

文章编号:1005-8737(2000)02-0077-05

热冲击对鱼类影响的研究

姜礼燧

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心,江苏无锡214081)

摘要:对我国几大水系鱼类及水产动物共65种的抽样调查、急性热冲击试验、热回避试验、最大起始致死温度和持续热影响试验,以及组织学检查等,探讨了我国渔业水域的废热排水对鱼类影响的温度标准。认为我国夏季废热排水最高温度珠江水系和湛江沿岸水域不得超过36℃;长江和钱塘江水系、黄河水系不得超过35℃;黑龙江和松花江水系不得超过26℃;大连湾近岸水域不得超过24℃;西北地区冷水性鱼类水域不得超过21℃。且各水系最大水温变化范围不能超过±3℃。

关键词:热冲击;鱼类;水产动物;温度标准

中图分类号:S94

文献标识码:A

温度标准是渔业水质标准的一个重要方面,建立温度标准问题已引起许多国家的重视。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℃;原苏联在《卫生立法纲要》中规定热排水引起的受纳水体夏季增温不得超过3℃,冬季不得超过5℃^[1,2]。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,在美国联邦政府的各个州又制定了州的水温标准。本研究根据对我国不同地区的几大水系进行调查及实地实验,研究了废热排水对鱼类的影响,并提出了淡水鱼的排水温度基准。

1 材料与方法

1.1 实验材料

采集不同地区的几大水系鱼类及水产动物共65种。其中,珠江水系以珠江广州段及湛江沿岸共9种亚热带鱼类;长江流域以钱塘江杭州段共25种;黄河济南江段6种;黑龙江水系包括辽宁大连沿

岸、吉林市松花江段共14种;以及西北地区的新疆乌鲁木齐、伊黎市及西安市等11种。采样期间,长江江段pH 6.86~8.16,硬度2.50~5.97,电导率260~180 $\mu\text{S}/\text{cm}$,溶解氧6.40~11.8 mg/L;大连湾水质盐度31~33,pH 7.6~8.9;黄河济南江段pH 7.8~7.9,含沙量350~500 mg/L,溶解氧3~10 mg/L。

1.2 实验方法

1.2.1 急性热冲击试验 参照美国 Steven R·Alcorn^[3]的方法,对不同水系65种鱼类及水产动物分种分组——试验,即每1 h升温1℃左右,观察其因突然升温受到热刺激而发生的兴奋、冲撞等异常反应。

1.2.2 热回避试验 采用TL-81型有机玻璃鱼类回避槽,观察鱼类游动情况,并计算回避率。

1.2.3 最大起始致死高温试验 参照 Alabaster 等方法^[4,5]。分别对红鲤、白鲫、团头鲂、白鲢及鳊鱼5种鱼受热驯化,每组10尾鱼,温度设置范围为36℃(全存活 LT_{50})~42.5℃(全致死 LT_{100}),按半对数比例设置相应的温度梯度。恒温试验7 d,观察及计算鱼类行为反应与死亡率,应用内插法得出 LT_{10} 、 LT_{50} 值。

1.2.4 持续热影响试验 以白鲫作材料,分2组,

收稿日期:1999-04-02

作者简介:姜礼燧(1933-),男,浙江人,中国水产科学研究院淡水渔业研究中心副研究员,从事渔业环境保护、淡水养殖及鱼病防治研究。

每组 10 尾鱼,用网篓悬挂于镇江地区电厂的温排水口附近,于最高温季节持续观察 4 周存活、行为等反应。

1.3 组织学检查

在上述鱼类热影响试验中,分别对中华鲟、鲫、鳊、鳙、章鱼、鲻、海参、胡子鲶、青鱼、草鱼、乌鳢、斑鳢、舌鳢、虹鳟、池沼公鱼、黄河鲤、黄鳍鲷、石斑鱼、

鲮、福寿鱼、罗非鱼、鰕虎鱼、鳖等 26 种作常规组织学切片观察。

2 结果

2.1 急性热冲击试验

试验结果见表 1(仅例举 15 种)。

表 1 鱼类及水产动物对温度变化的行为反应

Table 1 Behaviour response of fishes and aquatic animals to temperature

种类 Species	水系 Location	基温 Basic temp.	游动正常 Normally swimming	游动异常 Innaturally swimming	失去平衡 Off balance	死亡 Death
鳊 <i>Cirrhina molitorella</i>	珠江 Zhujiang River	29.5	30~35		39.5	41
石斑鱼 <i>Epinephelus</i> sp.	珠江 Zhujiang River	28	29~35		37	38.8
鲢 <i>Hilsa reevesii</i>	长江 Changjiang River	28	28~36	37~38	38.5~39	40~41
鳊 <i>Anguilla japonica</i>	长江 Changjiang River	24	24~30	35.5~36	37~37.5	38
鳊 <i>Simiperca chuatsi</i>	长江 Changjiang River	25	25~30	36	38	39~40
中华绒毛蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	长江 Changjiang River	24	24~25	37		40
鲢 <i>Megalobrama amblycephala</i>	钱塘江 Qiantangjiang River	24	24~33	36	36.7	37
鲫 <i>Carassius auratus</i>	济南 Jinan	24	24~34	35.5	37	37
中华鳖 <i>Trionyx sinensis</i>	济南 Jinan	24	24~35	39	41	
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	西安 Xian	27	27~32	33	41.5	41.5~42
白鲢 <i>Piaractus brachyptomus</i>	乌鲁木齐 Wulumuqi	27	27~38	39	41.2	
虹鳟 <i>Salmo gairdneri</i>	黑龙江 Heilongjiang	16		25	29.5	30
海参 <i>Stichopus japonicus</i>	大连湾 Dalian Bay	16	16~20	22~26		26.5
对虾苗 <i>Metapenaeus</i> sp.	大连湾 Dalian Bay	22	22~25	26~33		34~35
牡蛎 <i>Ostrea</i> sp.	大连湾 Dalian Bay	16	16~20	30~32		38~40

2.2 鱼类热回避试验

试验结果表明:中华鲟回避值在 25℃ 左右;鲢 36℃ 左右;银鱼 30℃;青鱼大于 34℃。

2.3 鱼类最大起始致死温度试验

试验结果见表 2。

表 2 5 种鱼类的最大起始致死温度

Table 2 The Max. incipient lethal temp. of 5 fishes

种类 Species	最大起始致死温度 Max. incipient lethal temp.		最高存活温度 Max. survival temp.
	LT ₁₀ *	LT ₅₀ **	
红鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	37.16	41.30	35.16
白鲫 <i>Arassius auratus</i>	37.58	41.00	35.58
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	37.28	39.26	35.28
白鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	37.28	39.38	35.28
鳊 <i>Anguilla japonica</i>	37.98	39.18	35.98

* 按 Alabaster 等提出以 1%~10% 致死温度为开始致死温度。

** 按 Brown 提出以 50% 致死温度为最大起始致死温度。

2.4 持续热影响试验

试验结果表明:第 3 周第 1 d 的最高水温达 39℃,引起 20% 的白鲫死亡,其它浮头、游动不安;第 3 周 6d 最高水温达 36℃,也有一些白鲫游动加

快,急躁不安。

2.5 鱼苗对温度变化的反应试验

由连续应用草鱼、鲢等胚胎孵化出幼体试验表明,在初孵幼体以自身营养阶段为敏感期,对温度的

梯度变化范围不能超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

2.6 组织学检查

对 26 种鱼类及水产动物的组织学切片观察,选其中 3 种来描述其组织部位结构变化:①中华鲟 在 $28\sim 30^{\circ}\text{C}$ 热冲击下,鲟唇部的粘液细胞有空泡化,味蕾细胞萎缩;细胞核液化出现空腔;触须边缘的空泡化较多;鳃部充血,微血管受破坏,鳃丝扩张,并有溢血现象。②鲟 在 $38.5\sim 39^{\circ}\text{C}$ 热冲击下,上颌表皮细胞出现分层,裂痕,粘液细胞增多;体皮上皮细胞水肿、变形,鳃丝血管扩张,略充血;鳃盖上皮受损,露出软骨;头部侧线附近表皮胶质化,头部侧线孔亦充满粘液状物质;鳍基充血。③海参 在 $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ 热冲击下,海参吐纳出肠道及内脏,体腔壁呈现许多坏死絮状物;粘膜层与疏松结缔组织结构不清楚;体表粘液层有溶解;在转移入 34°C 的热冲击下,2 min 后表层细胞坏死,胞层有破裂、脱落症状。

3 讨论

3.1 温度与鱼类地理分布的关系

鱼类区系的地理分布受到温度的控制。首先是极限温度的制约。从本研究结果可见,从南向北的分布范围是受冬季最低温度的限制,如珠江水系的鲮、罗非鱼、福寿鱼等喜栖于水温 $24\sim 35^{\circ}\text{C}$,忍耐的最低温度为 $7\sim 12^{\circ}\text{C}$;从北向南则受夏季最高温度的限制,如黑龙江、松花江水系的鲑鳟、公鱼及雅罗鱼,喜栖于温 $9\sim 16^{\circ}\text{C}$,忍耐的最高温度为 $25\sim 29^{\circ}\text{C}$;地处温带的长江水系有青、草、鲢、鲫、鲤、鳊等鱼类,能生活于 $0\sim 34^{\circ}\text{C}$ 的水中,其适温范围为 $20\sim 32^{\circ}\text{C}$ 。故人们常把前两者称为狭温性鱼类;后者称广温性鱼类。

不同鱼类只能适应于一定的温度范围内生活,且还依鱼类的不同个体大小而异。例如虹鳟幼鱼的死亡温度为 30°C ,比虹鳟成鱼的死亡温度 28°C 高 2°C 。同时,我国曾利用草鱼、鲢的实验表明:平均体重 365 g 草鱼的游动加快和失去平衡温度分别为 34.5°C 与 35°C ,比 0.6 g 草鱼幼鱼分别低 4°C - 4.3°C ;大规模鲢比小规模鲢的死亡温度低 3.6°C 。此外,鱼类耐温能力与栖息的基础温度(驯化温度)有密切的关系。如驯化于 25°C 的冷水性公鱼,比驯化于 16°C 的游动加快要高 2°C ,致死温度高 1.6°C 。

3.2 热效应

3.2.1 急性热冲击 热冲击是由突然温升而使鱼类发生兴奋、冲撞等异常的行为反应,包括产生惊

厥、痉挛昏迷及其体组织内血管扩张、充血,体表感受器受伤,特别是对鱼类的幼体及卵胚阶段的影响为其。因为它们属于被动的生物体,缺乏回避热冲击的能力。其在江、河、湖、海中漂游,或被迫卷入热波中引起蛋白质凝固变性等丧生。因此,研究了解热冲击的生物效应是评价鱼类及其它水生生物受废热水影响的重要方法之一。

各种鱼类及其它水生生物,对热冲击反应不同,其适应的幅度也不一样。如本试验结果看到,从游动异常到激剧运动、失却平衡的差距很小,如鲟为 1.5°C ,鳊 1.5°C ,鲈 2°C ,鲢 1.8°C ,胡子鲶 3°C ,虹鳟 2°C ,鳊 2°C ,乌鳢是 5°C ,鲤和鳊虎鱼均为 1°C 。另外,从热效应来看,从异常活动到死亡,鲟为 3°C ,鳊为 2.5°C ,凶猛性鱼类胡子鲶最小为 1°C ,而适应性强的鲤为 $5\sim 8.5^{\circ}\text{C}$ 。这些鱼类从异常活动到死亡的平均值为 3°C 左右。无脊椎动物从活动异常到死亡的平均值为 5°C 左右(牡蛎除外)。这可能是生物进化中低等生物由于各组织器官发育状态很原始的缘故,且更能适应于环境热效应所致。

除牡蛎外,它们在温度的升降中从活动异常到死亡温度差异较小。如白鲢在夏季产卵的温度为 16°C ,恒定在这一温度仅少数白鲢可以产卵,若温度上升 1°C 或更多,则可全部产卵。生活在海洋中的鲟,开始游向内陆江河的水温是 20°C ,到达产卵场水温不达 $25\sim 26^{\circ}\text{C}$ 不产卵。美国学者检测鲑鱼及鲑鱼的觉察外界水温度的差异低至 0.05°C ;锦鲤还能低至 0.03°C 。因此,人们了解和掌握各种鱼类及水生生物在热效应冲击下的行为反应,这对制定地面热排放标准具有一定的参考价值。

3.2.2 持续热影响 在华东地区某电厂热排放的水中网养青鱼、草鱼、鲢、鳊、鲤、鲫、鳊及罗非鱼等 8 种鱼类,共 127 尾,分 3 组作为期 1 周年的存活、成长及行为反应等变化试验。草鱼的生长在温幅未超过其适应和耐受范围内能逐步开始适应,并在温度微超过耐受范围条件下力求维持已经形成的代谢水准中成长。但在外界环境温度远超过鱼类生理上许可范围时,将会引起鱼类游动异常,甚至死亡。

3.3 生物热致死的机制

生物热致死的机制及其基础理论问题,据国外有关学者及我们研究的结果,归纳如下:①神经系统的破坏 Cameron 等认为热冲击将破坏整个中枢神经系统。如我们用黄鱼做试验,结果表明,在 $37\sim 38^{\circ}\text{C}$ 热冲击下,仅经 10 min,该鱼的感受器味

蓄细胞就发生水肿,表现轻度受伤,侧线管收缩经 30 min 可见亚表皮开裂,表皮感受器细胞萎缩,对外界感觉功能消失,迷失方向,昏迷以致死亡。②酶系统和呼吸中心损害 原苏联学者研究鱼类心脏结果认为,鳗、电鳐及丁卡鱼类在水温 30℃ 下还能进行正常活动及呼吸,超过此温度一般会破坏心脏各部分之间的传导性,使心耳与心室开始不联系地收缩,发生热阻抑,甚至心脏陷入热僵化死亡。据我们实验草鱼的结是表明,水温 30℃ 时心率 35 次/min,呼吸率 57.5 次/min;水温 33℃ 时草鱼心率为 40 次/min,呼吸率达高峰,为 150 次/min,然后转向降低,甚至频率不规则,缓慢→停滞→僵化死亡。③血液系统破坏 鱼类遭受热影响引起鳃体表、肝脏、脑等血管扩张、充血、溢血以至血管淤血、凝血,红血球分解及血管运动神经的失常。④组织结构的破坏 生物各组织结构中,在外界热冲击下常其产生凝集结块,变质,丧失原生质的活力致死。

3.4 养殖水体温度标准评价

制定养殖水体温度标准,必须确保鱼类机体各项机能如神经系统、酶系统、呼吸系统、血液循环、组织结构等不受损害;并在鱼类生态,生理变化所能适应的范围内,从而达到有利于鱼类资源增殖和改善水产品质量的的目的。

联合国粮农组织提出,欧洲淡水鱼对高温忍受程度取决于鱼类的品种、发育阶段、生长季节、驯化温度及水中溶解氧量,制定的温度标准适用在未受化学污染的水域中。其主要的要求如下:在自然温度范围内,任何温度变化,不会引起鱼类行为和鱼类种群组成的变化;全年内鱼类的不同生活阶段,需要不同温度条件来满足;根据不同季节,制定不同的温度标准,应用鱼类群落角度来改变制定最大升温允许值。

在制定温度标准上,各国亦存在较大的差异。如英国规定各条河流有不同的排放标准,最高水温不超过 38℃,一般为 30℃,温升不超过 5℃。法国规定河水温度不得超过 30℃,根据具体情况,该限值有时为排放口处的水温。意大利对河流排水口处最高的水温规定为 30℃,从排水口起 100 m 外的温升在 3℃ 以下;湖泊排水口处最高水温为 30℃,从排水口起 50 m 外温升不得超过 3℃。美国联邦政府 1968 年正式颁布时规定废热水的排放温度,河流不得超过自然水温的 2.8℃;湖泊、水库,夏天上层水温不得超过自然水温的 1.7℃;沿海岸水域不得

超过 2.2℃。

由 Mihnrsky 与 Black 分别提出评价鱼类安全温度,用 24 h 平均忍受温度值或平均致死热值(LT₅₀)减去 2.2℃,或由生物开始致死温度减去 2℃,最具有实用价值。经我们从野外调查及实验检测珠江、钱塘江、长江、黄河、松花江等水系的鱼、贝类的结果,与应用 Mihursky 等方法推算得出的数值比较接近,基本上符合我国实际情况。评价如下:①珠江水系和湛江沿海 鲮、福寿鱼、石斑鱼、弹涂鱼、胡子鲶、斑鳢、神仙鱼等,开始致死温度在 38~44℃ 之间。其敏感性高的弹涂鱼,石斑鱼、胡子鲶及斑鳢等失却平衡的温度为 38℃。为了保证鱼类良好的环境温度条件,参考 Mihursky 等的方法评定,建议在珠江水系和湛江沿海岸的水域中,夏季排入废热水区域最高水温不得超过 36℃。②长江和钱塘江水系 本水系的鲢、鳙、鳊、乌鳢、青鱼、鲇、密鲮等开始致死温度在 37~42℃ 之间,其中较敏感的青鱼和密鲮等致死温度为 37℃。建议长江、钱塘江水系夏季排入废热水区域最高温度不得超过 35℃。③黄河水系 鲤、赤眼鳟、乌鳢、鲫等温水性鱼类,最低的开始致死温度为 37℃。建议夏季最高温度不得超过 35℃。④黑龙江和松花江水系 冷水性鱼类虹鳟、公鱼、雅罗鱼等,最低开始致死温度为 23~30℃。建议本水系夏季最高温度不得超过 26℃。⑤西北地区的陕西、新疆水域 本水域的冷水性虹鳟,开始致死温度为 23℃。建议冷水性鱼不得超过 21℃。⑥大连湾近岸水域 本水域的海参、章鱼、贻贝、虾等,开始致死温度在 26~38℃ 之间。如海参在 25~26℃ 热冲击下,将吐纳出肠道及内脏。建议大连湾近海水域夏季排入废热水水温不得超过 24℃。

多年连续实验表明,以胚胎孵化出幼体阶段为温度的敏感期,温度梯度变化不能超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$,超越此限,幼体内卵黄凝固发白。据我们用 TEM~100CX II~ASTD4D 的电镜扫描可见,幼体胶腔内卵黄蛋白呈板状、球状等不规则凝集,经 12~24 h 全部死亡。为保护各种鱼类幼体阶段的正常发育,必须具备良好的环境温度,建议各水系在鱼类繁殖期间的水温温幅变化不得超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。

由于我国水域辽阔,分布亚热带、温带及亚寒带,及鱼类品种繁多,因而不可能应用统一的一种标准。各水域的建议温度基准归纳为表 3。

表 3 各水系鱼类最高水温标准(建议指标)

Table 3 Max. temp. limit standart of different fish water (sugest standart)

地区 Arear	最高水温/℃ Highest temp.	最大水温变化/℃ Highest variation of water temp.
珠江水系(暖水性鱼类)	36	3
长江、钱塘江水系(温水性鱼类)	35	3
黄河水系	35	3
黑龙江水系(冷水性鱼类)	26	3
西北地区(温水性鱼类)	36	3
西北地区(冷水性鱼类)	21	3
大连湾水域(海参)	24	

参考文献:

- [1] 姜礼燊, 等. 热污染对鱼类呼吸及心转率的影响[J]. 环境科学, 1985, 6(3): 15-18.
- [2] 姜礼燊. 热(核)电站与渔业资源[J]. 淡水渔业译丛, 1984, 5: 1-5.
- [3] 姜礼燊. 核电站对渔业环境影响预测及防治对策的研究(专题论文)[M]. 1984.
- [4] U. S. A(E. P. A). Guatity Crtoria For Water[J]. Freshwater fish, 1978.
- [5] Alabaster J S. Water temp., water quaity Criteria for freshwater Fish[S]. FAO, 1981. 47-68.
- [6] Rebert Cto et al. Thermal mortality prediction equation for entrainable striped bass[J]. Trans Am Fish Soc, 1976, 2(6): 105-197.
- [7] Raym, et al. Temperature selection of fresh water fishes[J]. Trans Am Fish Soc, 1982, 112, (5): 557-569.
- [8] WHO. The World's nuclear power plants nuolear engineering international[M]. 1981.
- [9] Langford, et al. Electricity generation and the ecology of natural waters[M]. Liverpool University, Bristish. 1983.
- [10] Turnpenny, et al. The electrobiology of fishingground at Sizenell station, Suffolk on north sea fish stocks MMAFF[M], 1988.

Effects of thermal shock on fishes

JIANG Li-fan

(Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: Sixty-five aquatic animals in several river systems were collected. The tests of thermal shock, thermal avoidance, maximum incipient lethal temp. and continuously thermal effect were performed. Then a series of pathological tests were conducted. Based on the tests, a study on temperature standard of waste hot drainage in fishery waters was performed and it comes to the conclusion that in summer, the highest hot drainage temperature should be 36℃ in Zhujiang River system and Zhanjiang coastal waters, 35℃ in the Changjiang River, Qiantangjiang River and the Yellow River, 26℃ in the Heilongjiang River and Songhuajiang River, 24℃ in offshore water of Dalian Bay, 21℃ in northwest waters, and the highest variation of water temp should not be over $\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Key words: thermal shock; fish; aquatic animal; temperature standard