

文章编号: 1005—8893 (2002) 02—0057—04

生物监测技术及其研究进展^{*}

李慧蓉

(江苏石油化工学院 环境与安全工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 综述了生物监测的基本原理、主要特点及环境污染物对生态系统的影响; 从大气污染、水体污染和土壤污染 3 方面讨论了生物监测的主要方法; 介绍了现代生物技术在环境监测中的应用。

关键词: 环境监测; 生物监测; 指示生物; 生物传感器

中图分类号: X 835

文献标识码: A

利用生物的组分、个体、种群或群落对环境污染或环境变化所产生的反应, 从生物学的角度, 为环境质量的监测和评价提供依据, 称为生物监测。生物监测技术诞生于 20 世纪初, 其机理及应用研究, 经历了一个从生物整体水平到细胞水平、基因和分子水平的逐步深化的发展过程。20 世纪 90 年代, 细胞生物学和分子生物学研究领域的迅速进步, 加上信息科学技术的突飞猛进, 使生物监测技术迈进了一个新的发展时期。

1 生物监测的原理、特点与问题

生物监测的理论基础是生态系统理论^[1]。生态系统是由包括生产者、消费者、分解者的生物部分和非生物环境部分所组成的综合体。从低级到高级, 它包含有生物分子→细胞器→细胞→组织→器官→器官系统→个体→种群→群落→生态系统等不同的生物学水平。污染物进入环境后, 会对生态系统在各级生物学水平上产生影响, 引起生态系统固有结构和功能的变化。例如, 在分子水平上, 会诱导或抑制酶活性, 抑制蛋白质、DNA、RNA 的合成。在细胞水平上, 引起细胞膜结构和功能的改变, 破坏线粒体、内质网等细胞器的结构和功能。在个体水平上, 对动物导致死亡, 行为改变, 抑制生长发育与繁殖等; 对植物表现为生长速度减

慢, 发育受阻, 失绿黄化及早熟等。在种群和群落水平上, 引起种群数量的密度的改变, 结构和物种比例的变化, 遗传基础和竞争关系的改变; 引起群落中优势种、生物量、种的多样性等的改变。生物监测, 正是利用生命有机体对污染物的种种反应, 来直接地表征环境质量的好坏及所受污染的程度。

由于环境变化的效应从根本上是对以人为主体的生物系统的影响, 因此生物监测对环境素质的优劣更具有直接和指示作用。但是生物监测的监测对象生态系统的复杂性, 反过来又使生物监测的操作面临许多问题。如其灵敏性、快速性和精确性等都需要进一步提高, 其对生物学知识和技术的依赖性决定需要以生命科学的理论和实践作为基础和指导。

2 生物监测的基本类别

根据监测的环境对象, 生物监测包括大气、水体和土壤污染的生物监测 3 大部分。

2.1 大气污染的生物监测

大气污染的生物监测是利用生物对存在于大气中的污染物的反应, 监测有害气体的成分和含量, 以确定大气的环境质量水平。

在生物体系中, 植物更易遭受大气污染的伤害, 其原因为: 植物能以庞大的叶面积与空气接

^{*} 收稿日期: 2001—03—20

作者简介: 李慧蓉 (1947—), 女, 上海市人, 教授, 主要从事环境生物技术的教学及研究。

触,进行活跃的气体交换;植物缺乏动物的循环系统来缓冲外界的影响;植物固定生长的特点使其无法避开污染物的伤害。正因为植物对大气污染的反应敏感性强,加上本身位置的固定,便于监测与管理,大气污染的生物监测主要是利用植物进行监测。对大气污染反应灵敏,用以指示和反映大气污染状况的植物,称为大气污染的指示植物^[3]。

较常用的大气污染的指示植物为:

(1) 二氧化硫指示植物

主要为地衣、苔藓、落叶松、杜仲、水杉等。其典型症状:多为叶脉间出现块状伤斑,也可分布在叶缘或全叶;伤斑多呈土黄或红棕色。

(2) 氟化物指示植物

主要是指唐昌蒲、郁金香、金线草、葡萄、大蒜、苔藓、杏、梅等。典型症状有:伤斑多见叶尖、叶缘,少数为叶脉之间;伤斑为浅褐、褐红色;坏死部分与健康部分存在明显的界线。

(3) 二氧化氮指示植物

应用较多的有向日葵、秋海棠、番茄、烟草、柑桔、蚕豆、瓜类等。它们的典型症状为:多为叶脉间不规则伤斑;白、棕色或黄褐色;或全叶点状伤斑。

2.2 水体污染的生物监测

一切污染物的最终归宿是进入水体。水体污染的生物监测就尤为重要。

在天然水域中存在的各种水生生物之间,以及它们和赖以生存的水环境之间,处于相互依存、相互制约的稳定的平衡状态;一旦水体受到污染,水环境发生变化,各种水生生物会对此产生不同的反应,从而构成水体污染监测的生物学根据。

水体污染的生物监测的方法主要有:

(1) 微型生物群落监测法

这里的微型生物是特指生活在水体中的包括细菌、藻类、原生动物、轮虫、线虫和甲壳类等的微小生物。微型生物群落是水体生态系统的重要组成部分,对水体污染有敏感和稳定的反应。

最常用的方法是聚氨酯泡沫塑料块法,又称 PFU 法 (Polyurethane Foam Unit)。它的特点是将聚氨酯泡沫塑料块这种三维的基质投入水体,收集其中的微型生物。基质的使用不受时间和空间的限制,即可在任何时间浸泡于任何水体的任何深度;加上实践证明所获得的微型生物群落达 85% 种类,因此具有环境的真实性。研究还表明,相对于其它

的生物群落法(如浮游生物法,底栖动物法等),它具有快速、经济和准确等优点;并同样适用于工业废水的监测^[3]。

(2) 指示生物法

是最经典的水体污染的生物监测方法之一。利用对水环境中污染物敏感的或有较高耐受性的生物种类的存在或缺失,来指示其所依赖的水体内污染物的质量状况^[4]。

指示生物应具有生命周期长,有固定住处等特点,便于持久的反映污染物对水体的综合影响。主要包括底栖动物、浮游动物、着生生物和鱼类。从分类地位看,大型无脊椎动物的应用最广泛。

指示水体严重污染的生物:颤蚓类、细长摇蚊幼虫、静裸藻、小颤藻等。指示水体中等污染的生物:居案水蚤、四角盘星藻、脆弱刚毛藻等。指示水体清洁的生物:扁蚌、蜻蜓、田螺等。

(3) 污水生物系统

尽管由 Kolkwitz 和 Marsson 所提出的污水生物系统 (Saprobic System) 已有近百年的历史,但它至今仍被广泛地用于水体污染的生物监测。

该系统的要点是:受污染河流的自净作用,导致了河流从上游向下游形成了一系列污染程度由高到低的连续区带;每一带中都生活有一些特征生物,构成生物区系;根据区系的生物特征可鉴别河流的不同区带受有机污染的程度。

在从多污带,到中污带,直至寡污带的时空推移过程中,水体中与此相对应的特征生物的种类和数量,将经历以细菌和低等原生动物为主,到以细菌为食的耐污动物占优势、藻类大量出现、原生动物种类增多及高等的鱼类出现,直至最后细菌数量很少、藻类种类增多、轮虫等微型动物占优势的演替过程^[5]。

(4) 生物标志物

生物标志物 (Biomarker),是以研究污染物作用下生物体内各种指标的变化为特征的。作为一种新的技术,目前被应用于水体的污染监测^[6]。

生物标志物是可衡量的环境污染物的暴露及效应的生物反应。所以它所包含的生物层次是最为广泛的,它覆盖了从生物分子到细胞器、细胞、组织、器官、个体、群体、群落,直至生态系统的所有范畴,是最完整和最综合的生物监测。

生物标志物基本上分为两类:一类是暴露生物标志物,仅指由污染物引起的生物体的变化,重在变化。另一类是效应生物标志物,则指污染物对生

物体的不利效应, 重在效应。

生物标志物具有特异性、警示性和广泛性。它的优势在于, 能反应污染物的累积作用, 确定污染物与生物效应之间的因果关系, 揭示污染物的暴露特征, 更具备现场应用性等。

指示水体污染的主要生物标志物有: 细胞色素 P450 1A1; 金属硫蛋白 (MT); DNA 加合物等。

2.3 土壤污染的生物监测

土壤污染所产生的影响大都是间接的。通过土壤→农作物→人体及土壤→地下水(地表水)→人体, 这两个最基本的环节对人体产生影响。

因此土壤污染的生物监测, 包括土壤污染物对农作物生长发育的影响, 对土壤微生物的影响^[7]。

2.3.1 植物监测法

利用土壤污染的指示植物进行监测。土壤受到污染后, 污染物对植物产生各种反应“信号”, 主要是: 产生可见症状, 如叶片上出现伤斑; 生理代谢异常, 如蒸腾率降低、呼吸作用加强, 生长发育受抑; 植物成分发生变化, 由于吸收污染物质, 使植物体中的某些成分相对于正常情况下发生变化。

将对土壤污染物敏感的植物称为指示植物, 主要有: ①肥沃土壤: 长白萱麻、野凤仙花、绣球花等。②瘠薄土壤: 杨梅树、山柳、杜鹃花等。③酸性土壤: 映日红、铺地蜈蚣等。④碱性土壤: 碱蓬、剪刀股等。

2.3.2 动物监测法

利用动物监测土壤的污染程度主要的报道有: 蚯蚓体中的镉的浓度与土壤中镉的浓度明显相关; 蚯蚓对土壤中的农药、铅等有较高的敏感性。软体动物是一种有实用价值的土壤镉监测的指示动物。

2.3.3 微生物监测法

主要是通过监测土壤中微生物群落的变化来反映土壤受到生物污染的状况。人粪尿是土壤生物污染的主要污染源, 其次污水灌溉也可引起土壤的生物污染。通过对土壤中异养菌(主要是细菌、放线菌和霉菌)的分离和计数, 观察和了解受测土壤中微生物群系的结构和数量的改变, 从而评价土壤被微生物所污染的状况及程度。

3 现代生物监测技术

现代生物技术是以 DNA 重组技术的建立为标志的, 它是多学科纵横交叉的新兴综合性技术体

系。现代生物技术以分子生物学、细胞生物学、微生物学、遗传学等学科作为支撑, 与化学、化工、计算机、微电子和环境工程等其他学科的紧密结合和相互渗透, 极大地丰富了各学科的内涵, 积极地推动了科学理论和应用实践的发展。现代生物技术正被利用或嫁接到环境监测领域, 构成了现代生物监测技术, 主要有以下几个活跃的方面。

3.1 生物传感器^[8]

所谓生物传感器是: 生物感应元件的专一性, 和一个能够产生与待测对象物的浓度成比例的信号传导器件, 结合起来的一种分析装置。从本质上讲, 它属于一类特殊的化学传感器, 只是所应用的是生物学的机理。简单地说, 生物传感器=生物元件+信号传导器。

生物传感器的主要工作原理是, 酶、抗体、核酸等生物组分与待测对象发生相互作用, 通过电子组分将待测对象检出并转化为可测量的电子信号。它是生物技术和微电子技术相融合的产物。

3.1.1 生物传感器的种类

根据生物传感器中进行分子识别的元件所用的敏感物质, 生物传感器分为: 酶传感器、细胞传感器、微生物传感器、组织传感器、免疫传感器等。

3.1.2 生物传感器在环境监测中的应用实例

仅举两个有代表性的例子。

(1) BOD 生物传感器

属于微生物传感器。其工作原理: 以微生物的单一菌种或混合菌种群作为 BOD 微生物电极。由于水中 BOD 物质的加入或降解代谢的发生, 导致水中的微生物内外源呼吸方式的变化或转化, 耦联着电流强弱信号的改变; 一定条件下传感器输出的电流值与 BOD 的浓度呈线性关系。用于制作 BOD 生物传感器的微生物主要有酵母、假单胞菌、芽孢杆菌、发光菌和嗜热菌等。

(2) 测酚类生物传感器

属于酶传感器。其工作原理是, 在检测酚类化合物时, 电极表面的酶分子(酚氧化酶、过氧化氢酶)将底物氧化还原为具有电化学活性的苯醌或酚自由基, 形成还原电流, 电流强度与溶液中的酚类物质的浓度成正比。

此类生物传感器, 多数用酪氨酸酶为生物活性物, 根据其催化氧化酚类物质的化学反应的不同, 相应的生物传感器有两大类: 以氧电极为基底电极, 测定溶液中氧浓度的变化, 间接测得酚的浓

度;利用酚的氧化产物醌在电极上直接或间接的还原,进而通过电流大小测得酚的浓度。

3.2 DNA 生物传感器^[9]

属于以核酸探针为敏感元件的传感器。它的主要原理是,核酸的分子识别的能力非常稳定,特异性强,决定其高准确性和高灵敏度。

由于 DNA 生物传感器的独特性,常将它与一般的生物传感器相区分,以突出其特殊性。

3.2.1 DNA 杂交生物传感器

利用 DNA 的碱基配对原理,探针 DNA 与靶标样品的核酸发生选择性反应,将高度专一性的 DNA 杂交反应与高灵敏度的电化学检测器相结合,形成 DNA 杂交生物传感器,用于对环境样品中的微生物的检测。

如对水体中病原菌 *E. coli* 的测定,就是将该种微生物的 DNA 提取出来,制成杂交生物传感器,定性地对检测水样品中 *E. coli* 的存在进行确定。

3.2.2 污染物的检测

是利用污染物的毒性作用所设计制造的一种 DNA 生物传感器。比如检测芳香族化合物的 DNA 生物传感器,就是以固定的双链 DNA 分子层作为识别元件,当环境样品中存在目标芳香族化合物时,导致以溴化乙锭作为指示剂的流动注射信号发生减弱,测定目标污染物的浓度。

3.3 PCR 技术

PCR 是聚合酶链反应 (Polymerase Chain Reaction) 的缩写,是近年来分子生物学中迅速发展与应用广泛的一种技术^[10]。它的本质是一项酶促合成 DNA 技术,为快速和特异地进行 DNA 的体外生物合成的技术。它的初衷是进行 DNA 或基因的

扩增,而在环境监测领域可用于:①研究特定环境中的微生物区系的组成和种群特征;②监测环境中特定微生物种的动态变化。

生物监测法,从以前以生物的个体、器官等作为“探针”,发展到今天分子生物学的高新技术将分子水平的“探针”应用到对环境污染物进行测定,表明了生命科学与环境工程迅速的同步发展的趋势。生命科学在环境监测领域中日趋重要的地位和作用,充分说明:拓宽学科的研究范围,加强学科间的交流、渗透和合作,在新的研究领域和方向上实现不同学科间的融合或嫁接,对于科学的整体发展和进步,是至关重要的。

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—140.
- [2] 张志杰. 环境生物监测 [M]. 北京: 冶金出版社, 1990. 229—235.
- [3] 沈慧芳, 顾曼如, 冯伟松. 水污染的微型生物监测 [J]. 生命科学, 1997, 9 (2): 81—82.
- [4] 张志杰, 张维平. 环境污染生物监测与评价 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 22.
- [5] 孔繁翔. 环境生物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 158.
- [6] 王海黎, 陶澍. 生物标志物在水环境研究中的应用 [J]. 中国环境科学, 1999, 19 (5): 421—424.
- [7] 张志杰, 张维平. 环境污染生物监测与评价 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. 133, 138.
- [8] 程金平, 郑敏, 王文华. 生物传感器和生物芯片在环境监测中的应用 [J]. 上海环境科学, 2001, 20 (12): 606.
- [9] 王建龙. DNA 生物传感器在环境污染监测中的应用 [J]. 生物化学与生物物理进展, 2001, 28 (1): 125.
- [10] 王建龙, 文湘华. 现代环境生物技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 416.

Biological Monitoring Technology and Its Progress in Research

LI Hui-rong

(Department of Environment and Safety Engineering, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

Abstract: The basic principles, primary characteristics of biological monitoring and the effects of the environmental pollutants on the ecosystem were expounded; the main methods of the biological monitoring for the pollution of air, water and soil were discussed. The application of the modern biological technology to the environmental monitoring was introduced.

Key words: environmental monitoring; biological monitoring; indicator organism; biosensor