

石油高职教育“工学结合”教材

SHIYOU GAOZHI JIAOYU GONGXUE JIEHE JIAOCAI

环境工程微生物

王艳玲 李 莉 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

石油高职教育“工学结合”教材

环境工程微生物

王艳玲 李 莉 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从应用角度出发,紧密结合微生物环境检测和治理岗位典型工作过程,以培养学生职业能力为主线,主要介绍了环境工程中污水、有机固体废弃物、废气的生物处理及饮用水细菌学检验过程中涉及的微生物学基础知识与操作技能。

本书可作为高职院校环境监测与治理、环境科学、环境工程、给水排水、环境保护等环境类专业教材,也可作为职工岗位培训用书及现场技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程微生物/王艳玲,李莉主编.

北京:石油工业出版社,2011.9

石油高职教育“工学结合”教材

ISBN 978-7-5021-8646-3

I. 环…

II. ①王…②李

III. 环境微生物学-高等职业教育-教材

IV. X172

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第169617号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京华正印刷有限公司

2011年9月第1版 2011年9月第1次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:9.25

字数:227千字

定价:18.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

目前,以服务为宗旨、以就业为导向的高等职业教育的课程改革工作方兴未艾,各具特色的《环境工程微生物》高职教材已有若干版本,但仍不能满足情境化教学的需要。本教材的指导思想是突出高职特色,着力实现工学结合。教材内容全部情境化,打破了以往教材先理论、后应用、再实践的传统模式,使理论知识和实践技能融合在具体工作过程中。全书7个学习情境涵盖了环境治理行业污水、固体废物、废气的主要生物处理方法和水体细菌学检验方法,突出了职业性、技能性。

本教材是校企合作开发的基于工作过程的任务驱动型教材,教材编写组成员由一线教师和企业专家共同组成,主要面向石油化工企业和城市污水生物处理岗位、水质微生物检测岗位、固体废物和大气生物治理岗位。本教材吸收其他教材的先进思想和方法,融入了一线教师多年的教学经验和企业专家丰富的岗位实践知识与实践经验。

本教材力求语言叙述清晰、准确,简明扼要,通俗易懂。主要具有以下特点:

(1)校企合作,具有工学结合特色。经过充分的企业调研,根据岗位需求和区域特点,确定教材内容。学习与工作结合,充分体现了基于工作过程的重构性。尽可能以企业生物治理岗位和微生物检测岗位的典型工作任务为载体,使学生在完成具体的工作任务或分析现场案例的过程中训练专业能力,获得理论知识,提升职业素养。

(2)内容情境化,突出高职特色。本教材包括7个学习情境,均来源于企业岗位真实工作过程,充分体现了教材的实用性及与专业岗位的相关性。通过对每个学习情境的简单描述,使学生学习目的更加明确,使学生的知识、技能、情感态度更贴近职业要求。

(3)任务驱动,利于学生自主学习。本教材主要通过设置情境简介、学习目标、学习内容、工作内容、工作准备、任务实施、相关知识等环节,在任务引领下,引导学生自主学习。为帮助学生自检,每个学习情境均设置有自我检测。

本教材由大庆职业学院王艳玲、李莉任主编,大庆油田中区污水处理厂费文杰、大庆炼化公司高秦、大庆职业学院庞颖任副主编。王艳玲编写导课和学习情境一的任务一至任务七,李莉和庞颖共同编写学习情境三、学习情境四、学习情境五,费文杰编写学习情境二,高秦编写学习情境一的任务八和学习情境七,大庆职业学院的王雪峰编写学习情境六和附录。大庆炼化公司的连剑云为本书提供了相关的资料和素材,并参与了部分章节的编写。全书由王艳玲统稿。

编者谨向被本书引用为参考文献的图书及文章的作者表示真诚的谢意。鉴于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请有关专家及老师和同学们指正。

编者

2010年11月

目 录

导课 了解环境工程微生物课程	(1)
学习情境一 活性污泥法处理污水	(6)
任务一 认识、观察活性污泥	(6)
任务二 观察活性污泥生物相	(12)
任务三 监测活性污泥性能	(37)
任务四 培养基的制备与灭菌	(40)
任务五 活性污泥中细菌的纯种分离和平板计数	(51)
任务六 活性污泥微生物的革兰氏染色	(68)
任务七 有机污染物生物降解性的定性测定	(69)
任务八 活性污泥 A/O 工艺处理含油污水	(79)
学习情境二 生物膜法处理污水	(91)
任务一 生物膜法的净化机理与生物相	(91)
任务二 曝气生物滤池处理城市污水	(96)
学习情境三 稳定塘法处理污水	(99)
学习情境四 有机废水沼气发酵	(105)
学习情境五 生活饮用水的细菌检验	(111)
任务一 生活饮用水中细菌总数测定	(111)
任务二 生活饮用水中总大肠菌群的测定	(122)
学习情境六 固体废物的高温堆肥	(129)
学习情境七 无组织废气的生物处理	(135)
附录	(138)
附录 I 培养基的配制	(138)
附录 II 试剂的配制	(141)
参考文献	(142)

导课 了解环境工程微生物课程

导课简介

导课为入门课,主要介绍微生物的特点、微生物与环境 and 人类的关系、微生物在环境治理中的作用及环境工程微生物学的研究内容,使学生对微生物有初步认识,对本门课程有初步了解。

学习目标

- (1)掌握微生物的特点;
- (2)了解微生物在环境治理中的作用和应用;
- (3)了解微生物与人类的关系;
- (4)明确本门课程要学习的内容。

相关知识

(一)微生物概述

微生物(microorganisms)一词并非生物分类学上的专用名词,是所有形体微小的单细胞或简单的多细胞甚至无细胞结构的,必须借助显微镜才能观察到的低等生物的通称。

环境中微生物按有无典型的细胞结构可分为细胞型微生物和非细胞型微生物。

细胞型微生物有细胞结构,即细胞膜、细胞质、细胞核,其DNA、RNA同时存在。细胞型微生物包括原核微生物和真核微生物。原核微生物没有核膜、核仁,DNA裸露;细胞器分化不完善,只有核糖体。原核微生物包括细菌、放线菌、蓝细菌、鞘细菌、立克次氏体、支原体、衣原体、螺旋体等,是具有原始细胞核的单细胞生物。真核微生物有核膜、核仁,DNA不裸露;细胞器分化完善。真核微生物包括真菌(酵母菌、霉菌)、微型藻类、原生动物、微型后生动物等,是具有细胞核的单细胞或简单多细胞生物。

非细胞型微生物无细胞结构,其DNA、RNA不同时存在,包括病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒、朊病毒)。

1. 微生物的特点

微生物是简单、低等的生命,但形态、种类繁多,呼吸类型、营养类型多样。微生物与其他生物相比,具有以下特性,使其在环境污染降解中具有突出的优势。

(1)个体微小,结构简单。

微生物结构简单,包括没有细胞结构不能独立生活的病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒、朊病毒),单细胞的细菌、放线菌、蓝细菌、酵母菌、原生动物、单细胞的藻类等,还有简单多细胞的霉菌。表示微生物大小的单位是 μm ($1\text{m} = 10^6 \mu\text{m}$)或纳米($1\text{m} = 10^9 \text{nm}$),必须借助显微镜,甚至是电子显微镜将其放大数百乃至数十万倍方能辨认。病毒比细菌小,细菌以微米为计量单位,病毒以纳米为计量单位。1500个杆菌首尾相连总长度只有1粒芝麻的长度,80个杆菌肩并肩排列宽度仅有1根头发丝的宽度。

微生物体积虽小,但比表面积(单位体积的表面积)很大,如大肠杆菌的比表面积为人的30万倍。这种体积小、结构简单、比表面积大的特点,使微生物的每一个细胞都可与周围环境接触,使微生物单位体积与外界环境接触的面积大,有利于微生物与环境进行物质交换。

(2) 营养吸收多,转化快。

微生物吸收营养速度非常快,转化物质能力非常强。例如,在适宜条件下大肠杆菌每小时可消耗其自身重量2000倍的糖;一个大肠杆菌1h消耗的糖,按质量比等于1个人500年内消耗的粮食。乳酸菌1h产1000~10000倍于其细胞重量的乳酸。微生物营养吸收多、转化快的特点使微生物具有迅速将环境中污染物分解转化的能力,也为微生物迅速生长繁殖提供了可能。

(3) 生长旺盛,繁殖迅速。

微生物具有极快的繁殖速度,在实验室培养条件下细菌十几分钟至几小时可以繁殖一代。有的细菌在适宜条件下,20min就能繁殖一代,24h可增殖72代,由1个可增殖为 4×10^{12} 亿个。大肠杆菌在37℃的牛乳中培养,12.5min就繁殖一代。微生物的旺盛生长、高速繁殖特性,大大提高了污染物降解和转化的效率。

(4) 适应性强,易变异。

微生物适应性强。多数细菌能耐0~-196℃的低温。在海洋深处的某些硫细菌可在250℃的高温条件下正常生长。一些嗜盐细菌可在饱和盐水中正常生活。有高等生物的地方均有微生物生活,动植物不能生活的极端环境也有微生物存在。

微生物惊人的繁殖速度决定了它即使变异频率极低(一般为 $10^{-5} \sim 10^{-10}$)也可在短时间内产生大量变异后代,包括适应环境的变异个体。涉及诸如形态结构、代谢途径、生理类型、各种抗性及其代谢产物的变异等,产生了灵活的代谢调控机制,可产生多种诱导酶,从而使之具有较强的抗逆性,如抗热、抗寒、抗干燥、抗酸、抗缺氧、抗压、抗辐射以及抗毒能力。适应性强、易变异使微生物具有不断更新的降解能力。

例如,青霉素生产菌,1943年每毫升青霉素发酵液仅20单位青霉素,至20世纪80年代由于各国微生物育种工作者的努力和发酵条件的改善,新的生产菌株产青霉素的能力不断提高,每毫升发酵液已超过5万单位,有的接近10万单位。同时,变异导致金黄色葡萄球菌耐药性菌株的耐药性比原始菌株提高了1万倍。

(5) 种类多,分布广。

地球上的微生物估计有100万种以上,已确定的微生物有10万余种。自然界微生物的生物物质总量为 $(2 \sim 10) \times 10^{12}$ kg(以碳计),与自然界动物和人类的生物物质总量 $(6 \sim 12) \times 10^{12}$ kg处于同一数量级。

微生物分布在地表以上10km至地表以下11km的整个生物圈,从高空到深海,从沙漠到绿洲,从南极到北极,不论空气、土壤、水体,还是动植物和人体,都生存着各种各样的微生物。微生物可谓无所不在,无孔不入。

微生物之最:个体最小、数量最多、分布最广、形态最简、变异最易、起源最早、胃口最大、抗性最强、食谱最广、休眠最长、繁殖最快、种类最多。

2. 在生物分类系统中微生物的主要分类单位

在生物分类系统中,微生物的分类单位由大到小依次是:界、门、纲、目、科、属、种。种是基本分类单位,种以下可再分为亚种、变种。

例如,啤酒酵母:酵母种

酵母属

内孢霉科

内孢霉目

子囊菌纲

真菌门

真菌界

3. 微生物命名

微生物的命名和其他生物一样,采用瑞典植物学家林奈的“双名法”命名原则,即:属名 + 种名 + 定名人。

双名制就是采用2个拉丁文组成一个学名,由微生物所属的属名和种名组成。属名在前,种名在后,均用斜体字。属名第一个字母必须大写,是拉丁文名词或拉丁化的名词。种名则需小写,是拉丁文或拉丁化的形容词。命名者的姓名或发表年份用正体字表示,写在学名后,一般可省略,例如大肠埃希氏杆菌的学名为 *Esoherichia coli*。

病毒的命名方法目前采用英语通用名。

4. 微生物与环境 and 人类的关系

1) 维持生态系统的平衡

生态系统包括非生物组分和生物组分,生物组分包括生产者、消费者、分解者。微生物是生态系统中的分解者。生态系统中的动、植物残体和排泄物被分解者分解利用,并从中获得生命所需物质和能量。所以微生物维持着生态系统的“自净作用”。

自然界中最大的生态系统就是生物圈,而在生物圈中,物质是不生不灭,往复循环的,即从无机到有机,从有机到无机,实现这一循环的就是分解者微生物。微生物在自然界的物质循环中起着重要作用,它们促使有机物和无机物之间不断地进行相互转化,解决了生物界繁衍对物质的无限需要和自然界物质资源的有限性之间的矛盾。

例如,自然界中的氮循环。土壤中大量的固氮菌,将大气中的 N_2 转化为硝酸盐(即固氮),供植物、微生物吸收利用,合成体内含氮物质。植物体内的含氮物质通过食物链转化为动物体内的含氮物质。动、植物尸体和排泄物被细菌和真菌通过脱氨基作用所分解,产生氨,亚硝化菌将氨转变为亚硝酸盐,硝化菌将亚硝酸盐转变为硝酸盐。反硝化菌则把硝酸盐还原为游离状态的 N_2 。由此可见,没有微生物,就没有自然界的氮循环。

对于大量人工合成的化合物,在短时间内微生物不能转化,经过生态系统的物质循环,会积累在不同的生物体内,特别是有毒有害、致畸致癌物质,经过生物放大作用,使生态系统中的生物在质和量两方面发生很大的变化,而最终威胁人类的健康。

2) 医药与健康

大多数微生物对人类是有益的,人类的健康离不开微生物。最早弗莱明从青霉菌抑制其他细菌的生长中发现了青霉素,这对医药界是一个划时代的发现。后来大量的抗生素从放线菌等的代谢产物中筛选出来,如红霉素、土霉素、链霉素、庆大霉素等。抗生素的使用在第二次世界大战中挽救了无数人的生命。

人体肠道中有大量微生物存在,称正常菌群,其中包含的细菌种类高达上百种,主要有大肠杆菌、产气杆菌、粪产碱菌、产气荚膜梭菌、乳酸杆菌等。人体为这些微生物提供了良好的栖

息场所,而这些细菌能合成核黄素、维生素 B₁₂ 等多种维生素以及氨基酸,供人体吸收利用。同时,对食物、有毒物质甚至药物的分解与吸收,菌群都发挥着重要作用。一旦菌群失调,就会引起疾病。

某些微生物可引起疾病。如天花由天花病毒引起,霍乱由霍乱弧菌导致,疟疾由疟原虫引起。其他如败血病、肠炎、伤寒、痢疾、白喉、肺炎、猩红热、肉毒梭菌中毒、病毒性肝炎、脊髓灰质炎、流感等均由致病微生物导致。黄曲霉能产生致癌的黄曲霉素,蓝藻、绿藻和金藻能引起水体的富营养化。

3) 食品与生产

一些微生物被广泛应用于工业发酵,生产乙醇、丁醇、食品、维生素 C 及各种酶制剂等。乳酸杆菌作为一种重要的微生态调节剂参与食品发酵过程。发酵食品包括奶酪、酸奶、酱油、腐乳、豆豉、面包、泡菜等,微生物还用于酿酒(啤酒、果酒、白酒)。

某些特殊微生物酶参与皮革脱毛、冶金、采油采矿等生产过程,甚至直接作为洗衣粉等的添加剂。有的微生物能吸附放射性物质铀和钚,有的能制造氢气、制造细菌电池。另外还有一些微生物的代谢产物可以作为天然的微生物杀虫剂广泛应用于农业生产。

微生物已被用于合成许多重要的化合物,遗传工程技术的进步已经使得人们可在微生物中克隆药用的重要多肽。

我国在利用微生物生产氨基酸、有机酸、抗生素、酶制剂、酿酒、菌肥、农药等方面已有相当的基础,尤其是抗生素的产量在世界名列前茅。我国的微生物资源丰富,但在菌种筛选、良种培育和工艺技术方面离世界先进水平还有一定的差距,还需要科研工作者进一步努力。

(二) 微生物在环境治理中的作用

1. 环境监测方面的作用

微生物监测是生物监测的重要组成部分,生物的生活地域具有相对稳定性,不仅能对多种污染做出综合反映,而且还能反映污染历史。利用在环境中生存的微生物种类、数量、活性等特征,来判断环境状况的好坏,这些微生物称为指示生物。

生物监测的优点有四个方面,即:长期性——汇集了生物在整个生活时期中环境因素改变的情况,可以反映当地的环境变化;综合性——能反映环境诸因子、多成分对生物有机体综合作用的结果;直观性——直接把污染物与其毒性联系起来;灵敏性——有时甚至具有比精密仪器更高的灵敏性,有助于提早发现环境污染。生物监测的缺点是:定量化程度不够;需要一定的专业知识和经验。

2. 环境治理方面的作用

环境工程中,微生物是生物处理的工具。所谓生物处理就是在微生物的作用下去除污染物的工艺过程。

由于微生物具有旺盛的代谢能力和极强的适应性,使其在消除环境污染物方面显示出突出的优势。环境工程中,微生物已成为污染治理的重要工具,包括污水、废气、固体废弃物的处理和回用。

(三) 环境工程微生物学的内容

环境工程中污染处理技术包括物理法、化学法和生物法,生物法具有经济、高效、无害化的特点。环境工程微生物学是在环境科学和环境工程的基础上发展起来的一门边缘学科,为环境工程中污染生物处理提供理论依据和方法指导。环境工程微生物学关注自然环境中中和污染

环境生物治理过程中微生物的作用与生态,是研究环境污染控制工程中生物处理方法和效率的一门学科。

微生物在环境工程实践中的应用,实际上是微生物学原理和技术的应用。微生物学基础知识包括环境中微生物类群及形态结构特征、微生物的呼吸与营养特性、微生物生长规律和生长测定方法、微生物生态、微生物分离与培养方法、微生物在自然界物质循环中的作用、微生物的遗传与变异等。没有微生物学基础知识,先进的环境生物治理技术的开发和应用就只能成为一句空话。

污染生物处理是依据微生物的代谢特点,人工强化自然净化过程。在污染生物处理系统中,要了解处理系统中微生物的生理特点,要创造净化污染物的微生物群体所需要的环境条件,提高处理效率。

除水污染之外,大气污染、土壤污染、固体废物污染等等,最终都将通过水循环使污染物进入生态系统。土壤污染治理技术与开发,已成为当前国内外环境保护领域的热点课题,如利用土壤微生物或筛选驯化的工程菌来进行污染土壤修复的生物修复技术研究就是其中之一。空气质量对人类健康有着直接的影响。利用微生物对污染空气进行净化并不普遍,但在可控条件下采用微生物处理法还是比较经济、高效的。例如:城市垃圾中转站的恶臭空气,可以通过向空气中喷洒有效菌群加以净化;在污泥消化过程中产生的含 H_2S 的气体,也可以通过生物滤塔得以净化。

随着现代工业的发展和人们生活水平的提高,各种污染物源源不断地排入水体和土壤,环境中的微生物受到多因素的诱导,发生变异,产生更能适应新环境的新品种,使微生物种类更加丰富。当今国内外各种城市污水、生活污水、有机工业废水的处理绝大多数采用生物法为主体,甚至有毒废水和工业废弃物(如废电池)均可用微生物方法处理。

学习情境一 活性污泥法处理污水

情境简介

目前国内外污水处理绝大多数采用生物处理法为主体。活性污泥法是最常用的污水生物处理方法之一,被广泛用于处理城市生活污水和各种工业废水,以使污水排放达到国家标准或可以实现中水回用[中水是针对上水(给水)和下水(排水)而言的,中水回用指废(污)水集中处理后达到一定的标准而用于不同的用途,从而达到节约用水的目的]。通过本情境的学习,使学生掌握活性污泥法净化污水的原理、环境中微生物种类和代谢特点,能完成培养基的制备与灭菌、微生物观察和培养、微生物分离与染色、微生物计数与检测、活性污泥性能测定与评价等工作,了解微生物的生态和微生物降解有机物的途径。

学习目标

- (1)能够在显微镜下观察活性污泥生物相并描述,掌握活性污泥的组成;
- (2)能够完成“污泥三项”的测定操作,并评价污泥性能;
- (3)能够完成培养基的制备与灭菌,微生物分离、培养、染色等基本操作;
- (4)掌握微生物的营养类型、呼吸类型及影响微生物生长的影响因素;
- (5)能够完成微生物对有机物降解能力的定性测定工作,了解微生物降解污染物的途径和有机污染物生物降解性的评价方法;
- (6)掌握活性污泥法净化污水的原理和一般工艺流程;
- (7)了解活性污泥法 A/O 工艺脱氮除磷的原理和工艺。

学习任务

- (1)认识、观察活性污泥;
- (2)观察活性污泥生物相;
- (3)监测活性污泥性能;
- (4)培养基的制备与灭菌;
- (5)活性污泥中细菌的纯种分离和平板计数;
- (6)活性污泥微生物的革兰氏染色;
- (7)测定有机污染物生物降解性的定性;
- (8)使用活性污泥 A/O 工艺处理含油污水。

任务一 认识、观察活性污泥

学习内容

- (1)废水好氧生物处理法原理和方法;
- (2)认识活性污泥,肉眼观察活性污泥,描述活性污泥的状态、颜色、性能;

- (3) 活性污泥的组成和微生物种类；
- (4) 活性污泥中微生物生长所需条件；
- (5) 微生物的呼吸类型和营养类型。

📖 工作内容

肉眼观察并描述活性污泥。

📖 任务实施

将取自污水处理曝气池中的活性污泥混合液搅拌均匀后静置。肉眼观察,描述活性污泥的状态、颜色、性能。

📖 相关知识

(一) 废水生物处理法

当污水排入水体后,使水体受到一定程度的污染。当水体流过一定距离后,经过物理、化学及生物等作用得到净化,此过程称为水体的自净。生物作用在自净过程中起着重要作用,水体中的微生物以水体中的有机污染物为营养,经吸附、吸收、氧化分解,把有机物分解为无机物,污水得到了净化,这就是生物处理的基本原理。

当污水排入土壤后,土壤中的微生物同样能氧化分解污水中的有机污染物,生成的无机物质被植物生长所吸收利用,土壤得到了净化。

利用水体和土壤净化污水的方法自古以来一直沿用着,但净化过程往往很缓慢,净化能力也很有限。当污染超过水体或土壤的自净能力时,水体中溶解氧耗尽,水体自净能力丧失,水体变黑、变臭或使土壤沼泽化。

1. 好氧生物处理法

根据水体和土壤自然净化污水的基本原理,在人工控制下,给微生物创造良好的净化污水的条件,不断供给微生物空气,加速微生物氧化分解有机物的速度,加速污水的净化速度,这种方法称为好氧生物处理法。好氧生物处理法是好氧微生物作用的结果。简单说,好氧生物处理法就是指向污水中强行通气,利用好氧微生物降解污水中污染物的方法和工艺。

好氧生物处理法大致可分为两类,即活性污泥法和生物膜法。活性污泥法是利用生长在水中的活性污泥絮状物净化污水;生物膜法是利用附着在载体上的生物膜净化污水。

好氧处理过程中,微生物氧化有机物约有三分之一被分解、稳定,并提供其生理活动所需的能量;约有三分之二被转化,合成为新的原生质(细胞质),即进行微生物自身生长繁殖(图 1-1)。

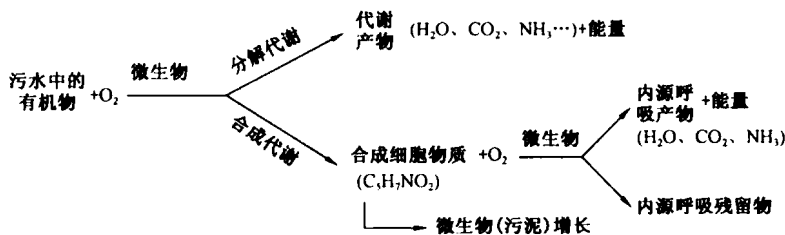


图 1-1 污水好氧生物处理过程微生物代谢示意图

2. 活性污泥法

活性污泥法是一种应用最广泛的废水好氧生物处理方法,是利用含有大量好氧性微生物的活性污泥絮状物,在人工强力通气的条件下对污水进行净化的生物处理方法。

1) 活性污泥的描述

活性污泥是由大量细菌、霉菌、原生动物、后生动物、藻类等大量微生物聚集而成的土褐色绒絮状泥粒,具有很强的吸附、分解有机物的能力。活性污泥的主体是菌胶团,活性污泥的骨架是丝状菌(包括丝状细菌和丝状真菌),活性污泥中的指示生物是原生动物和后生动物。

2) 活性污泥中的微生物

取一滴活性污泥在显微镜下观察,可见有大量微生物。

细菌是活性污泥中数量最多的成员。活性污泥中的细菌主要是以菌胶团的形式存在,少数以游离状态存在。菌胶团具有粘性,能吸附水中的有机物,然后氧化分解。菌胶团是由各种细菌及细菌所分泌的粘性物质所组成的絮凝状团粒,菌胶团使细菌免受环境中原生动物的吞噬,具有较强的抵御不良环境的能力,具有较强的吸附、氧化有机物的能力,在污水的净化过程中担负着降解有机污染物主力军的作用。

活性污泥中的细菌主要有动胶菌属(*Zoogloea*)、无色杆菌属(*Achymobacter*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、产碱杆菌属(*Alcaligenes*)、黄杆菌属(*Flavobacterium*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、棒状杆菌属(*Corynebacterium*)、不动杆菌属(*Acinetobacter*)、球衣菌属(*Sphaerotilus*)、诺卡菌属(*Nocardia*)等。

活性污泥中还有一些丝状细菌,如球衣细菌、贝氏细菌(*Beggiatoa*)、硫发菌(*Thiothrix*)等,与丝状霉菌交织在一起,菌胶团附着在其上,成为活性污泥的骨架。

活性污泥中真菌种类不多,数量较少,主要是霉菌,有毛霉、曲霉、青霉、链孢霉、枝孢霉、木霉、地霉属等。常出现在 pH 值偏低的污水中,需氧量比细菌少,在处理某些特种工业废水和有机固体废渣时起重要作用。异常增殖会引发污泥膨胀。

活性污泥处理系统中,有各种不同的原生动物和微型后生动物,它们能吞食固体有机颗粒和游离的细菌,起到净化污水,提高出水水质的作用。活性污泥中的原生动物可达 228 种以上,以纤毛虫为主,主要附集在活性污泥表面,数量在 50000 个/mL。

原生动物和微型后生动物,为活性污泥系统中的指示性生物,根据它们的种类和特点可以推测污水处理效果和活性污泥处理系统运行情况。

3) 活性污泥微生物生长所需条件

污水生物处理,要给微生物生长创造适宜的环境条件,即活性污泥微生物生长所需条件。

(1) 温度。

好氧生物处理一般要求水温在 15 ~ 40℃。在适宜温度范围内,温度越高,BOD 去除速度越快。温度过高,微生物代谢缓慢,甚至死亡。温度过低,一般低于 5℃,微生物代谢活动受到抑制。

(2) 溶解氧。

好氧生物处理系统中,溶解氧不足会严重影响微生物的氧化分解活动,使处理效果明显下降。通常要求曝气池混合液的溶解氧不低于 2mg/L,维持在 2 ~ 4mg/L 为宜;出水溶解氧不低于 1mg/L,则表明溶解氧充足。

(3) pH 值。

好氧生物处理系统中,污水的 pH 值一般为 6.5 ~ 8.5,其 pH 值变化范围不能太大,以免微

生物生长受抑制甚至死亡。

(4) 营养。

微生物的生长繁殖,需要多种营养物质。微生物赖以生活的主要营养有碳、氮、磷和硫,还需要少量的 K、Na、Ca、Mg、Fe 等无机盐和和维生素等。一般好氧生物处理的 BOD₅(5 日生化需氧量,即在 5 日内可生物降解的有机物在微生物作用下氧化分解的溶解氧量)在 500 ~ 1000mg/L 范围为宜,同时要求 BOD/COD 大于 0.3,表示污水中含有较多的可生物降解的有机污染物。

根据经验,好氧生物处理中污水的 C、N、P 比应满足一定的要求,一般比例关系是 C: N: P = 100: 5: 1(此处 C 用多 BOD 表示)。如污水中营养比例达不到要求,可以适当添加一定量的化学药剂或用其他来源的污水补充。

(5) 有毒物质。

污水中凡是对微生物的生长繁殖有抑制甚至毒害作用的化学物质,都是有毒物质。在待处理的污水中,常含有不同类型的有毒物质,要控制生物处理系统中有毒物质的浓度,使其低于系统的容许浓度,通过逐渐驯化,使微生物逐渐适应较高有毒物质浓度的负荷。

(二) 微生物按呼吸类型分类

微生物按呼吸类型分类,即根据微生物对分子氧的不同需求,可将微生物分为好氧微生物、厌氧微生物、兼性好氧微生物三大类。

1. 好氧微生物

好氧微生物必须在有氧的环境中生长,其生活离不开氧,以有氧呼吸获得能量。大多数微生物属于此类,包括大多数细菌和几乎全部的放线菌、真菌、藻类、原生动物,例如芽孢杆菌属、假单胞菌属、动胶菌属、根瘤菌、固氮菌、硝化细菌、硫化细菌等。好氧微生物又分为专性好氧微生物和微好氧微生物。

专性好氧微生物只能在有氧的环境中生长,离开氧或氧量不足就会死亡。绝大多数好氧微生物属于此类。

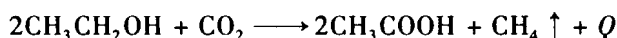
微好氧微生物只能在较低含氧量的环境中生长。如霍乱弧菌、某些氢单胞菌属和发酵单胞菌属的种。

2. 厌氧微生物

厌氧微生物生长不需要分子氧。包括专性厌氧微生物和耐氧性厌氧微生物。

专性厌氧微生物只有在无氧的条件下才能生活,氧气的存在对其有害,即使短间接触也会抑制其生长甚至使其死亡。这种微生物不能利用氧气,以无氧呼吸或发酵获得能量,包括产甲烷菌、硫酸盐还原菌、梭状芽孢杆菌和部分原生动物。纯种专性厌氧微生物培养难,常存在于有基质丰富的地方,通常在含有较多还原性物质的培养液中生长。

迄今为止,只在细菌和原生动物中有专性厌氧微生物。专性厌氧微生物广泛分布于湖泊、沼泽及瘤胃动物的消化系统中,如产甲烷菌可催生以下反应:



耐氧性厌氧微生物的生长不需要分子氧,但环境中的分子氧对其无影响。如乳酸杆菌,有氧、无氧均进行乳酸发酵。

3. 兼性好氧微生物

兼性好氧微生物在有氧、缺氧的环境中均能生长,但以不同的方式获得能量,有氧时进行

有氧呼吸,无氧时进行发酵或无氧呼吸。如酵母菌无氧时发酵,硝酸盐还原菌无氧时进行无氧呼吸,氢细菌无氧时行无氧呼吸。例如:

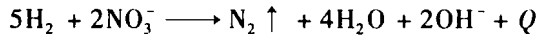
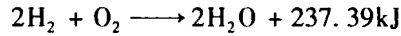


图 1-2 是五种呼吸类型细菌在半固体培养基培养后的结果。专性好氧菌生长在培养基的上部,微好氧菌生长在比专性好氧菌略偏下的部位,专性厌氧菌生长在培养基的底部,耐氧性厌氧菌分布在培养基,兼性好氧菌虽分布于整个培养基,但上部比下部多。

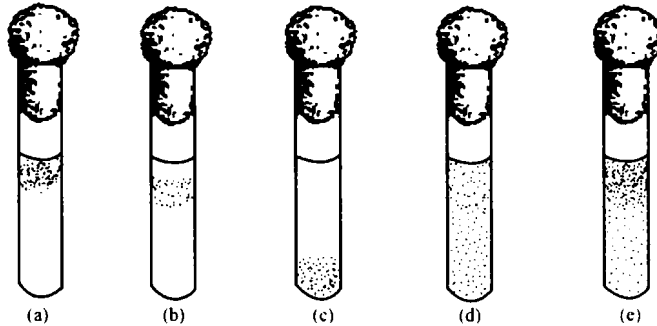


图 1-2 五种呼吸类型细菌在半固体培养基中的生长状况

(a) 专性好氧菌; (b) 微好氧菌; (c) 专性厌氧菌;
(d) 耐氧性厌氧菌; (e) 兼性好氧菌

(三) 微生物按营养类型分类

微生物与环境之间不断进行物质和能量的交换,从环境中获得营养物质以合成细胞物质,提供微生物生命活动所需能量。

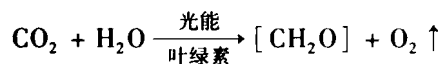
根据微生物能源需求的不同,微生物可分为光能型和化能型;根据微生物碳源需求的不同,微生物可分为自养型和异养型。所谓自养型,是指可以在完全无机的环境中生长的微生物,能把无机碳合成有机碳,碳源主要来自 CO_2 或碳酸盐。所谓异养型,是指生长不能离开有机物,碳源主要是有机物。

根据微生物对碳源和能源的不同需求,将微生物分为光能自养型、光能异养型、化能自养型、化能异养型四个营养类型。

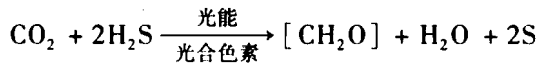
(1) 光能自养型。

光能自养型又称光能无机自养型。这类微生物以光为能源,以 CO_2 为唯一或主要碳源,能利用无机物(如水、硫化氢、硫代硫酸钠等)为供氢体,还原 CO_2 为细胞物质。此类型微生物的碳源是无机物,供氢体也一定是无机物,可以在完全无机的环境中生长。藻类、蓝细菌和光合细菌属于这一营养类型。

藻类和蓝细菌:与高等植物光合作用是一致的。

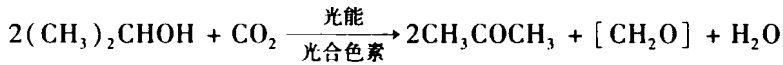


光合细菌:如紫硫细菌和绿硫细菌,进行不产 O_2 的光合作用。



(2) 光能异养型。

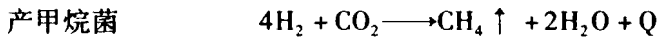
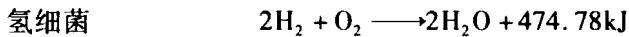
光能异养型又称光能有机异养型。这类微生物以光为能源,不能以 CO_2 作为唯一或主要碳源,以有机物作为供氢体,将 CO_2 还原为细胞物质。这种类型的微生物种类很少,红螺菌属、红假单胞菌属的细菌是这一营养类型的代表,能以异丙醇作为光合作用中的供氢体,还原 CO_2 合成细胞物质。



(3) 化能自养型。

化能自养型又称化能无机自养型这类微生物利用无机物氧化放出的化学能作为生长所需的能量,以 CO_2 或碳酸盐为唯一或主要碳源,能在完全无机的环境中生长。硫化细菌、硝化细菌、氢细菌、铁细菌及产甲烷菌等属于这一类型。

不同化能自养菌所能氧化的能源物质(无机物)是不同的。硫化细菌以还原态的硫化物(如 H_2S 、 S 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 等)为能源;硝化细菌以还原态的氮化物(如 NH_3 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 等)为能源;氢细菌以 H_2 为能源;铁细菌以 Fe^{2+} 为能源;产甲烷菌可以从氧化 H_2 产生甲烷的过程中获得能量。氢细菌、硝化细菌、产甲烷菌的相关反应关系如下:



(4) 化能异养型。

化能异养型又称化能有机异养型这类微生物生长所需的能量来自有机物氧化过程放出的化学能,其生长所需要的碳源主要是一些有机化合物,如淀粉、纤维素、有机酸、蛋白质及它们的水解产物。因此含碳有机物既是碳源也是能源。化能异养型微生物是自然环境中有机污染物最重要的净化者,并为自养型生物提供营养物。

已知的绝大多数微生物(包括大多数细菌、全部的真菌、全部放线菌和全部原生动植物)属于化能异养型。如果化能有机营养型微生物利用的是无生命的有机物,则为腐生;如果生活在活细胞内,从寄生体内获得营养物质,则为寄生。寄生和腐生之间存在着不同程度的既寄生又腐生的中间类型,称为兼性寄生或兼性腐生。

以上4种营养类型的划分不是绝对的,也存在着一些过渡类型。例如,光合细菌中的红螺菌在黑暗和有氧条件下,以有机物为能源和碳源,所以它兼有光能型和化能型的特征。又如氢细菌在完全无机环境中,通过氧化 H_2 获取能量,同化 CO_2 合成细胞物质,为化能自养型,而当环境中存在有机物时,便行化能异养生活,所以氢细菌是兼性自养菌。许多异养型微生物,也可以固定 CO_2 ,但其主要的碳源为有机物,不能以 CO_2 为唯一或主要碳源,不能在完全无机环境中生活,它们的能源为有机物。

(四) 活性污泥的培养与驯化

1. 活性污泥的培养

所谓活性污泥的培养,就是为微生物提供一定的生长繁殖条件,即营养物质、溶解氧、适宜

温度、酸碱度等,经过一段时间就会有活性污泥形成,并且数量逐渐增长,最后达到处理污水所需的浓度。

1) 菌种和培养液

(1) 菌种。

除采用纯菌种作活性污泥的菌源外,活性污泥的菌种大多取自生活污水、粪便污水、城市污水或性质相似的工业污水处理厂的二次沉淀池的剩余污泥,也可取自污水排放口处的污泥。

(2) 培养液。

培养液可取一定比例的营养物如淘米水、尿素或磷酸盐等组成。城市生活污水本身含有所需要的菌种和培养物,所以可直接用来培养污泥。

2) 培养方法

生活污水的活性污泥培养过程较为简单。可在温暖季节,向曝气池中投加一些粪便或米泔水或下水道壁刮下的污泥,闷曝气数小时后可连续进水,进水量由小到大,并开动污泥回流设备,使曝气池和二次沉淀池接通循环,经1~2d曝气后,曝气池内就会出现模糊不清的絮凝体。为了补充营养、排除对微生物有害的代谢产物,要及时换水,并不断引入污水,替换原有的部分培养液经二次沉淀后排走。换水可间歇,也可连续。约7~14d后,即可进入驯化阶段。培养时期,活性污泥浓度较低,故应控制曝气量,使之低于正常运行时的曝气量。

由于工业污水的水质原因,培养活性污泥较为困难。对含有有毒物质的工业污水,可投入一定量的经筛选的菌种,或投入从污水流过的下水道里捞来的污泥,利于以后的驯化。

2. 活性污泥的驯化

驯化则是对混合微生物群进行淘汰和诱导,淘汰不能适应环境条件和不具处理污水特性的微生物,使能分解废水的微生物得到发展,并诱导出能利用污水中有机物的酶体系,使不能适应的微生物被逐渐淘汰。

驯化时,可在进水中逐渐增加特定工业废水的比例,或提高工业废水的浓度,使微生物逐渐适应新的生活条件,逐步达到对特定废水所要求的满负荷及很高的处理效率为止。开始驯化时每次可投加10%~20%的待处理污水,获得良好的处理效果后,再逐渐增加污水的比例,直至满负荷(即驯化成熟)为止。为了缩短培养驯化时间,可将培养、驯化两阶段合并起来进行。

任务二 观察活性污泥生物相

学习内容

- (1) 正确使用普通光学显微镜;
- (2) 在普通光学显微镜下观察活性污泥中的生物相并描述;
- (3) 通过显微镜观察指示生物的种类和状态,初步判断活性污泥的运行情况;
- (4) 在显微镜下观察环境中微生物形态及特殊结构;
- (5) 环境中微生物的类型及其形态、结构特点。

工作内容

- (1) 观察活性污泥生物相;