

· 专论与综述 ·

# 美国水环境生物监测体系及对我国生物监测的建议

阴琨, 吕怡兵, 滕恩江

(中国环境监测总站, 北京 100012)

**摘要:** 综合分析了美国水环境生物监测体系的框架, 对相关法律法规、生物监测技术体系的构成, 包括生物种群/群落调查、毒性试验、微生物测试、鱼组织污染物分析的主要内容与开展意义进行了较为系统的描述。对我国深入开展水环境生物监测提供了一些参考借鉴, 建议完善法律法规; 更新方法体系, 完善质量标准; 逐步拓展生物监测能力。

**关键词:** 生物监测体系; 水环境; 美国; 中国

中图分类号: X835 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2012)05-0008-05

## American Water Environment Bio-monitoring System and Its Suggestion for Bio-monitoring in China

YIN Kun, LV Yi-bing, TENG En-jiang

(China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

**Abstract:** The bio-monitoring system framework of U. S. water environment was comprehensively analyzed. The main contents and significance of the relevant laws and regulations, the composition of bio-monitoring technology system were systematically described including the investigation of biological populations and communities, toxicity test, microbiological test, fish tissue contaminant analysis. The analytical results provided some reference to the in-depth development of China bio-monitoring of water environment.

**Key words:** Bio-monitoring system; Water environment; The United States; China

生物监测指利用生物个体、种群或群落对环境质量及其变化所产生的反应和影响来阐明环境污染的性质、程度和范围, 从生物学角度评价环境质量状况的过程<sup>[1]</sup>, 具有灵敏度高、综合性强的特点, 是环境监测的重要组成部分。20世纪初, 德国最早开展水质生物监测工作, 发展至今, 欧盟、美国等发达国家均已建立了较完备的水环境生物监测体系。以美国为例, 1972年推出了联邦水污染控制法令, 要求各州建立发展以自然生态系统生物评估为基础的生物基准<sup>[2]</sup>; 1977年美国试验和材料学会(ASTM)出版了《水和废水质量的生物监测会议文集》, 内容包括利用各类水生生物进行监测和生物测试的技术<sup>[3-4]</sup>; 1996年美国EPA修订了溪流浅河生物基准技术导则, 对生物基准的构成、建立和实施过程进行了详细阐述<sup>[5]</sup>。各州也相继开展了生物监测, 其中阿肯色州、缅因州、加州、北卡罗来纳州、佛蒙特州等是较早将生物基准作为水环

境管理重要手段的地区。目前, 美国已形成在法规、监测标准、配套监测方法和技术导则等技术文件构成的体系框架下的更为成熟完整的生物监测体系。

### 1 相关的法令法律规定

保持生物完整性是维持水体功能的重要内容。美国《清洁水法令》(联邦水污染控制法令 1972, 清洁水法令 1977, 水质量法令 1987) 第 101 条明确规定<sup>[2]</sup>: 要恢复和维持国家水体的化学、物理和生物完整性; 第 303 条和 304 条要求确立生物基准, 还

收稿日期: 2011-07-04; 修订日期: 2012-08-24

基金项目: 水专项课题“流域水生态环境质量监测与评价研究”基金资助项目(2013ZX0750200); “水环境监测的新技术、新方法研发与应用示范”基金资助项目(2009ZX07527-005)

作者简介: 阴琨(1982—), 女, 山西太原人, 工程师, 硕士, 从事生物监测和应急监测工作。

要求各州将保护生物完整性作为水质标准的一部分,在州标准中采用生物学基准。法令要求表明了生物基准和生物监测在水质控制管理中的重要地位,其重要性在于生物基准作为各州水质标准项目的一部分,可以为特定水体或其中部分水体科学地提供合理、详细的描述,为设定的水生生物利用类型作说明。在水质标准项目中,各州通过建立生物基准实现几项重要的生态评价功能:①直接评价水生生物群落质量;②确定水质目标评估的优先控制次序;③评估防治和管理措施的有效性。

## 2 美国 EPA 水环境生物监测技术体系框架

美国生物监测以水环境为主,监测技术体系框架主要包括生物种群/群落调查<sup>[6-8]</sup>、毒性试验<sup>[9]</sup>、微生物测试和鱼组织污染物分析<sup>[10]</sup>4个部分,其构成见表1。

### 2.1 生物种群/群落调查系统

美国 EPA 的生物调查监测体系在 20 世纪 70 年代以前主要采用生物多样性指数评价方法,但随

着生物指数(BI指数)在水环境质量评价中的广泛应用,1989年,EPA流域评估和保护部门制定了生物快速评价方案《溪流和河流快速评估方案——大型底栖动物和鱼类》<sup>[6]</sup>,开展大型底栖生物和鱼类的监测评价。期间EPA监测部门在全国开展了一系列培训和讨论工作,并针对不同溪流生态系统的具体应用,对初版进行了修订和调整。1999年,EPA水环境部门推出了《溪流和浅河快速评估方案——着生藻类、大型底栖动物和鱼类(第二版)》<sup>[7]</sup>,优化了大型底栖生物的特定方法,增加了着生藻类调查方案,以及方法准确度和灵敏度等质控措施的内容。2006年,在上述针对溪流和浅河制定的评估和调查方案的基础上,EPA又针对大型河流生物调查和评估发布了《大型溪流河流生物评估的内容和方法》<sup>[8]</sup>,其中生物调查包括藻类、大型底栖生物和鱼类调查,着重强调生境评估和物理参数的调查分析,同时对得到的调查数据如何分析、整合和评估有更明确具体的介绍。美国 EPA 生物调查指导手册文件的发展历程见表2。

表 1 美国 EPA 生物监测体系的构成

Table 1 Structure of US EPA biological monitoring system

领域	主要内容	开展监测的目的和意义
生物种群/群落调查	河流溪流中藻类、底栖生物、鱼类3个类群的生物调查评估	为问题筛查、位点分级和趋势监测提供基础水生生物数据,这些数据对生物基准值的建立、生物完整性评价和生态环境质量评估都非常重要
毒性试验	淡水和海水各类生物的急性毒性和慢性毒性分析试验	为污水毒性和化学基准值的建立提供基础生物毒性分析数据,这些毒性基础数据是各类水体保护标准值制定的来源和修订的基础
微生物测试	水体中多种病毒、细菌和原生生物的分析	测试分析自然水体及饮用水的微生物安全性
鱼组织污染物分析	湖泊、河流中当地鱼种或普遍鱼种体内富集性污染物的浓度分析	目的是提供鱼体内生物富集性污染物的含量,来表征河流污染程度及对食鱼类动物和人类产生的影响

表 2 美国 EPA 生物调查指导手册文件的发展历程

Table 2 Development process of US EPA biological investigation operation manual

发布年份	指导手册	主要内容
1989年	《溪流和河流快速评估方案——大型底栖动物和鱼类》	针对溪流和浅河的生物调查,分为2个阶段:大型底栖生物方案和鱼类评价方案
1999年	《溪流和浅河快速评估方案——着生藻类、大型底栖动物和鱼类(第二版)》	针对溪流和浅河的生物调查,扩展为3个阶段:在底栖和鱼类基础上增加了着生藻类调查方案;优化了大型底栖生物的特定方法;增加了方法准确度和灵敏度等质控措施的内容
2006年	《大型溪流河流生物评估的内容和方法》	针对大型河流的生物调查,分为藻类、大型底栖生物和鱼类3个主要类群,着重强调和完善了生境评估和物理参数的调查分析,同时对数据的整合分析及评估提出了更明确具体的要求

目前,美国各州生物基准的应用情况是5个州在水质量管理计划中采用了生物基准,其中缅因州和北卡罗来纳州采用叙述性基准;俄亥俄州和佛罗里达州采用叙述性和数值类型二者结合的基准;特拉华州只定义了荷泽口水体的生物基准;其他各州

还处在不同的发展阶段。叙述性基准是对明确用途的水体质量和生物完整性状况的一般性描述,此类型标准的有效实施需要定量数据的支持。数值性生物基准虽然与叙述性基准基于同样的内容,但其中包含了量化的值,归纳了生物群体情况,描述

了不同设计用途水资源系统所预期达到的状态。数值性生物基准与定量数据支持的叙述性基准最重要的不同在于其包含了数值和指数。

2.2 毒性测试体系

毒性测试技术体系是生物监测技术体系的重要组成部分,包括海水和淡水中藻类、蚤类、鱼类及部分底栖生物的急性毒性和慢性毒性测试技术,部分包含底泥的毒性测试方法。主要的技术指导文件是 Whole Effluent Toxicity(WET)<sup>[9]</sup>,为美国通过清洁水法令控制点源和非点源污染对国家水体污染影响的重要技术文件,内容涵盖了毒性测试对于

评估慢性毒性及健康和安全方面的意义,待测样品的采集、前处理,以及毒性测试结果的处理分析,还详细介绍了受试物的分类学背景、生活周期、分布及饲养和生活条件。WET 中涉及 3 个方法体系:①淡水和海水生物的急性毒性分析方法,包含淡水生物的 4 个方法和海洋生物的 3 个方法;②评估淡水生物慢性毒性的短期方法,包含 4 个分析方法;③评估海洋和河口生物慢性毒性的短期方法,包含 5 个分析方法。美国 EPA WET 毒性测试方法汇总见表 3。

表 3 美国 EPA WET 毒性测试方法汇总

Table 3 Summary of US EPA WET toxicity test methods

体系	方法号	方法
淡水和海水生物的急性毒性分析方法	Method 2002.0 <sup>[11]</sup>	角突网纹蚤急性实验
	Method 2021.0 <sup>[12]</sup>	蚤状溞和大型蚤急性实验
	Method 2000.0 <sup>[13]</sup>	黑头软口鲦、利氏真小鲤急性实验
	Method 2019.0 <sup>[14]</sup>	美洲红点鲑、虹鳟鱼急性实验
	Method 2007.0 <sup>[15]</sup>	糠虾急性实验
评估淡水生物慢性毒性的短期方法	Method 2004.0 <sup>[16]</sup>	多色鳉急性实验
	Method 2006.0 <sup>[17]</sup>	银河鱼、美洲原银汉鱼、大西洋美洲原银汉鱼、潮间美洲原银汉鱼急性实验
	Method 1000.0 <sup>[18]</sup>	黑头软口鲦幼鱼的存活率和生长实验
	Method 1001.0 <sup>[19]</sup>	黑头软口鲦卵到幼鱼的存活率和致畸性实验
评估海洋和河口生物慢性毒性的短期方法	Method 1002.0 <sup>[20]</sup>	角突网纹蚤的存活率和繁殖力实验
	Method 1003.0 <sup>[21]</sup>	羊角月芽藻的生长实验
	Method 1004.0 <sup>[22]</sup>	多色鳉幼鱼的存活率和生长实验
	Method 1005.0 <sup>[23]</sup>	多色鳉卵到幼鱼的存活率和致畸性实验
	Method 1006.0 <sup>[24]</sup>	美洲原银汉鱼幼鱼的存活率和生长实验
	Method 1007.0 <sup>[25]</sup>	糠虾的存活率、生长和繁殖力实验
	Method 1008.0 <sup>[26]</sup>	海胆的受精实验

2.3 微生物测试方法

此部分主要涵盖了水体中多种细菌和原生生物、病毒等微生物的检测方法,意义在于为人类饮水健康从微生物角度作出定量的风险评估,以了解水体受污染的程度,保证饮水安全性。检测目标微生物主要包含大肠杆菌、总大肠菌群、粪大肠菌群、链球菌、肠球菌、绿脓假单胞菌、金黄色葡萄球菌、病毒、噬菌体、隐孢子虫和贾第鞭毛虫,以及一些霉菌毒素,发布的系列测试方法见表 4。除水体中的细菌外,美国 EPA 还针对环境水体中多种病毒的监测技术发布了《病毒学方法手册》(EPA/600/4-84/013)。此技术文件包含了样品采集,样品中病毒的浓缩、细胞的培养及嗜菌斑分析和病毒鉴定等方法,主要涉及人源性的肠道病毒(脊髓灰质炎病毒、柯萨奇病毒、艾柯病毒、肝炎病毒),轮状病

毒和其他呼肠孤病毒,腺病毒和诺瓦克样致病物质等来源于人的排泄物和尿液的致病病毒。

2.4 鱼组织污染物分析

鱼组织污染物监测分析的意义在于:鱼群为食物链中的高级消费者,可以反映整个营养结构对环境压力的响应,也可以作为环境退化的指示物;鱼类的生命周期比较长,可以反映污染物积累的长期效应。在开展鱼组织污染物分析的过程中,首先涉及鱼种的选择,美国不同的州和流域会选择有代表性的当地种或美国广泛分布的普遍种;其次,分析部位基于不同的研究目的而选择,如整鱼、肌肉组织或肝脏。一般选择大型鱼和小型鱼两种评估样本,通过比较分析,综合判断水体污染状况。分析污染物主要涵盖 268 种具有生物富集作用的毒性化合物,包括砷、汞、17 种二噁英类污染物和呋喃、

159 种多氯联苯、46 种农业杀虫剂类化合物、40 种其他半挥发性有机物(监测目标物和方法检出限见表 5)。同时,美国 EPA 还制定了一套关于样品

采集和残留污染物质量评价计划的技术文件<sup>[39]</sup>,其中定义了实验室数据质量控制的目标,详细描述了鱼组织污染物分析中质量控制质量保证的要求。

表 4 美国 EPA 水体中微生物的检测  
Table 4 US EPA aquatic microbiological test

目标微生物	方法号	方法
肠道病毒、轮状病毒和其他呼肠孤病毒,腺病毒和诺瓦克样致病物质等来源于人的排泄物和尿液的致病病毒	EPA/600/4-84/013 <sup>[27]</sup>	《病毒学方法手册》
产气单胞菌	Method 1605 <sup>[28]</sup>	产气单胞菌的膜过滤法
大肠杆菌噬菌体	Method 1601 <sup>[29]</sup>	两步富集法测定水中的大肠杆菌噬菌体
大肠杆菌噬菌体	Method 1602 <sup>[30]</sup>	单一琼脂层法测定水中的大肠杆菌噬菌体
隐孢子虫	Method 1622 <sup>[31]</sup>	过滤/免疫磁分离/荧光抗体法测定水中的隐孢子虫
隐孢子虫、贾第鞭毛虫	Method 1623 <sup>[32]</sup>	水体中隐孢子虫、贾第鞭毛虫及其他原生生物分析方法的评价标准
隐孢子虫、贾第鞭毛虫及其他原生生物	EPA 815-K-99-02 <sup>[33]</sup>	推荐原生生物测试方法评价标准
总大肠菌群和大肠杆菌	Method 1604 <sup>[34]</sup>	水总大肠菌群和大肠杆菌膜过滤法同步检测技术(MI 琼脂培养基)
大肠埃希氏菌(大肠杆菌)	Method 1103.1 <sup>[35]</sup>	大肠埃希氏菌(大肠杆菌)使用耐热膜-大肠杆菌琼脂培养基的膜过滤法(mTEC)
大肠杆菌	Method 1603 <sup>[36]</sup>	大肠杆菌使用改良耐热膜-大肠杆菌琼脂培养基的膜过滤法(改良 mTEC)
肠球菌和大肠杆菌	EPA 821-R-97-004 <sup>[37]</sup>	娱乐水体水质质量指示物:肠球菌和大肠杆菌改进的计数方法
肠球菌	Method 1106.1 <sup>[38]</sup>	水中肠球菌使用膜-肠球菌七叶苷-铁培养基的膜过滤法

表 5 美国 EPA 鱼组织污染物分析方法  
Table 5 Methods of fish tissue contaminant analysis

目标物	种类	方法号	方法检出限
汞	1 种	Method 1631b <sup>[40]</sup>	0.5 ng/g
砷	5 种形态:总无机砷、亚砷酸盐(As <sup>3+</sup> )、砷酸盐(As <sup>5+</sup> )、单甲基胂酸(MMA)、二甲胂酸(DMA)	Method 1632a <sup>[41]</sup>	总无机砷:0.03 μg/g
二噁英和苯并呋喃	17 种 2,3,7,8 取代的氯化二苯并对二恶英(CDDs)和氯化二苯并呋喃(CDFs)	Method 1613b <sup>[42]</sup>	2,3,7,8-四氯二苯并-对-二恶英:0.01 ng/kg
多氯联苯	159 种 <sup>①</sup>	Method 1668a <sup>[43]</sup>	PCB-9:0.5 ng/kg
有机氯杀虫剂	37 种	Method 1656a <sup>[44]</sup>	4,4'-滴滴涕:0.6 μg/kg
有机磷杀虫剂	9 种	Method 1657a <sup>[45]</sup>	毒死蜱:59 μg/kg
半挥发性有机物	40 种	Method 1625c <sup>[46]</sup>	苯酚:111 μg/kg

①126 种以单体准确定量,33 种作为同分异构体混合物定量。

### 3 对我国生物监测的建议

#### 3.1 我国生物监测的发展历程及现状

我国的生物监测工作始于上世纪 60 年代,随着 70 年代环境污染调查的开展,我国的环境监测事业开始起步,生物监测也随之一同发展。到 20 世纪 80 年代,部分城市开展了生物监测工作,此后,生物监测经历了一个快速发展时期。1984 年,原国家环境保护局召开了第一次环境生物监测工作会议;1986 年颁布了《生物监测技术规范(水环境部分)》;1989 年组织专家编写并出版了《水和废

水监测分析方法》(其中包括水生生物检测分析方法);1993 年编写并出版了《水生生物监测手册》和《大气污染生物监测方法》,初次建立了国家水生生物监测网,开始在全国范围内开展例行生物监测工作。在这一时期,全国环境监测系统的生物监测能力得到了快速提升,监测指标主要包括生物调查(浮游植物、叶绿素 a、底栖动物)、细菌学(细菌总数、总大肠菌群数)、生物毒性(鱼类、藻类、发光菌急性毒性)。同期,我国还开展了大量科研工作,研发了大气、水体及污染物监测等多种生物监测的

理论和技术方法,包括利用生物种群变化及体内酶活性变化监测重金属污染<sup>[47-51]</sup>,采用PFU微型生物群落监测水体毒性<sup>[52]</sup>,利用微核及Ames方法监测水体污染物“三致”效应<sup>[53]</sup>,利用植物监测大气污染物<sup>[54]</sup>等,为生物监测的开展提供了技术方法的参考。

20世纪90年代中后期,随着理化监测技术体系的快速发展及理化监测任务的加重,我国环境监测工作的重点基本集中到理化分析方面。由于在经费、人力、物力上未能提供正常的能力建设支持和监测运行保障,特别是缺乏相关法规、标准和例行监测的要求,影响了生物监测工作的持续发展,

很多监测站仅保留了细菌学方面的例行监测项目。直至21世纪初,生物监测工作才再次得到中国环境监测总站及我国东北和沿海地区一些监测站的重视,江苏省、常州市、苏州市、上海市、青岛市、辽宁省、浙江省的环境监测站开始加强生物监测能力建设,持续开展了一些基于生物调查、细菌学和毒性测试等方面的生物监测项目,并将每年的监测结果体现在水质质量报告中,成为其中一个亮点。总体而言,我国环境监测系统的生物监测能力整体较弱,发展较不平衡,仍需大力加强。

(未完待续)

• 简讯 •

## 江苏推出秸秆禁烧考核奖励办法

卫星遥感监测及现场巡查火点结果作为省级资金补助依据

江苏省环委会办公室日前向全省13个省辖市政府下发了《江苏省秸秆禁烧工作考核及奖励办法》(以下简称《办法》),规定将对13个省辖市政府进行“百分制”秸秆禁烧考核。

第一处火点所在市、县取消资金补助

《办法》明确了全省秸秆禁烧工作考核以及奖励办法细则。考核对象为全省13个省辖市以及县(市、涉农区,下同)人民政府。考核办法采用“百分制”办法进行考核。

《办法》规定,对秸秆禁烧考核优秀并名列前10位的县(市、区)政府给予奖励;对因大面积焚烧秸秆引起的大气污染事故、因秸秆抛河引起饮用水水源污染事故的地区通报批评,并在省级媒体上曝光。对巡查发现的第一处火点(过火面积超过300m<sup>2</sup>以上)或卫星遥感监测通报的第一处火点所在市、县(市、区)取消考核优秀资格并通报批评,并作为取消秸秆禁烧省级资金补助的依据。

建立秸秆五级禁烧工作网络责任体系,责任落实到人

《办法》规定,“百分制”考核主要分组织保障(20分)和禁烧成效(80分)等2个部分。在组织保障考核中规定,要加强组织领导,成立以党委政府领导为组长、相关职能部门参加的秸秆禁烧工作领导小组,夏收、秋收前对秸秆禁烧工作及时做出部署;建立秸秆五级禁烧工作网络责任体系,层层签订责任状,责任落实到人,田块包干到人,并制订禁烧工作考核办法;加强现场巡查和处置工作,制订巡查方案和烟霾天气应急响应预案,组织乡镇等基层政府和相关部门巡查并及时处置,值班电话保持畅通;加强空气质量、气象条件预测预报和做好秸秆禁烧宣传工作等。

加强卫星遥感监测和现场巡查结果考核

在秸秆禁烧成效考核中,《办法》规定,要加强卫星遥感监测和现场巡查结果考核(共占60分)。卫星遥感监测每发现并核实一处火点扣2分,省环保厅组织巡查每发现一处连片焚烧火点(过火面积超过300m<sup>2</sup>以上)的扣5分,每发现一处零星火点或有焚烧秸秆痕迹田块扣2分,群众举报并核实确认的一处火点扣2分;在应急处置响应中,接省环保厅巡查组通报火点信息后,应组织相关人员在30min内赶赴现场进行处理,并在45min内上报处理情况,未在规定时间内赶赴现场处理或上报情况的,一次扣2分;在城市空气质量考核中,要求秸秆禁烧期间城市空气环境质量保持良好,不能因焚烧秸秆而引发城市空气严重污染烟霾天,出现一次(天)扣5分。

考核分两次进行,业绩优秀者给予奖励

《办法》还规定,对秸秆禁烧的考核分2次进行,对夏收与秋收禁烧工作分别考核评价,在夏收和秋收结束后一个月内完成。

江苏省环保厅依据考核结果,对省辖市和县(市、区)按照得分进行排序,综合得分90分以上者为优秀,考核结果在全省进行通报。卫星遥感监测及现场巡查火点结果将作为相关部门秸秆禁烧省级资金补助的依据之一。

摘自 www.jshb.gov.cn 2012-08-30