

文章编号: 1004 - 7271(2008)05 - 0539 - 08

## 电麻醉与化学麻醉对施氏鲟幼鱼 麻醉效果的比较

徐滨<sup>1,2</sup>, 庄平<sup>1,2,3,4</sup>, 章龙珍<sup>1,2,4</sup>, 冯广朋<sup>1,2</sup>, 石小涛<sup>1,3</sup>, 陈丽慧<sup>1,4</sup>

- (1. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海市高校水产养殖 E-研究院, 上海 200090;
3. 华东师范大学生命科学院, 上海 200062;
4. 大连水产学院生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023)

**摘要:**通过化学麻醉剂丁香油、MS-222 对施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 幼鱼 [ (71.2 ± 8.9 g) ] 进行了急性毒性试验和麻醉试验, 同时研究了丁香油、MS-222 和直流电对施氏鲟幼鱼的麻醉效果, 并在行为学基础上探讨了以上三种麻醉方法对鲟的有效性。毒性试验结果表明: 丁香油和 MS-222 对施氏鲟幼鱼的 24、48、72、96 h 的  $LC_{50}$  分别为 26.37 mg/L、22.17 mg/L、18.00 mg/L、16.22 mg/L 和 61.67 mg/L、58.22 mg/L、56.90 mg/L、56.90 mg/L。MS-222 的毒性明显小于丁香油, MS-222 的安全浓度为 15.57 mg/L, 丁香油的安全浓度为 4.70 mg/L。麻醉试验结果显示: 鱼体在 3 min 内失去平衡, 7 min 内完全麻醉, 并可在 3 min 内恢复的化学麻醉浓度最低为 MS-222 100 mg/L, 丁香油 50 mg/L、直流电电压 12 V。麻醉时间与麻醉剂浓度和直流电电压均呈幂函数相关, 相关系数  $R^2$  均大于 0.9。在适宜的直流电压 (24 V) 下, 不同水温之间的麻醉效果无显著差异; 在适宜的麻醉浓度 (MS-222 为 100 mg/L, 丁香油为 50 mg/L) 下, 麻醉所需要的时间与水温呈直线负相关, 而恢复时间与水温呈直线正相关, 相关系数  $R^2$  均大于 0.9。以上结果表明, 三种方法均适用于麻醉鲟, 应根据不同目的选用适当的麻醉方法。其中电麻醉具有麻醉时间和恢复时间极短的优点, 值得进一步探讨其生理麻醉机制。

**关键词:**施氏鲟; 直流电; MS-222; 丁香油; 温度; 急性毒性; 安全浓度

中图分类号: Q 955 文献标识码: A

## Comparison of anaesthetic effects of the electroanesthesia and chemical anesthesia to juvenile *Acipenser schrenckii*

XU Bin<sup>1,2</sup>, ZHUANG Ping<sup>1,2,3,4</sup>, ZHANG Long-zhen<sup>1,2,4</sup>,  
FENG Guang-peng<sup>1,2</sup>, SHI Xiao-tao<sup>1,3</sup>, CHEN Li-hui<sup>1,4</sup>

- (1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences,  
Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China;
2. College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, E-institute of

收稿日期: 2007-10-16

基金项目: 国家“八六三”计划项目 (2004AA603110); 国家自然科学基金重大项目 (30490234); 国家“十五”科技攻关项目 (2004BA526B0114); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (2007M02); 上海市长江口中华鲟自然保护区科研专项

作者简介: 徐滨 (1982 - ), 男, 山东德州人, 硕士研究生, 专业方向为鱼类生态学研究。E-mail: xub1562@gmail.com

通讯作者: 庄平, E-mail: pzhuang@online.sh.cn

Shanghai Municipal Education Commission, Shanghai 200090, China;

3. College of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

4. College of Aqua-life Science and Technology, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

**Abstract:** Experiments were conducted to investigate the acute toxicity of MS-222 and clove oil, and the anaesthetic effect of MS-222, clove oil and direct current on juvenile *Acipenser schrenckii* [ (71.2 ± 8.9 g) ], Besides, the validity of the three anaesthetic methods of the sturgeon on the ground of behavior observation was discussed. The result of toxicity experiments show that the 24 h  $L_{50}$ , 48 h  $L_{50}$ , 72 h  $L_{50}$ , and 96 h  $L_{50}$  of clove oil and MS-222 to juvenile *Acipenser schrenckii* were 26.37 mg/L, 22.17 mg/L, 18.00 mg/L, 16.22 mg/L and 61.67 mg/L, 58.22 mg/L, 56.90 mg/L, 56.90 mg/L, respectively. The toxicity of MS-222 was obviously lower than clove oil, the safe concentration of clove oil and MS-222 were 4.70 mg/L and 15.57 mg/L respectively. The result of the anaesthesia experiments showed that: the fish lost its equilibrium within 3 minutes, and was completely at narcosis anaesthesia in 7 minutes. When exposed to a high concentration (MS-222 above 100 mg/L, clove oil above 50 mg/L, direct current above 12 V), and the fish recovered in 3 minutes. It was found that the relationship between the time, anaesthetic concentration and the direct current followed an exponential function, the related coefficient  $R^2$  was more than 0.9. The difference of the anesthetic results under different water temperature with the suitable direct current (24 V) was not significantly different. Under suitable anesthetics concentration (MS-222 100 mg/L, clove oil 50 mg/L), the complete anaesthesia time and water temperature were negative correlation, while recovered time and water temperature were positive correlation, and the related coefficient  $R^2$  were all more than 0.9. All the results indicated that three methods were all applicable to anaesthetize sturgeon, but the proper method should be chosen according to the different purposes. The anaesthesia time and recovery time in the electricity anaesthesia were so short that its physiology mechanism deserved further research.

**Key words:** *Acipenser schrenckii*; direct current; MS-222; clove oil; temperature; acute toxicity; safety concentration

麻醉的定义为由于外部操作使得神经系统受到抑制引起感觉丧失的一种状态<sup>[1]</sup>。麻醉在国内外广泛用于鱼类研究工作,例如鱼类生理研究、运输、接种疫苗、催产、标志等方面。麻醉方法分化学麻醉和非化学麻醉两大类。水产化学麻醉剂的种类很多,MS-222(间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐,  $C_{10}H_{15}NO_5S$ )<sup>[2-3]</sup>是鱼类常用麻醉剂。近年来丁香油在国内外运用较多<sup>[4-5]</sup>。直流电麻醉<sup>[6-7]</sup>作为新型非化学麻醉方法在国外研究较多,国内仅见于蔡厚才等<sup>[8]</sup>对鲫的研究。每种麻醉剂的使用方法、强度在各种鱼的报道中说法不一<sup>[9-13]</sup>,恰当的麻醉浓度和麻醉时间对应于不同的目的值得研究确定。

施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)属鲟形目(Acipenseriformes)、鲟科(Acipenseridae)、鲟属(*Acipenser*),主要分布在我国的黑龙江、乌苏里江、松花江、嫩江也有分布,为国家二级保护动物。在对其生理研究等操作过程中,尤其是在进行人工催产的时候,采卵所需时间长,鲟挣扎剧烈,常造成鲟缺氧和细菌或霉菌的感染,而引起亲鱼的大量死亡,恰当的麻醉可以减少亲鱼的死亡<sup>[14-15]</sup>。关于化学麻醉和电麻醉对幼鲟的影响未见报道。本实验进行了不同浓度的MS-222、丁香油、不同直流电压及水温梯度对施氏鲟幼鱼的麻醉效果及毒性影响的研究,希望得到适宜的麻醉电压和麻醉浓度,并根据麻醉的目的要求选择合适的麻醉方法和强度,为施氏鲟幼鱼长途运输、长江口中华鲟幼鱼抢救等提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

2006年9月于湖北荆州购买700尾施氏鲟幼鱼,选择体格健康,体长为(28.7 ± 4.3) cm、体重为

(71.2 ± 8.9) g 的个体,暂养 14 d 后用于实验。实验均采用单尾试验法,每尾鱼仅试验一次。饲养用水为 KDF(Kinetic Degradation Fluxion)方法过滤后暴气的自来水。保持水中溶解氧(7.0 ± 0.3) mg/L,水温(20 ± 1) °C, pH 为(7.6 ± 0.1)。

化学麻醉剂采用 MS-222(由杭州动物药品厂提供)和丁香油(由国药集团化学试剂有限公司提供)。MS-222 为白色粉末,易溶于水,水溶液略呈酸性,为减少麻醉时产生的应激反应,使用时与碳酸氢钠按质量 1:1 混合溶于水;丁香油为淡黄色的油状液体,不易溶于水,使用时按质量 1:5 比例溶于酒精,然后再溶于水<sup>[10]</sup>。

毒性实验容器为矩形蓝色塑料箱(规格 78 cm × 58 cm,保持水深 35 cm);麻醉槽为矩形蓝色塑料箱(规格 42 cm × 32 cm,保持水深 30 cm);电麻醉时在麻醉槽内垂直放置两块相互平行的电极板网,规格均为 32 cm × 30 cm,塑料箱中水深 30 cm。直流电源由 WYJ-S 型晶体管直流稳压电源产生,输出电压可自由调节;恢复槽为圆形水槽(外径 102 cm,内径 70 cm,水深 30 cm),水流速度为:25 ~ 45 cm/s。

## 1.2 急性毒性实验

进行预实验,观察施氏鲟幼鱼的行为及存活状况,得到 24 h 100% 死亡质量浓度(24 h LC<sub>100</sub>)和 96 h 0% 死亡质量浓度(96 h LC<sub>0</sub>),确定麻醉剂的浓度区间。在此基础上按公式  $r = (b/a)^{n-1}$ <sup>[16]</sup> 等对数间距设立 MS-222 的浓度为:50.12 mg/L、54.95 mg/L、60.26 mg/L、66.07 mg/L、72.44 mg/L、79.43 mg/L,丁香油的浓度为:10 mg/L、13.2 mg/L、17.4 mg/L、23.0 mg/L、30.3 mg/L、40 mg/L。每组 8 尾施氏鲟幼鱼,设三个平行组,一个对照组(无任何处理)。实验前 24 h 停止喂食。实验采用静态方式水生生物急性毒性实验法。前 8 h 连续观察,接着在 24 h、48 h、72 h、96 h 观察,记录死亡数据。

## 1.3 麻醉实验

### 1.3.1 不同电压直流电和不同浓度的化学麻醉剂对施氏鲟幼鱼的麻醉实验

直流电电压设置为:48 V、36 V、24 V、12 V;MS-222 浓度设置为:200 mg/L、150 mg/L、100 mg/L、50 mg/L;丁香油浓度设置为:100 mg/L、75 mg/L、50 mg/L、25 mg/L。每组 8 尾施氏鲟幼鱼,设三个平行组。水温为(20 ± 1) °C。实验前将鱼停食 24 h,从暂养水池中捞出放入蓝色塑料箱中 5 min,以降低鱼的应激反应,之后转入麻醉槽中观察鱼的活动状态,并进行描述,分别测量并记录麻醉的浓度、时间和恢复时间。

### 1.3.2 不同温度梯度对麻醉效果的影响

依据 1.3.1 麻醉结果,选择适宜的电压和麻醉剂浓度(直流电 24 V、MS-222 100 mg/L、丁香油 50 mg/L)再进行不同水温的麻醉效果试验。设置温度梯度为:10 °C、15 °C、20 °C、25 °C。每组 8 尾,设三个平行组,水温用控温仪控制。

## 1.4 数据统计分析与计算公式

实验数据用平均值 ± 标准差(Mean ± SD)表示,在单因子方差分析(ANOVA)的基础上采用 Duncan 多重比较法检验组间差异( $P = 0.05$ )。所有数据均采用 SPSS13.0 软件进行分析。

采用寇式法(Karber)计算半致死浓度(LC<sub>50</sub>)、安全浓度(SC)和半致死浓度的 95% 置信区间。

## 2 结果

### 2.1 丁香油对施氏鲟幼鱼毒性实验结果

丁香油对施氏鲟幼鱼的 24 h 100% 死亡质量浓度(24 h LC<sub>100</sub>)和 96 h 0% 死亡质量浓度(96 h LC<sub>0</sub>)分别为 40 mg/L 和 5 mg/L。在试验过程中试验鱼投入药液后都出现急速游动,头部朝外,出现呼吸频率加快的现象,5 min 后 10.0 mg/L、13.2 mg/L、17.4 mg/L 3 个组的鱼基本适应环境,并能正常游动,而 23.0 mg/L、30.3 mg/L、40 mg/L 3 个组的鱼除上述症状外,并逐渐失去平衡,丧失游泳能力,侧卧于水面,并伴随试液中丁香油浓度的增大,出现上述症状的鱼数量增多。丁香油对施氏鲟幼鱼的急性毒性结

果见图1,半致死浓度(LC<sub>50</sub>)及其95%置信区间、安全浓度见表1。

## 2.2 MS-222对施氏鲟幼鱼毒性实验结果

MS-22对施氏鲟幼鱼的24 h LC<sub>100</sub>和96 h LC<sub>0</sub>分别为79.43 mg/L和50.12 mg/L。MS-222的毒性作用与丁香油相似,也都出现急速游动,头部朝外,呼吸频率加快的现象,5 min后50.12 mg/L、54.95 mg/L 2个组的鱼基本适应环境,能正常游动,而60.26 mg/L、66.07 mg/L、72.44 mg/L、79.43 mg/L 4个组的鱼除上述症状外,逐渐失去平衡,丧失游泳能力,侧卧于水面,并伴随MS-222浓度的增大,出现上述症状的鱼数量增多。MS-222对施氏鲟幼鱼的急性毒性结果见图2,半致死浓度(LC<sub>50</sub>)及其95%置信区间、安全浓度见表2。

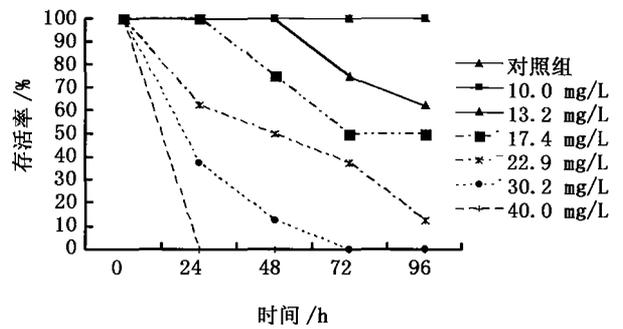


图1 丁香油对施氏鲟幼鱼的毒性结果

Fig.1 Acute toxicity result of clove oil to juvenile *Acipenser schrenckii*

表1 丁香油对施氏鲟幼鱼的静态急性毒性值及其95%置信区间

Tab.1 Acute toxicity values under static state and 95% confidence intervals of clove oil on juvenile *Acipenser Schrenckii*

时间(h)	半致死浓度 LD <sub>50</sub> (mg/L)	95%可信限(mg/L)	安全浓度(mg/L)
24	26.37	23.12 ~ 30.08	
48	22.17	19.23 ~ 25.56	
72	18.00	15.37 ~ 21.08	4.70
96	16.22	13.98 ~ 18.81	

## 2.3 麻醉实验幼鱼的行为

在麻醉实验过程中,施氏鲟幼鱼会出现一系列的行为状态,我们把麻醉过程和恢复过程各分为三个阶段,在麻醉I期,鱼会出现一个短暂的兴奋期,呼吸频率加快,游泳更迅速;而后鱼体失去平衡,游泳速度缓慢,呼吸频率变慢,对外界刺激反应不敏感;在麻醉II期,鲟停止运动,鳃动变得微弱,不规律,对外界刺激基本无反应;在麻醉III期,鲟进入深度麻醉阶段,鳃动停止。恢复阶段则相反,首先恢复鳃动,鱼体不动,然后鳃动有规律,鱼体开始运动,最后恢复平衡。

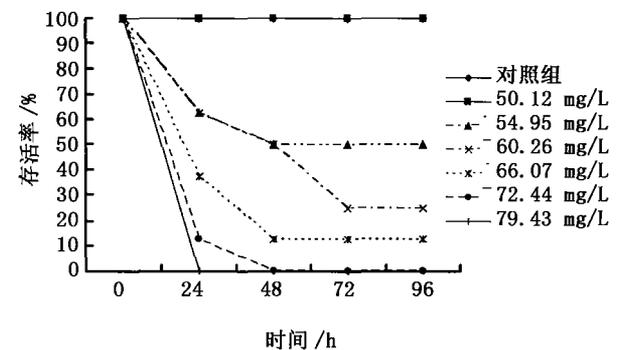


图2 MS-222对施氏鲟幼鱼的毒性结果

Fig.2 Acute toxicity result of MS-222 to juvenile *Acipenser schrenckii*

表2 MS-222对施氏鲟幼鱼的静态急性毒性值及其95%置信区间

Tab.2 Acute toxicity values under static state and 95% confidence intervals of MS-222 on juvenile *Acipenser Schrenckii*

时间(h)	半致死浓度 LD <sub>50</sub> (mg/L)	95%可信限(mg/L)	安全浓度(mg/L)
24	61.67	58.22 ~ 65.32	15.57
48	58.22	55.40 ~ 61.19	
72	56.90	54.28 ~ 59.65	
96	56.90	54.28 ~ 59.65	

从表1和表2的结果可知,MS-222的毒性明显小于丁香油。根据国家标准GB/T 16310.5,MS-222和丁香油对施氏鲟幼鱼都是微毒的。

### 2.3.1 不同电压和不同浓度麻醉剂对施氏鲟幼鱼的麻醉效果

不同电压和不同浓度麻醉剂对施氏鲟幼鱼的麻醉结果及显著性比较见表 3。其中电麻醉的麻醉时间指麻醉 II 期时间,MS-222 和丁香油则指进入麻醉 III 期的时间。

表 3 不同电压和不同浓度麻醉剂对施氏鲟幼鱼的麻醉效果比较  
Tab.3 The effectiveness of electric voltage gradation and anesthetics concentration gradation to juvenile *Acipenser schrenckii*

	电压大小及麻醉剂浓度	失去平衡时间(s)	完全麻醉时间(s)	恢复时间(s)	恢复距离(m)
直流电(V)	48	0.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	1.0 ± 0.5 <sup>a</sup>	19.9 ± 17.4 <sup>a</sup>	5.097 ± 4.72 <sup>a</sup>
	36	1.5 ± 0.5 <sup>b</sup>	2.0 ± 1.1 <sup>a</sup>	8.5 ± 6.9 <sup>a</sup>	0.890 ± 0.910 <sup>b</sup>
	24	6.5 ± 2.1 <sup>c</sup>	24.5 ± 10.6 <sup>b</sup>	9.0 ± 10.7 <sup>a</sup>	0.724 ± 0.980 <sup>b</sup>
	12	16.0 ± 3.0 <sup>d</sup>	188.8 ± 103.1 <sup>c</sup>	6.2 ± 5.4 <sup>a</sup>	1.550 ± 1.810 <sup>ab</sup>
MS-222(mg/L)	200	98.4 ± 28.2 <sup>a</sup>	149.1 ± 42.2 <sup>a</sup>	69.3 ± 19.0 <sup>a</sup>	21.24 ± 6.542 <sup>a</sup>
	150	111.0 ± 23.8 <sup>a</sup>	171.2 ± 25.3 <sup>a</sup>	84.0 ± 20.0 <sup>a</sup>	39.63 ± 12.56 <sup>b</sup>
	100	105.7 ± 28.1 <sup>a</sup>	252.5 ± 44.1 <sup>b</sup>	116.6 ± 33.9 <sup>b</sup>	53.38 ± 17.07 <sup>b</sup>
	50	475.8 ± 158.0 <sup>b</sup>	1592 ± 437.4 <sup>c</sup>	109.5 ± 24.37 <sup>b</sup>	41.76 ± 8.590 <sup>b</sup>
丁香油(mg/L)	100	96.4 ± 30.0 <sup>a</sup>	210.0 ± 50.0 <sup>a</sup>	143.5 ± 30.7 <sup>a</sup>	64.66 ± 17.08 <sup>a</sup>
	75	127.1 ± 41.4 <sup>a</sup>	244.9 ± 44.7 <sup>a</sup>	182.2 ± 29.8 <sup>b</sup>	75.72 ± 11.55 <sup>a</sup>
	50	117.6 ± 26.5 <sup>a</sup>	383.1 ± 98.6 <sup>b</sup>	159.6 ± 27.1 <sup>ab</sup>	66.03 ± 10.020 <sup>a</sup>
	25	439 ± 191.6 <sup>a</sup>	1984 ± 441.1 <sup>c</sup>	146.0 ± 15.1 <sup>ab</sup>	59.45 ± 5.230 <sup>a</sup>

注:同一列上方参数有一个字母相同则无显著差异( $P > 0.05$ ),反之,则有显著差异( $P < 0.05$ )

由表 3 可知,12~48 V 电压、MS-222 浓度为 100~200 mg/L 和丁香油浓度为 50~100 mg/L 时分别对施氏鲟幼鱼的麻醉效果为:3 min 内失去平衡,7 min 内完全麻醉,3 min 内恢复,属快速麻醉。MS-222 浓度为 50 mg/L 时施氏鲟幼鱼的失去平衡时间和完全麻醉时间则分别需要 8 min 和 30 min;丁香油浓度为 25 mg/L 时施氏鲟幼鱼的失去平衡时间和完全麻醉时间则分别需要 6 min 和 36 min,属一般麻醉。

不同电压和不同麻醉剂浓度和完全麻醉时间的相关关系均呈幂函数相关(图 3),相关系数  $R^2$  均大于 0.9,  $F$  检验在 0.01 水平上显著。随着电压和麻醉剂浓度的增大,完全麻醉时间逐渐减少。

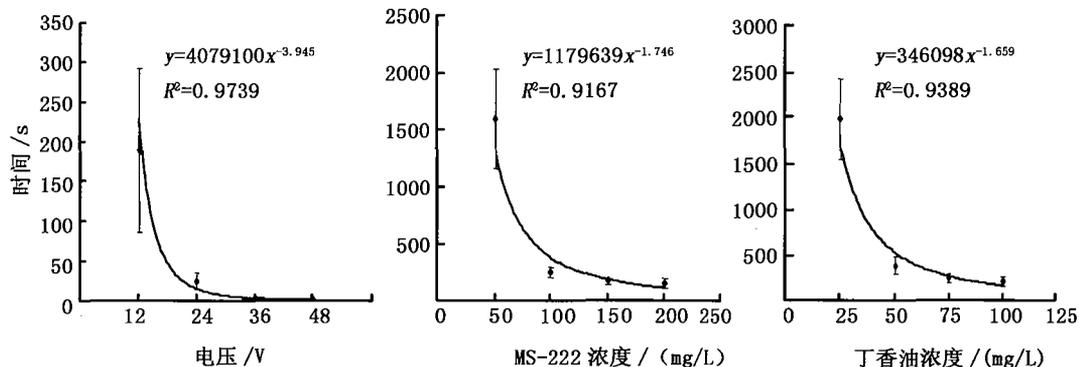


图 3 完全麻醉时间与电压和麻醉剂浓度的相关关系

Fig.3 The correlation between complete anaesthesia time and voltage or concentration of anaesthetics

### 2.3.2 麻醉方法对施氏鲟幼鱼行为及鳃张开闭合频率的影响

在电麻醉的时候鲟表现出趋阳性,即不管鱼体最初位置如何,最终都会鱼头朝向或窜向阳极的现象,随着电压的增强,趋阳反应逐渐增强,变得明显;电压过高时鲟会出现痉挛现象,胸鳍颤抖,鳃动频率快,幅度很微弱,并伴随有呼吸中断的现象,电压越高,鲟呼吸中断的比例越高。化学麻醉时间比直流电麻醉时间长,麻醉各阶段划分清晰,麻醉剂浓度和温度的变化对麻醉效果有很大的影响;施氏鲟幼鱼在

麻醉时受麻醉剂刺激时经常将头探出水面,在麻醉剂浓度较高时,鳃有胸鳍颤抖的现象。

直流电麻醉时,施氏鲟幼鱼的鳃张开闭合频率一直较高,但不能使施氏鲟幼鱼进入麻醉 III 期(图 4),在高电压下有呼吸中断现象,鳃动微弱。丁香油麻醉时,施氏鲟幼鱼在兴奋期鳃张开闭合频率比 MS-222 麻醉时高,而在失去平衡期和运动停止期,鳃张开闭合频率比 MS-222 麻醉时低。

2.3.3 不同水温梯度对麻醉效果的影响

由表 4 可知,24 V 直流电麻醉效果在不同温度梯度无显著差异。MS-222 和丁香油对施氏鲟幼鱼的麻醉效果在不同温度下差异显著。

完全麻醉时间及恢复时间与水温的相关关系见图 5 和图 6。水温与完全麻醉时间均呈直线负相关,水温与恢复时间呈直线正相关,相关系数  $R^2$  均大于 0.9。

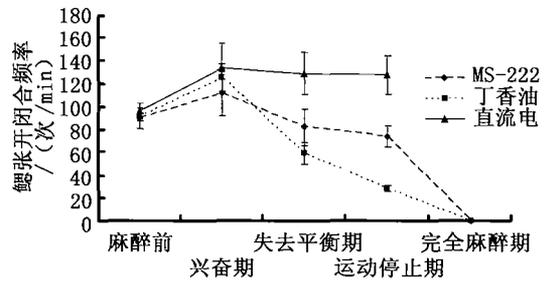


图 4 施氏鲟幼鱼各麻醉阶段鳃张开闭合频率变化情况  
Fig. 1 The frequency of gill opens to shut of juvenile *Acipenser schrenckii* at different

表 4 水温对各种麻醉方法效果的影响

Tab. 4 The effect of water temperature upon the effectiveness of different anaesthesia methods

麻醉方法	温度/°C	失去平衡时间(s)	完全麻醉时间(s)	恢复时间(s)	恢复距离(m)
24V 直流电	10	6.7 ± 2.134 <sup>a</sup>	28.6 ± 10.9 <sup>a</sup>	8.8 ± 7.8 <sup>a</sup>	0.735 ± 0.89 <sup>a</sup>
	15	9.2 ± 6.3 <sup>a</sup>	25.2 ± 10.5 <sup>a</sup>	9.0 ± 8.9 <sup>a</sup>	0.877 ± 0.868 <sup>a</sup>
	20	6.5 ± 2.0 <sup>a</sup>	24.5 ± 10.5 <sup>a</sup>	9.1 ± 8.8 <sup>a</sup>	0.721 ± 0.896 <sup>a</sup>
	25	9.0 ± 7.9 <sup>a</sup>	25.0 ± 11.5 <sup>a</sup>	13.0 ± 12.3 <sup>a</sup>	0.820 ± 0.939 <sup>a</sup>
100 mg/L MS-222	10	135.0 ± 28.8 <sup>a</sup>	291.0 ± 44.5 <sup>a</sup>	84.0 ± 21.1 <sup>a</sup>	39.77 ± 10.22 <sup>a</sup>
	15	111.4 ± 20.4 <sup>ab</sup>	257.1 ± 32.4 <sup>ab</sup>	105.4 ± 13.7 <sup>b</sup>	39.71 ± 8.200 <sup>a</sup>
	20	105.7 ± 28.1 <sup>ab</sup>	245.0 ± 38.3 <sup>b</sup>	116.6 ± 33.9 <sup>b</sup>	53.38 ± 17.08 <sup>ab</sup>
	25	90.75 ± 25.1 <sup>b</sup>	181.8 ± 22.5 <sup>c</sup>	165.7 ± 33.6 <sup>c</sup>	54.90 ± 8.240 <sup>b</sup>
50 mg/L 丁香油	10	147.6 ± 19.9 <sup>a</sup>	446.4 ± 84.3 <sup>a</sup>	128.2 ± 25.4 <sup>a</sup>	53.793 ± 10.54 <sup>a</sup>
	15	141.0 ± 24.2 <sup>ab</sup>	385.0 ± 74.6 <sup>a</sup>	135 ± 34.1 <sup>ac</sup>	56.25 ± 14.21 <sup>ac</sup>
	20	117.6 ± 26.5 <sup>b</sup>	366.0 ± 78.9 <sup>a</sup>	159.6 ± 27.0 <sup>bc</sup>	66.03 ± 10.02 <sup>bc</sup>
	25	116.8 ± 24.9 <sup>b</sup>	278.4 ± 51.5 <sup>b</sup>	180.5 ± 29.4 <sup>b</sup>	75.21 ± 12.26 <sup>b</sup>

注:同一列上方参数有一个字母相同则无显著差异( $P > 0.05$ ),反之,则有显著差异( $P < 0.05$ )

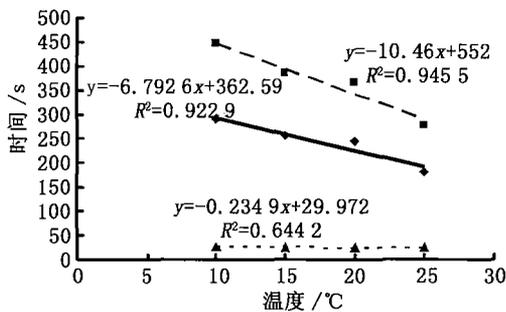


图 5 完全麻醉时间与水温的相关关系  
Fig. 5 The correlation between complete anaesthesia time and water temperature

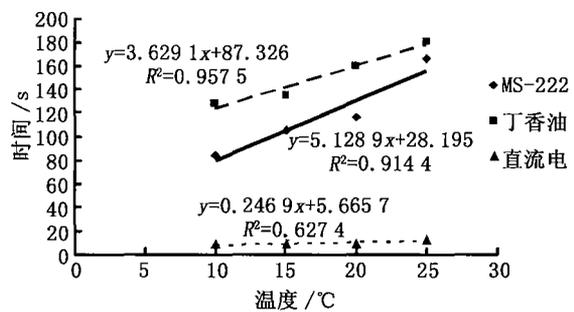


图 6 完全麻醉时间与电压和麻醉剂浓度的相关关系  
Fig. 6 The correlation between recovery time and water temperature

3 讨论

国内外常用的化学麻醉剂主要有 MS-222、苯唑卡因、利多卡因、丁香油及其衍生物等。其中,MS-222具有使用浓度低、作用快、复苏快、无毒副作用等优点,是目前唯一被美国 FDA (Food and Drug

Administration) 批准用于食用鱼的麻醉剂;多年来丁香油被用来作为食物添加剂和牙科医学的止痛剂,由于它是一种纯天然物质,所以对人类的健康具有很高的安全性,被美国 FDA 验证为是一种对人类无毒害的物质。本文的毒性试验表明MS-222和丁香油对鲟毒性较小。非化学麻醉方法有电麻醉,低温麻醉,以及 CO<sub>2</sub> 麻醉等。低温麻醉对长途运输是有效的,但是它还不适于对鱼进行外科手术等,这种麻醉方法并不普及;CO<sub>2</sub> 在空气中的含量达到 10% 或者更多时将会引起操作人员的麻醉甚至死亡,在使用时要注意安全;直流电麻醉作为新型麻醉方法受到一定关注,庄平等<sup>[17-18]</sup>关于电麻醉槽、电麻醉方法的专利,提示了其可能的应用前景。

### 3.1 麻醉后行为观察

直流电麻醉鲟时,鱼的种类、年龄、大小、水温都对麻醉产生影响。对鲟来讲大鱼比小鱼麻醉所需的电压要低。并且在 10~25℃ 时更易麻醉,在这个范围之外鱼麻醉所需要的时间延长,电压增大<sup>[6]</sup>。在实验中我们发现 10~25℃,施氏鲟幼鱼的各项麻醉行为指标无显著差异(表 4)。鲟对电麻醉的反应主要决定于电压的大小以及麻醉的时间。在高电压下施氏鲟幼鱼表现出强烈的肌肉扭曲、呼吸停顿等现象,所以选择适宜的电压很重要。施氏鲟幼鱼电麻醉最佳电压为 24 V,在此电压下 3 min 鲟的呼吸是持续的,并且恢复时间很短,半分钟内即可逆水流游动。电麻醉时鲟恢复时间很短,作者认为与电麻醉的深层机理有关。

鱼体麻醉后的呼吸频率是反映麻醉深度的重要指标。直流电麻醉并不能使施氏鲟幼鱼进入麻醉 III 期,在适宜的电压下,鲟的呼吸是持续的。而化学麻醉时,鳃张开闭合频率是逐渐下降的,丁香油麻醉的施氏鲟幼鱼在兴奋期鳃张开闭合频率比 MS-222 麻醉时高,而在失去平衡期和运动停止期的鳃张开闭合频率比 MS-222 麻醉时低。呼吸频率降低会造成施氏鲟幼鱼的缺氧,出现腹骨板和胸鳍基部充血的现象。长时间,高浓度的丁香油麻醉会造成幼鱼的死亡,在使用丁香油作为麻醉剂时,应首先确定安全浓度和作用时间,避免造成损失。

在本文的麻醉实验中,鲟的恢复时间基本没有超过 4 min,作者认为原因是施氏鲟有顶水游动的习性,恢复水槽中的水流有加快其鳃部气体交换和冲淡麻醉剂的作用,同时水流对鲟有轻微刺激作用,能加快鲟苏醒。陈细华等<sup>[15]</sup>用 MS-222 麻醉施氏鲟和中华鲟复苏时在水中沿鱼体长轴方向反复推拉 1~10 min,即使停止呼吸 60~100 min,鱼体也能恢复正常。

### 3.2 各麻醉方法的应用

根据低压直流电麻醉的效果,作者认为直流电麻醉可以用来对鲟进行接种疫苗、标志及外科手术时应用。化学麻醉应用范围要比直流电麻醉广,可以广泛地应用于鱼类生理研究、运输、接种疫苗、催产、标志等方面。麻醉结束后可以离开水进行操作,若操作时间较长,鱼开始恢复反应时,可再浸泡于药液,或于鳃部喷药液,以维持麻醉,但注意控制时间,以免麻醉过度。MS-222 对施氏鲟幼鱼快速麻醉剂量为 100~200 mg/L,一般麻醉剂量为 50~80 mg/L,镇静作用剂量为 15~40 mg/L;丁香油对施氏鲟幼鱼快速麻醉剂量为 75~120 mg/L,一般麻醉剂量为 50~75 mg/L,镇静作用剂量为 15~30 mg/L(图 3)。Svoboda 等<sup>[19]</sup>认为丁香油作为鱼类麻醉剂的浓度为 30 mg/L;Griffiths<sup>[20]</sup>推荐浓度为 40 mg/L,在这个浓度下,虹鳟会在 4 min 麻醉,14 min 恢复;Velisek 等<sup>[21]</sup>认为在 40~60 mg/L 浓度时,可以有效的麻醉虹鳟,并且恢复时间相对较短。

### 3.3 麻醉展望

在实验中发现丁香油并不像想象中那么安全,并且,丁香油对施氏鲟幼鱼的毒性要大于 MS-222。丁香油对施氏鲟幼鱼麻醉时在相同麻醉时间下,恢复时间要比 MS-222 长,并且丁香油挥发性,产生浓烈的香味,长时间在这种环境下对研究人员有影响。

化学麻醉剂是能不同程度地抑制鱼脑感觉中枢,使鱼失去反射动作的物质。一般的麻醉剂首先抑制脑的皮质,再作用于基底神经节与小脑,最后作用于脊髓。过大的剂量或过长的接触可深及髓质,使呼吸与血管舒缩中枢麻痹,最终死亡<sup>[22]</sup>。电麻醉首先影响到的是神经系统,特别是呼吸中枢,表现为呼

吸频率加快,并力图逃离电流的作用,然后作用于肌肉系统,表现为肌肉颤抖、挛缩;最后作用于血管系统使血液产生乙酰胆碱,产生麻痹作用,并对于体内一系列的生化反应施加影响<sup>[23]</sup>。所有的现象表明电麻醉的机理和化学麻醉相类似,但是在生理机制上的研究还要继续。

鲟幼鱼头部腹面及侧面体表具有罗伦氏器,其许多机能与皮肤感觉器官相似,仅反应稍慢些,并且还特别的具有感受电刺激的机能,它在电麻醉过程中的作用需要做深入的研究和探讨。

电麻醉需要直流电源,麻醉槽和做电极用的铁板网;化学麻醉比较昂贵并且可能在麻醉后的几小时到两周改变鱼的生理和行为<sup>[24-25]</sup>。电麻醉作为鱼类麻醉方法是一个很好的选择,需要更多的研究和使

用。  
对麻醉方法的评价,仅靠药物的毒性和麻醉效果的比较是不够的,应在减少应激反应和麻醉对肝、肾的影响等方面进行深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Ackerman P A, Morgan J D, Iwama G K. Anesthetics[J]. The NEW Scientist, 2007, 196(2624): 1-22.
- [2] 甘静雯,邱绍扬,许忠能,等. 麻醉剂 MS-222 对斑马鱼行为的影响[J]. 生态科学, 2006, 25(3): 236-239.
- [3] 李春梅,黄永坚. MS-222 麻醉金鱼的研究[J]. 黄冈职业技术学院学报, 2002, 4(4): 67-70.
- [4] 张朝晖,丛娇日,王波,等. 麻醉剂丁香酚对黄腊鲈耗氧的影响[J]. 海洋科学, 2003, 27(6): 11-14.
- [5] Woody C A, Nelson J, Ramstad K. Clove oil as an anaesthetic for adult sockeye salmon: field trials[J]. Journal of Fish Biology, 2002, 60: 1-8.
- [6] Henyey E, Kynard B, Zhuang P. Use of electronarcosis to immobilize juvenile lake and shortnose sturgeons for handling and the effects on their behavior[J]. Appl Ichthyol, 2002, 18: 502-504.
- [7] Barrett J C, Grossman G D. Effects of direct current electrofishing on the Mottled Sculpin[J]. North American Journal of Fisheries Management, 1988, 8: 112-116.
- [8] 蔡厚才,吕炜泓,钱小荣,等. 鲫鱼在强直流电场中的行为初探[J]. 浙江水产学院学报, 1994, 13(4): 282-286.
- [9] Graham M, Iwama G. K. The Physiologic effects of the anesthetic ketamine hydrochloride on two salmonid species[J]. Aquaculture, 1990, 90(3-4): 323-331.
- [10] 杜浩,危起伟,杨德国,等. MS-222、丁香油、苯唑卡因对养殖美洲鲟幼鱼的麻醉效果[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(1): 20-26.
- [11] 刘长琳,李继强,陈四清,等. 丁香酚麻醉半滑舌鳎成鱼的试验研究[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 50-56.
- [12] Martin I, Bengt F, Robert S, et al. The efficacy of metomidate, clove oil, AQUI-STM and Benzoak as anaesthetics in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts, and their potential stress-reducing capacity[J]. Aquaculture, 2003, 221: 549-566.
- [13] Marking L L, Meyer F P. Are better anesthetics needed in fisheries? [J]. Fisheries, 1985, 10(6): 2-5.
- [14] 魏锁成. 用于鱼类的麻醉剂及麻醉管理[J]. 西北民族大学学报(自然科学版), 2005, 26(56): 43-45.
- [15] 陈细华,朱永久,刘鉴毅,等. MS-222 对中华鲟和施氏鲟的麻醉试验[J]. 淡水渔业, 2006, 36(1): 39-42.
- [16] 朱蓓蕾. 动物毒理学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 37-40.
- [17] 庄平,章龙珍,李长松,等. 鱼类电麻醉槽[P]. 中国专利: 200420114384.1, 2004-12-17.
- [18] 庄平,章龙珍,李长松,等. 鱼类电麻醉方法[P]. 中国专利: 200410093180.9, 2004-12-17.
- [19] Svoboda M, Kolarova J. A survey of anaesthetics used in fish farming. Health Protection of fish-Proceeding of papers [J]. Research Institute of Fish Culture and Hydrobiology Vodnany (In Czech), 1999: 49-72.
- [20] Griffiths S P. The use of clove oil as anaesthetic and method for sampling intertidal rockpool fishes[J]. Fish Biol, 2000, 57: 1453-1464.
- [21] Velíšek J, Svobodová Z, Piacková V. Effects of clove oil anaesthesia on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Acta Vet Brno, 2005, 74: 139-146.
- [22] 李思发. 鱼类麻醉剂[J]. 淡水渔业, 1988, (1): 22-23.
- [23] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 163-165.
- [24] Goddard C I, Lilley J W, Tait J S. Effect of MS-222 anesthetization on temperature selection in lake trout, *Salvelinus namaycush* [J]. Fish Res Board Can, 1974, 31: 100-103.
- [25] Taylor P B. Effects of anaesthetic MS-222 on the orientation of juvenile salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum [J]. Fish Biol, 1988, 32: 161-168.