

条纹锯鲈对高温胁迫及胁迫后恢复方式适应的初步研究

刘超¹, 曹金凤¹, 马 牲¹, 王成刚², 王志军²

(1. 中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003; 2. 山东科合海洋高技术有限公司, 山东乳山 264513)

摘要: 研究了质量为 $148.88 \text{ g} \pm 17.29 \text{ g}$ 和 $16.32 \text{ g} \pm 2.23 \text{ g}$ 两种规格的条纹锯鲈(*Centropristis striata*) 鱼种对高温的耐受性及高温胁迫后恢复方式的适应。结果表明: 大规格鱼种的高温半致死温度为 26.80°C , 最适温度上限为 20.38°C 。小规格鱼种的高温半致死温度为 29.26°C , 最适温度上限为 25.11°C 。依据实验鱼种耗氧率的恢复情况可以断定: 在暴露于高温半致死温度 48 h 或 72 h 条件下, 直接恢复方式略优于梯度恢复方式; 而暴露 24 h 条件下, 两种恢复方式的作用无明显差异。高温半致死温度暴露下, 要避免条纹锯鲈达到半数死亡则积温不能超过 $(1\ 064.67 \pm 72.01)^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。

关键词: 条纹锯鲈(*Centropristis striata*); 高温半致死温度; 最适温度; 恢复方式; 半致死积温

中图分类号: Q142.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)09-0054-05

条纹锯鲈(*Centropristis striata*) 属于石斑鱼亚科(Serraninae)、锯鲈属(*Centropristis*), 俗名美洲黑石斑。条纹锯鲈属海洋暖温性鱼类, 国内对条纹锯鲈的基础生物学研究还较少^[1,2,3], 国外出现过关于此种鱼类食物种类和投喂频率^[4]以及光照^[5]对其产卵的影响和该种鱼活动习性^[6]等方面的报道。条纹锯鲈在美国是重要的商业捕捞品种加之符合美国人的口味, 所以极具商业价值^[5]。过度捕捞使其年产量由全盛时期的 5 000 t 降至 2003 年时的 1 500 t, 但是需求的持续旺盛, 使得美洲黑石斑的养殖业在美洲顺势而起^[7]。中国自 2003 年引进以来, 其养殖已经发展到一定的规模, 并突破了人工繁殖技术, 创建了大规模育苗工艺流程, 2006 年生产商品苗 160 万尾以上^[8]。条纹锯鲈在中国的需求量会不断增大, 将会有更广阔的养殖和市场前景^[8]。

条纹锯鲈最适生长温度为 $17\sim 25^\circ\text{C}$, 最高致死温度可达 33°C , 适合在中国温带和亚热带海域养殖^[9]。然而中国的热带海域面积广阔, 可以进一步将条纹锯鲈向这一地区扩大养殖。但是热带地区夏季水温往往高于其最适生长温度而不利于条纹锯鲈的存活。本文研究了条纹锯鲈鱼种的高温半致死温度, 为将来养殖区域扩大到南方热带地区提供基础数据; 通过测定高温暴露后条纹锯鲈耗氧率的变化, 探讨高温胁迫后适宜的恢复方式。

积温指某一时段内逐日平均温度累加之和。关于积温的研究已经有很多报道^[10-12], 但鲜见关于鱼

种积温与存活关系的报道。根据前期预备实验的观察, 实验中所用条纹锯鲈在其高温半致死温度或更高温度下存活时间仅有数小时甚至数分钟, 为研究方便本实验使用“ $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ ”作为积温单位来研究小规格鱼种在半致死温度暴露下以及降温过程中的半致死积温以及最佳存活积温(受试鱼种死亡 10% 的积温)。测定条纹锯鲈在高温半致死温度暴露下的半致死积温以及最佳存活积温, 为条纹锯鲈经高温半致死温度胁迫后能否恢复到正常代谢水平提供一种判断方法。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

本实验所用的条纹锯鲈鱼种来自山东科合海洋高技术有限公司人工繁殖群体。分别取大规格鱼种和小规格鱼种各 30 尾, 测定其质量和体长。大规格鱼种质量为 $148.88 \text{ g} \pm 17.29 \text{ g}$, 体长为 $20.32 \text{ cm} \pm 9.67 \text{ cm}$ 。小规格鱼种质量为 $16.32 \text{ g} \pm 2.23 \text{ g}$, 体长为 $10.20 \text{ cm} \pm 0.63 \text{ cm}$ 。室温条件下(16 $^\circ\text{C}$)两种规格鱼种在 300 L 的孵化水槽中使用盐度为 36, pH 为 7.2 的自然沉淀海水进行暂养, 每天 8:00 和 16:30 两次投

收稿日期: 2011-02-28; 修回日期: 2011-09-29

基金项目: 国家科技成果转化资金项目(2007GB2C600501)

作者简介: 刘超(1984-), 男, 山东潍坊人, 硕士研究生, 主要从事养殖生态研究, 电话: 0532-82032195, E-mail: liuchaofighting@163.com.; 马牲, 通信作者, 电话: 0532-82032041, E-mail: mashen@ouc.edu.cn

喂六和集团生产的鲢鳙类专用饲料, 投饵 3 h 后清理残饵, 每两天换水 50%, 驯养 10 d, 待无个体死亡时进行实验。

1.2 实验方法

1.2.1 条纹锯鲈高温半致死温度及最适温度上限

大规模鱼种实验温度设置为 18、22、26、30、34。每个温度处理设置 3 个平行。同时在室温条件下(16)设置一个对照, 同样设置 3 个平行。实验在 20 L 的方形玻璃槽中进行, 持续曝气, 待实验用海水达到相应温度并稳定 12 h 后, 每个平行放养 4 尾大规模鱼种, 持续曝气, 投饵时间、投饵量以及换水量、换水频率均与暂养时相同, 每隔 1 h 观察一次, 连续观察 96 h, 记录各温度处理中鱼种的死亡数量及时间。做出温度-存活率曲线, 用内插法计算出其高温半致死温度和最适温度上限。

小规模鱼种的实验温度设置为 22、24、26、28、30, 以室温(16)作为对照, 各处理亦设置 3 个平行, 每个平行组放养 5 尾鱼种。实验过程以及实验结果的处理同于大规模鱼种。

1.2.2 小规模鱼种高温暴露后恢复方式的比较及半致死积温

在容积为 40 L 的大桶内, 将海水温度调节到 1.2.1 计算得到的小规格鱼种的高温半致死温度, 连续曝气, 稳定 12 h 后, 放养 115 尾小规格鱼种, 剔除在 2 h 内死亡的个体。分别在暴露 24、48、72 h 时, 各随机取出 30 尾(其中存活个体总数大于 24 尾)。其中 15 尾直接放入 18 的海水中, 72 h 后随机取 3 尾非死亡个体应用间接碘量法测定其绝对耗氧率; 另外 15 尾放入 26 海水中, 暴露 24 h 后, 再将其转入 22 海水中暴露 24 h, 最终转入 18 海水中, 24 h 后从中任意取 3 尾非死亡个体测定其绝对耗氧率。依据其绝对耗氧率与对照组绝对耗氧率的差别来判断恢复方式对实验鱼种高温胁迫后恢复的影响。计数小规模鱼种在恢复过程中的死亡数量及时间。由实验所得数据做出存活时间—温度曲线, 计算出恢复过程中条纹锯鲈的半致死积温。

前期实验证明暂养在 16 条件下的条纹锯鲈鱼种在 18 条件下的绝对耗氧率随时间推移差异不显著。因此将对照组设置如下: 取暂养在 16 下的小规格鱼种, 置于 18 海水中 96 h, 自存活个体中随机取 3 尾测定其绝对耗氧率。

同时在容积为 10 L 的水桶中, 装入 2/3 体积的海水, 温度调节至 1.2.1 计算得到的高温半致死温度,

持续曝气, 温度稳定 12 h 后, 放入 30 尾小规模鱼种, 剔除在 2 h 内死亡的个体和部分成活个体, 水桶中最后仅保留 15 尾成活个体。每隔 1 h 观察一次, 计数鱼种的死亡数量及时间。由实验所得数据做出存活时间—温度曲线, 计算出持续暴露在半致死温度下条纹锯鲈的半致死积温。

1.3 数据处理

计算条纹锯鲈的最适存活温度上限以及高温半致死温度时, 采用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据处理, 采用内插法进行计算。耗氧率数据采用 SPSS13.0 for windows 软件进行独立样本 T 检验, 若 $P < 0.05$, 则认为差异显著, 若 $P < 0.01$ 则认为差异极显著。

进行积温计算时采用如下公式: $K = N \times (T - C)$

其中: K 为积温值, 单位为 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$; N 为暴露时间, 单位为小时(h); T 为暴露温度, 单位 $^{\circ}\text{C}$; C 为驯养温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

2 实验结果

2.1 条纹锯鲈高温半致死温度及最适温度上限

两种规格鱼种的半致死时间以及存活率见表 1、表 2。

表 1 大规模鱼种的半致死时间以及 96 h 存活率
Tab. 1 The semi-lethal time and 96-h survival rate of larger-sized fingerling

温度()	半致死时间(h)	96 h 存活率(%)
16	—	100
18	—	100
22	—	83
26	32	33
30	1	0
34	0	0

注: “—”. 在 96 h 的实验时间内, 条纹锯鲈没有出现半数死亡现象, “0”. 半致死时间接近 0 h

利用表 1 和表 2 的数据应用内插法计算得到如下实验结果(表 3)。

2.2 小规模鱼种高温暴露后恢复方式的比较

不同恢复方式下条纹锯鲈的耗氧率测定结果见表 4。

表 2 小规格鱼种的半致死时间以及 96 h 存活率

Tab. 2 The semi-lethal time and 96-h survival rate of smaller-sized fingerling

温度()	半致死时间(h)	96 h 存活率(%)
16	—	100
22	—	100
24	—	100
26	—	82
28	—	67
30	90	40

注：“—” . 在 96h 的实验时间内, 条纹锯鲈没有出现半数死亡现象

表 4 不同暴露时间下恢复至 18 ℃ 时鱼种的耗氧率

Tab. 4 The oxygen consumption rate at 18 after recovery

恢复方式	耗氧率(mg/(g · h))			
	24 h	48 h	72 h	对照
梯度恢复	0.203 ± 0.022	0.103 ± 0.053**	0.129 ± 0.049**	0.228 ± 0.030
直接恢复	0.278 ± 0.050	0.144 ± 0.035*	0.155 ± 0.049*	0.228 ± 0.030

注: 24、48、72 h 分别表示条纹锯鲈在半致死温度下暴露的时间; *, 该耗氧率同对照组耗氧率相比差异显著; **, 该耗氧率同对照组耗氧率相比差异极显著

从耗氧率的处理结果可以看出对于在高温半致死温度下暴露 24 h 的鱼种, 两种恢复方式均能使其恢复到正常的耗氧范围。而对于在高温半致死温度下暴露 48 h 和 72 h 的鱼种, 虽然经两种方式恢复至 18 ℃ 24 h 后均未恢复到正常的耗氧范围, 但是从差

表 3 大规格鱼种和小规格鱼种最适温度上限和高温半致死温度

Tab. 3 Semi-lethal temperature and upper limit of optimum temperature of two kinds of fingerlings

项目	温度()	
	大规格鱼种	小规格鱼种
最适温度上限	20.38	25.11
高温半致死温度	26.80	29.26

异的显著程度可以判断: 直接恢复方式要略优于梯度恢复方式。

2.3 条纹锯鲈的半致死积温

条纹锯鲈的半致死积温数值示意如图 1 所示。

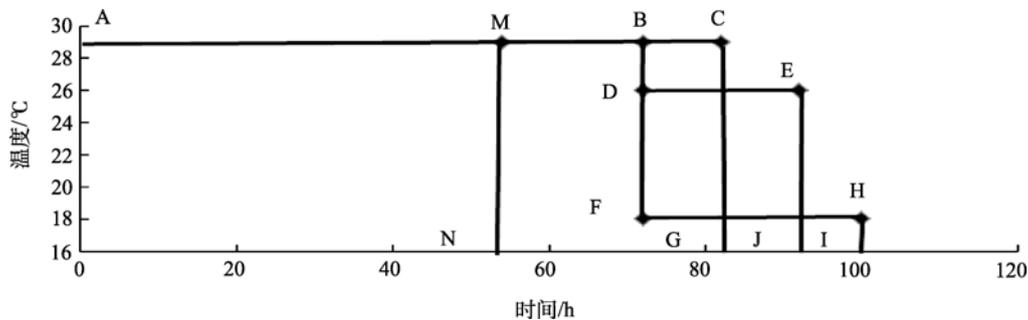


图 1 小规格鱼种的积温示意图

Fig. 1 Accumulated temperature of smaller-sized fingerling

图中字母仅代表其所在的点

The points in this picture is labeled by English letters

持续暴露于高温半致死温度下的鱼种, 由实验观察得到最佳存活时间(10%死亡)为 54 h(M 点, 死亡 2 尾), 半致死时间为 82 h(C 点, 死亡 8 尾), 积温设为 K_1 ; 直接恢复方式的条纹锯鲈, 半致死时间为 100 h, 其中 29 ℃ 下暴露了 72 h(B 点, 死亡 5 尾), 18 ℃ 暴露了 28 h(F-H, 死亡 3 尾, 共计死亡 8 尾), 积温设为 K_2 ; 梯度恢复方式时, 半致死时间为 92 h, 其中 29 ℃ 暴露 72 h(死亡 7 尾), 26 ℃ 暴露 20 h(D-E, 死亡

1 尾, 共计死亡 8 尾), 积温设为 K_3 。

计算积温时, 取 $C=16$ 应用积温公式数据处理如表 5 所示。

由此, 可以初步断定在半致死温度下至少暴露 72 h 的条纹锯鲈, 达到半数死亡所经暴露积温为: $(1064.67 \pm 72.01) \cdot h$ 。

从图 1 可以看出其最佳存活时间为 54 h, 其在高温半致死温度暴露下的最佳存活积温的数值同四边

形 AMNO 面积的数值相同, 故其高温半致死温度暴露下的最佳存活积温为 $702 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。

表 5 小规格鱼种的半致死积温

Tab. 5 Semi-lethal accumulated temperature of smaller-sized fingerling

处理	积温 ($^\circ\text{C} \cdot \text{h}$)
持续暴露	$K_1=1066$
直接恢复	$K_2=992$
梯度恢复	$K_3=1136$
半致死积温	$K=1064.67 \pm 72.01$

3 讨论

3.1 条纹锯鲈高温半致死温度及最适温度上限

在鱼类生存的环境中, 温度具有多方面的生态作用, 直接或间接影响鱼类的摄食、生长和存活等方面。Buentello 等^[13]研究报道, $22.8 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)的摄食量和饲料转化效率均处于最高值。龙华^[14]报道, 在一定范围内, 较高温度鱼类生长快, 较低温度鱼类生长慢。超出一定范围的高温条件下, 由于生物活性物质失活, 导致鱼类停止生长或死亡。

据雷霖霖等^[15]报道, 条纹锯鲈适宜生存温度为 $5 \sim 31 \text{ }^\circ\text{C}$, 最适水温为 $17 \sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。本实验结果与其差别较大, 其原因可能是本实验用的鱼种为刚刚经过越冬期的鱼种, 对高温的适应能力还未达到最大限度, 实验所得结果较低。由实验结果可以看出, 小规格鱼种的最适温度上限、高温半致死温度均高于大规格鱼种。所以, 小规格鱼种对高温的耐受力要优于大规格鱼种。

姜礼燧^[16]认为鱼类热致死的机制主要有以下几点: (1)神经系统的破坏; (2)酶系统和呼吸中心损害; (3)血液系统破坏; (4)组织结构的破坏。此外, 闫茂仓^[17]、谢刚^[18]分别研究了鱼体质量对条石鲷(*Oplegnathus fasciatus*)幼鱼、卷口鱼(*Ptychidio jordani*)耗氧率的影响, 发现其耗氧率均随鱼体质量增加而降低。据黄玉瑶等^[19]的研究可以推测小规格鱼种对高温的耐受力要优于大规格鱼种原因为小规格鱼种处于生长发育过程中, 代谢水平高, 可对高温产生的诸如神经系统破坏等危害进行及时修复, 使其在高温条件下能更长时间地存活。

3.2 条纹锯鲈对高温的适应

持续暴露于高温条件下的条纹锯鲈其本身会受到高温的危害, 以致耗氧率很难恢复到正常水平。陈品建^[20]等报告了真鲷(*Pagrosomus major*)幼鱼 3 种消化酶在不同的反应温度和不同的饲养温度下活性变化的研究结果。据此推断其可能的原因是持续的高温暴露会使呼吸作用相关的酶的活性降低。高温对酶的危害往往是使其变性, 不能恢复原有活性。在适当时候将鱼种从半致死温度恢复时, 短期(24 h)暴露的鱼种的绝大部分的酶能够恢复到原有活力。而长时间的暴露(48、72 h)则会使大部分酶不能恢复到原有活力, 故其耗氧率难以恢复到正常水平。

对于条纹锯鲈经历高温胁迫后的恢复方式, 本实验采用了直接恢复和梯度恢复两种方式, 实验结果显示直接恢复方式略优于梯度恢复方式。这主要是因为高温半致死温度会对条纹锯鲈产生危害, 但是驯化温度对条纹锯鲈不会产生危害。直接恢复方式是从高温半致死温度直接降至驯化温度, 从而使得高温半致死温度的危害不能持续, 鱼种的耗氧率等得以恢复。而梯度恢复方式是由高温半致死温度逐级降温到驯化温度, 降温过程中高于驯化温度的降温梯度仍然会对鱼种产生危害, 所以高温的胁迫不能立即解除, 耗氧率不能及时恢复。

3.3 条纹锯鲈的半致死积温及最适积温

由本实验结果可知, 条纹锯鲈在半致死温度下暴露 72 h 后, 其半致死积温达到 $(1064.67 \pm 72.01) \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{h}$ 。半致死温度下暴露 72 h 后, 条纹锯鲈在以梯度恢复和直接恢复两种方式恢复的过程中都出现了大量死亡现象, 表明半致死温度下暴露 72 h 鱼种受到的危害在短期内(72 h 内)难以恢复或者已经不能恢复, 其所受到的高温危害不因胁迫解除而消失而是继续对鱼体产生影响。下一步实验的目的在于测定半致死温度下, 条纹锯鲈耗氧率能够通过两种恢复方式在 72 h 内恢复到正常水平的临界暴露时间, 进而得到相应的积温值。

参考文献:

- [1] 徐涛, 马甦, 王志军. 低温对条纹锯鲈生长及能量收支的影响[J]. 海洋科学, 2007, 31(4): 9-12.
- [2] 阳刚, 刘超, 马甦, 等. 条纹锯鲈对盐度胁迫的耐受力及淡水胁迫恢复的初步研究[J]. 海洋湖沼通报, 2011, 2: 73-78.
- [3] 曹金凤, 阳刚, 马甦, 等. 不同温度条件下条纹锯鲈耗氧率与窒息点的初步研究[J]. 齐鲁渔业, 2009,

- 27(12): 1-3.
- [4] Charles F C, Randal L W. Comparison of four commercial diets and three feeding rates for black sea bass, *Centropristis striata* fingerlings[J]. Journal of Applied Aquaculture, 2004, 16(3/4): 131-146.
- [5] Rachel A H, David L B, Terence M B. The effect of photoperiod on the reproduction of black sea bass *Centropristis striata*[J]. Aquaculture, 2003, 218: 651-669.
- [6] Kenneth W, Able L, Stanton H. Movement of juvenile black sea bass *Centropristis striata* in a southern New Jersey Estuary[J]. Journal of Experimental Biology and Ecology, 1997, 213: 153-167.
- [7] Kevin R S, Theodore I J S. Development of nursery systems for black sea bass *Centropristis striata*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2003, 34(3): 359-367.
- [8] 王波, 朱明远, 毛兴华. 养殖新品种——美洲黑石斑鱼[J]. 河北渔业, 2003, 5: 26-27.
- [9] 卢继武, 刘敏, 李豪. 条纹锯鲂鱼的生物学特性与养殖潜力[J]. 渔业现代化, 2006, 6: 21-22.
- [10] 关忠志, 刘吉明, 李东占. 香鱼性腺发育与积温关系的初步研究[J]. 水产学杂志, 2008, 21(2): 33-36.
- [11] 王云果, 李孟楼, 高智辉. 花斑皮囊发育起点温度和有效积温研究[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 208-210.
- [12] 陈禄仕. 利用积温和昆虫发育历期推测死亡时间的研究[J]. 中国法医学杂志, 2007, 22(4): 236-237.
- [13] J. Alejandro B, Delbert M G Lii, William H N. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel cat fish(*Ictalurus punctatus*)[J]. Aquaculture, 2000, 182: 339-352.
- [14] 龙华. 温度对鱼类生存的影响[J]. 渔业现代化, 2005, 2: 21-22.
- [15] 雷霖霖, 卢继武. 条纹锯鲂鱼的品种优势和养殖前景[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(5): 111-115.
- [16] 姜礼燧. 热冲击对鱼类影响的研究[J]. 中国水产科学, 2007, 7(2): 77-81.
- [17] 闫茂仓, 单乐州, 谢起浪. 温度、盐度及体重对条石鲷幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(4): 486-495.
- [18] 谢刚, 许淑英, 祁宝崙, 等. 卷口鱼耗氧规律的研究[J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 89-94.
- [19] 黄玉瑶. 鲤鱼、白鲢、鳊鱼的鱼苗、鱼种耗氧量的研究[J]. 动物学报, 1975, 21(1): 78-88.
- [20] 陈品建, 王重刚, 陆皓, 等. 真鲷幼鱼消化酶活性与温度的关系[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1998, 37(6): 931-935.

The adaptability of black sea bass (*Centropristis striata*) to semi-lethal temperature and recovery mode from exposure to semi-lethal temperature

LIU Chao¹, CAO Jin-feng¹, MA Shen¹, WANG Cheng-gang², Wang Zhi-jun²

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao, 266003, China; 2. Shandong Kehe Marine Hi-technology CO., Ltd, Rushan, 264513, China)

Received: Feb., 28, 2011

Key words: *Centropristis striata*; semi-lethal temperature; optimum temperature; recovery mode; semi-lethal accumulated temperature

Abstract: In this paper, two kinds of *Centropristis striata* (148.88 g±17.29 g and 16.32 g±2.23 g) were used to investigate the adaptability of black sea bass to semi-lethal temperature and the recovery mode from exposure to semi-lethal temperature. By the interpolation method, we got that the larger-sized fingerling's semi-lethal temperature and the upper limit of optimum temperature were 26.80 and 20.38, respectively. And the smaller-sized fingerling's semi-lethal temperature and the upper limit of optimum temperature were 29.26 and 25.11, respectively. By measuring the oxygen consumption rate (OCR), we found the direct mode was more propitious for fingerling's recovery than gradient mode after continuous exposure to semi-lethal temperature for 48 h or 72 h. But both of the modes could make them recover successfully after being exposed for 24 h. In addition, the semi-lethal accumulated temperature should be less than 1064.67 h±72.01 h at semi-lethal temperature in order to exempt semi-lethal rate.

(本文编辑: 谭雪静)