

文章编号:1000 - 0615(2004)05 - 0562 - 06

综述 ·

鱼类热忍耐温度研究进展

陈全震^{1,2}, 曾江宁^{1,2,3}, 高爱根¹, 廖一波^{1,2}, 杨关铭¹

(1. 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江 杭州 310012; 2. 农业部海洋与
河口渔业重点开放实验室, 上海 200090; 3. 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029)

关键词: 鱼类; 温度; 热忍耐; 热污染

中图分类号: S917

文献标识码: A

Advances in study of temperature of thermal tolerance of fishes

CHEN Quan-zhen^{1,2}, ZENG Jiang-ning^{1,2,3}, GAO Ai-gen¹, LIAO Yi-bo^{1,2}, YANG Guan-ming¹

(1. Second Institute of Oceanography State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China;
2. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China;
3. College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: The paper is a review of the studies on the temperature of the thermal tolerance in fishes. It was described from four aspect: (1) The key parameters of temperature of thermal tolerance in fishes; (2) The influence factors of temperature of thermal tolerance in fishes; (3) The research methods of thermal effect of fishes; (4) The evaluation of effects of thermal pollution on fishes, especially, with the coastal power station will be built in China recent years, the effects of thermal discharge water on the marine fisheries resource were discussed.

Key words: fishes; temperature; thermal tolerance; thermal pollution

温度是影响鱼类生活的环境因素之一, 温度影响生物体的生长率, 代谢率并影响生物体的活动^[1]。对鱼类致死温度的评价国外在 20 世纪 40 代已开始研究^[2-7], 而我国于 20 世纪 80 年代中期才逐渐开展这方面研究, 并主要集中于淡水鱼类的研究^[8]。本文通过对国内外主要鱼类温度热忍耐的参数及其影响因素、鱼类热效应的研究方法、热污染对鱼类的影响评价等进行综述, 旨在为鱼类新品种的移植和引种研究和为沿海地区大型热(核)电厂建成后海水鱼类养殖的合理布局研究提供科学方法。

1 鱼类热忍耐温度的主要参数

Fry 等^[2]第一次报道淡水鱼银鲫 (*Carassius auratus*) 的

温度限制值(thermal limits), 并定义起始致死温度(incipient lethal temperature, IL T₅₀) 为 50% 的生物个体不能长期生存下去的温度。这种起始致死温度的耐低温方向被称为低起始致死温度(lower incipient lethal temperature, LIL T₅₀), 而耐高温方向则被称为高起始致死温度(upper incipient lethal temperature, UIL T₅₀)^[9]。Brett^[10]将生物体这上、下起始致死温度线的热忍耐(thermal tolerance)范围用()²来表达。Giattina 等^[11]提出新的模型, 这种模型考虑到鱼类对温度的亚致死作用的行为, 热忍耐多边形是基于起始致死温度, 由于鱼类对热的改变非常敏感, 一些种类会回避近致死温度; 这一新模型产生于非致死温度区域内的热回避温度, 并画出热参考区域。同时 Elliot^[4]认为鱼类进入温

收稿日期: 2004-03-02

资助项目: 浙江省科技厅(2003C33064); 宁波市科技局(2003C10002); 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室资助

作者简介: 陈全震(1965-), 男, 浙江杭州人, 研究员, 研究方向为海洋生物。Tel: 0571-88076924-2475, E-mail: Chenqz@sio.zj.edu.cn

度极限值外围时,是否被致死还取决于鱼类在这温度所暴露时间长短。

Holland 等^[12]认为一个种类的 UIL T₅₀值是不固定的,它取决于季节、性别和个体遗传特性。Fry 等^[2]和 Brett^[10]也已发现 UIL T₅₀和 LIL T₅₀是随驯化温度的不同而发生改变。即随着驯化温度的提高,起始致死温度(UIL T₅₀)也随之提高,当驯化温度升高到某一温度值时,起始致死温度将不再相应升高而趋于某一固定的温度值,这一固定的温度值称为最高起始致死温度(ultimate upper incipient lethal temperature, UUIL T₅₀),相反称为最低起始致死温度(ultimate lower incipient lethal temperature, ULIL T₅₀),又称之为最大或最小临界温度(critical temperature maximum, CTMax 或 critical temperature minimum, CTMin)^[9,13-17]。

Reynolds 等^[18]认为最大起始致死温度(CTMax)可作为鱼类一个抵抗热区域的上限标准。这种 CTMax 被用于比较不同鱼类的热忍耐性^[6,19,20]。

2 影响鱼类热忍耐温度的因素

同一动物,冬天和夏天对环境温度的耐受范围和适应能力常常是不同的。随着其适应温度的提高,致死温度的上限和下限也提高,也就是耐高温的能力增强,而耐低温的能力减弱。这种对温度耐受力的变化,是由于夏天和冬天气候的变化引起动物机体代谢水平和生理活动状态的不同所造成的,也称之为气候适应(climatic acclimatization)^[21]。

不同品种鱼类的致死温度、临界温度和对热适应的能力是不同的^[22-24]。即使在同科鱼类(如鲑科鱼类)内的 CTMax 也存在一些差异^[25],这与它们所处的纬度、地理分布以及出生栖息地温度有关联^[26]。而且,适应于低温的鱼类比适应于高温的鱼类,对冷更能适应而对热则更敏感^[27,28];另一方面,适应高温的鱼类则对冷较敏感,而对热更能忍耐^[17,29]。生物适应温度是与它们的生活方式和栖息地的季节性温度的变化相关联,生活于大陆性气候条件(环境温度变化较大)的生物比生活于比较稳定气候条件下的狭温生物具有较大的广温性^[30]。

鱼类生存温度的上限和下限决定了鱼类对温度环境的适应范围,这些温度极限可通过驯化适应而改变^[10,17,31]。例如,蓝鳃鱼(*Lepomis macrochirus*)的 UIL T₅₀在 10 驯化温度条件下为 33.9,在 20 驯化温度下为 37.2,而在 30 驯化温度下则为 41.2^[32]。我们曾作过大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)温度热效应试验,于 2002 年秋季(自然水温 14),日升温 1 条件下,结果得出 UIL T₅₀为 28,又于 2003 年夏季(自然水温 29),以同样规格的鱼,日升温 1 条件下,结果得出 UIL T₅₀为 34。这说明夏季所做的 UIL T₅₀更接近 CTMax。利用与物种的分布范围或者与它们的栖息地温度波动相关的温度适

应范围是相当重要的,鱼类的这种热忍耐温度可为养殖区域的选择提供实际价值^[33],并为养殖系统温度的日或年波动而可能导致鱼类死亡提供参考^[7]。

3 鱼类热效应的研究方法

Cowles 等^[3]于 1944 年最早介绍鱼类的最大致死温度(CTMax)和最小致死温度(CTMin),Lowe 等^[34]引入数理统计学方法,Hutchison^[35]对实验方法加以规范,将 IL T₅₀定义为鱼体活动变得无规则、机体丧失逃避致死环境能力的平均温度。Brown^[36]综述了鱼类热忍耐的研究方法,两个基本技术被采用,即:(1)生物体从适应的温度突然转移入试验温度,并记录直到死亡所经历的时间;(2)以一个升温率标准(如 1 °h⁻¹或 1 °d⁻¹)加温,直至鱼体出现死亡。Wedemeyer 等^[37]确定突然升温的半致死温度程序为将原先适应温度的鱼类被突然转移到更高或者更低的温度;这一方法目前较统一采用温度突变 24h 的 50%致死温度来统计^[18,29,38]。第二种方法就是所谓的慢加温方法或称为最大临界温度(CTMax)方法。Kilgour 等^[39]评述这两种方法并且断定两种类型数据都有实用价值。

鱼类热效应研究中存在的最大分歧是 CTMax 试验时的升温速率还未形成统一的标准(表 1)。McCullough^[40]综述了各种鲑科鱼类在 0.04~60 °h⁻¹升温速率下 CTMax 情况。目前的研究报告,升温速率大致倾向于二种,一种是 1 °min⁻¹^[17,32,41,42],另一种是 1 °d⁻¹^[18,43-46]。本文作者更倾向于 1 °d⁻¹的升温速率,因为鱼类作为变温动物,慢升温可使鱼体有充裕时间对改变了的环境温度进行调节适应,能更客观地反映出鱼类本身的热耐力,而前一种只能反映鱼类的短期突然暴露的半致死温度。

此外,目前记录鱼类 CTMax 的持续暴露时间也没形成统一标准。有用 24h^[31,41]、48h^[7,32]、96h^[46]和用 1 周^[8,38,44]的。

Cox^[47]确定鱼类的致死温度点为机体活动失去平衡,生物体失去逃避将导致死的那些条件的能力,并将导致很快死亡。Baker 等^[43]确定鱼类的致死温度点为鳃盖运动的停止。目前,大都还是认同 Cox 的说法^[7,19,31,32]。本文作者认为 Cox 的说法更符合客观,因为鱼类热效应试验仅是在一个有限的时间内(如 24h)进行,而半致死温度在数理统计上则是在有限的时间内统计某一温度值无限时间内都存活的个体数,根据 Cox 说法的鱼一般不可能较长时间的存活。

总之,目前关于鱼类 CTMax 的实验研究还没有形成完全统一的方法。尽管如此,本文作者建议起始致死温度(ILT)和最大临界温度(CTMax)的升温速率宜采用 1 °d⁻¹,统计持续暴露时间采用 24h,同时按 Cox^[47]观点作为鱼类死亡记录标准(鱼体失去平衡能力)。

表 1 比较不同加热速率条件下所测得的各类鱼的最大致死温度(CT_{Max})结果
Tab 1. Heating rate in the CT_{Max} test for various fishes as reported in the literature

鱼类 species	产地 origin	起始温度() acclimatization temperature	升温速率 (h ⁻¹) heating rate	最大致死温度() critical temperature maximum	参考文献 references
虹鳟 <i>Oncorhynchus mykiss</i>	大西洋	17	0.04 ~ 0.08	26.3	[48]
大西洋鲑 <i>Salmo salar</i>	大西洋	17	0.04 ~ 0.08	28.7 ~ 29.2	[48]
楔孔花鲃 <i>Poecilia sphenops</i>	墨西哥 Oaxaca 洲	29	60	41.8	[7]
蓝鳃鱼 <i>Lepomis macrochirus</i>	美国密西西比河	10 20 30	60	33.9 ± 0.3 37.2 ± 0.2 41.2 ± 0.3	[32]
绿亚丽鱼 <i>Erioplus suratensis</i>	印度 Vellar 河口	28 ± 1	60	42.25	[41]
尖吻鲈 <i>Lates calcarifer</i>	印度 Vellar 河口	28 ± 1	60	44.50	[41]
粗鳞鲈 <i>Liza dussumeri</i>	印度 Vellar 河口	28 ± 1	60	44.50	[41]
金钱鱼 <i>Scatophagus argus</i>	印度 Vellar 河口	28 ± 1	60	42.50	[41]
爪哇篮子鱼 <i>Siganus javus</i>	印度 Vellar 河口	28 ± 1	60	39.50	[41]
细鳞刺 <i>Therapon jarbua</i>	印度 Vellar 河口	28 ± 1	60	42.00	[41]
红尾吸口鱼 <i>Moxostoma erythrurum</i>	美国俄亥俄州	21.1	4.8	35.4	[45]
大鳞吸口鱼 <i>Moxostoma macrolepidotum</i>	美国俄亥俄州	19.9	3.4	35.1	[45]
远东沙璠鱼 <i>Sardinops melanostictus</i>	日本近海	28	5	33.9 ± 0.2	[49]
五条鲷 <i>Seriola quinqueradiata</i>	日本近海	28	5	36.9 ± 0.1	[49]
竹荚鱼 <i>Trachurus Japonicus</i>	日本近海	28	5	35.4 ± 0.2	[49]
黄带拟鲷 <i>Pseudocaranx dentex</i>	日本近海	29	5	36.3 ± 0.1	[49]
太平洋鲱 <i>Clupea pallasii</i>	日本近海	20	5	29 ± 0.1	[49]
日本鯷 <i>Engraulis Japonica</i>	日本近海	28	5	34.9 ± 0.3	[49]
大麻哈鱼 <i>Oncorhynchus keta</i>	日本近海	20	5	29.9 ± 0.3	[49]

4 热污染对鱼类的影响评价

温排水对海域生态及海洋生物产生的热影响已引起人们的普遍关注,应成为热(核)电厂工程建设规划和环境评价中必须考虑的首要问题之一。热电厂排放的热废水可将沿岸水域的水温升高 10^[50],在直流式冷却发电厂的出水口水温将提高大约 8 ~ 12^[51]。同时也可利用热电厂冷却水的热能来提高鱼类的生长并开发出商业性

规模化养殖^[52,53]。Holt 等^[54]也建议应根据鱼类的最适生长温度和热忍耐温度范围来选择一些合适鱼种。Kitazima^[55]曾报导在日本养殖的真鲷(*Chrysophrys major*)在夏季出现生长减缓和死亡率提高的现象,直至 1980 年 Woo 等^[56]才发现该种鱼的最高起始致死温度(CT_{Max})为 32,而在夏季该海域表温已超过 30。因此,在评估养殖场的合适度和养殖新品种的选择时,应充分考虑可养品种的热耐受参数^[17]。

从热电厂排放的热废水进入河口或沿岸水域而导致

邻近水域鱼类的热影响,国外早在 20 世纪 40 年代已开展热污染对鱼类的影响研究^[3,9,20,35,41],并制订温度评价标准,如英国于 1961 年提出最高排水温度的规定和措施,法国在 70 年代的《环境法》中规定河水温度不得超过 30℃,前苏联在《卫生立法纲要》中规定热排水引起的接纳水体夏季不得超过 3℃,冬季不得超过 5℃^[57],美国为制定淡水水温标准,还提出了最大持久水温,要求适合于将生产

力保持在理想水平,同时认为没有单一的温度标准能应用于整个美国,甚至一个州,所以美国联邦政府的各个州又制定了州的水温标准^[58]。

我国于 20 世纪 90 年代逐渐开展温排水对鱼类的影响研究,但主要集中于淡水经济鱼类受温排水影响研究(表 2),这与我国淡水鱼类养殖历史早,早期的电厂大多建在江河流域附近相一致。

表 2 我国温排水对主要鱼类影响研究一览表

Tab 2. The table of the main fish influenced to drain off water warmly in China

鱼类 species	生活环境 living environment	最大致死高温(℃) critical temperature maximum	短期暴露最高温度(℃) maximum temperature in a short time	产地 origin	参考文献 references
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	淡水	39.9	37.9	上海	[8]
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	淡水	39.4	39.0	上海	[8]
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	淡水	39.7	37.3	上海	[8]
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	淡水	39.8	36.9	上海	[8]
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	淡水	39.3	37.8	上海	[8]
鲫 <i>Carassius auratus</i>	淡水	38.6	36.1	上海	[8]
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	淡水	39.3	37	上海	[8]
马苏大麻哈鱼 <i>Oncorhynchus masou</i>	冷淡水	25.2	23.91	吉林密江	[28]
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	淡水	38.6	34.6	太湖	[46]
梭鱼 <i>Cirrhinus molitorella</i>	广温海洋	38.8	36.3	青岛	[42]
黑鲷 <i>Sparus macrocephalus</i>	暖水海洋	36.35	34.04	大亚湾	[29]
平鲷 <i>Rhabdosargus sarba</i>	暖水海洋	35.52	33.57	大亚湾	[29]
细鳞鲷 <i>Therapon jarbua</i>	热带海洋	39.32	37.90	大亚湾	[29]

5 存在的问题与建议

许多水生动物为变温动物,其种群结构、生长与繁殖等活动都受水温的制约与影响,而其中以鱼类对水温的反应最为敏感和迅速。鱼类对温度的变化和影响具有一定适应能力,也可以被驯化,但适应也有一定的限度,如超出了适应能力的限度,就会引起机体机能活动的损害,甚至造成死亡。不同生物体对环境温度的耐受范围是各不相同的,有的生物体能耐受范围较大的高温,而耐受低温的能力则很差;有的生物体正相反,它能耐受很低的温度而耐受高温的能力很差^[59]。经济鱼类移植的关键问题是对移植鱼类要进行较大的时空改变,而温度是主要的变动因子。因此,通过鱼类热效应的实验研究,结合移植后水域的极端水温的历史记录,可以避免外来突发因素(如气候突变、排热等)对被移植鱼类种群带来较大的损害。汪锡钧等^[8]对我国的主要淡水经济鱼类的温度基准值已作了详细的研究,为我国制定淡水渔业用水区温排水标准提供了科学依据。但随着近年来许多大型热(核)电厂都将建在经济发达的海滨(河口或港湾),温排水自然会对养殖场鱼类、索饵场主要鱼类和鱼类产卵场主要鱼类的产卵、孵化、鱼苗生长和其它繁殖功能产生一定的负面影响。由于海洋生物和陆地生物相比,海洋生物所经受的温度变动要比陆地和陆地水域中的为小,因为海洋的温度除表层外,

每日的温度变化甚微,季节的温度变化也极为缓慢。当人为因素,如以每小时向接纳水域排放数万立方米的热(或核)电厂温排水时就会引起接纳水域发生“热污染”。如果热污染引起的升温值超过水体中有关生物的适应范围,就会引起生物种群的迁移或死亡,而破坏水域的生物资源。因此,为了充分利用海水资源和兼顾保护海域生态环境的平衡,就必需限制工业热废水排放温度,给出一个允许的温排水温度标准,而该标准又必须以鱼类及水生生物的最大耐受温度值为依据。因此,针对我国不同海区的主要经济鱼类开展温排水的影响研究具有重要的现实意义。

参考文献:

- [1] Elliott J A. A comparison of thermal polygons for British freshwater teleosts[J]. Freshwater Forum, 1995, 5: 178 - 184.
- [2] Fry F E J, Brett J R, Clawson G H. Lethal temperature limits of young goldfish[J]. Rev Can Biol, 1942, 50 - 56.
- [3] Cowles R B, Bogert C M. A preliminary study of the thermal requirements of desert reptiles[J]. Bull Am Mus Nat Hist, 1944, 83: 265 - 296.
- [4] Elliott J M. Some aspects of thermal stress on freshwater teleosts [A]. In: Pickering A D (eds.), Stress and Fish[C]. London: Academic Press, 1981. 209 - 243.
- [5] IMO/ FAO/ UNESCO/ WMO/ WHO/ IAEA/ UN/ UNEP. Joint group

- of experts on the scientific aspects of marine pollution (GESAMP) reports and studies [R]. Thermal discharges in the marine environment [A]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1984 24, 1 - 44.
- [6] Barrionuevo W R, Fernandes M N. Critical thermal maxima and minima for curimbata, *Prochilodus scrofa* Steindachner, of two different sizes[J]. Aquaculture Res, 1995,27: 447 - 450.
- [7] Hernández R M, Bökfle R L F. Temperature tolerance polygon of *Poecilia sphenops Valenciennes* (Pisces: Poeciliidae). J Therm Biol, 2002,27: 1 - 5.
- [8] Wang X J, Wu D A. Study on the criteria of water temperature for major culture freshwater fishes[J]. J Fish China, 1994,18(2): 93 - 100. [汪锡钧, 吴定安. 几种主要淡水鱼类温度基准值的研究[J]. 水产学报, 1994,18(2):93 - 100.]
- [9] Fry F E J. Effects of the environment on animal activity (Univ. Toronto Stud. Biol. Ser. 55). Ontario Fish Res Lab Publ, 1947, 8: 5 - 62.
- [10] Brett J R. Some principle in the thermal requirements of fishes [J]. Q Rev Biol, 1956, 31: 75 - 87.
- [11] Giattina J D, Garton R R. Graphical model of thermoregulatory behaviour by fishes with a new measure of eurythermality [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1982, 9: 524 - 528.
- [12] Holland W E, Smith H, Gibbons J W, et al. Thermal tolerances of fish from a reservoir receiving effluent from a nuclear reactor [J]. Physiol Zool, 1974, 47:110 - 118.
- [13] Hoff J H, Westman J R. The temperature tolerances of three species of marine fishes[J]. J Mar Res, 1966, 24:131 - 140.
- [14] Bidgood B F. Temperature tolerance of hatchery reared rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson [J]. Fish Res Rep Fish Wild Div, 1980, 15: 1 - 10.
- [15] Kutty M N, Sukumaran N, Kasim H M. Influence of temperature and salinity on survival mullet, *Rhinomugil corsula* (Hamilton) [J]. Aquac, 1980, 20(3):261 - 174.
- [16] Al-Habbib A M. Acclimation to temperature and death at changing lethal temperatures in the freshwater of cichlid fish *Tilapia mossambica* [J]. Comp Physiol Ecol, 1981, 2: 154 - 157.
- [17] Rajaguru S, Ramachandran S. Temperature tolerance of some estuarine fishes [J]. J Therm Biol, 2001, 26: 41 - 45.
- [18] Reynolds W W, Casterlin M E. Behavioral thermoregulation and the "final preferendum" paradigm [J]. Am Zool, 1979, 19: 211 - 224.
- [19] Paladino V K, Spotila J R, Schubauer J P, et al. The critical thermal maximum: a technique used to elucidate physiological stress and adaptation in fishes [J]. Rev Can Biol, 1980, 39: 115 - 122.
- [20] Lutterschmidt W I, Hutchison V H. The critical thermal maximum: data to support the onset of spasms as the definitive end point [J]. Can J Zool, 1997, 75: 1553 - 1560.
- [21] Li Y C, Huang Y M. Comparative physiology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1986. 152. [李永材, 黄溢明. 比较生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986. 152.]
- [22] Brett J R. Temperature tolerance in young Pacific salmon genus *Oncorhynchus* [J]. J Fish Bd Can, 1952, 9: 265 - 323.
- [23] Otto R E. Temperature tolerance of mosquitofish *Gambusia affinis* (Baird & Girard) [J]. J Fish Biol, 1973, 5: 575 - 585.
- [24] Rantin F T, Peterson J A. Thermal tolerance of South American cichlid, *Geophagus brasiliensis* [J]. Rev Hydrobiol Trop, 1985, 18: 221 - 226.
- [25] Fields R, Lowe S S, Kaminiski C, et al. Critical and chronic thermal maxima of northern and Florida large mouth bass and their reciprocal F₁ and F₂ hybrids [J]. Trans Am Fish Soc, 1987, 116: 856 - 863.
- [26] McGeer J C, Baranyi L, Iwama G K. Physiological responses to challenge tests in six stocks of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1991, 48: 1761 - 1771.
- [27] Elliott J M, Elliott J A. The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout [J]. J Fish Biol, 1995, 47(5): 917 - 919.
- [28] Sun Y M, Li D Z, Hou W L. The study on the temperature-limiting values for young *Oncorhynchus masou* (Beverore) [J]. Songliao Journal (Natural Science Edition), 1999, (2): 48 - 50. [孙永梅, 李东占, 侯文礼. 马苏大麻哈鱼幼鱼温度限制值的研究[J]. 松辽学刊(自然科学版), 1999, 2: 48 - 50.]
- [29] Cai Z P, Chen H R, Jin Q Z, et al. Influence of thermal power effluent on three species of fishes in Daya bay [J]. Tropic Oceanology, 1999, 18(2): 11 - 19. [蔡泽平, 陈浩如, 金启增, 等. 热废水对大亚湾三种经济鱼类热效应的研究[J]. 热带海洋, 1999, 18(2): 11 - 19.]
- [30] Cossins A R, Bowler K. Temperature biology of animals [M]. London: Chapman & Hall, 1987. 337.
- [31] Pérez E, Dáz F, Espina S. Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein) [J]. J Therm Biol, 2003, 28: 531 - 537.
- [32] Dent L, Lutterschmidt W I. Comparative thermal physiology of two sympatric sunfishes (Centrarchidae: Perciformes) with a discussion of microhabitat utilization [J]. J Therm Biol, 2003, 28: 67 - 74.
- [33] Lyytikäinen T, Jobling M. The effects of temperature, temperature shift and temperature fluctuation on daily feed intake, growth and proximate composition of underyearling Lake Inari arctic charr (*Salvelinus alpinus* (L.)) [J]. Nordic J Freshwater Res, 1998, 74: 87 - 94.
- [34] Lowe C H, Vance J V. Acclimation of critical thermal maximum of the reptile *Urosaurus ornatus* [J]. Science, 1955, 122: 73 - 74.
- [35] Hutchison V H. Critical thermal maxima in salamanders [J]. Physiol Zool, 1961, 34: 92 - 125.
- [36] Brown H W. Handbook of the effects of temperature on some North American fishes [S]. Canton O H: American Electric Power Service Corporation, Environmental Engineering Division, 1976.

- [37] Wedemeyer G A, McLeay D J. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors [A]. In: A D Pickering (ed.). Stress and fish[C]. London: Academic Press, 1981. 247 - 275.
- [38] Elliott J M, Klemetsen A. The upper critical thermal limits for alevins of Arctic charr from a Norwegian lake north of the Arctic circle[J]. J Fish Biol, 2002, 60: 1338 - 1341.
- [39] Kilgour D M, McCauley R W. Reconciling the two methods of measuring upper lethal temperature in fishes [J]. Environ Biol Fish, 1986, 17(4): 281 - 290.
- [40] McCullough D A. A review and synthesis of effects of alterations to the water temperature regime on freshwater life stages of salmonids, with special reference of chinook salmon[R]. United States Environmental Protection Agency, EPA910 - R - 99 - 010, 1999, 54 - 55.
- [41] Rajaguru S. Critical thermal maximum of seven estuarine fishes [J]. J Therm Biol, 2002, 27: 125 - 128.
- [42] Zhang M Y, Hou W L, Sha S G. Study on the temperature of thermal tolerance of the mullet larva (*Liza haematocheila*) [J]. Chinese Journal of Ecology, 1999, 18(2): 60 - 62. [张梅英, 侯文礼, 沙少国. 梭鱼幼鱼热耐受温度的研究[J]. 生态学杂志, 1999, 16(2): 60 - 62.]
- [43] Baker S C, Heidinger R C. Upper lethal temperature tolerance of fingerling black crappie[J]. J Fish Biol, 1996, 48: 1123 - 1129.
- [44] Thyrel M, Berglund I, Larsson S, et al. Upper thermal limits for feeding and growth of Arctic charr[J]. J Fish Biol, 1999, 55: 199 - 210.
- [45] Reash R J, Seegert G L, Goodfellow W L. Experimentally-derived upper thermal tolerances for redbreast suckers: revised 316 (A) variance conditions at two generating facilities in Ohio[J]. Environmental Science & Policy, 2000, 3: 191 - 196.
- [46] You Y, Hu G D, Wang Y T. Studies on the criteria of water temperature of *Protosalans hyatocranius* [J]. J Dalian Fish Univ, 1999, 14(3): 25 - 28. [尤洋, 胡庚东, 王宇廷. 大银鱼温度基准值的研究[J]. 大连水产学院学报, 1999, 14(3): 25 - 28.]
- [47] Cox D K. Effects of the three heating rates on the critical thermal maximum of bluegill [A]. In: Gibbons J W, R R Sharitz (editors), Thermal Ecology AEC Symposium Series (Conf - 73055) [C]. Springfield, VA, 1974. 150 - 163.
- [48] Grande M, Andersen S. Critical thermal maxima for young salmonids [J]. J Freshwater Ecology, 1991, 6(3): 275 - 279.
- [49] Tsuchida S. The relationship between upper temperature tolerance and final preferendum of Japanese marine fish [J]. J Therm Biol, 1995, 20(1/2): 35 - 41.
- [50] Horton D B, Bridges D W. Ecological systems receiving heated water [A]. In: Odum H T, Copeland B J, Mcmahon E A (eds.), Coastal Ecological Systems of the United States [C]. The Conservation Foundation, Washington, DC, 1969. 1113 - 1147.
- [51] Bamber R N. The influence of rising background temperature on the effects of marine thermal effluents [J]. J Therm Biol, 1995, 20(1 - 2): 105 - 110.
- [52] Sylvester J R. Biological considerations on the use of thermal effluents for finfish aquaculture [J]. Aquac, 1975, 6: 1 - 10.
- [53] Aston R J, Brown D J A, Milner A G P. Heated water farms at inland power stations [J]. Fish Farm Int, 3: 41 - 44.
- [54] Holt R S, Strawn K. Culture of black drum (*Pogonias cromis*) in cages receiving effluent from a power plant effluent characterized by wide salinity fluctuations [J]. Proc World Mar Soc, 1976, 8: 73 - 90.
- [55] Kitazima T. Symposium on culture and propagation of sea breams. 1. Problems on sea bream culture [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1969, 35: 562 - 607.
- [56] Woo N Y S, Fund A C Y. The studies on the biology of the red sea bream, *chrysophrys major* 1. Temperature tolerance [J]. Mar Eco Prog Ser, 1980, 3: 121 - 124.
- [57] Jiang L F. Heating (nuclear) power stations and fishery resource [J]. Collected Translation of Freshwater Fisheries, 1984, 5: 1 - 5. [姜礼燧. 热(核)电站与渔业资源 [J]. 淡水渔业译丛, 1984, 5: 1 - 5.]
- [58] Jiang L F. Effects of thermal shock on fishes [J]. J Fish Sci China, 2000, 7(2): 77 - 81. [姜礼燧. 热冲击对鱼类影响的研究 [J]. 中国水产科学, 2002, 7(2): 77 - 81.]
- [59] Ye F L, Zhang J D. Fish ecology [M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 2002. 11 - 15. [叶富良, 张健东. 鱼类生态学 [M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002. 11 - 15.]