

研究报告

用斑马鱼超弱光技术检测水体污染

王 英 彦

马玉琴 张月敬 李心愿

(北京市环境保护科学研究所, 北京 100037)

(中国科学院生物物理研究所, 北京 100080)

摘要 用斑马鱼超弱光测量技术调测北京地区东南郊工业区和石油化工区, 并设非污染对照点。结果表明: ① 斑马鱼超弱光强度与水体水质污染分级基本相平行; ② 与非污染对照点比较, 灵敏地鉴别水质的清洁和污染的差别; ③ 东南郊工业区, 铬、铜、锌和镉等元素的影响小于氯、砷和氟化物, 但是增强斑马鱼超弱光强度和引致水样间光强度差别的主要影响是化学需氧量、生化需氧量、氨氮和酚, 即有机化合物类。石油化工区, 除 COD、BOD、氨氮和酚存在一定影响外, 主要是石油类。斑马鱼超弱光测量方法是一项可拓展于环保领域的分析技术, 有潜在应用前景。

关键词 超弱光, 斑马鱼, 水体污染。

生物超弱发光体现生物活体的完整性 (Holmsmus), 指示生活力、抵抗力、自律性 (Intactness) 和体内平衡 (Homestasis)。因此, 生物超弱光的变化能够灵敏地反映有机体对内外环境因素改变的影响^[1]。根据上述的光生物学意义, 用斑马鱼为检测生物, 通过季节、氧、pH、磷、尤其是二氧化铀、叠氮化钠、环磷酰胺、苯、二甲苯和酚等化学物质影响的实验, 建立起的斑马鱼超弱光测量方法是一项衡量水环境污染程度的新的分析技术。其特点: ① 超弱光由活体发射, 无需外加光源; ② 无损伤分析, 故同一样品亦可作别种项目的分析, 或可作自身对照, 即任何处理前后测量值相减所得的差值反映该处理的效应; ③ 斑马鱼作光生物检测器的优点是灵敏、耐活和简捷^[2~4]。鉴此, 本文初次使用该项技术检测水体污染, 并与水质状况及其理化指标作分析比较, 以期评估在环保领域中的可用性和科学性, 从而促进已成功地应用于农业、医学、轻工业等部门的这项生物物理学测量技术拓展于环境科研事业中^[5]。

一、材料和方法

1. 采样点

被调测的水体是北京地区^[1]东南郊工业区的河沟, 包括通惠河上下游河段, 北运河, 通惠

北干渠, 半壁店明沟, 观音堂明沟和大柳树明沟; 同时设置非污染对照点——永定河和密云水库(表 1)。石油化工区的河湖^[2], 包括周口店河, 东沙河, 大石河下游, 牛口峪水库和丁家洼水库; 同时设置非污染对照点——团城湖和大石河上游(表 2)。

2. 水样

各样点水样采集的时间是 1990 年 7—8 月, 水样不作任何预处理, 在 4℃ 下保存, 及时测定。

3. 实验动物

斑马鱼 (*Brachdanio rerio* Hamet Buds) 为热带淡水鱼。购自官园花鸟市场。

4. 处理

取 500ml 烧杯。将混匀后的水样 400 ml 注入杯中, 而后放入在实验室中已驯化一周的斑马鱼, 各杯 5 尾, 处理时间是 3d。

5. 高敏超弱光测量仪

由液氮冷却的单光子计数系统, 串连 IBM/XT 终端构成。6 小时测量的光强度是 $0.3 \text{ 光子} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ (99.9% 置信度)。波长范围是 350—900nm。测量操作 每一样品有 5 尾斑马鱼, 置于石英杯内。移入测量仪的样品室内, 测量 240s 的总光子计数率。本文取其 120s 的光

收稿日期: 1992 年 3 月 10 日

子计数率表示测量的结果。同一鱼样在处理前测出自身对照值, 在处理后测出实验值。计算以上实验值的光子计数率减去相应的自身对照值的光子计数率和水-石英比色杯背景值的光子计数率, 所得的差值除以斑马鱼体表面积(根据身长和体宽, 从表中查得的体表面积), 即获超弱光强度(光子 $\cdot$ s $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$)^[2]。

6. 水质评价

本研究调测的水体均属地面水, 水质污染评价分级如表 1 所示。

表 1 地面水环境质量评价分级

污染分级	清洁	轻度	中度	重度	严重
污染指数 (P_{ij}) [*]	≤ 1.00	1.01—3.00	3.01—4.00	4.01—6.00	> 6.00

$$* P_{ij} = \sqrt{\frac{[(c_{ij}/L_{ij})_{\text{平均}} + [(c_{ij}/L_{ij})_{\text{最大}}]^2]}{2}}$$

式中, P_{ij} : 地面水污染指数;

c_{ij} : 水中污染物实测浓度;

L_{ij} : 各种污染物水质标准。

二、结果与讨论

1. 东南郊工业区水体检测结果

由表 2 可见, 东南郊工业区内 9 条河沟水样的超弱光强度, 与其相应的水质状况基本上相互平行。密云水库水样的污染分级属于清洁, 与此对应, 它的超弱光强度是 308 光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$, 为最低。属于重度污染的通惠河上游, 观音堂明沟和大柳树明沟, 它们的超弱光强度分别是 1 931, 1 186 和 968 光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$, 范围为 1 000—2 000 光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$, 为居中。水质污染分级为严重的通惠河下游, 北运河, 通惠北干渠和半壁店明沟, 它们的超弱光强度分别是 3 079, 2 436, 2 779 和 2 517 光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$ 。

表 2 东南郊工业区水体理化指标 (mg/L) 检测结果

样 点		通惠河 上 游	通惠河 下 游	北运河	通惠北 干渠	半壁店 明沟	观音堂 明沟	大柳树 明沟	永定河 (对照)	密云水库 (对照)
超弱光强度 (光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$)		1 931 $\pm$ 521	3 079 $\pm$ 711	2 436 $\pm$ 657	2 779 $\pm$ 750	2 517 $\pm$ 501	1 186 $\pm$ 320	968 $\pm$ 542	660 $\pm$ 369	308 $\pm$ 172
理 化 指 标	溶 解 氧	0.81	1.11	0.67	1.28	0.72	1.79	4.77	6.92	8.74
	化学需氧量	9.14	42.94	50.61	36.71	39.03	14.27	8.34	4.09	2.57
	生化需氧量	25.85	77.87	42.10	39.10	64.78	45.37	42.70	1.47	1.49
	氨 氮	8.35	22.81	21.70	37.31	52.72	4.18	9.88	0.32	0.13
	酚	0.011	0.090	0.040	0.166	0.091	0.006	0.026	—	—
	氟	0.004	0.006	0.005	0.018	0.024	0.004	0.005	—	—
	砷	0.002	0.003	0.005	0.022	—	0.003	0.003	—	—
	铬	0.016	0.045	0.011	0.013	0.028	0.022	0.052	0.009	0.003
	氟 化 物	0.55	0.60	0.70	1.28	0.78	0.49	0.61	0.078	0.39
	铜	—	—	—	0.087	—	0.075	0.112	—	—
标	铅	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	锌	0.048	0.245	—	0.200	0.369	0.202	2.887	—	—
	镉 油	—	—	—	—	0.012	—	—	—	0.10
水质状况 (污染程度)		重 度	严 重	严 重	严 重	严 重	重 度	重 度	清 洁	清 洁

min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$, 范围为 2 000—4 000 光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$, 为最高。其中永定河, 它的污染分级虽属清洁, 但是其超弱光强度是 660 光子 $\cdot$ min $^{-1}\cdot$ cm $^{-2}$, 高于密云水库的水样光强度。

表 1 所列的数据说明, 水质的污染分级与

水中污染物的平均污染水平和某一时段偶然出现的严重污染所产生的影响有关。因此, 进一步从理化指标分析以上水样的超弱光强度与水质状况的对应关系, 将有益于找出不同河沟水样增强斑马鱼活体发射超弱光子流, 和引致各

水样间光强度差别的基本原因。铬、铜、锌和镉等无机金属元素在 7 条河沟水样中未被一一检出,而铬在密云水库水样中却含 0.003mg/L, 还含 0.10mg/L 镉, 这可能是增强斑马鱼超弱光强度的原因, 但不一定是引致水样间差别的因素。至于砷、砷和氟化物, 在密云水库的水样中除含氟化物 0.39mg/L 外, 其它组分均不含有这类无机化合物, 可能是增强斑马鱼超弱光强度的因素, 而对水样间存在的光强度差别可能只是产生一定的影响。最后, 有关化学需氧量, 生化需氧量, 氨氮和酚等 4 种指标与超弱光强度关系的分析表明, 总体上是以上的 4 指标均为高和较高的, 与之相应是污染分级趋属严重, 超弱光强度也是高的。例如通惠河下游水样的超弱光强度是调测样点中最高, 为 3 079 光子·min⁻¹·cm⁻², 它们的 4 指标分别为 44.94、77.87、22.81 和 0.090mg/L, 水质分级为污染严重, 因此互为平行。与之对照, 密云水库水样的超弱光强度是 308 光子·min⁻¹·cm⁻², 它们的 4 指标分别为 2.57、1.49、0.13 和 0.00mg/L, 均属低下, 为清洁水质, 因此也互为平行。其余各条河沟水样作逐一的对应分析时, 也是明显地显

示 4 指标, 水质状况和超弱光强度是相互平行的。总之, 决定水质污染程度的理化组分是改变斑马鱼超弱发光的原因, 且与水体中理化指标的类别有关, 而类别中以有机化学污染物为主。

2. 石油化工区污染水体检测结果

由表 3 可见, 石油化工区 7 个河湖水样的超弱光强度与水质状况也是基本上相平行的。团城湖和大石河上游的污染分级属清洁, 均是本文调测的非污染对照点, 与此相应, 它们的超弱光强度分别是 460 和 391 光子·min⁻¹·cm⁻², 为最低, 但比密云水库水样的 308 光子·min⁻¹·cm⁻² 略高。属严重污染的有周口店河, 牛口峪水库和丁家洼水库, 它们的超弱光强度分别为 3 694, 2 928 和 2 832 光子·min⁻¹·cm⁻², 范围为 2 000—4 000 光子·min⁻¹·cm⁻², 为最高。比通惠河下游, 北运河, 通惠北干渠和半壁店明沟要高, 但是同在 2 000—3 000 光子·min⁻¹·cm⁻² 范围内。东沙河属重度污染, 它的超弱光强度是 1 872 光子·min⁻¹·cm⁻², 与通惠河上游, 观音堂明沟和大柳树明沟的接近, 在 1 000—2 000 光子·min⁻¹·cm⁻² 的范围内。大石河下游的水

表 3 石油化工区水体理化指标(mg/L)检测结果

样 点		丁家洼水库	牛口峪水库	周口店河	东沙河	大石河下游	团城湖	大石河上游
超弱光强度 (光子·min ⁻¹ ·cm ⁻²)		3 696±241	2 832±1 088	2 928±527	1 872±556	529±170	460±83	391±115
理化指标	溶 氧 量	7.18	3.90	5.13	4.65	2.94	7.89	4.15
	化学需氧量	4.67	23.64	9.67	13.85	8.59	2.86	1.27
	生化需氧量	2.24	1.91	5.71	7.11	21.80	1.21	1.59
	氨 氮	0.38	5.34	5.90	2.27	2.98	0.08	0.10
	酚	7.960	7.87	7.87	8.02	0.14	—	—
	砷	0.004	—	—	—	—	—	—
	砷	—	—	—	—	—	—	—
	砷	0.004	0.010	0.021	0.027	0.011	—	0.002
	砷	0.32	0.34	0.40	0.39	0.33	0.59	9.15
	砷	—	—	—	—	—	0.015	—
水质状况 (污染程度)		严重	严重	严重	重度	中度	清洁	清洁

样超弱光强度为 $529 \text{ 光子} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, 与密云水库等非污染对照点较接近, 因此被客观地分属于中度的污染分级。

从表 3 所列的理化指标分析石油化工区水样的超弱光强度与水质状况之间基本相平行的结果表明, 增强斑马鱼超弱光强度和引致 7 个河湖水样间光强度差别的主要原因可能是石油的污染。在东南郊工业区 7 个水样中均未检出油类, 而石油化工区除非污染对照点的团城湖和大石河上游的水样外, 其余 5 个河湖水样均检出油类。如周口店河和牛口峪水库均属严重污染, 它们的水样含油量很高, 分别为 5.0 和 4.48 mg/L。丁家洼水库也属严重污染, 但油量却不高, 为 0.5 mg/L, 有待查因。东沙河和大石河下游水样的含油量分别为 2.4 和 1.2 mg/L, 与其重度和中度的污染分级相互对应。此外, 从铬、铜、铅、锌、镉等重金属元素与氰、砷和氟化物, 以及化学需氧量、生化需氧量、氨氮和酚等 4 指标分析, 石油化工区除酚外均低于东南郊工业区的, 即理化指标中的 4 类组分在石化区水体中对斑马鱼超弱光发射的影响是处于次要的位置。当然, 它们仍具有一定的影响, 如团城湖水样的光强度介于对照点的大石河上游与中度污染的大石河下游之间, 这可能与例外地水样中含有铜 0.015 mg/L 和镉 0.014 mg/L 有关。

三、结 论

1. 斑马鱼超弱光强度与水体的水质污染分级基本上相平行。

2. 与非污染对照点水样比较, 灵敏地鉴别出清洁与污染间的差别。

3. 在东南郊工业区, 铬、铜、铅、锌和镉等重金属元素的影响小于氰、砷和氟化物, 但是增强斑马鱼超弱光强度和引致水样间光强度差别的主要原因是以化学需氧量、生化需氧量、氨氮和酚等 4 指标为主要的有机化合物污染组分。而在石化区, 除这 4 指标能产生一定的影响外, 主

要的影响可能是石油类组分。

4. 用斑马鱼作指示生物, 通过测量其超弱光强度, 从而确定水体污染程度的这项光学测量技术, 经本文的试用证明是成功的。但是鉴于在环保领域中是初次测量, 因此尚存着许多的问题, 有待进一步探讨。兹将问题归纳如下:

(1) 作用物谱, 即摸清诱导产生超弱发光的化学物质的数量和类别。

(2) 诱导超弱发光的物质分有增强性和减弱性两种, 例如酚属于减弱性化合物^[3,4]。丁家洼水库、牛口峪水库、周口店河和东沙河水体分别地含酚 7.96、7.87、7.87、8.02 和 0.14 mg/L, 所以它们的超弱光强度实际是受到酚拮抗作用后的效应。因此, 由超弱光强度准确地评估水体污染必需摸清化学物质对其的增强作用或减弱作用。

(3) 水样染毒处理, 测量操作和数据计算等需要统一, 标准和规范。

(4) 结合水质标准和理化指标, 求出斑马鱼超弱光强度的本底值。

(5) 超弱光测量仪一般具备三项技术功能, 即测量光强度, 光谱和发光动力学过程。而本文仅用了测量光强度一项, 因此在解决鉴别诱导超弱光化学物质类别, 区别具增强或减弱作用化合物等方面, 可以进一步试探发挥其它的两项技术性能。

总之, 斑马鱼超弱光测量技术是一项具有潜在前景的生物物理学分析技术, 有待进一步开拓它在环境科学中的应用。

参 考 文 献

- 1 Slawinska D & Slawinski J. *Chem-and Bioluminescence*. New York: Marcel Dekker Inc, 1985: 533—581
- 2 王英彦等. 水生生物学报. 1991, 15(3): 193
- 3 Wang Y Y et al. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1991, 46: 456
- 4 马玉琴等. 生物物理学报. 1990, 6(4): 545
- 5 Slawinski D & Slawinski J. *Chem-and Bioluminescence*. New York: Marcel Dekker Inc, 1985: 495—581

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Water Pollution Detected by the Ultra-weak Luminescence Measurement Technique from Zebra Fish.

Wang Yingyan et al. (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection 100037), Ma Yuqin, Zhang Yuejing, Li Xinyuan (Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing 100080): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.2—5
It is successful that the water pollutions were detected using the ultraweak luminescence measurement technique from Zebra fish. The results show the following three points: (1) The intensity of ultra-weak luminescence from Zebra fish, which were treated by the investigated samples the water from different area, is parallel with both of physico-chemical indices and their pollution classes on water quality. (2) It could be identified the difference between pollution and nonpollution of water samples easily. (3) The changes of intensities of ultra-weak luminescence are related to the type of physico-chemical indices, namely, in oil-chemical industrial area the intensity is inclose relationship with the oil components in the water, whereas in general industrial area it is in greater relationship with the organic compounds. In conclusion, the technique menthioned above is worth recommending to apply to the field of environmental monitoring.

Key words : ultraweak luminescence, Zebra fish, water pollution.

Research on Transport and Transformation of Phenol in the Saturated Vaclose Water Zone.

Zhu Wanpeng, Wen Donghui, Yang Zhibua (Dept. of Environmental Engineering, Tsinghua University Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.6—10
The transport and transformation of phenol in saturated fine-sand soil were studied. The study included static adsorption, static degradation and dynamic soil column experiments. Longitudinal dispersion coefficient (D), adsorption coefficient (K_d) and biodegradation coefficient (K_1) were obtained through curve fitting and parameter estimation. The results indicate that phenol is hard to be adsorbed by the fine-sand but readily biodegraded in the soil.

Aerobic condition can fasten the degradation process. The existence of other organic compounds retarded the degradation, but this effect disappeared once the microorganisms became adapted to phenol.

Key words : phenol, transport equation, dispersion, adsorption, degradation.

Study on the Reactivity and Temperature-Characteristic of Colcium-Based Sulfur Sorbent.

Huang Xingyi, Li Zhijiang, Zhang Xuyi (Thermal Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.11—15

The reactivity and temperature-characteristic of sorbent are two critical factors affecting sulfur-capture efficiency in the process of fluidized bed combustion of coal. The synthetic sorbent developed by the authors, although mainly consisting of limestone fines, possesses higher reactivity than the limestone itself and could be used in a wider range of temperature up to 1100°C. In order to study the phenomenon, experiments were conducted by using a fixed bed reactor, a mercury porosimeter and a scanning electronic micro-scope etc. Two kinds of synthetic sorbents (with and without sulfur-retentive ash) and limestone were used in the study. Results demonstrate that large pores in the synthetic sorbents, wick were formed in the process of agglomeration, enhanced the diffusion of SO_2 and O_2 and, therefore, led to the high reactivity of the sorbent. In the meantime, sulfur-retentive ash deferred the occurrence of sintering and thus made the optimum temperature shift to a high level.

Key words : fluidized bed boiler, fluized bed combustion, sulfur dioxide, desulfurization, limestone, synthetic sorbent.

Environmental Factors Causing the Low Level of Se in Human Body—A Survey on the Kaschin Beck Disease Region in Loess Plateau, Shanxi Provice.

Li Jivun (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica Beijing, 100085): *chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.16—22
It has been demonstrated from the results of survey and study in the Kaschin-Beck disease occurring