

生物监测技术在水环境工程中的应用及研究

曹允晨

临沂市泓润环境检测有限公司 山东 临沂 276000

摘要：生物监测技术在水环境工程中意义重大。其原理基于生物与环境相互作用，在分子、细胞、个体、种群和群落等层面响应污染。主要方法涵盖指示生物监测、生物残留测定法等多种类型。在水环境应用中，微生物群落检测等方法各有优势与应用场景，可从多方面评估水质。该技术正朝技术创新、多学科融合、远程监测与自动化、大数据与模型应用发展，通过提升检测性能、综合评估体系、高效数据获取与深度挖掘等，为水环境工程的监测、评价与管理提供科学依据与有力支持，促进水资源保护与可持续利用。

关键词：生物监测技术；水环境工程；应用分析

引言：随着水环境问题的凸显，传统理化监测已难满足全面评估需求。生物监测技术应运而生并成为关键手段。生物在长期进化中与环境平衡，污染时能敏锐反应。从生物对污染的分子层面酶活性改变，到细胞结构功能受损，个体的行为、生长繁殖异常，再到种群群落结构和多样性变化，这些均为生物监测的切入点。多种监测方法被开发利用，不同生物监测手段在水环境的不同方面发挥独特作用，为深入探究水环境质量和生态状况提供了新途径与视角。

1 生物监测技术的原理

生物监测技术的原理基于生物与环境间的紧密相互作用。生物在长期进化过程中，与环境形成了相对稳定的平衡关系，一旦环境发生变化，尤其是受到污染时，生物会做出敏锐反应。（1）从分子水平来看，污染物的介入极有可能对生物体内酶的活性产生诱导或抑制作用，进而影响蛋白质、DNA以及RNA等生物大分子的合成。以土壤中的微生物为例，当某些农药进入土壤环境后，会抑制微生物体内特定酶的活性，使其正常代谢过程受到干扰，这充分展示了分子水平上生物对污染物的响应。（2）在细胞层面，细胞膜的结构和功能可能会因污染物的影响而发生改变，同时线粒体、内质网等细胞器的正常运作也会遭到破坏。这种细胞层面的变化是生物监测的重要依据之一，它反映了污染物对生物细胞内部生理过程的干扰。（3）个体水平上，动物和植物会表现出各种明显的异常。动物可能出现行为改变、生长发育受阻、繁殖能力下降甚至死亡等状况；植物则会有生长速度减缓、叶片失绿黄化、早熟等现象。比如，水中存在重金属污染时，鱼类会出现呼吸频率加快、行为异常等情况，而藻类的光合作用会受到抑制，叶绿素含量降低，这些个体层面的变化直观地反映了水环境的

污染程度。（4）在种群和群落水平方面，污染物的影响更为显著^[1]。它会导致种群数量密度、结构以及物种比例发生改变，还会对群落中的优势种群、生物量和物种多样性等产生影响。比如，当河流遭受污染后，耐污性差的生物种群数量会逐渐减少，而耐污性强的生物种群则可能逐渐成为优势种群，从而改变整个生态群落的结构和功能。

2 生物监测技术的主要方法

2.1 指示生物监测

指示生物监测是利用对环境污染物敏感的生物种类来判断环境污染状况的方法。例如，地衣、苔藓对大气中的二氧化硫等污染物敏感，可作为大气污染的指示植物。当大气中二氧化硫浓度超标时，地衣、苔藓会出现叶片变色、坏死等伤害症状，据此可定性和定量判断大气污染程度。在水体监测中，颤蚓、蜉蝣等大型底栖无脊椎动物和摇蚊幼虫常被用作指示生物，它们的出现、消失及数量变化能够反映水体的污染状况。若水体中这些指示生物数量大幅减少或消失，可能意味着水体受到了严重污染。

2.2 生物残留测定法

生物残留测定法主要是通过测定生物体内污染物的残留量来评估环境质量状况。比如在土壤污染监测中，可测定植物体内重金属的含量，若植物体内重金属含量超标，说明土壤可能受到了相应重金属的污染。在大气污染监测方面，也可测定植物叶片中污染物的含量，如氟化物、二氧化硫等，以此来估测大气污染状况。对于水环境，测定水生生物体内的农药残留、重金属含量等，能够了解水体受污染的程度以及污染物在生物体内的累积情况。

2.3 微核测定法

微核测定法是一种用于检测染色体或有丝分裂器损伤的遗传毒性试验方法。其原理是当细胞受到致突变物作用时,染色体可能发生断裂或纺锤体受损,导致染色体片段或整个染色体在细胞分裂后期不能正常分配到子细胞中,而是留在胞质内形成微核。常见的是啮齿类动物骨髓嗜多染红细胞微核试验,通过给动物施加待测物质,然后处死动物取出骨髓,制作切片、固定、染色后,在显微镜下计算微核数量。若处理组微核率显著高于对照组,并呈现剂量-反应关系,则表明该物质可能是致突变物。此外,人外周淋巴细胞微核试验可用于监测接触环境致突变物人群的健康风险。

2.4 细胞凝胶电泳技术测定

细胞凝胶电泳技术又称单细胞凝胶电泳技术,是一种在单细胞水平上检测DNA损伤的方法。该方法灵敏、快捷、重复性好,作为一种通用的分子生物学检测方法,被广泛应用于生物学领域。其原理是在细胞裂解后,使DNA在电场作用下从细胞核中溢出,在凝胶中迁移形成“彗星”状图像,通过观察“彗星”的尾长、尾部DNA含量等指标来评估DNA的损伤程度^[2]。该技术具有灵敏度高、所需细胞量少等优点,可用于检测环境污染对生物细胞的遗传毒性,如检测水体中的重金属、有机污染物等对水生生物细胞DNA的损伤,从而评估水体的污染程度和潜在风险。

3 生物监测技术在水环境中应用的分析

3.1 微生物群落检测方法

微生物群落检测方法主要包括直接观察法、采样分析法和分子生物技术。直接观察法可测定水体中微生物群落数量和多样性,如通过显微镜直接观察水样中微生物的种类、形态和数量等,但该方法只能观察到较大的微生物个体,对于一些微小的或难以培养的微生物则难以检测到。采样分析法则需采集一定时间内的样品,对其进行培养、分离和鉴定等,以了解微生物群落的组成和结构变化,不过此方法耗时较长,且不能反映微生物群落的实时动态变化。分子生物技术是目前应用较为广泛的方法,可定量检测水样中微生物的组成及其相关信息,如通过聚合酶链反应(PCR)、基因芯片等技术,能够快速、准确地检测出微生物群落中的特定基因或物种,从而了解微生物群落的多样性和功能基因的表达情况,为水环境质量评估提供更全面、准确的信息。

3.2 发光细菌检测方法

发光细菌检测方法是一种基于生物传感技术的毒性检测系统。发光细菌在新陈代谢时会发光,当处于有毒的环境中时,其发光强度会受到抑制,根据光强度变化

即可快速准确地测试出样品的毒性。这种方法具有检测范围宽、灵敏度高、速度快、准确度高等优点,可直接检测上千种潜在的毒性物质,如重金属离子、有机磷等农药、有机和无机有毒物质等,其检测结果可与标准毒性物对照得出相应的毒性等级。目前,发光细菌法已被广泛应用于水环境污染事故应急监测、工业废水和纳污水体的水质急性毒性分析等领域。

3.3 生物行为反应检测方法

生物行为反应检测方法是通过研究生物体与污染物相互作用时产生的各种生理反应及其随时间的变化规律,用数学模型预测污染物浓度变化趋势。例如,某些鱼、虾、蟹等动物在受到重金属污染后会出现皮肤溃疡、蜕皮和不育等症状;甲壳类动物因体内铁含量过高而死亡。研究这些动物的行为反应,还可以建立毒性指数法,为测定污染物浓度提供简便、实用的方法。此外,利用生物行为反应监测技术还可以揭示自然水体中存在的一些重要信息,如水中pH值、溶解氧浓度、细菌数量及活性、有机物浓度、营养盐水平、叶绿素a和藻类密度等,这些参数能反映出水环境质量的好坏,并可作为评价水体富营养化程度的依据。

3.4 底栖动物和两栖动物检测方法

底栖动物对水文、水质、底质、气候等环境条件的变化较为敏感,能较好地反映一段时间内水体受干扰和胁迫的累积效应,从而准确反映水体的环境质量状况。通过监测底栖动物的种类、数量、多样性指数等指标,可以评估水体的污染程度和生态健康状况。比如,当水体受到污染时,一些敏感的底栖动物种类可能会减少或消失,而耐污性强的种类则可能会增加,从而导致底栖动物群落结构发生变化。两栖动物则是水体和陆地生态系统的重要组成部分,其生存和繁殖与水环境质量密切相关^[3]。监测两栖动物的种类、数量、栖息地变化以及健康状况等,可以了解水体污染对两栖动物的影响,进而评估水环境质量。

3.5 遗传毒理学检测

遗传毒理学检测主要是通过检测污染物对生物遗传物质的损伤来评估其潜在的遗传毒性。常用的方法包括微核试验、染色体畸变试验、姐妹染色单体交换试验等。这些方法可以检测到污染物对生物细胞染色体的断裂、缺失、重复等结构畸变,以及对DNA的损伤和基因突变等。通过对水生生物进行遗传毒理学检测,可以了解水体中污染物的遗传毒性效应,评估其对生态系统和人类健康的潜在风险。

3.6 分子生态毒理学检测

分子生态毒理学检测是在分子水平上研究污染物对生物的毒性效应及其作用机制。它主要关注污染物与生物大分子（如DNA、RNA、蛋白质等）之间的相互作用，以及由此引起的生物体内基因表达、蛋白质合成和代谢途径的变化。例如，通过检测生物体内某些关键基因的表达水平变化，可以了解污染物对生物的毒性作用机制和生物的应激反应机制。分子生态毒理学检测方法包括基因表达谱分析、蛋白质组学分析、代谢组学分析等，这些方法可以更深入地了解污染物对生物的毒性效应，为水环境质量评估和污染控制提供更科学的依据。

4 生物监测技术的发展

4.1 技术创新

生物监测技术的创新不断推动着其在水环境监测中的应用。研发更灵敏、特异的生物传感器是重要的发展方向之一，例如将纳米材料与生物传感器结合，能够显著增强检测性能。纳米材料具有独特的物理和化学性质，如高比表面积、良好的导电性和光学性能等，与生物传感器相结合，可以提高传感器对污染物的吸附能力和信号转换效率，从而实现更低浓度污染物的检测，加快检测速度，为及时发现水环境中的污染问题提供有力支持。

4.2 多学科融合

生物监测技术与生态学等多学科的融合日益深入。通过与生态学的结合，能够建立综合监测与评价体系，全面评估水环境质量和生态系统健康状况。生态学为生物监测提供了理论基础和宏观视角，使生物监测不仅能够关注污染物的存在和浓度，还能考虑到生物群落结构、生态系统功能等因素。例如，通过研究水生生物群落的多样性、稳定性以及物种间的相互关系，结合水质化学分析，更准确地判断水环境的健康程度，为生态保护和修复提供科学依据。

4.3 远程监测与自动化

借助物联网等现代信息技术，生物监测实现了远程、实时、自动化监测。在水环境监测中，通过在监测点部署生物监测设备，并将其与物联网连接，监测数据可以实时传输到控制中心，工作人员无需到现场即可获得最新的监测信息，大大提高了监测效率和数据的准确

性，同时降低了人工成本^[4]。比如，利用远程监测系统可以实时监测河流、湖泊等水体中生物的生理指标、行为变化等，及时发现水质的异常波动，为水环境管理提供及时有效的数据支持。

4.4 大数据与模型应用

随着生物监测技术的不断发展，产生了大量的监测数据。利用大数据分析和模型预测技术，可以深入挖掘这些数据的潜在价值，为水环境管理提供科学决策支持。通过对海量生物监测数据的整合、分析和挖掘，可以揭示生物与环境之间的复杂关系，建立水质评价模型、生态风险预测模型等。这些模型能够帮助管理人员更准确地评估水环境质量的现状和变化趋势，预测潜在的环境问题，制定更加科学合理的管理策略，实现对水环境的有效保护和可持续利用。

结束语：生物监测技术在水环境工程领域已取得诸多成果，其多层面的监测原理、多样的监测方法以及在水环境中的广泛应用，为水质评估和生态保护提供了丰富信息。然而，技术仍存在局限性，如部分方法特异性不足等。但随着技术创新、多学科融合等发展趋势的推进，生物监测技术有望克服困难，在提升检测精度、拓展应用范围等方面实现突破。未来，应持续深入研究与实践，充分发挥其优势并与传统理化监测协同，为构建更完善的水环境监测体系、实现水资源的可持续管理与生态平衡的维护发挥更为关键的作用，推动水环境工程迈向新高度。

参考文献

- [1]李旭晖.生物监测技术在水环境工程中的应用及研究[J].科技风,2021(5):130-131.
- [2]王军.生物监测技术在水环境工程中的应用及研究[J].资源节约与环保,2020,35(1):148-148.
- [3]林伟,何欢,鲍婷婷,童群,施思.生物监测技术在水环境工程中的实践应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(6):0015-0018.
- [4]桂立慧.生物监测技术在水环境监测中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2024(10):0088-0091.