

196—197 (1982).  
[6] 中国茶科所,昆虫学报 18 (2), 133-9, (1975).

[7] 河南省中牟农业学校,作物栽培学,北方本,(上册),  
第 106 页,农业出版社,1979.

# 热污染对鱼类呼吸及心搏率的影响

姜礼燔 曹萃禾

(淡水渔业研究中心,无锡)

研究热污染对鱼类呼吸及心搏运动的影响,对于水体污染生物学监测和测定地面水环境温度标准及渔业用水标准都有一定的意义。

近年来,由于电力工业迅速发展,废热水污染问题已引起国内外有关部门的关注。本文着重介绍水温升高和水中含汞、镉、铜、铅情况下草鱼、鲢鱼及鲫鱼的呼吸、心搏影响的实验研究结果,并参考国外有关文献,试图为制定我国淡水水温标准提供一些依据。

## 材 料 与 方 注

实验鱼来自当地渔场,实验鱼品种选用:  
(1) 白鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*), 平均体长 11.55cm, 平均体重 14.20g; (2) 草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*), 平均体长 19.50cm, 平均体重 83.20 克; (3) 鲫鱼 (*Carrasius auratus*), 平均体长 10.5cm, 平均体重 20.04g。实验前先经过驯养七天以上, 驯养期内投喂人工颗粒饵料与大麦粉, 实验时停食, 以防饲料影响水质。

实验容器分别使用 50L 与 100L 阶梯式自流有机玻璃水槽, 由 WMZK-01 型温度指示控制仪控制不同的实验水温, 并备用小型增氧机, 补充鱼类正常呼吸所需的溶解氧。

实验分以下三种方式。

一、把草、鲢、鲫鱼分别移养于由人工控温的水槽内, 每小时温度升高 2℃, 观察及记录鱼的呼吸率和活动情况。

二、把草鱼分别移养于配制的不同浓度

的镉、汞、铜、铅离子溶液内, 观察和记录鱼在温升中呼吸及活动情况。

三、分别观察和记录鱼类在温度升高过程中心搏与呼吸率之间关系。

以上三种实验均采用 Aloka SSD-202 型与 M-CXD 型超声显像仪。前者借助显像超声, 于视屏上显示鱼类心搏、呼吸活动的实像; 后者就是超声心动图仪, 进行摄影记录心搏运动次数, 速度采用每隔 0.5 秒。然后由人工观察鱼呼吸率及活体解剖心腔和离体心脏搏动频率方法相结合。每次温升观察实验鱼 6 至 11 次, 每次用鱼一尾。

实验用水取自经除氯的自来水, pH 值 6.7—7.5, 硬度 0.7—1.55 度, 总碱度 0.2—1.35mg/l, 氯化物 0.75—17.25mg/l。

## 实 验 结 果

一、增温对鱼类呼吸率的影响

鲢、鲫、草鱼分别在 10℃ 至 40℃ 温幅梯度中表明, 它们的呼吸率与水温的高低有着密切关系。温度上升, 鱼的呼吸频率加快。如记录所示, 鲫鱼在 11℃ 时每分钟的呼吸率为 67 次, 温升至 35℃ 时每分钟呼吸率增至 170 次, 温升增至 36℃ 时呼吸率达到 200 余次。

但是, 温度与鱼类呼吸频率之间并非直线的关系。从本实验结果看, 鱼类的呼吸率在各温带内有明显的差异。如鲢鱼在温度 20—30℃ 范围, 平均呼吸率为  $39.3 \pm 6.1$ — $94.1 \pm 2.1$  次/分, 游动表现平稳, 反应正常;

当温度升到 34—36℃ 范围, 鲢鱼呼吸率增至 140 余次, 鲫鱼达到 200 余次(见图 1、2)。游动已出现极度不安、窜游、跳跃等现象, 此后继续升温, 超过 36℃ 呼吸率开始下降, 呼吸节奏紊乱, 直至停止呼吸、死亡。

从呼吸率与温升之间应用线性回归方程的结果也表明, 存在明显的曲线关系。例如, 鲢鱼在 19—37℃,  $n=139$ , 与相应的平均呼

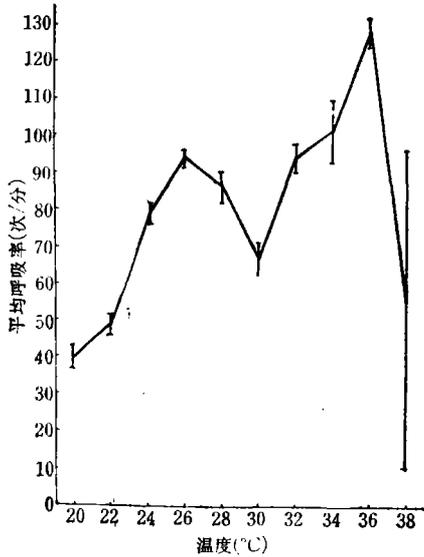


图 1 鲢鱼在不同温度下呼吸的变化

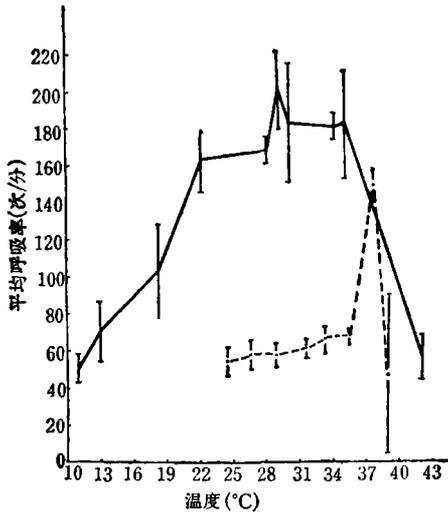


图 2 鲫、草鱼在不同温度下呼吸率的变化

—— 鲫鱼    ---- 草鱼

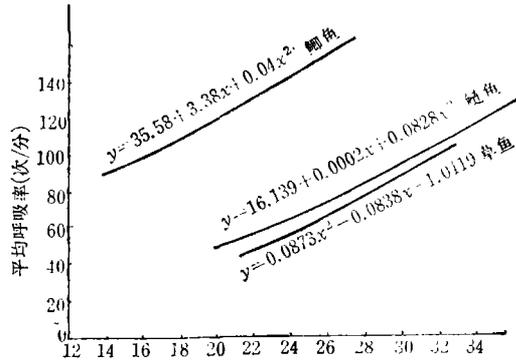


图 3 鲫鱼、鲢鱼、草鱼的平均呼吸率与温升关系

吸率之间关系式

$Y = 16.1391 + 0.0002x + 0.0828x^2$ ,  
 相关系数  $r=0.93$ ; 草鱼在 23—35℃,  $n=55$ ,  
 与相应的平均呼吸率关系式  
 $Y = 0.0873x^2 - 0.0838x - 1.049$ ,  $r = 0.98$ ;  
 鲫鱼在 13—35℃,  $n = 63$ ,  $Y = 35.58 + 3.38x + 0.04x^2$ ,  $r = 0.88$ .  $r$  均接近于 1, 表明回归线性关系显著, 详见图 3。

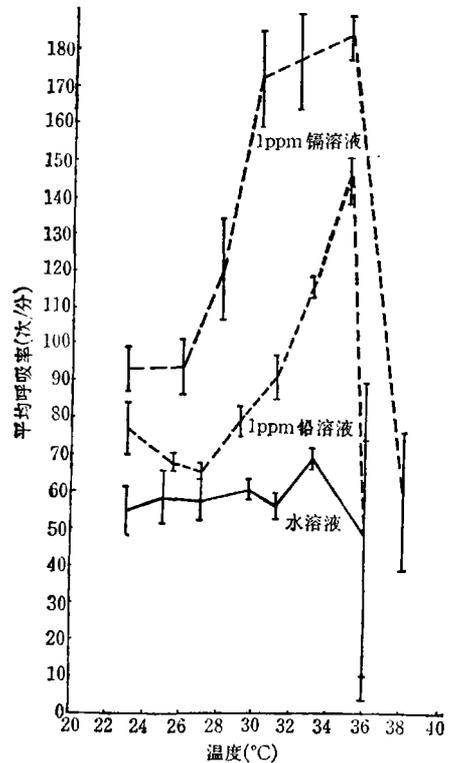


图 4 不同温度下重金属(镉、铅)对草鱼呼吸率的影响

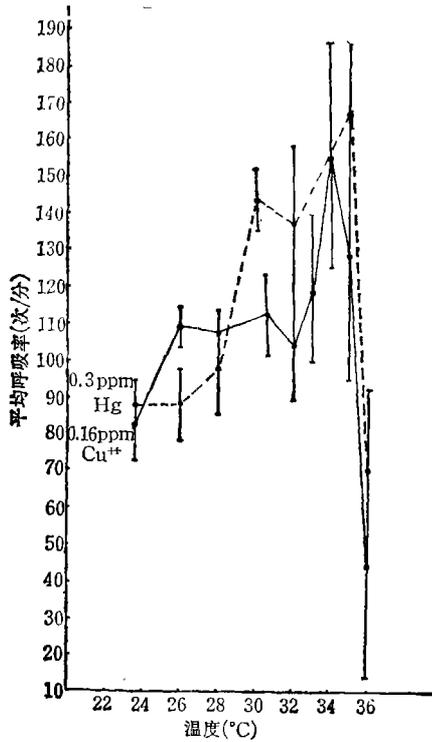


图 5 不同温度下重金属(汞,铜)对草鱼呼吸率的影响

二、不同温升梯度下重金属对鱼类呼吸率的影响

镉、铅、铜、汞等金属离子于不同温度梯度下对鱼类呼吸率的影响差异很大。从图 4 来看,在 1mg/l 镉浓度中,水温 24°C 时草鱼呼吸率约 90 次/分,水温上升 30°C 时呼吸率为 170 次,水温 36°C 时呼吸率达到最高峰,超过 180 次/分,比未含毒的对照组,在相同温升下增加呼吸率近三倍。此后温升,呼吸率则下降,直至窒息死亡。

从图 4、5 可见,四种重金属在相同温升下,加速呼吸的以汞、镉(离子)的作用为最大,其呼吸率分别可达 179 次/分与 180 次/分,其次为铜、铅,呼吸率均为 160 次左右。

应用线性回归方程的计算结果也表明存在着明显的曲线关系。例如白鲢,分别在含镉 1.0、2.77mg/l 浓度中,于水温 24—35°C 时,  $n=48、44$ , 与相应的平均呼吸率之间关系式

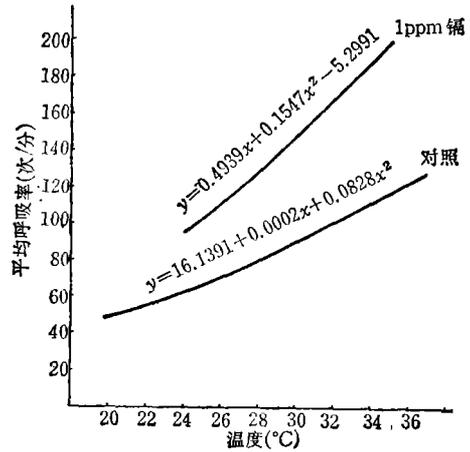


图 6 重金属(镉, 1mg/l)在不同温度与鲢鱼呼吸率的关系

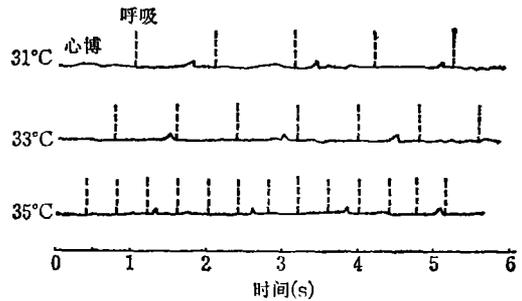


图 7 草鱼的呼吸运动和心脏搏动电位曲线

$Y = 0.4939x + 0.1547x^2 - 5.2991 \quad r = 0.96$   
 $Y = 199.9397 - 11.7114x + 0.092x^2 \quad r = 0.88$   
 $r$  均接近于 1, 表明回归线性关系显著, 见图 6。

三、温升对鱼类呼吸与心搏关系

本实验结果表明,草鱼心脏搏动与呼吸节律近似。在一定的幅度范围,它们的频率数随温度提高而增加。例如,草鱼在水温 31°C 时,心搏率为 35 次/分,呼吸率为 66 次/分;水温 33°C 时,心搏率为 40 次/分,呼吸率 75 次;温升至 35°C,心搏率为 47 次/分,呼吸率达到高峰,为 150 次/分。但温度过高反而减少,终于由于热麻痹而停止搏动,见图 7。

讨 论

温升对鱼类呼吸及心搏率的影响,早在

1934年日本学者渡边就曾利用鲑鱼观察两者之间比率关系,1964年 Jones,1976年 Hughes及1979年 Frosi 等人均设计过不同类型的鱼类呼吸装置,用于检测温度、DO 及其它污染物对鱼类的影响。从1982年以来,我们已连续三年利用网养鱼类监测某电厂废热水的温升变化,并已见效。

温升对鱼类呼吸、心搏动的影响是明显的。据我们实验结果,在一定的温幅范围内,它们的变化是随温升而增加。例如草鱼的呼吸数和心搏动数,在温度 30℃ 时分别为 57.5 次/分与 35.0 次/分;水温 33℃ 时为 75 次/分与 40 次/分,温升至 37℃ 时分别达到 150 次/分与 47 次/分。

鱼类呼吸,对温升的反应是有阶段性的。从本实验结果看来,可分为三个阶段。第一阶段,为正常频率期,鱼呼吸节律表现均匀,反应正常,每分钟的呼吸数由 50 次至 100 次,平均 75 次左右;第二阶段为极限期,鱼的呼吸频率逐渐增加,每分钟的呼吸频率由 100 次到 200 次左右,平均 150 次左右;第三阶段为缓滞期,鱼的呼吸节律出现不规则,快慢不一,为濒临死亡的先兆;呼吸率平均每分钟由数十次,到终止呼吸死亡。

从有关资料报道,在水域中含有某些金属毒物也能起着加速鱼类的呼吸活动。一种刺鱼 (Stickleback), 在 0.002N 硫酸铜和 0.005N 硝酸铅溶液中,比在未含铜、铅的水中呼吸率提高 150% 到 200% 以上 (Jones 1946)。一种鲑鱼 (*Micropterus salmoides*) 于含 0.1、0.5、1.0mg/l 镉的水中,比在含 0.05mg/l 镉水中,呼吸率分别增加 150%、200% 与 200% 以上 (Morgan et al., 1974)。据我们实验结果,草鱼在 0.1mg/l 汞、0.16mg/l 铜及 1.0mg/l 镉溶液中,比对照组中呼吸率分别提高 200%、100% 与 200% 以上。看来,它们的呼吸率还随着金属离子浓度和温升的不同而出现差别。

但须指出:在温升与缺氧环境下所造成

呼吸率增加是有区别的。前者情况,鱼类常出现窜游,体肌痉挛,呼吸节律急促,在水中补氧情况下亦难幸免死亡;后者主要为鱼类发生浮头(至水面吞气),呼吸节律均匀增加,只要水中充氧便可解危。

呼吸与心搏运动显然有着密切的关系,两者的中枢均来源于延髓。据日本学者渡边 (1934) 观察鲑鱼的结果表明,在低温时呼吸数大于心搏数,在高温时则相反,呼吸数就小于心搏数。也有学者 Couvreur 等人观察鳗鱼的结果认为,在正常情况下心搏数总比呼吸数多。但据我们初步观察鲫、鲢的结果表明,两者之间并不完全协调,这可能与不同品种有关。

为保护鱼类资源,防止热污染,不少国家已经制订有热排放标准。美国联邦政府规定于河流中排热温升不得超过 2.8℃;英、法规定河水温度不得超过 30℃;西德拟订莱茵河上游的最高温度不超过 25℃,中、下游的不超过 28℃;苏联规定接纳废热水水体的温升,夏季不得超过 3℃,冬季不得超过 5℃;意大利当局提出在河流的排水口温度不超过 30℃,于海域的排水口不超过 35℃,并从排水口一百米以外,温升不超过 3℃。根据我们的实验结果表明,草鱼、鲢鱼及鲫鱼的呼吸频率最高临界温升不宜超过 35℃。

#### 参 考 文 献

- [1] H. B. 普契科夫(苏), 鱼类生理学, 37—72 页, 上海科技出版社, 1959 年。
- [2] 尾崎久雄(日), 鱼类血液与循环生理, 296—346 页, 上海科技出版社, 1982 年。
- [3] Erichsen, J. R., *Fish and River Pollution*, pp. 53—64, Butterworths, 1964.
- [4] Suess, M. J., *Examination of Water for Pollution Control*, Vol. 3, pp. 176—184, WHO, 1982.
- [5] Hynes, H. B. N., *The Biology of Polluted Water*. pp. 136—139, Liverpool University, 1978.
- [6] Laws, E. A., *Aquatic Pollution*, pp. 266—267, University of Hawaii.

[7] FAO, *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*, 1982.

[8] Wolke, R. E., *Marine Pollution Bulletin*, 10 (3), 79 (1979).

# 大连湾海岸附近的热内边界层 及 SO<sub>2</sub> 浓度的估算\*

刘万军 宫福久

(辽宁省气象科学研究所)

## 一、引 言

中纬度地区海岸附近, 由于海陆热力学和动力学的性质差异, 存在系统性的向岸气流, 即海风, 在海岸地带可产生热内边界层。春夏季和秋季的早期尤为明显。这种热内边界层的出现, 对海岸地带的烟云扩散产生了不可忽视的影响。

1981年秋季我们在大连湾沿岸对热内边界层进行了探测, 并用其它气象参数推测的热内边界层高度进行了比较, 用 Lyons 等人的公式对 SO<sub>2</sub> 的浓度进行了估算, 结果较为一致。

## 二、热内边界层的探测

大连湾的西北岸是工业区, 工厂全部集中在较平坦的海岸地带。在天气系统较弱时, 由于陆地和海水的热状况的日夜变化, 地方性的风很明显。我们定义 E—S 方向的风为海风。在垂直于海岸线的方向, 分别距海岸 2.5 公里和 6 公里的地方建立两个垂直观察点, 用低空探空仪测温, 用经纬仪测风。同时建立六个 SO<sub>2</sub> 浓度监测点, 并在离海岸只有 50 米的地方设立地面测风点(图 1)。

根据 9—10 月共计 25 天的观测资料分析, 海风的平均转向高度为 450 米, 海风出现的时间一般为 08—09 时, 19—20 时转陆风, 转换前一般时间多为静风。



图 1 观测布点图

当冷的海面气流吹向暖的陆地时, 陆地气团开始变性, 接地气层很快增温, 层结自下而上转向超绝热状态或绝热状态。随着离岸距离的增长, 受陆地增热的气层变厚, 形成所谓热内边界层。热内边界层顶上下的温度层结截然不同, 上面保持了海面稳定层结特性, 位温梯度  $\partial\theta/\partial Z > 0$ , 下面  $\partial\theta/\partial Z = 0$ , 而在近地面层呈现  $\partial\theta/\partial Z < 0$  的超绝热状态。对于烟云扩散, 热内边界层就起着混合层的作用。

热内边界层的出现, 总是伴随着 A、B、C 三类稳定度。只要向岸气流存在, 这种热内边界层在白天就会保持下去。利用两个探测点的低空探空仪探测的资料, 把

$$\partial T/\partial Z > -1^\circ\text{C}/100$$

的高度定为热内边界层的高度, 结果给在表 1。

用实测的热内边界层高度与用下式计算的高度进行了比较:

\* 韩玺山、王景乾、赵国珍及大连市环保监测站的部分同志参加了工作。