(新疆阿勒泰地区夏季白昼比夜间长许多), 耗氧峰值和低峰值显著高于或低于昼夜平均值。

2.2 不同规格白斑狗鱼耗氧量、耗氧率和窒息点变化

不同规格白斑狗鱼耗氧量、耗氧率和窒息点测定结果见表 2 所示。在水温 23 °C、时间 17:00 - 18:00 条件下, 白斑狗鱼耗氧量随体重增加而增加, 呈显著正相关关系, 回归方程为 $Y = 0.4909X^{0.8036}$ ($R^2 = 0.9973$), 但耗氧率和窒息点随体重增加而逐渐减少, 呈显著负相关关系, 回归方程为 $Y = 0.4909X^{-0.1964}$ ($R^2 = 0.9565$)。

2.3 不同温度条件白斑狗鱼的耗氧量、耗氧率和窒息点

不同温度条件下测出的白斑狗鱼耗氧量、耗氧率和窒息点如表 3 所示。在平均体重 1.34 g、时间

表1 白斑狗鱼耗氧量、耗氧率昼夜变化表

Tab.1 Day and night changes of oxygen consumption and oxygen consumption rate of *Esox lucius*

时间 0:00	A组, 0.014 g, 16 °C		B组, 1.34 g, 20 °C		C组, 9.2 g, 23 °C	
	耗氧量 [mg/(ind·h)]	耗氧率 [mg/(g·h)]	耗氧量 [mg/(ind·h)]	耗氧率 [mg/(g·h)]	耗氧量 [mg/(ind·h)]	耗氧率 [mg/(g·h)]
1	0.011 75	0.839 6	0.478 8	0.353 7	2.563 7	0.278 7
3	0.012 93	0.923 8	0.500 6	0.373 6	2.208 6	0.240 1
5	0.012 27	0.876 5	0.484 7	0.361 7	2.706 1	0.294 1
7	0.011 87	0.847 5	0.544 8	0.406 6	2.514 2	0.273 3
9	0.010 76	0.768 5	0.539 4	0.402 5	2.473 9	0.268 9
11	0.012 21	0.872 3	0.572 7	0.427 4	2.491 1	0.270 8
13	0.011 37	0.812 3	0.653 8	0.487 9	2.646 8	0.287 7
15	0.014 72	1.051 6	0.711 3	0.530 8	2.758 9	0.299 9
17	0.015 16	1.082 7	0.664 5	0.495 9	2.479 9	0.269 6
19	0.015 71	1.121 9	0.732 4	0.546 6	3.333 2	0.362 3
21	0.013 37	0.955 0	0.653 6	0.487 8	2.942 9	0.319 8
23	0.012 27	0.876 1	0.513 8	0.383 4	2.768 7	0.300 9
平均	0.012 87	0.919 1	0.587 5	0.438 5	2.657 3	0.288 8
日均	0.013 35	0.939 0	0.634 1	0.473 2	2.705 1	0.294 0
夜均	0.012 31	0.879 0	0.494 5	0.369 0	2.561 8	0.278 5

11:00 – 12:00 条件下, 白斑狗鱼耗氧量、耗氧率随着水温升高而逐渐增大, 呈正相关关系; 窒息点在水温 25 °C 时最低(0.599 2 mg/L), 在 20 °C ~ 25 °C 之间随水温升高而减少, 呈负相关关系, 在 25 °C ~ 29 °C 之间随水温升高而增加, 呈正相关关系。

表2 不同规格白斑狗鱼耗氧量、耗氧率和窒息点
Tab.2 Oxygen consumption, oxygen consumption rate and suffocation point of *Esox lucius* with different body weight

体重(g)	耗氧量 [mg/(ind·h)]	耗氧率 [mg/(g·h)]	窒息点 (mg/L)
0.014	0.015 16	1.082 7	1.702 4
1.34	0.744 9	0.555 9	0.778 8
9.2	2.479 9	0.269 6	0.394
39.7	9.739 2	0.245 3	0.354 6

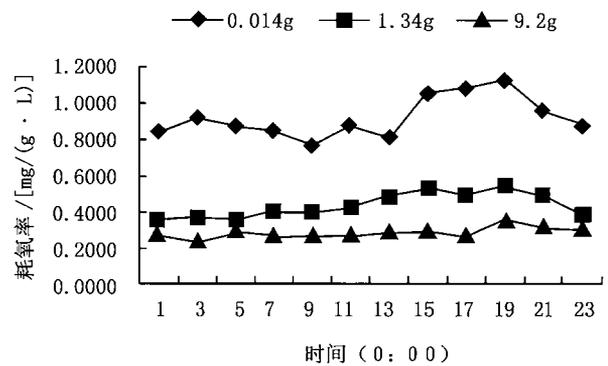


图1 白斑狗鱼耗氧率昼夜变化曲线

Fig.1 Changes of oxygen consumption rate of *Esox lucius* during day and night

表3 不同温度条件白斑狗鱼耗氧量、耗氧率和窒息点

Tab.3 Oxygen consumption, oxygen consumption rate and suffocation point of *Esox lucius* at different water temperature

水温(°C)	耗氧量[mg/(ind·h)]	耗氧率[mg/(g·h)]	窒息点(mg/L)
20	0.681 1	0.508 3	0.918 7
25	0.897 2	0.669 5	0.599 2
29	1.246 5	0.930 2	1.112 8

2.4 白斑狗鱼窒息死亡过程

连续观察四种规格白斑狗鱼窒息死亡经过, 其过程基本一致, 表现是: 起初水体溶解氧较高, 鱼在密闭静水呼吸室内平静呼吸, 随着时间推移, 呼吸室内溶解氧逐渐下降, 当降至约 2 mg/l 时, 鱼体开始急躁不安, 上下蹿动, 然后依次是上下急蹿、鳃充血、静卧瓶底、侧卧、仰卧、上下颌张开、鳃盖张开、呼吸停

止、心跳停止,最终死亡。未死鱼当中部分表现畸形,脊椎骨向左侧或右侧弯曲。

3 讨论

3.1 白斑狗鱼耗氧率、窒息点与其它鱼类比较

将白斑狗鱼的耗氧率、窒息点与几种鲤科常见养殖鱼类进行比较,可以看出:在相同规格、相同水温条件下,白斑狗鱼的耗氧率和窒息点比鲤科常见养殖鱼类要高^[5,7-9]。建议在池塘养殖生产中,其放养密度应低于常规鱼类养殖密度;在苗种运输和活鱼运输过程中,其运输密度应低于常规养殖鱼类。

3.2 昼夜节律对白斑狗鱼耗氧的影响

有关鱼类耗氧昼夜变化节律性,Clausen^[10]研究认为淡水鱼昼夜耗氧有规律地变化可能代表着自然环境中的鱼类活动周期,耗氧大的时期一般为鱼类进食或活动旺盛时期。

研究证实鱼类的耗昼夜氧变化规律有三种类型。(1)多数鱼类白天平均耗氧高于夜间平均耗氧。这些鱼白天比夜晚进食、活动较频繁,生命活动及消化吸收需较多的溶氧量^[5,7,8,11-14]。(2)少数鱼类夜间活动较频繁,白天则相对较静止,这些鱼属于“昼伏夜出”型,它们日均耗氧低于夜均耗氧^[15-18]。(3)还有一部分鱼类日均耗氧与夜均耗氧相似。它们白天和夜晚都有进食、活动高峰期和低峰期^[19-21]。

白斑狗鱼耗氧昼夜变化规律属于第一类,日均耗氧高于夜均耗氧,说明白斑狗鱼白天吃食、活动旺盛,夜晚相对较少,这是该物种长期演化而来的特性。我们在池塘养殖白斑狗鱼过程中发现,在饵料鱼丰度相仿情况下,透明度大的池塘其生长速度快于透明度小的池塘,这可能反映白斑狗鱼靠视觉捕食,白天光照强,捕食、活动频繁,夜间相对较少,与白天耗氧高于夜间耗氧相吻合。建议池塘养殖白斑狗鱼时,投饵应在白天进行,夜间不投或少投。

3.3 体重对白斑狗鱼耗氧的影响

一般研究认为鱼类耗氧量与体重呈正相关关系,但耗氧率与体重呈负相关关系,这一规律在幼鱼阶段特别明显。主要解释:(1)鱼体直接维持生命的多种组织,如肾脏、脑、肝胰腺、生殖腺、鳃、肠道等,它们每克湿重每分钟耗氧量较高,非直接维持生命的多种组织,如骨骼、骨骼肌、脂肪等,它们每克湿重每分钟耗氧量较低。以上两类组织在幼鱼阶段和成鱼阶段所占比例不同,幼鱼阶段第一类组织比例较高,随着鱼体生长第一类组织比例逐渐减少,第二类组织比例逐渐增大。这样小鱼相对每公斤每小时耗氧量就高于大鱼每公斤每小时耗氧量^[13,22]。(2)鱼类耗氧率变化规律与机体发育规律有联系。在胚胎和幼鱼阶段,组织分化、器官形成、个体发育非常迅速,新陈代谢非常迅速,这就导致小鱼相对耗氧量较高。以后随着鱼体长大,组织分化、器官形成已经完成,各器官组织发育速度相对减慢,新陈代谢相对减弱,所以耗氧率就相对降低^[23]。

Winberg^[24]提出了鱼类代谢率(Y)与体重(X)之间的相关关系为 $Y = aX^b$,式中 b 值为体重指数,它的大小及变化规律反映了体重对代谢影响的程度和方式,此公式被后来的研究者广泛引用。Winberg^[24]、林浩然^[4]在总结以往文献资料的基础上,提出标准代谢的 b 值应为 0.8 左右;Kaush^[25]整理了 25 种鱼的资料,得出 b 值为 0.86 ± 0.04 ;Jobling^[26]认为 b 值在 0.65 ~ 0.90 之间。白斑狗鱼耗氧量随体重增加而升高,回归方程 $Y = 0.4909X^{0.8036}$,b 值为 0.8036 与一般鱼类相类似。耗氧率随体重增加而减少,回归方程 $Y = 0.4909X^{-0.1964}$ 。

关于体重对鱼类窒息点影响有两种类型。一类呈正相关关系,即窒息点随体重增加而增加。如鳊、月鳢及黄颡鱼^[12,20,21]。另一类呈负相关关系,即体重增加窒息点反而减小。如长簿鳅、湘云鲫、真鲷(*Pagrosomus major*)、大口胭脂鱼(*Ictiobus cyprinellus*)、鲤、鲢、鳙和中华乌塘鳢等^[7,11,16,19,27,28]。白斑狗鱼窒息点与体重呈负相关关系,可解释为随着个体的长大,抵抗力增强,耐低氧能力增强,造成大鱼窒息点较小鱼为低。

3.4 温度对白斑狗鱼耗氧的影响

一般研究认为鱼类为变温动物,在适温度范围内,水温升高体温也随之升高,这时鱼体内各细胞酶活性随之增强,各种生理生化反应随之增强,这样鱼体对氧的需求量随之增加,导致耗氧升高。温度对白斑狗鱼耗氧量、耗氧率的影响表现为,随着温度上升,耗氧量和耗氧率都逐渐增加,与一般鱼类相似。

通常认为,鱼类在耗氧变幅较小的温度范围内,其新陈代谢异化作用上升的倍率较少或者说其呼吸消耗的能量上升的倍率较少,即体内能量存贮较多,这样对鱼体生长有利,可认为此温度范围是该鱼类生长最适温度范围^[22, 29, 30]。Casselmann^[31], Bevelhimer等^[32]研究指出白斑狗鱼适温范围0℃~30℃,最适生长温度24℃~25℃。我国新疆阿勒泰地区生长最快季节6、7月份,池塘水温也是在25℃附近。是否25℃附近为其耗氧变幅较小的温度范围,有待进一步研究。

有些鱼类如真鲷、湘云鲫等^[7, 27]窒息点随水温升高而升高,这是因为水温升高,鱼体对氧需求量增大,导致窒息点也随之升高。在水温20℃~29℃温度范围内,白斑狗鱼窒息点25℃附近最低,20℃~25℃之间随水温升高而下降,25℃~29℃之间随水温升高而升高。笔者认为25℃附近白斑狗鱼鱼体各种生理机能处于最佳状态,体质最强,抵抗力最强,所以窒息点最低,与Bevelhimer等^[32]研究指出24℃~25℃是其最适生长温度基本吻合。

参考文献:

- [1] 费鸿年(译). 鱼类生理学(上册)[M]. 北京: 科学出版社, 1962. 1-55, 82-105.
- [2] 施琼芳. 鱼类生理学[M]. 北京: 农业出版社, 1991. 84-91, 170-180.
- [3] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. 89-104, 131-151.
- [4] 林浩然. 鱼类生理学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1999. 56-81, 103-105.
- [5] 陈宁生, 施琼芳. 草鱼、白鲢、花鲢的耗氧率[J]. 动物学报, 1955, 7(1): 34-57.
- [6] 湛江水产专科学校. 淡水养殖水化学[M]. 北京: 农业出版社, 1980. 219-224.
- [7] 刘飞, 张轩兴, 刘筠. 湘云鲫耗氧率和溶氧临界窒息点[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2000, 23(3): 72-75, 94.
- [8] 方耀林, 余来宁. 团头鲂及胚胎耗氧率研究[J]. 淡水渔业, 1991, (9): 3-5.
- [9] 陈宁生, 施琼芳. 饲养鱼窒息现象的研究[J]. 水生生物学集刊, 1955, (1): 1-5.
- [10] Clausen R G. Oxygen consumption in freshwater fishes[J]. Ecology, 1936, 17(2): 216-226.
- [11] 黄玉瑶. 鲤鱼、白鲢、鳊鱼的耗氧率[J]. 动物学报, 1975, 21(1): 78-87.
- [12] 杨春, 李达, 徐光龙. 鄱阳湖鳊鱼耗氧率和窒息点初步研究[J]. 江西农业学报, 1998, 10(4): 96-98.
- [13] 张中英, 胡玫, 吴福煌. 尼罗罗非鱼耗氧率初步研究[J]. 水产学报, 1982, 6(4): 367-378.
- [14] 王培军, 赵清良, 殷宁, 等. 暗纹东方鲀鱼苗耗氧率和窒息点初步研究[J]. 水利渔业, 2002, 22(6): 3-4.
- [15] 赵振山, 印杰, 高贵琴, 等. 泥鳅和大鳞副泥鳅耗氧率和窒息点研究[J]. 水利渔业, 1999, 19(1): 2-3.
- [16] 邹桂伟, 罗相中, 胡德高, 等. 长簿鳅耗氧率和窒息点研究[J]. 湖泊科学, 1998, 10(1): 49-54.
- [17] 罗相中, 邹桂伟, 潘光碧. 大口鲶耗氧率和窒息点初步研究[J]. 淡水渔业, 1997, (9): 3-5.
- [18] 郭国民, 林国光, 罗建仁, 等. 斑点胡子鲶耗氧规律初步研究[J]. 珠江水产, 1994, 20: 47-52.
- [19] 张健东, 陈刚. 中华乌塘鳢耗氧率和窒息点研究[J]. 水产养殖, 2002, (4): 28-31.
- [20] 黄钧, 黄宗锡, 胡克达. 月鳢鱼种耗氧率和窒息点初步研究[J]. 水利渔业, 2000, 20(3): 8-9.
- [21] 陈琴, 章太卓, 徐夏声. 黄颡鱼耗氧率和窒息点初探[J]. 内陆水产, 2001, (3): 9-11.
- [22] 谢刚, 许淑英, 祁宝俞, 等. 卷口鱼耗氧规律研究[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 89-94.
- [23] 董在杰. 漫谈鱼类耗氧率[J]. 科学养鱼, 1996, (11): 26, 30.
- [24] Winberg G G. Rate of metabolism and food requirements of fishes[J]. Fish Res Bd Can Transl Series, 1956, 194: 1960.
- [25] Kausch H. Stoffwechsel und Ernährung der Fische. Handh[J]. Tierernaehr Band, 1972, 8: 690-738.
- [26] Jobling M. Growth and Metabolism. In: Tytler P & Cakow Peds. Fish Energetics: Perspectives[M]. London: Croom Helm, 1985: 257-581.
- [27] 董存有, 张金荣. 真鲷耗氧率、窒息点初步测定[J]. 水产学报, 1992, 16(1): 75-79.
- [28] 王佳喜, 胡少华, 黄珍, 等. 美国大口胭脂鱼苗种耗氧率、窒息点试验[J]. 淡水渔业, 1997, 27(6): 7-9.
- [29] 王健民, 张玉书. 水温、体重对白鲫耗氧量影响的研究[J]. 北京水产, 1984, (1): 6-8.
- [30] 叶奕佐. 鱼苗、鱼种耗氧率、需氧量、窒息点及呼吸系数的初步报告[J]. 动物学报, 1959, 11(2): 117-134.
- [31] Casselman J M. Effects of environmental factors on growths, survival, activity and exploitation of northern pike[J]. Am Fish Soc Sepec Publ, 1978, 11: 114-118.
- [32] Bevelhimer M S, Stein R A, Carline R F. Assessing significance of physiological difference among three esocids with a bioenergetics model[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1985, 42: 57-69.