

某些化学因素对鲫鱼行为、心电、嗅球电反应的影响及其阈值的比较

康智遥 陈彩良 李生民 张训甫 胡隐昌 胡小迪

(武汉大学生物系)

鱼类对水体化学变化很敏感^[1-3]。地震前鱼类行为异常亦为人们所重视^[1-3]。但鱼类行为变化,化学感觉机能和震前水体化学变化关系的实验研究很少^[4]。作者对罗非鱼行为实验研究中提出鱼类震前异常行为可能是地气等水化因素所引起^[4]。本试验测定了 H_2S , SO_2 , CO_2 , CH_4 等地震前可能地气成分对鲫鱼行为,心电变化,嗅球电反应的影响,比较它们之间的阈值及行为变化,心电变化与嗅觉的关系,以探测地气成分引起鱼类震前行为异常的可能性和作用途径。

一、方 法

1. 行为试验

(1) 地气行为试验 地气成分是根据报道^[5,6,11]及作者试验^[4],选取 CO_2 , CH_4 , H_2S 和

SO_2 四种,用实验室化学制取法制备,并分别将其通入蒸馏水中作为地气溶液。用 2 万毫升玻璃缸加入放置两天的自来水 8,000 毫升,每缸放鱼一尾,待安静与适应后,每隔 10—15 分钟加入一定量的地气溶液(这样可避免气体直接通入鱼缸时引起的振动),并用化学方法测定鱼缸中的气体含量^[7],测定水温,溶氧量(用 Cy-6 型溶氧仪测定),pH 等。鱼的行为指标定为中层游动、浮头和身体侧躺或窜动,由于地震前常报导鱼浮头、窜动、侧躺、因而以浮头侧躺等作为异常指标。 CH_4 的试验是将鱼放入 CH_4 的饱和水溶液中观察其行为。

(2) 逃避行为试验 将有机玻璃水箱(68×38×30 厘米)隔成三部分并有可开闭活门。取二条鲫鱼置于一水室中作为对照,将 2—3 条鲫鱼放入另一水室待安静适应后用移

液管一次移入一定量的 Na_2S , NaF , NaNO_2 溶液,以鱼呼吸频率、游动情况作为指标并观察鱼是否有快速游动现象,如有游动就立即打开通往另一水室的活门,若鱼进入未加溶液的水室中,记录这时的溶液浓度作为逃避行为阈值。并记录反应时间和水温。

2. 心电变化和嗅球电反应的测定

(1) 心电变化的测定 用不锈钢针涂以绝缘漆(尖端裸露)的记录电极,从鱼腹面心脏前部插入约 0.5 厘米,参考电极从右胸鳍后方 1 厘米处插入 0.5 厘米。将鱼放入盛有 8,000 毫升水的玻璃缸中并外加屏蔽罩,经前置放大器放大,双线示波器记录心电图。当向鱼缸中加入地气溶液时,观察记录心率和心电图的变化。

(2) 嗅球电反应的测定 按 20 毫克/千克体重从鲫鱼胸鳍下注入三碘季胺酚麻痹鱼的肌肉活动,在保持鱼正常呼吸和身体湿润情况下,

打开头骨,暴露嗅球,并用生理盐水保持润湿,然后将鱼固定,以每分钟 200—300 毫升的流量保持鱼的正常呼吸,插电极于嗅球表面,记录嗅球电活动,同时在鲫鱼胸鳍上 1—0.5 厘米处插入电极记录心电作为鱼存活的指标,以及探测嗅阈值时心电是否有变化,通过直流前置放大器放大,然后在双线示波器上观察。稳定数分钟后从鱼前鼻孔注入不同浓度的化学溶液(Na_2S , NaNO_2 , NaF , H_2S , SO_2 等) 2 毫升(每次注入的间隔为 1—2 分钟,在间隔时间内用蒸馏水洗去上次注入的溶液),从示波器上观察嗅电的变化。

二、实验结果与讨论

1. H_2S 等地气成分对鲫鱼行为的作用

H_2S , CO_2 , SO_2 , CH_4 对 70 尾鲫鱼行为试验结果见表 1:

表 1 鲫鱼对地气成分的反应行为

气 体	鱼 数	反应行为	作用浓度 ppm	pH 值	溶氧 ppm	反应率%
CO_2	10尾	中层游动	86±15	6.5—7.0	9.4±0.1	70
		浮 动	142±25	6—6.2	9.4±0.2	100
		侧 躺	292±33	5.5—6	8±0.6	100
SO_2	10尾	中层游动	25±4	6—6.5	9.5±0.1	100
		浮 动	33±0	5.5—6	8.5±0.5	90
		侧 躺	52±5	5.5	8.0±0.1	90
H_2S	10尾	中层游动	24±7	6.4—7.0	9.1±0.3	80
		浮 动	35±8	6.4	8.8±0.6	80
		侧 躺	70±16	6.2	7.4±0.3	90
CH_4	5尾	静于水底很少活动	饱和溶液 ~1.8 ppm	7	9	0
对照组	35尾	静于水底很少活动		7	9.1—10.2	

注: 水温 10—15°C

实验表明 H_2S , SO_2 , CO_2 都比较容易引起浮头、窜动和侧躺反应,这与报道的地震前鱼类的异常反应相似。引起浮头反应的浓度, H_2S 为 35±8ppm, SO_2 为 33ppm, CO_2 为 142±25 ppm, 鲫鱼对 H_2S , SO_2 的反应较强烈。尤其是对 SO_2 的反应,当 SO_2 浓度达到鱼浮头时鱼体即开始晃动,并有窜动反应出现,浓度达到鱼侧躺后一小时几乎全部死亡, H_2S 的作用

达到侧躺后 20 小时内死亡, CO_2 引起鱼侧躺后 48 小时死亡。 SO_2 , H_2S , CO_2 引起鲫鱼异常行为反应的百分率是很高的,而 CH_4 饱和溶液(约 1.8 ppm)对鲫鱼行为无明显作用。在实验过程中,溶氧保持在 7—9.5 ppm,虽较对照组略低,但与一般引起鱼异常反应的最低溶氧量(即 2 ppm 或 1 mg/L)相比还高得多,可见试验中鱼行为异常不是由于溶氧低所引起。鲫鱼

自由生活的 pH 值为 4.4—10.4, 我们实验 pH 值为 5.5—7, 所以亦不是 pH 变化引起鱼行为异常。而是 SO₂, H₂S, CO₂ 溶液直接作用于鱼体的结果。

2. H₂S 溶液等对鲫鱼心电的作用

为了探索地震前动物异常的生理指标, 测定了 H₂S、SO₂、CO₂、CH₄ 等四种溶液对鲫鱼心电的作用, 结果见表 2:

表 2 H₂S 等溶液对鲫鱼心电的作用

气体	浓度	实验鱼数	作用时间(分)	心率变化	平均心率	R波减小的鱼数
CO ₂	正常				27次	2
	15ppm	5	5	三尾加快	33次/分	
	29ppm	5	5	4尾减慢	15次/分	
H ₂ S	正常				24次/分	4
	4ppm	5	5	5尾减慢	12次/分	
	6ppm	5	5	5尾减慢	9.6次/分	
SO ₂	正常				26次/分	2
	3ppm	5	5	5尾减慢	15次/分	
	7ppm	5	5	5尾减慢	13次/分	

CH₄ 对鲫鱼心率无影响 (CH₄ 饱和溶液)

鱼心电亦分 P、Q、R、T 波与人类心电图有类似之处, 鲫鱼心电图各波幅度在个体间差异较大, 有的 R 波达 340 μV (微伏), 有的仅 34 μV。鲫鱼正常心率范围为 20—30 次/分^[12]。CO₂、H₂S、SO₂ 使鱼心率变慢, 心率紊乱。四

种地气溶液对鲫鱼心率影响的强弱为: H₂S > SO₂ > CO₂, 而饱和甲烷溶液对鱼心电无影响。

3. Na₂S 等对鲫鱼逃避行为的作用

Na₂S、NaNO₂、NaF 溶液引起鲫鱼产生逃避反应的阈值见表 3:

表 3 Na₂S、NaNO₂、NaF 对鲫鱼逃避行为的作用

Na ₂ S		NaNO ₂		NaF	
逃避浓度阈值	反应鱼数	逃避浓度阈值	反应鱼数	逃避浓度阈值	反应鱼数
23.8ppm	1	98.7ppm	2	116.1ppm	14
24.4ppm	1	104.5ppm	8	120.7ppm	8
25.0ppm	6	110.3ppm	4	130.0ppm	2
25.5ppm	6	116.1ppm	2	139.3ppm	4
26.1ppm	15		实验总数 16 尾		实验总数 28 尾
	实验鱼总数 29 尾				
平均阈值 25.6 ± 0.66		平均阈值 106.7 ± 2.11		平均阈值 121.7 ± 2.54	

实验表明引起鲫鱼逃避行为的阈值, Na₂S 溶液为 25.6ppm, 在此阈值时有 49% 出现逃避反应。NaNO₂ 溶液逃避反应阈值为 106.7ppm, 在此浓度 62.5% 的鱼出现逃避现象。NaF 影响鲫鱼逃避行为的平均阈值为 121.7ppm, 在此浓度 78.7% 鱼出现逃避现象。

4. Na₂S 等溶液作用嗅粘膜引起的嗅球电变化

Na₂S、NaNO₂、NaF 溶液试验结果见表 4、

图 1。

Na₂S 溶液在 28 条鲫鱼试验测得平均浓度阈值为 3.3ppm, NaNO₂ 溶液在 42 条鲫鱼试验平均浓度阈值为 21.9 ppm, NaF 溶液对 26 条鱼测得嗅球电变化平均阈值为 20.4 ppm, 鲫鱼对 NaF 的嗅球电反应个体差异较大(图 2)。

实验比较了气体水溶液和 Na₂S 溶液的作用, 4 ppm H₂S 水溶液, 3 ppm SO₂ 气体水溶液能引起嗅球电反应, 其量值与 Na₂S 溶液作

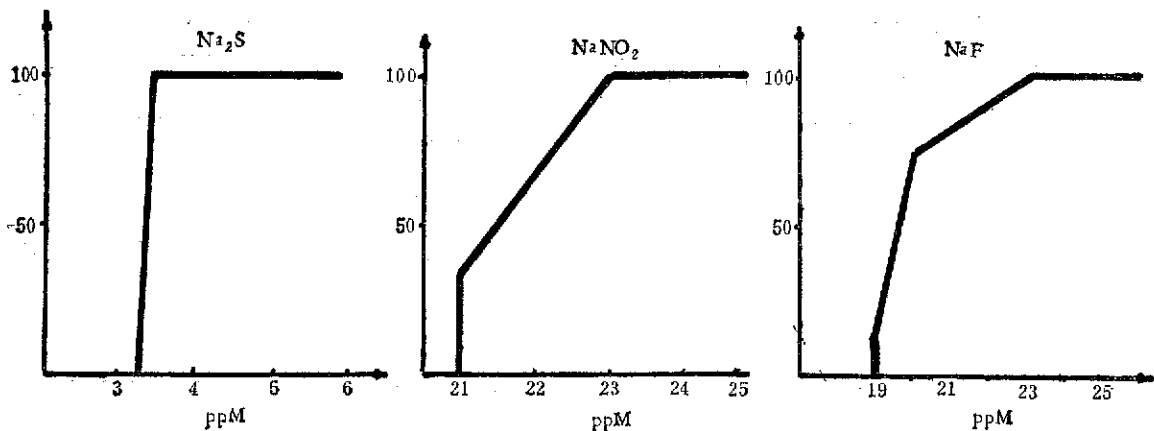


图1 Na_2S 等引起嗅球电变化的百分率

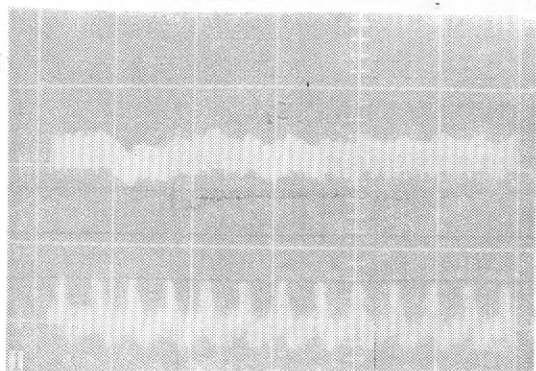
用相近,见图3。

在实验中我们记录心电图作为鱼存活的指标,同时观察到引起嗅球电变化的上述溶液的阈值浓度并不能引起心电图异常(见图2)。

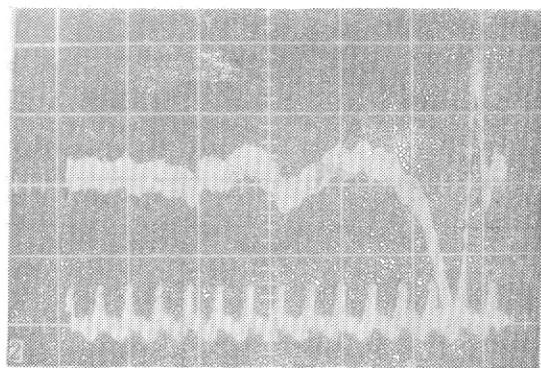
5. 嗅球电反应和逃避行为阈值比较

Na_2S 的嗅球电反应阈值较逃避行为阈值

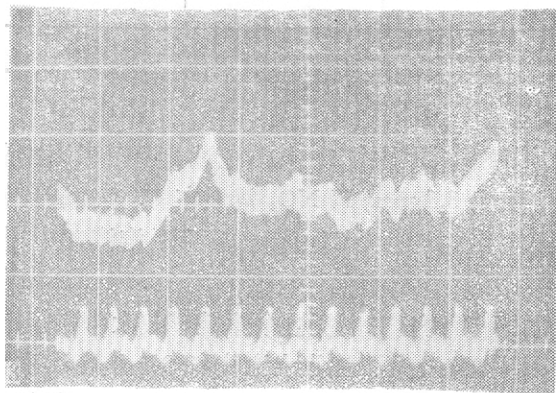
低8倍左右。 NaNO_2 、 NaF 嗅球电反应浓度阈值较逃避行为阈值低5倍左右(见表3、表4)。因而其逃避行为反应可由嗅觉引起。在实验中我们将160 ppm CO_2 溶液作用鲫鱼嗅囊,并无嗅球电反应发生,而 CO_2 溶液86 ppm可引起游动反应。可能 CO_2 引起鲫鱼行为反应的途径不



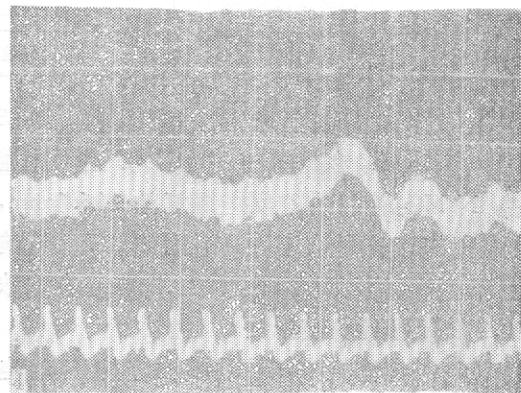
①正常情况下的嗅电(上)和心电图(下)
纵向28微伏/厘米,横向1秒/厘米,每格1厘米²



②加3.4 ppm Na_2S 于鲫鱼嗅囊、嗅球的放电效应



③加23 ppm NaNO_2 于鲫鱼嗅囊、嗅球的放电反应

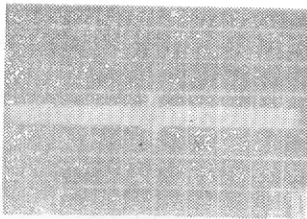


④加22 ppm NaF 于鲫鱼嗅囊、嗅球的放电反应。

图2 Na_2S 等溶液引起的嗅球放电反应和心电图记录

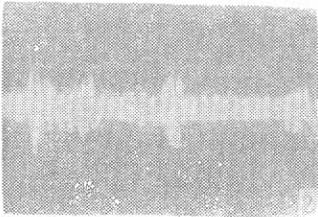
表 4 Na_2S 、 NaNO_2 、 NaF 对嗅粘膜作用引起嗅球电变化

Na_2S		NaNO_2		NaF	
引起嗅球电反应浓度阈值	反应鱼数	引起嗅球电反应浓度阈值	反应鱼数	引起嗅球电反应浓度阈值	反应鱼数
3.2ppm	2	21ppm	14	19ppm	3
3.3ppm	22	22ppm	18	20ppm	7
3.4ppm	4	23ppm	10	21ppm	1
	实验总数 28 尾		实验总数 42 尾	22ppm	2
				23ppm	3
				实验总数 26 尾	
平均阈值 3.3 ± 0.05		平均阈值 21.9 ± 0.76		平均阈值 20.4 ± 1.17	

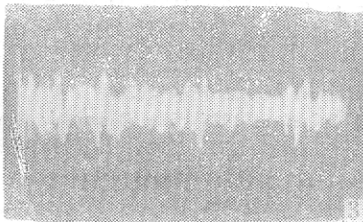


① 鲫鱼嗅球的正常放电

纵向 10 微伏/厘米。横 1 秒/厘米,每格 1 厘米²



② 加入 4 ppm H_2S 水溶液于嗅粘膜后,嗅球放电反应。



③ 加入 3 ppm SO_2 水溶液于粘膜后,嗅球的放电反应。

图 3 H_2S 等地气溶液引起的嗅球放电反应

是通过嗅觉系统。 Na_2S 、 NaNO_2 、 NaF 三者嗅球电反应阈值和逃避行为阈值比较, Na_2S 比 NaNO_2 、 NaF 低 4—7 倍。 H_2S 、 SO_2 气体溶液引起鲫鱼浮头浓度比 CO_2 溶液低 4—5 倍。 CH_4 饱和溶液不引起反应(见表 1、表 3、表 4)。因而含硫地气引起鲫鱼行为异常较其他上述溶液作用较大,比较可能。

6. 地震前鱼行为异常与地气

根据我国大地震前发生地气的大量记载和地球放气等事实与理论^[1,5,6,11],地气的溢出是可能的地震前兆,如 1975 年海城大地震前,在数百平方公里的地区人们觉察到一种怪气味,1927 年委内瑞拉 Cumana 大地震前一小时人们嗅到强烈的硫磺味,这些气味可能以 H_2S 、 SO_2 为主^[6,11]。根据我们对十一种水化因素对罗非鱼、泥鳅行为作用的试验^[4],其中较低浓度而明显引起鱼浮头,窜动等异常反应的水化成分(HF 、 NH_4OH 、 Na_2S 、 Na_2SO_3 、 Na_2CO_3)都能由相应的气体(F 、 NH_3 、 H_2S 、 SO_2 、 CO_2)形成,因而推测地球化学成分中引起鱼行为异常的因素可能主要是地气。这与美国、日本一些学者推测动物震前异常,地气的溢出可能是重要原因相似^[11,14]。我们对震前蛇出洞原因的实验分析亦认为地气是重要因素^[8]。 CO_2 、 CH_4 在地震前后有大幅度的波动^[6]。 CO_2 、 H_2S 等气体随时可以在某些有利的地形条件下或经微震作用窜入水体,它们的溶解度大,鱼反应灵敏,完全可使鱼浮头、窜动、侧躺或死亡。假如震前地气能使人昏倒(如海城地震前),则其浓度如是 H_2S 、 SO_2 则接近 800 ppm,若为 CO_2 则接近 80,000 ppm,与引起鲫鱼浮头的上述溶液的浓度(33、34、142 ppm)相比较,要高 20 倍以上,因而地震前鱼首先出现行为异常是完全可能的。

CH_4 对鲫鱼行为与心电图均无明显影响,这可能是由于 CH_4 在水中溶解度很小(在 10°C

时为4%),不能达到足以引起鲫鱼心率和行为异常的浓度。 CO_2 、 H_2S 、 SO_2 对鲫鱼心率的影响,其阈值低于行为异常(浮头)的阈值约10倍左右,即心电变化比行为更敏感,是一个可借助仪器测定的灵敏生理指标。

逃避反应亦是鱼类地震前的行为表现,经测定鲫鱼对 Na_2S 的逃避反应阈值与 H_2S 的浮头阈值接近,鱼类嗅觉很敏感^[12,15,16]。化学通讯行为亦很显著^[12,13]。我们测定 Na_2S 等的嗅球电反应阈值(即嗅觉阈值)较逃避反应阈值低5—8倍,说明行为反应可由嗅觉引起。而震前鱼类行为异常,含硫地气味的溢出可能是重要因素。

四、小 结

本文探索地震前动物行为异常与地气发射和嗅觉关系,测定了四种地气可能成分—— H_2S 、 SO_2 、 CO_2 、 CH_4 对鲫鱼行为的作用和心电变化及硫化物(Na_2S)等的嗅球电反应(即嗅觉阈值)。实验表明 H_2S 35 ppm, SO_2 33 ppm, CO_2 142 ppm可引起鲫鱼浮头反应,饱和甲烷溶液未引起浮头。大地震前常出现含硫地气味,甚至使人不能耐受,其浓度可能超过上述数值10倍以上,因而地气味引起鱼震前异常是可能的。 H_2S 4 ppm、 SO_2 3 ppm、 CO_2 29 ppm能引起鱼心率和R波的变动。是较浮头更为灵敏的指标。

将 Na_2S 、 NaNO_2 、 NaF 溶液注入鲫鱼嗅囊中,记录嗅球电变化,测得嗅觉电反应平均阈值 Na_2S 为3.3 ppm, NaNO_2 为21.9 ppm, NaF 为20.4 ppm。 H_2S 溶液的嗅觉电反应阈值为4 ppm, SO_2 溶液为3 ppm。 Na_2S 化合物水溶液和 H_2S 、 SO_2 气体溶液等含硫化物阈值接近。 Na_2S 、 NaNO_2 、 NaF 对鲫鱼引起逃避行为平均阈值浓度分别为25.6、106.7、121.7 ppm。行为阈值为嗅觉阈值的5—8倍。这说明这些

化合物引起鲫鱼行为与心电变化可能通过嗅觉系统。而 CO_2 等160 ppM以下并未引起嗅电变化,因而其行为与心电变化不经过嗅觉。饱和甲醛液不引起鲫鱼心电和嗅球电反应。

试验表明含硫化物引起的浮头,逃避行为阈值和嗅球电反应阈值较 CO_2 、 CH_4 、 NaNO_2 、 NaF 低,因而含硫地气味溢出可能是震前鱼行为异常的比较重要的因素。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院地震工作委员会历史组编 1956. 中国地震资料年表 科学出版社. 17、33。
- [2] 蒋锦昌 1980 动物行为异常是一种临震前兆 地震学报 2(2): 304—313。
- [3] 康智遥等 1980 几种化学因素对罗非鱼, 泥鳅行为的作用 动物学杂志(3): 1—4。
- [4] 石慧馨 1981 国外用地下水、气预报地震研究的新进展 国外地震(2): 1—6。
- [5] 李海华等 1979 地气的宏观特征与前兆机理 西北地震学报 1(2): 74—76。
- [6] 地质科学院水文地质研究所编 1973 天然水化学分析 地质出版社. 28—123。
- [7] 康智遥等 1981 震前蛇出洞原因的初步探讨 武汉大学学报(自然科学版)(1): 109—117。
- [8] 力武常次(日) 1978 地震预报 冯锐等译 地震出版社出版. 7—18, 148—151。
- [9] П. Н. Кропоткин 1981 地球放气与大地构造强祖基译 地震译丛(2): 2—5。
- [10] 工业毒理学编写组 1977 工业毒理学上海人民出版社 193—201。
- [11] D. G. Moulton 1979 Odorant Emission Preceding Quakes and Odor Detection and Recognition in Animals In Proceeding of Abnormal Animal Behavior prior to Earthquakes II in Menlo Park, California, U.S.A. 156—177。
- [12] M. E. Brown 1957 The Physiology of Fishes Academic press Inc. 2 187—207。
- [13] D. T. Solomon 1977 The Communication of Fresh-Water-Fishes J. Fish. Biol. (11): 363—376。
- [14] J. M. Logan 1978 Animal Behavior and Earthquake Precede Nature 276 606—607。
- [15] S. F. Takagi et al 1978 Effects of Gustatory Stimulants upon the Olfactory Epithelium of the Bullfrog and the Carp. Jap. J. Physiol. 28 (2): 109—128。
- [16] S. F. Takagi et al 1978 Ionic stimulation of the Olfactory Epithelium in the Bullfrog and the Carp Jap. J. Physiol. 28(2): 129—148。