

# 生物监测在水环境监测中的应用及发展趋势

戴舒雅, 余 俭, 丁 波, 殷伟庆  
(镇江市环境监测中心站, 江苏 镇江 212004)

**摘 要:**生物监测是水环境监测的重要内容,具有综合性、灵敏性、时效性和富集性等优点。文中综述了生物监测的概念、特点和方法,介绍了生物监测技术的研究发展。同时,根据工作的实际情况分析了当前环境监测中生物领域所面临的形势和存在的问题。

**关键词:**环境监测;生物监测;发展

中图分类号:X703 文献标识码:A

## Application and Developmental Tendency of Biomonitoring in Water Environmental monitoring

DAI Shu - ya, YU Jian, DING Bo, YIN Wei - qing  
(Zhenjiang Environmental Monitoring Centre Station, Zhenjiang, Jiangsu 212004, China)

**Abstract:** Biomonitoring is the important content of water environmental monitoring, which has the advantages of comprehensive, sensitivity, timeliness and accumulation. The concept, characteristics and methods of biomonitoring; are reviewed, and the progress of biological monitoring techniques are summarized. Based on the actual working, the developmental situation and existed problems of biomonitoring in field of environmental monitoring are analyzed.

**Key words:** environmental monitoring; biomonitoring; development

水质环境监测的目的是通过对水体进行定期的或者连续的监测、观察和分析,从而了解和掌握水环境质量的变化过程,为水环境污染程度和污染物的鉴定、水污染的防治、环境控制和管理提供充足的监测数据和资料。生物监测是环境监测技术的重要内容,可与理化监测互补,以获得水环境质量监测与评价的正确结果。生物监测工作从 20 世纪初就在一些国家开展起来,1909 年 Kolwitz 和 Marson 提出了污水生物系统<sup>[1]</sup>,为运用指示生物评价水体污染和水体自净状况奠定了基础。随着环境保护工作的深入,常规的理化监测指标已无法全面、客观的说明水环境质量状况;而生物监测从某种意义上说,由水环境质量变化所引起的生物学过程变化能够更加直接地综合反映出水环境质量对生态系统的影响,比用理化方法监测得到的参数更具说服力。由此,在环境监测工作中,生物监测日益得到重视<sup>[1,2]</sup>。

### 1 生物监测的概念和理论基础

生物监测(Biomonitoring)是利用生物个体、种群或群落对环境污染或变化所产生的反应阐明环境污染状况,从生物学角度为环境质量的监测和评价提供依据。而生态系统理论则是生物监测的理论基础,生态系统具有维持一定地区的系统结构和功能固有的特性,水环境受到污染必然引起生态固有结构和功能的变化,生物监测可以反映这种环境污染的生物效应。当污染物排入环境后经环境的迁移、分布、扩散和转化,通过各种途径进入生物机体。大量研究表明,污染物对生物机体的最早作用是从生物大分子开始的,从微观的细胞再到宏观的群落,逐步影响生态系统的各级水平,如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

收稿日期:2013-05-29

作者简介:戴舒雅(1990—),女,江苏镇江人,助理工程师,本科,研究方向为环境科学。

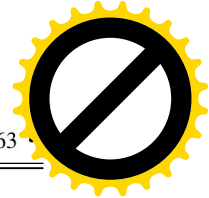
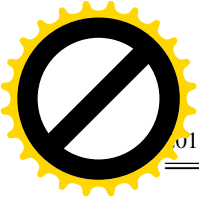


图 1 污染物在各级生物学水平上的影响示意图

Fig. 1 The schematic diagram of contaminant at all levels of biology

## 2 生物监测的特点

在水环境监测中,理化监测具有速度快、方法简便等优点,但就水环境质量整体监测与评价而言,理化监测则有一定的局限性,无法全面反映污染的综合性及其对生物毒性的影响。而长期的、连续的生物监测更具有时效性、综合性和灵敏性<sup>[3]</sup>。相较于常规理化监测方法,生物监测具有如下作用和特点。

(1) 一定区域内生活的生物可将长期的污染状况反映出来,而理化监测只能代表取样期间的污染情况。

(2) 某些生物对一些污染物非常敏感,它们能够对这些连精密仪器都无法监测的微量污染物产生反应,并表现出相应的受损伤的效应,效果更加直观可靠。

(3) 在生态系统中,通过食物链可以将微量有毒物质予以富集,当到达该食物链末梢时,可将污染物浓度提高到数万倍。

(4) 因为一种生物对不同的污染物产生反应而表现出不同症状,所以生物监测更具多样性。

(5) 理化监测只能监测特定条件下水环境中污染的类别和含量,而生物监测可以反映出多种污染物在自然条件下对生态的综合影响,从而更加客观、全面地评价水体质量。

## 3 水污染的生物监测方法

天然水域中生存着大量的水生生物群落,生物之间以及生物与水环境之间有着密切的关联。当水体受到污染时,根据水生生物的反应,通过实验

测定从而对水体污染程度进行判断,这是生物监测水体污染的基础。

### 3.1 利用指示生物在水中的存在或缺失、数量多少来监测水环境质量

指示生物 (Indicator Organism) 是环境中对某些物质 (包括进入环境中的污染物) 能产生各种反应或信息而被用来监测和评价环境质量现状和变化的生物<sup>[4]</sup>。根据对水环境中的污染物敏感的或有较高耐受性的生物种类的存在或缺失,以及指标生物数量的多少来指示水体或河段内有机物或某种特点污染物的多寡或分解程度,即指示生物法,是较为经典的生物学评价水质方法。一般水体中主要用底栖动物和浮游生物或着生生物,鱼类等也可作为指示生物。

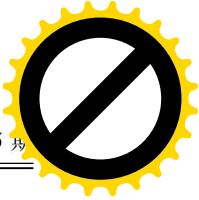
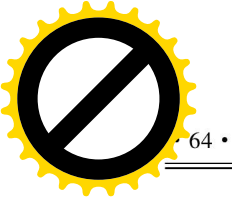
表 1 指示生物分类表

Table. 1 The classification table of Indicator Organism

水体污染程度	指示生物种类
严重污染	颤蚓类、毛螺、细长摇蚊幼虫、绿色裸藻、静裸藻、小颤藻等
中等污染	局栉水虱、被甲栅藻、四角盘星藻、环绿藻、脆弱刚毛藻、蜂巢席藻等
清水水体	纹石蚕、扁蚌、蜻蜓

在实际监测中,若要应用指示生物更加精确地评价水质,最好将所用的指示生物鉴定到种,因为每一大类中各种不同生物对污染的敏感或耐受程度不完全相同。在实际监测中各水生生物虽有一定的适应范围,但其种类和数量的分布不单纯决定





于污染,同时也会受到地理、气候以及河流底质等因素影响,因此利用指示生物监测时必须考虑到这些因素的作用,可利用水生生物的群落结构的变化来监测水环境质量。

微型生物是生活在水中的微小生物,包括藻类、原生动物、轮虫、线虫、甲壳类等。微型生物群落是水生态系统内重要组成部分,常被用于污染水体的监测和评价<sup>[5]</sup>。常用的方法是聚氨酯泡沫塑料块法,又称PFU法(Polyurethane Foam Unit),是应用塑料泡沫块作为人工基质来收集水体中的微型生物群落。用PFU法得到的原生动物群集过程是群集速度随着种类上升而下降,集群速度与种类数的交叉点就是种数的平衡点。环境污染能影响集群和平衡点,不同程度污染水域,其集群速度和种类数不同,利用这一点可以监测水环境质量变化。据沈韞芳等人的报道,PFU挤出液可见到水体中大约85%原生动物种类,则能够反映整个群落动态变化的全过程和基本趋势。PFU法是生物监测的一种标准方法,适用于采用原生生物和藻类对水质进行监测。

### 3.2 水污染的生物测试

生物测试(Bioassay)指系统地利用生物的反应测定一种或多种污染物或环境因素单独或者联合存在时所导致的影响或危害,水污染的生物测试通常称为毒性试验(Toxicity Test)。其中,急性毒性试验(Acute Toxicity Test)是研究化学物质大剂量一次染毒或24h内多次染毒动物所引起的毒性试验,其目的是在短时间内了解该污染物的毒性大小和特点,并为进一步开展其他毒性试验提供设计依据;其原理是生物暴露于不同剂量或浓度的受试物(test substance)下将有不同的反应(效应),例如抑制生长、活性下降、甚至导致死亡,因此可建立剂量(浓度)-效应曲线,而污染物的毒性大小和比较不同污染物的毒性,通常需依据各种毒性参数,方可对受试物的毒性进行评估<sup>[6]</sup>。常用参数有:(1)致死浓度(Lethal Concentration, LC, 包括 $LC_{100}$ ,  $LC_{50}$ ,  $LC_0$ ), (2)最大无作用剂量(Maximum No-Effect Level), (3)最小有作用剂量(Minimal Effect Level), (4)毒作用带(Toxic Effect Zone), (5)半数效应浓度(Median Effect Concentration,  $EC_{50}$ ), (6)半数抑制浓度(Median Inhibition Concentration,  $IC_{50}$ )。水生生物急性毒性试验有:(1)鱼类毒性试验, (2)水蚤类急性毒性试验, (3)藻类急性毒性试验, (4)发光细菌的急性毒性试验, (5)

种子发芽和根生长的毒性试验。除此之外,在侦查、寻找污染物、评价环境污染程度、确定废水处理要求和废水处理效果、确定污水排放标准等方面均有实用价值。

### 3.3 生物监测技术应用现状和存在的问题

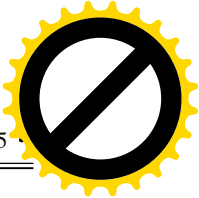
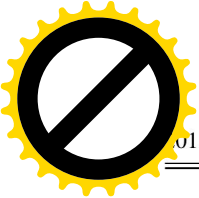
结合水环境监测的实际情况,目前展开的生物监测项目主要有浮游生物数量和种类、底栖生物的数量和种类、水体叶绿素a含量、细菌总数、总大肠菌群和粪大肠菌群的测定等,这些基础性工作已经在水环境监测中得到了一定的应用。其中,大肠菌群作为水体受粪便污染的理想指数,可通过检测水中的细菌的数量来反映水体污染的状况,因此对辖区内地表水、污水处理厂废水的例行监测中粪大肠菌群的测定是水质生物监测中最常规的监测项目。此外,鉴于早年太湖无锡地区暴发的蓝藻水华事件,而镇江市东部河流又属太湖湖西水系,因此水体中藻类总密度的测定也是工作重点,对蓝藻水华暴发起到预警监测的作用。但就生物监测的应用现状来看,很多技术都局限于传统的、常规的生物生态监测工作,很难跟上科技发展的步伐,也很难解决实际中遇到的突发生态环境问题。笔者认为产生这一现象的主要原因有:(1)各级领导对生物监测的重要性认识不够;(2)生物监测创收性少,发展得不到上级主管部门的支持,人才流失严重;(3)专业性的生物生态监测机构少,针对生物生态工作和课题的研究难以实施;(4)生物监测的投入有限,导致仪器设备落后。当然,生物监测本身也存在着不足之处:(1)缺乏重要而又敏感的功能指标,也不能揭示水中所含污染物的种类和浓度。(2)生物分布有很大的地域性。在不同地域,生态群落的种类自身就存在差异,对污染物的耐受程度也各不相同。因此,生物监测指标体系的建立就必须考虑到地域因素的影响。(3)生物监测的灵敏度和专一性方面不如理化监测。受自身技术的限制,水体生物监测不能对水生生物各种生理、生化变化的原因进行定量分析,因而生物监测方法至今没有统一的地方性或国家环境标准,只能作为一种先导性的监测方法。(4)实验耗时长。(5)指示物种对环境的要求,对各种毒物的耐受力不详,从而限制了指示物种的预报能力。

## 4 生物监测的研究进展和趋势

### 4.1 利用遗传毒理学监测水体污染

吴甘霖<sup>[7]</sup>在利用水花生根尖微核技术(MCN)





对马鞍山市废水的监测研究中,发现利用水花生根尖微核可作为监测水体污染的新材料。其根尖细胞微核率 MCN(%),不仅可用于监测不同废水的污染程度,而且由于该植物长期生活在污染水体中,还能反映不同废水的污染物富集程度及现状。

单细胞凝胶电泳(SCGE),即彗星试验也是一种通过检测DNA链损伤来判别遗传毒性的技术。它比微核试验更有利,因为环境中的遗传毒物浓度一般很低,而彗星试验检测低浓度遗传毒物具有高度灵敏性,所研究的细胞不需要处于有丝分裂期。同时,这种技术只需要少量细胞<sup>[8]</sup>。Mirjana Pavlica等<sup>[9]</sup>用暴露在五氯苯酚(PCP)中的淡水蚌类(*Dreissena polymorpha* Pallas)血细胞进行彗星试验,观察血细胞中DNA损伤程度。在进行实验室实验和原位实验后,发现高浓度的PCP(80 g/L)会引起血细胞中DNA断裂,表明用彗星试验检测DNA损伤能够监测水体中PCP污染。

SOS显色法<sup>[10]</sup>是遗传毒性检测的新方法。其原理是:在DNA分子受到外因引起的大范围损伤、其复制又受到抑制的情况下,会导致一种容易发生错误的修复。所有这些在遗传毒物处理后大肠杆菌中出现的一系列反应统称为SOS应答。SOS显色法有许多优于Ames的特点:(1)快速、简便,测定过程只需7 h;(2)灵敏,被处理的细胞全产生或不产生SOS反应,用分光光度法测定 $\beta$ -ONPG(邻硝基苯 $\beta$ -D-半乳糖苷)分解产物非常灵敏;(3)准确,SOS显色法测定的是遗传毒物对细胞原发的直接反应,其阳性结果十分可信,而Ames试验的假阳性率较高。因此,SOS显色法已引起人们的密切关注,成为一种值得推广的水质监测评价方法。

#### 4.2 应用分子生态毒理学监测水体污染

分子生态毒理学采用现代分子生物学方法与技术,研究污染物及代谢产物与细胞内大分子,包括蛋白质、核酸、酶的相互作用,找出作用的靶位或靶分子,并揭示其作用机理,从而能对在个体、种群、群落或生态系统水平上的影响作出预报,具有很大的预测预报价值。目前最常用的是把腺三磷酸酶作为生物学标志,方法是测定体内三磷酸腺苷酶ATPase的活性,并以其活性强弱作为多种污染物胁迫的指标<sup>[11]</sup>。

Petrovi S等<sup>[12]</sup>通过测定贻贝(*Mytilus galloprovincialis* Lam.)消化腺上皮细胞中的溶酶体(Lysosome)膜的稳定性和金属硫蛋白(Metallothionein, MT)的含量来监测水体中有毒物质。一般来

说,监测MT的方法比监测组织中金属总量更可行,因为这种方法可以将胞内具有显著毒理效应的金属结合片段与不可利用的金属络合物区分开来。因此贻贝消化腺上皮细胞中的溶酶体膜的稳定性和金属硫蛋白的含量的测定可以作为水体环境有毒物质变化的早期警报。

近年来,生物体内胆碱脂酶活性的测定已经成为海水和淡水水体污染的一种监测工具。由于环境中的有机磷农药和氨基甲酸盐杀虫剂与底物乙酰胆碱的分子形状类似,能与酶酯基的活性中心发生不可逆的键合从而抑制酶活性,因此它可以用来评价有机体在杀虫剂和毒害神经的污染物质(如重金属)中的暴露程度。Mohamed Dellali等<sup>[12]</sup>用蛤和贻贝监测泻湖的水体污染,结果表明,蛤和贻贝体内乙酰胆碱脂酶的活性能很好地反映当地水体的污染状况。

#### 4.3 运用生物传感器对水体进行在线连续监测

在环境中低浓度污染物和沉积物中污染物的研究方面,生物传感器技术应用具有广阔的前景。生物传感器就是将生物学、化学和物理学融为一体的一种新装置,可以根据生物的酶、亚细胞器以及细胞或组织对污染的反应,将其转换为电信号,通过放大系统显示,再用计算机系统处理检测信号,实现自动化监测。目前,这种生物传感器技术可以对水质的BOD进行快速监测;对环境诱变剂的筛选可以取代耗资昂贵的Ames试验。当然,生物传感器的应用在未来将向着高性能化、微型化、智能化和专业化方向发展。

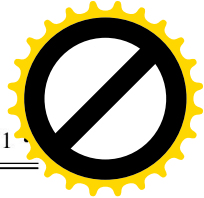
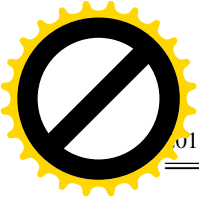
### 5 总结

生物监测是未来环境监测的一种重要方法,不论在宏观还是微观领域都能为人类提供大量的连续的综合的环境信息。随着科学技术的不断进步,生物监测技术必定能够得到更深层的研究和发展。而针对当前生物监测面临积弱不振的形势,笔者认为,对生物监测应该有更高要求的认识和定位,以及如何将先进的生物技术更好的推广/应用到各级监测站的实际监测工作中是值得思考的。

#### [参考文献]

- [1] 孔繁翔. 环境生物学[M]. 北京:高等教育出版社,2000:138-169.
- [2] 张海波. 浅谈水污染的生物监测[J]. 丹东师专学报,1998,20(2):67-68.
- [3] 沈惠群. 生物监测理论基础及应用[M]. 北京:北京医科大学,中国协和医科大学联合出版社,1996:338-346.

(下转第71页)



离子可以共用一根标准曲线。

### 3 建议

(1) 在分析工作中,尤其是同时分析大气中氯化氢和水中氯离子时,只需要制作其中一条标准曲线,当样品测定与标线方法不一致时,对其进行校正即可。实践证明,该校正系数的运用是非常有效和实用的,既提高了工作效率,同时又能保证分析的准确性。

(上接第 61 页)

### 2.5 样品的测定

该方法已成功应用于环境评价中特征污染因子的分析,效果良好。对某化工企业固定污染源排放废气进行采样监测,测出乙二醇,测定结果与现实情况相符合。

### 3 结论

有关固定污染源废气中乙二醇的测定国内尚无标准方法,乙二醇沸点为 197.3℃,常温下不易

(2) 由于硫氰酸汞属剧毒药剂,因此平时配制显色剂时,只要配 0.4% 的溶液置冰箱贮藏,如需用 0.04% 的浓度时,可由 0.4% 的溶液稀释 10 倍,以减少剧毒药剂的使用量。

(3) 制作氯化氢标准曲线时,可用去离子水代替 0.2% 氢氧化钠溶液,这也是对国标方法 HJ/T27-1999 的一点改进建议。

[参考文献]

[1] 空气和废气监测分析方法,第四版.

挥发,但在大量使用乙二醇的情况下,监测表明工业废气中存在一定量的乙二醇。该研究建立了固定污染源废气中乙二醇的检测方法,采用活性炭采样管采集,甲醇溶液解析后进样,经 DB-624 毛细管色谱柱分离,氢焰离子化检测器检测,经实际操作证明,该法能满足工业废气和环境空气中乙二醇的监测要求。

[参考文献]

[1] 国家环保总局. 空气和废气监测分析方法指南 [M]. 第四版. 北京:中国环境科学出版社. 2004.

(上接第 65 页)

- [4] 江平,李雯. 指示生物及其在环境保护中的应用 [J]. 云南环境科学, 2001, 20 (1): 51-54.
- [5] 沈韞芳,章宗涉. 微型生物监测技术 [M]. 北京:中国建设工业出版社, 1990: 62-66.
- [6] M. D. Hernando, R. Tauler. Toxicity assays applied to wastewater treatment [J]. Talanta, 2005, 2 (30): 358-366.
- [7] 吴甘霖. 利用水生植物根尖微核技术 (MCN) 对马鞍山市废水的监测研究 [J]. 安庆师范学院学报 (自然科学版), 1997, 8 (8): 57-62.
- [8] Woods J A, O'Leary K A, McCarthy R P, et al. Preservation of comet assay slides: comparison with fresh slides. Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis, 1999, 429 (2): 181-187.

nesis, 1999, 429 (2): 181-187.

- [9] Mirjana Pavlica, Gran I V Klobu, Nina Moja, et al. Detection of DNA damage in gametocytes of zebra mussel using comet assay [J]. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 2001, 490 (2): 209-214.
- [10] 梅卓华,方东,楼霄. SOS 显色法测定水中遗传毒性 [J]. 环境监测管理, 1997, 9 (3): 17-18.
- [11] 谢建春. 水体污染与水生动物 [J]. 生物学通报, 2001, 36 (6): 10-11.
- [12] Petrovi S, Ozreti B, Krajnovi - Ozreti M, et al. Liposomal Membrane Stability and Metallothioneins in Digestive Gland of Mussels as Biomarkers in a Field Study [J]. Marine Pollution Bulletin, 2001, 42 (12): 1373-1378.

(上接第 68 页)

### 2 结论

(1) 虽然此十种有机物能完全分开,但由于苯系物混标是以甲醇作为溶剂,所以两种标准使用液不能混合,需分两次分别进标样然后读取峰面积。

(2) 采用自动顶空进样法同时测定水和废水中的苯系物和甲醇乙醇丙酮等十种有机物,在所测

定范围内有良好的线性关系,可以达到较好分离,且峰形较好。检测结果符合有机物检测相关要求。此十种项目同时测定的方法,经济可行。

[参考文献]

- [1] GB11890-89 《水质 苯系物的测定 气相色谱法》.
- [2] U. S. EPA method 8015C-2007, 美国环保局标准.
- [3] 国家环境保护总局 《空气和废气监测分析方法》 中国环境科学出版社 (第 4 版), 北京: 2003, 97-98.