

DOI:10.12405//j.issn.2097-1486.2022.01.012

环境工程学与生态毒理学交叉研究及展望

孟紫强

山西大学 环境科学研究所, 山西 太原 030006

摘要: 在对环境工程学和生态毒理学两门学科长期研究的基础上, 从水污染、大气污染、固体废物等环境治理方面, 首次提出并论述这两门学科相互交叉研究的可能性、必要性及其重要意义。环境工程学与生态毒理学的研究领域有很多共通之处, 二者交叉研究可以起到相辅相成、相互完善、共同发展的积极作用, 对于促进环境工程学和生态毒理学学科的发展、提高环境污染治理的效率均具有重要意义。展望未来, 环境工程学与生态毒理学交叉研究将开启一个新的研究领域, 其深入发展将创造新的富有中国特色的环境工程生态毒理学方向或学派。

关键词: 环境工程学; 生态毒理学; 交叉研究; 环境工程生态毒理学派

中图分类号: G301

文献标志码: A

文章编号: 2097-1486(2022)01-0122-05

Cross research and prospect of environmental engineering and ecotoxicology

MENG Ziqiang

Institute of Environmental Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

Abstract: This paper discussed the possibility, the necessity and the importance of cross research between environmental engineering and ecotoxicology from the environmental treatments of water pollution, air pollution and solid waste. The two disciplines of environmental engineering and ecotoxicology have many similarities. The cross research of these two could complement and perfect each other so as to develop together, which is of great significance to the development of environmental engineering and ecotoxicology, and the efficiency of environmental pollutant treatment as well. Looking to the future, the cross research may open up a new field of research, creating a ecotoxicological school of environmental engineering with Chinese characteristics.

Key words: environmental engineering; ecotoxicology; cross research; ecotoxicological school of environmental engineering

环境工程学是工程学的重要组成部分, 是研究和合理利用自然资源、控制和防治环境污染与生态破坏以及改善环境质量的科学^[1-2]。而生态毒理学是研究环境有毒有害因子, 特别是环境污染物, 对动物、植物、微生物及其生态系统的毒害作用与防护的科学^[3-5]。虽然环境工程学与生态毒理学都把环境污染物视为各自的主要研究对象, 然而二者之间的关系往往被学界所忽略, 很少有人关注二者交叉研究的可能性。为此, 本文将在研究范畴、研究内容和方法技术等方面, 对环境工程学与生态毒理学

交叉研究的可能性及其意义进行论述, 提出二者的交叉研究将会开启一个新的研究领域, 从而创造一个新的富有中国特色的环境工程生态毒理学派。

1 环境工程的独特性及其运行的真正动力

环境工程不同于工厂和楼房的建筑工程, 不同于兴修水利工程, 也不同于供水排水工程, 环境工程不是一个只有机械运动或由水泥堆积的寂静的工程, 而是一类围绕着生物生命活动的、富有生命活力和生物活性的工程。环境工程的目标和任务赋予了

它不同于传统工程的独特性。

环境工程运行的主要任务是将大气环境、水环境以及固体废弃物中的污染物清除、减少或资源化,恢复蓝天、净水,变废为宝。而环境工程运行的真正动力是身处废水、废气或固体废物中的各种各样的微生物、植物和动物,因为正是这些生物直接与污染物的接触和交互作用才导致环境污染物被生物吸收、生物代谢和生物降解,才使环境工程建设的基本任务得以完成。环境工程运行中对污染物进行处理的功臣是这些不同的生物,而环境工程的构建主要是为了给这些功能生物提供一个繁殖、生长及其处理污染物的良好条件。因此,环境工程从设计、建设和运行都是一个充满生命活力的工程。

2 生态毒理学研究内容及其与环境工程交叉研究的基础

生态毒理学主要研究大气环境、水环境、土壤环境以及其他生态环境中的污染物与不同生物及其生态系统的交互作用规律的科学,这种互作既涵盖环境污染物对动物、植物、微生物及其生态系统的毒害作用,也包括这些生物对污染环境的适应变化以及对污染物的吸收、代谢、降解等一系列生命活动,构成了一个生态毒理学效应的全过程,最终导致生态系统或生态环境发生改变。研究生态毒理学的任务之一就是要通过控制这种交互作用使生态系统朝着可持续的方向演变,达到保护生态环境健康发展的目标。

如上所述,环境工程为了完成对环境污染物清除、减少或资源化的任务,从工程设计、建设和运行都必需围绕这些功能生物繁殖和生长的需要。环境工程运行时,在废水、废气或废渣中,高浓度的污染物直接与其中的生物接触而交互作用,形成了一个人为或半人为的生态系统或生态毒理系统,其中的污染物必然要对这些生物产生毒性作用,使暴露生物的命运发生变化。这种变化主要可归纳为两个方面:一是适应污染物的作用,在高浓度污染物环境中对污染物吸收、代谢及降解,使环境中的污染物减少,甚至消失,这种既能耐受污染物毒性作用,又能降解污染物的生物就是环境工程运行中的功能生物;二是对污染物的毒性作用敏感或耐受性较差,在污染物的作用下受到损伤,繁殖和生长被抑制,甚至死亡。由此可知,环境工程要提高对污染物的处理效率,在其处理系统中不但要含有足够数量的功能生物,而且要为这些生物的繁殖生长创造良好的条

件,而这些也正是生态毒理学研究的主要内容之一。虽然这两个学科研究的侧重点不同,但是研究环境中的生物与污染物交互作用就成了环境工程学与生态毒理学共同或类似的内容。正是二者既有差异,又有共同点的研究,才使它们能够相辅相成,成就彼此,成为环境工程学与生态毒理学交叉研究的科学基础。令人感到惊讶的是,为什么长期以来人们只是把它们当作互不相干的学科,而对它们交叉研究的可能性却无人问津?

3 环境工程学与生态毒理学交叉研究可行性及其意义

从上述可知,环境工程为环境污染物与暴露生物的交互作用创建了一个人为生态环境,环境工程也是一个生态毒理学工程。然而,自环境工程学和生态毒理学两个学科诞生以来,二者各自独立发展,几乎无人倡导二者交叉研究、共同发展。在此,本文从水环境工程、大气环境工程以及环境工程项目建设等方面,分析生态毒理学在环境工程学研究中的应用价值,论述环境工程学与生态毒理学交叉研究、相互融合和联合发展的理念。

3.1 环境工程学在污水处理方面与生态毒理学研究的交叉

在环境工程学的水污染治理过程中,水生生物与污染物之间的生态毒理学互作,发挥了非常重要的作用。污水生化处理的工艺多种多样,在此选择活性污泥法、稳定塘法及土地处理法,探讨环境工程学在污水处理方面与生态毒理学交叉研究的可行性及其理论和实践意义。

3.1.1 活性污泥法工艺学与生态毒理学研究的交叉

目前大多数城市污水处理厂都是采用活性污泥法处理工业废水和生活污水,因此这类方法是环境工程学研究的主要领域之一。在活性污泥法中起主要作用的是活性污泥,而活性污泥主要由具有降解水中有机物能力的微生物群体所组成。采用活性污泥法对污水进行生化处理的原理是,通过微生物的作用,使有机污染物分解,将有机污染物转变成水、CO₂及其他无害的中间代谢产物,使污水得以净化。因此,污水处理工艺的关键在于微生物对有机污染物的转化、降解作用。

为了充分发挥活性污泥对有机污染物的降解作用,组成活性污泥的微生物必需大量繁殖生长并达到一定的数量。为此,不仅需要人工控制污水中污染物对微生物的毒性作用,而且需要为微生物提供

一个好的生存条件。例如,为了给好氧微生物提供充足的氧气,在环境工程建设中设有曝气池。从环境工程学角度出发,曝气池是一个生化反应器;而从生态毒理学角度出发,曝气池就是一个半人工的水生生态系统,更准确地说,是一个水生微生物生态系统生态毒理学试验模型。在生态毒理学上,这是一个典型的中宇宙水生生态系统生态毒理学试验模型。利用这个试验模型,生态毒理学研究不同水生微生物与污染物交互作用及其规律,探讨该微生物最佳繁殖生长条件,在揭示微生物生态毒理学规律的同时,也为曝气池运行中最佳条件的设置提供依据。由此可知,将活性污泥法的环境工程实践与微生物生态系统生态毒理学研究交叉融合,对于环境工程学和生态毒理学的理论研究和实际应用均可能会产生意想不到的发现和收获。

3.1.2 稳定塘——生态毒理学试验中宇宙水生生态系统试验模型

稳定塘(stabilization pond)旧称氧化塘或生物塘,是一种利用天然净化能力对污水进行处理的构筑物的总称。据报道,在东南亚诸国70%以上的废水是通过稳定塘的方法处理的。在我国用稳定塘技术处理废水也很普遍。因此,探讨环境工程学中的稳定塘处理废水技术与生态毒理学水生生态系统生态毒理学研究之间的交叉融合具有一定的普遍意义。

稳定塘除了通过细菌、真菌、藻类和原生动物等多种微生物的生命活动,使污水中有机物降解达到污水净化之外,在稳定塘中的污染水体中,人工培养和种植有不同生物种类,利用多种生物特别是高等水生生物处理废水中的有机污染物,对污水进行净化。对于稳定塘的结构和功能来说,它是以太阳能为初始能量,通过在塘中种植水生植物,进行水产和水禽养殖,建立了多种食物链,形成了一个丰富多样的人工生态系统。通过这些食物链的物质迁移、转化和能量的逐级传递,使污水中的有机污染物在各种生物体内不断代谢转化和降解,既去除了污染物使污水成为新的水资源,又收获了一定的水产品。

与环境工程学中的稳定塘相似,在生态毒理学上有一个试验方法称之为“中宇宙生态系统生态毒理学试验”(简称:中宇宙生态系统毒性试验),该试验模型就是模拟池塘、湖泊和河流生态系统,研究污染物在生态系统水平上可能产生的生态毒理效应。

从上可知,环境工程学上的稳定塘,其实就是生态毒理学中一个典型的中宇宙水生生态系统生态毒理学试验模型。对于环境工程来说,它是为了利用

水生生物对废水进行净化;而对于生态毒理学研究则是为了阐明污染物对水生生物毒性作用及其机理。因此,两种学科对稳定塘的交叉研究,不论对于环境工程稳定塘处理废水效率的提高,或是对于生态系统生态毒理学研究的发展均会有意想不到的促进作用。

3.1.3 环境工程废水土地处理技术与生态毒理学田间试验的交叉研究

在环境工程学上,废水土地处理是利用土壤的物理、化学和生物学作用,将污水中污染物去除而使污水资源化的环境工程技术,它包括废水土壤渗漏法、废水地表漫流法等。与此环境工程技术相似,在生态毒理学上有一个常见的农业生态系统生态毒理学试验,也称农业生态系统的田间试验,可根据所占空间大小分为微宇宙、中宇宙、大宇宙农业生态系统生态毒理学试验。

从环境工程学的角度出发,主要关注的是污水土地处理对污染物去除的效果,而从生态毒理学角度出发,主要关注的是污水对土壤微生物、土居动物(如蚯蚓)以及地面生长的植物(如农作物)及其相关动物的毒性效应。如果二者进行交叉研究,一方面利用环境工程学原理对土地去除污染物的工程技术进行优化研究,另一方面可利用生态毒理学原理探讨如何降低污染物对土壤生物和农作物的毒性作用,选择抗污和去污效果双优的植物或农作物,使污水通过土地处理既能转变为新的水资源,又能获得农作物的丰收,使环境工程处理污水的效率更高,也使农业生态系统生态毒理学研究得以发展和应用。

3.1.4 环境工程与藻类生态毒理学研究的交叉

藻华在淡水湖泊的频繁暴发,导致生态失衡,影响水质安全,甚至通过水传播疾病,影响人体健康。因此,寻找经济、安全、高效的抑藻方法是环境工程学的重要任务,也是水环境生态毒理学研究的重要内容。我国在控制藻华和赤潮方面已经进行了长期研究,开发了许多行之有效的方法技术。如果我们对这些方法技术进行仔细分析,不难发现它们大都是环境工程学与藻类生态毒理学交叉研究的产物,只不过当时尚没有人明确提出二者交叉研究的重要性,这些研究人员是自发地对环境工程与藻类生态毒理学进行了交叉研究。

从生态毒理学角度出发,研究藻华的种群或群落特征,探讨藻类生长繁殖的抑制因素,对于开发有效预防和控制藻华发生和发展的生态毒理学方法、化学方法以及物理学方法均非常重要。最近有一项

研究报告,通过局部电场处理引起电穿孔来灭活藻细胞的方法,可以控制微藻的生长;结合采用低压电场辅助的原位铜电离处理技术,二者的协同作用可以达到高效灭活微藻的目的,这是一个物理—化学联合杀灭藻类细胞的方法。在研究中,他们采用了从分子到细胞一系列现代生态毒理学方法来探讨和优化抑制藻细胞生长的方法,突出显示在这项环境工程技术中藻类生态毒理学基础研究是如何发挥其关键作用的^[6]。

在生态毒理学上,一方面可以通过研究藻类生态毒理学特性,选用一些对藻类细胞有毒杀作用的物理因素和化学物质来抑制藻华暴发和发展;另一方面也可以利用藻类食物链特点选择适当的物理、化学和生态学方法来抑制藻类的生长。从此可知,环境工程学与生态毒理学的交叉研究、联合开发控制藻华暴发的环境工程—生态毒理学技术是一个行之有效的途径。

3.2 空气污染环境工程治理与生态毒理学研究的交叉及其意义

工业化学污染物排入大气之后,一般会很快扩散到很远的地方,导致对其控制和治理的成本很高。因此,从20世纪70年代起人们就提倡采用环境工程技术与生态毒理学模型联合治理的方法对大气环境污染进行治理。

3.2.1 空气VOCs污染处理与生态毒理学的交叉研究

对于环境工程学来说,在空气挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)污染浓度很高或较高的局部空间,可以采用生物过滤塔来降解VOCs。在生物过滤塔中,VOCs气体在流动过程中与微生物滤料接触而被微生物吸收、转化或分解,从而使空气得以净化。与此同时,VOCs也对微生物产生毒性作用,导致微生物的生长繁殖受到抑制,甚至死亡。为了微生物能够不断繁殖生长,需要从塔顶定期喷洒营养液,形成一个人工的微生物食物链。由于气体或液体均不是连续的,所以可以把生物过滤塔看作是一个气/液/固三相并存的人工生态系统。

在环境工程建设或运行生物过滤塔的过程中,生态毒理学可以以此为试验模型进行微生物生态毒理学研究,从而获取这一特殊生态系统的生态毒理学数据,为改进生物过滤塔的结构、提高其净化VOCs的效率提供科学依据。同时,生态毒理学也可以通过这一人工生态系统的研究开拓多相生态系统生态毒理学新领域,提高学科发展水平。

3.2.2 空气二氧化硫污染处理与生态毒理学的交叉研究

对于密闭环境(如车间)中二氧化硫(SO₂)污染空气的治理,有人采用将污染气体通过光合细菌液体培养装置达到净化SO₂的目的。当SO₂与光合细菌接触时,光合细菌能够吸收、代谢和分解SO₂而使空气净化。与此同时,过量的SO₂可对细菌产生毒性作用而影响其繁殖、生长。此外,SO₂也可使培养液酸碱度下降而对光合细菌产生抑制作用。为了使培养液中维持足够的营养物质以保持光合细菌在培养液中有一定的数量,需要人为地对培养液不断进行新旧轮换,从而形成一个不断更新的人工细菌生态系统。生态毒理学以此为模型进行研究,所获得的光合细菌生态毒理学数据,可以为改进该光合细菌装置和提高其净化SO₂效率提供科学依据。

除上述之外,采用环境工程生物装置,利用微生物对局部环境空气污染进行净化处理的方法还有很多种,在大多数情况下均可开展环境工程学与生态毒理学的交叉研究,改进和提高对气体污染物的净化效率。

3.2.3 公共环境空气污染治理与生态毒理学研究的交叉

空气污染,除了局部环境(如工厂车间)污染物高浓度污染之外,更普遍的是社区空气环境污染,或说公共环境空气的低浓度污染。对此,由于涉及空间巨大,面积很广,治理难度很高、成本很昂贵,必需采用环境工程技术与生态毒理学研究交叉融合才能经济有效地完成这类空气污染的治理^[3-5]。

目前这方面的研究还很薄弱,就生态毒理学来说,还有很多基础数据没有获得,从而使这一安全有效、成本低廉的治理模式缺乏精准性。例如,植物生态毒理学研究可以定量提供不同植物的叶片对不同空气污染物的吸收、代谢能力,并据此估算出每单位叶片(或生物量)能够净化污染物的数量。如果通过生态毒理学试验获得了这些基本数据,那么对于当地的空气污染状况,就可以采用环境工程计算的方法,建立环境工程—生态毒理学空气污染治理模型,为社区空气污染治理提供科学依据。由此可知,空气环境污染防治正在期待环境工程与生态毒理学的交叉研究和联合开发新型治理模式^[5]。

此外,对于开放的小环境空气污染治理,生态毒理学研究也将发挥其不可替代的作用。最近有环境保护公司计划利用与生物过滤塔类似的装置,安置在人流密集的大街上,通过藻类或其他微生物,对

公共环境空气污染进行净化。在这些空气污染的生物治理运行中,污染物与微型生物之间相互作用贯穿于整个过程。在这方面,如何减少污染物对生物的毒害作用和如何增大生物对污染物的去除作用,达到对污染物去除效率的更大化,不仅是环境工程学需要解决的难题,同时也是生态毒理学研究的重要领域。

3.3 环境工程项目与生态风险评价的交叉研究

大型环境工程项目,不论治理水污染、空气污染的环境工程项目,或是城市垃圾焚烧或填埋工程项目,均有可能对周围环境造成生态不良影响,即生态毒理学影响,因此在这些工程项目立项前、实施中以及在实施后均应对其进行生态风险评价^[3-5]。由此可见,环境工程技术人员研究生态毒理学,熟悉生态风险评价方法对于提高环境工程项目的建设质量也是必不可少的。

4 创建环境工程生态毒理学新方向

在环境工程学范畴中,开展生态毒理学研究,将环境工程视为一项围绕功能生物生长发育的、富于生命活力的工程,从而完全颠覆了传统环境工程以工程为中心的观点,而代之以生物为中心的环境工程学新概念。从生态毒理学角度来看,开展环境工程与生态毒理学交叉研究,把环境工程创建的曝气池、沉淀池、稳定塘等生化反应器或建筑物作为中宇宙人为生态系统生态毒理学试验模型进行污染物生

态毒理学研究,不论研究的环境污染物浓度和类别,或是暴露的生物种类都是与传统生态毒理学有很大区别,这在生态毒理学研究上也属新的探索。随着二者交叉研究的深入发展,将会创建一个新的研究方向或新的边缘学科——环境工程生态毒理学。

与此同时,在这个方向的深入研究,将会创建一个全新的生态毒理学之工程学派,或说“生态毒理工程学”新学科。从而使看似纯理论研究的软性科学生态毒理学融入工程类硬性学科的行列,实现生态毒理学发展历程上的一个新突破。

参考文献:

- [1] 蒋展鹏,杨宏伟. 环境工程学[M]. 北京:高等教育出版社,2013.
- [2] 胡洪营,张旭,黄霞,等. 环境工程原理:第二版[M]. 北京:中国高等教育出版社,2011.
- [3] 孟紫强. 生态毒理学原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [4] 孟紫强. 生态毒理学[M]. 北京:高等教育出版社,2009.
- [5] 孟紫强. 生态毒理学[M]. 北京:中国环境出版集团,2019.
- [6] LIU PR, ZHOU JF, HONG Y, XIE X. Electric-field enhanced microalgae inactivation using a flow-through copper ionization cell[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020,400: 123320. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123320.



孟紫强,男,山西临汾人,医学硕士,教授,博士生导师,享受国务院特殊津贴;现任中国毒理学会第一届监事会监事、毒理学史专业委员会学术顾问、山西省毒理学研究会荣誉理事长;历任美国纽约科学院成员、美国国家科学技术促进会会士、国际DNA修复学会理事、美国化学学会会士、中国毒理学会常务理事、中华医学微量元素学会常务理事、中国环境科学学会大气环境委员会委员、环境医学与健康委员会委员、中国环境诱变剂学会致突变剂专业委员会委员、山西省毒理学会第一届理事长等,以及《环境与职业医学》《生态毒理学报》《中国药理学与毒理学杂志》,Prob-Biology, JSM Brain Science, Chinese Journal of Biology

等多种国内外学术期刊编委或顾问;主要研究领域为环境医学、环境毒理学、生态毒理学、气体信号分子等;主持完成国家和省部级项目30余项,包括国家自然科学基金重点项目1项。获国家级教学成果二等奖1项,教育部科技进步奖二、三等奖各1项,省科技进步奖一、二、三等奖各1、6、4项;出版中、英文著作22部,发表学术论文400余篇,其中SCI收录90余篇。E-mail: zqmeng@sxu.edu.cn

(责任编辑:杨东东)