The background of the cover is a vibrant teal color. It is filled with white line drawings of various biological forms, including what appear to be plant stems, spiky spherical structures, and other abstract organic shapes. In the bottom left corner, there is a red and white graphic element that looks like a stylized window or a logo.

环境与微生物

〔日〕都留信也 编著

中国环境科学出版社

环境与微生物

〔日〕都留信也 编著

吴 锦 刘洪岐 吴淑岱 译

中国环境科学出版社

1987

内 容 简 介

本书主要介绍微生物与自然环境之间的密切关系，比较系统而全面地论述了微生物废水处理方法及微生物在废水处理中的作用、微生物与富营养化的关系、土壤微生物的生态和有机废弃物的堆肥化处理及家畜废弃物的土壤还原。此外还介绍了病原微生物对环境的污染及其与水质污染、化学污染和农药污染的关系。

本书可供从事环境保护工作的科研、管理人员参考，亦可作为高等院校微生物和环境保护专业学生的参考书。

〔日〕都留信也 编著

环境と微生物

共立出版株式会社 1979

环境与微生物

〔日〕都留信也 编著

吴 锦 刘洪歧 吴淑岱 译

责任编辑 于亚平

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

北京市永乐印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1987年6月第一版 开本：850×1168 1/32

1987年6月第一次印刷 印张：9 3/4

印数：0001-10,000 字数：260千字

ISBN 7-80010-008-1 / X0006

统一书号：13239·0064

定价：2.25 元

译 者 的 话

在自然界的生物相中，微生物的品种之多，数量之大，远远超出任何物种；在自然界的物质循环中，它作为分解、转化者起着必不可少的作用。微生物对于人类有着有利的一面也有不利的一面。人类从远古时代起，即在食品方面利用微生物发酵制造美酒佳酿及其他珍味食品，它对于丰富人类的营养资源和增强人类体质作出了积极的贡献。

从十九世纪后半期，微生物学及其应用技术作为学科建立起来了，并得到很快的发展。尤其是在第二次世界大战以后，利用微生物生产青霉素、链霉素、维生素、谷氨酸钠、肌苷酸钠及单细胞蛋白的微生物应用工业迅速发展。现如今微生物的应用已扩大到医药卫生、合成化学化工、采冶、石油化学、粮食、能源、环境净化和废弃物资源化诸领域。随着微生物学及其应用技术的不断进展，人们对微生物的代谢能，特别是酶功能的多样化的认识日益加深，而在环境净化及废弃物资源化方面对微生物的作用也寄予更大的期望。

如前所述，微生物在自然界的运动中，因其所在、数量，尤其是代谢能之不同，起的作用也有所不同。从而在利用微生物对污染物质的降解和环境净化上，除应用技术和工程不断完善外，对有关微生物群的培养条件，也有较好的了解。只有这样才能发挥微生物有利的功能而控制其不利的方面。我国在环境净化、废水处理方面利用微生物的防治方法正在广泛地采用。但阐述与此有关的微生物生态学的书籍还很少，因此我们翻译了都留信也著的《环境与微生物》这本专著，奉献给广大读者。

由于我们翻译水平所限，本书难免有这样那样不妥和错误之处，敬请广大读者批评指正。

译 者

1987年7月

目 录

第一章 环境保护与微生物	(1)
一、废水处理与微生物	(1)
1. 废水处理.....	(1)
2. 活性污泥法.....	(4)
3. 生物膜法.....	(24)
4. 氧化塘法.....	(43)
5. 厌气性硝化(降解)法.....	(46)
6. 利用选定的微生物处理法.....	(54)
7. 除氮和除磷.....	(58)
二、微型动物在废水处理中的作用	(63)
1. 微型动物的繁殖.....	(64)
2. 微型动物的营养.....	(70)
3. 用生物处理的处理水水质和微型动物的关系.....	(78)
三、水域的富营养化	(82)
1. 富营养化.....	(82)
2. 湖泊.....	(103)
3. 内海、海湾.....	(127)
4. 河川.....	(133)
参考文献.....	(137)
第二章 土壤环境与微生物	(140)
一、普通土壤微生物的生态	(140)
1. 土壤中栖息的微生物.....	(141)
2. 分解有机物的微生物.....	(146)
3. 分解落枝,使树木腐败的微生物.....	(147)
二、有机废弃物的堆肥化处理	(149)
1. 家畜粪尿的堆肥化.....	(149)
2. 城市垃圾的堆肥化.....	(152)

3. 堆积发酵处理的概述	(155)
4. 堆肥化和微生物	(157)
三、家畜废弃物的土壤还原	(161)
1. 施用家畜粪便的水田土壤微生物区系	(161)
2. 施用家畜粪便的菜田土壤微生物区系	(162)
3. 土壤细菌区系的活动	(173)
四、农耕生态系中的有机物资源	(179)
1. 剩余污泥的分解	(179)
2. 高分子絮凝剂的分解	(182)
3. 难分解有机物的反应	(184)
五、土壤环境与农药残留及分解	(190)
1. 除草剂及其分解物	(190)
2. 农药的分解和微生物	(197)
3. 由于施撒农药而引起的微生物区系的变化	(201)
参考文献	(211)
第三章 环境评价与微生物	(212)
一、病原微生物造成的环境污染问题	(212)
1. 大肠菌群	(212)
2. 其它的粪便污染指标	(217)
3. 病原菌及食物中毒菌	(220)
4. 寄生虫等	(227)
5. 与环境污染有关的病毒	(234)
6. 空气中微生物的问题	(236)
二、富营养化及其周围环境	(237)
1. 富营养化与水质污染	(238)
2. 富营养化及污染指示微生物	(243)
3. 生产力和微生物	(257)
三、化学污染与微生物	(263)
1. 生物测定	(263)
2. 大气污染和微生物	(270)
参考文献	(278)
汉拉生物学名索引	(280)

第一章 环境保护与微生物

一、废水处理与微生物

1. 废水处理

(1) 生物处理的目标

废水处理就是把废水中悬浮和溶解的物质除去的操作。未经处理的废水排入河流、湖泊和海洋时，由于有机物的分解和腐败，引起溶解氧减少、水生生物死亡、污泥堆积和藻类的异常繁殖，而造成污染水质。为了达到防止水质污染法所规定的水质排放标准就得对各种废水进行处理。通常因被除掉的污染物质的性状不同，采用的废水处理方法也不同，大致可分为物理化学处理和生物处理。物理化学的处理过程有沉淀、吸附、离子交换、中和、凝聚、上浮和反渗透等方法。主要用于除掉废水中的悬浮物和无机物。表1-1所示的生物处理分为好气性处理、厌气性处理、特殊生物处理及营养盐类处理等。”它们都是利用微生物的代谢反应的处理方法，主要用于除去废水中的有机物。然而，单独采用生物处理的情况较少，多半是根据废水的性质、状态与沉淀等物理化学处理配合起来应用。本书只说明生物处理。好气性处理，尤其是活性污泥法由于处理效率高，所以最为普及，这种设施日本全国到处都有。由于活性污泥法难于维修管理，所以最近发展了以生物膜法为中心的各种新处理法。

表 1-1 废水的生物处理

生物处理	—好气性处理	—活性污泥法：高速法、标准法、长时间法、纯氧法等
		—生物膜法：撒水滤床法、浸渍滤床法、回转圆盘法等
		—稳定化塘法；氧化塘法等
	—厌气性处理	—厌气性降解法：中温降解法、高温降解法
—厌气性贮留池法		
	—利用特殊微生物的处理法：光合成细菌、酵母、小球藻等	
	—营养盐类的处理法：生物脱氮、生物脱磷。	

生物处理的基本目标在于：①降低以BOD、COD等所表示的有机物浓度，以得到洁净的水；②尽可能减少产生的污泥量；③尽可能除掉氮、磷等营养盐类。最近还有一个重要目标是：在处理过程中产生的微生物体（污泥）怎样便于利用的问题。为了达到这些目标，生物处理也同物理化学处理一样，要求：①反应时间短（反应速度快）；②消耗的能量和药品少；③易于维修管理等。条件是：①处理设施要占地少，反应槽的容积小；②节省资源和能源；③减轻体力劳动。可是，要想同时满足所有这些条件几乎是不可能的。例如，为了缩短时间进行曝气等所要的动力费就高，在多数情况下要求较复杂的管理技术。在生物处理中，虽然反应速度很重要，可是如果用地等不受到格外限制时，最好不把反应速度作为限制因素。在日本，除温排水外，冬季和夏季的反应槽温度一般往往相差20℃，所以在生物处理中，温度对反应速度的影响很明显。因此应该采取充分保持反应时间的处理方法。

除了利用特定微生物的处理外，普通的生物处理同应用微生物工业不同，不是使用纯粹培养的微生物，而是对自然生长的微生物加以繁殖利用。因此，不论哪一种处理法都是采用几十种以上的微生物混合培养。在好气性处理中，有很多的细菌、真菌、原生动物、藻类、袋形动物和节肢动物等参与净化。

（2）生物处理的原理

生物处理是把河川中有机废水的自净过程的某一部分搬到反

应槽中由人工高效率地处理的过程。由于活性污泥及撒水滤床的生物膜本身是自然界的系统，所以可以把它们看作一个生态系。关于好气性处理与厌气性处理的代谢比较，如图1-1所示。经好气性处理得到的产物有： CO_2 和水、含氮化合物的氨以及硝酸盐。在厌气性处理中，从有机物产生的有机酸、醇类等最后分解成 CO_2 、 H_2 、 SH_2 、 N_2 及甲烷等。在好气性代谢过程中，有机物被结合成为微生物体的比率高，而在厌气性代谢中则低。

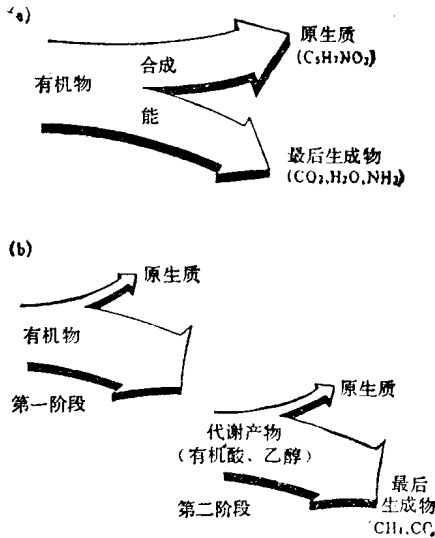
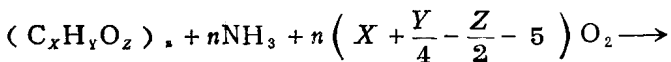
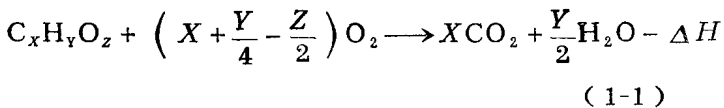
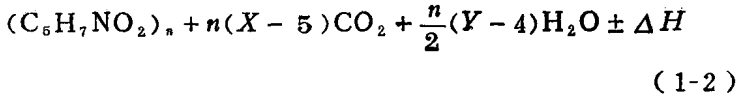


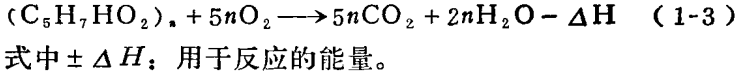
图 1-1 微生物的好气代谢 (a) 和厌气性代谢 (b)

好气性微生物在有氧存在下，如下式所示，利用酶把废水中的有机物氧化分解，获得能量（呼吸），利用这个能源的一部分合成新的原生质。





另外，微生物本身同时还进行部分氧化，其氧化分解如下式所示。



活性污泥及生物膜的物质收支平衡的模式如图1-2所示。表示流入水中的BOD，除部分流入处理水中外，大部分以微生物体形态除去。未被内呼吸氧化的细胞物质被剩下或脱落变成污泥。

2. 活性污泥法

(1) 处理过程

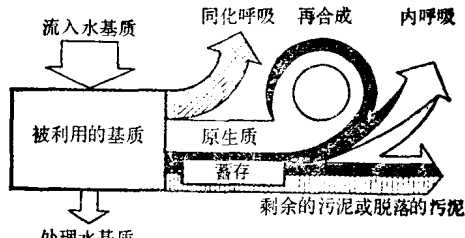


图 1-2 好气性处理中的物质平衡计算

城市污水一般是利用活性污泥法与几个处理操作组合起来的处理系统进行处理。现以城市污水为例，说明活性污泥法的处理过程。原来的污水处理是分为一级处理和二级处理进行的，而现在则在二级处理后也有进行三级处理的。一级处理是除掉砂石、垃圾和沉淀物所构成的悬浮物。图1-3表示大规模的污水处理场所采用的处理过程。在这里，由筛子到最初沉淀池是一级处理。

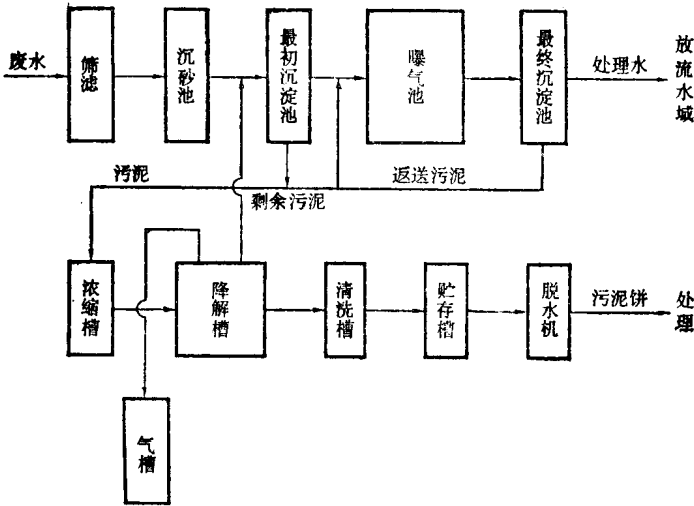


图 1-3 城市污水的处理过程

二级处理，指的是在沉淀以后进行的生物处理，是由曝气槽到最终沉淀池为止的过程。一级处理是以除去悬浮性污染源为对象，而二级处理则是利用好气性微生物除掉有机物。在曝气槽中，把沉淀的污水与返送污泥（活性污泥）相混合，进行 3—8 h 的通风，污水中的有机物成为活性污泥微生物的营养源而被除去。对于标准活性污泥法，规定返送污泥量为废水量的 25% 左右。在最终沉淀池进行活性污泥与处理水的固液分离。在最终沉淀池的停留时间一般为 2—3 h，把沉淀的污泥收集到污泥刮落槽内，大部分返送回曝气槽，部分剩下的污泥（剩余污泥）则与沉淀污泥（最初沉淀池中的污泥）一起送到污泥处理设施。在污泥浓缩槽内，把这些污泥浓缩至含水分 95% 左右，再投进污泥降解槽内。然后在 37℃ 的条件下，经 20d 厌气性微生物分解作用，除去污泥中的可被分解物。

在一级处理中，BOD 约除去 30—40%，SS（悬浮物质）约除去 50—60%。用活性污泥法约有 85—95% 的 BOD，90—95%

的SS被除去。最好的处理水，有时可达BOD₅mg/l, SS1mg/l左右。活性污泥法处理的水质例子如表1-2所示。

表 1-2 活性污泥法的处理效果（东京都砂町污水处理场）

	未处理污水	沉淀池入水	沉淀污水	处理水
水 温(°C)	26.0	26.0	25.7	26.2
透 明 度(cm)	9.5	1.5	3.5	62
pH	7.3	7.1	7.2	7.2
蒸发残留物(mg/l)	1226	175	1298	1124
灼烧残留物(mg/l)	912	756	442	556
灼烧减量(mg/l)	314	1002	856	568
溶解性物质(mg/l)	1186	1330	1122	1120
悬 浮 物(mg/l)	40	4 8	176	4
溶 解 氧(mg/l)	1.60	0	0	7.80
BOD(mg/l)	91	280	125	6.4
COD(mg/l)	81	260	115	15
总 氮	10.27	48.14	16.29	15.42
氨 氮(mg/l)	5.50	9.40	8.80	8.60
硬 胺 氮(mg/l)	2.90	7.70	4.30	1.20
亚硝酸氮(mg/l)	0	0	0	3.68
硝 酸 氮(mg/l)	0.57	0.64	0.49	1.14
有 机 氮(mg/l)	4.20	38.10	7.00	2.00
氯 离 子(mg/l)	440	440	450	430
碘消耗量(mg/l)	53.3	139.0	114.0	7.6
正己烷萃取物(mg/l)	0.2	26.6	8.4	2.2
阴离子表面活性剂(mg/l)	2.9	5.0	3.6	2.6
总 磷(mg/l)	3.8	8.4	4.1	2.3
普通细菌(ml ⁻¹)	3.2 × 10 ⁶	7.0 × 10 ⁶	3.3 × 10 ⁶	3.0 × 10 ⁴
大 肠 菌(ml ⁻¹)	6.9 × 10 ⁴	2.6 × 10 ⁵	2.1 × 10 ⁵	2.0 × 10 ³

工业废水的处理过程，是由调节槽（贮存槽）直接导入曝气槽的。另外，由于对产生的活性污泥进行厌气性降解的经济负担较大，所以一般多把降解过程省去，直接进行脱水。

BOD的容量负荷：0.53kg/(kgMLSS · d)

BOD的污泥负荷：0.16kg/(kgMLSS · d)

(2) 活性污泥法的操作条件

①BOD负荷 在活性污泥法中，活性污泥量与污水中有机物量之比很重要。由于活污泥中含各种非活性物质，所以无法严格地测定微生物数量，微生物浓度一般用MLSS（活性污泥的悬浮物）表示，有机物浓度用BOD表示。BOD负荷是表示微生物的食物比，有二种表示方法。

i)容量负荷：每 1m^3 的曝气槽1 d流入的BOD用kg表示时，单位为 $\text{kgBOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

ii)污泥负荷：每1kg的MLSS 1 d内流入的BOD用kg表示时，单位为 $\text{kgBOD}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。

容量负荷与污泥负荷之间有如下的关系。

容量负荷 $[\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})] = \text{污泥负荷} [\text{kg}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})] \times \text{MLSS} (\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

通常当BOD负荷增大时，则未分解的有机物就残存下来，致使BOD的除去率下降。一般，当BOD负荷在 $0.5\text{kg}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 以下时，BOD的除去率可达到90%以上。

②污泥容量指标 采用活性污泥法时，处理水和污泥的分离过程是很重要的，污泥沉降性的指标一般用污泥容量指标(SVI)来表示。即将活性污泥混合液静置30min(污泥容量用%表示)，使其沉降时，1g活性污泥所占的体积毫升数。SVI在管理MLSS浓度方面是个重要的指标。人为地控制SVI很困难，SVI值最好在50—150范围。活性污泥如果发生膨胀时，SVI可达200以上。

③污泥的繁殖 被除去的BOD中，当以某一时间内被污泥交换的比例为 a 时，则污泥增加量 ΔS 可用如下的关系式表示。

$$\Delta S = a \cdot Lr - b \cdot S + fSi \quad (1-4)$$

Lr : 除去的BOD量 (kgBOD/d)

b : 污泥的内呼吸速度常数 (d^{-1})

S : 活性污泥量 (MLSS) (kg)

f : 流入水中SS对分解的抵抗率

S_i : 流入水的SS (kg/d)

a 和 b 的值, 因污水的种类和污泥的形状而异, 一般 a 多为0.5—0.6, b 多为0.05—0.1d⁻¹。

④其它 曝气槽中的溶氧浓度, 污水中氮及磷等营养盐类的浓度、温度、pH等与好气性微生物的繁殖有密切的关系, 所以都是重要的操作条件。

关于流入水中的BOD与氮和磷的平衡问题有很多报道, 通常BOD:N:P的比以100:5:1较为适当。若流入的污水中, 缺乏氮和磷时, 为了得到最佳处理率, 需要分别地以尿素补充氮, 而以磷酸补充磷。活性污泥处理的最适温度为20—30℃; 当温度低于10℃或高于35℃时, 处理水的情况恶化。活性污泥活性以pH6.0—8.0范围为最高。

(3) 活性污泥中的微生物

污水中含有溶解性有机物, 细菌及真菌类等都能直接接种, 然而微型动物就不能把这些有机物当作营养源来利用。因此, 对污水净化来说, 细菌等腐生动物性营养的微生物扮演主要的角色, 但实际上, 如果没有原生动物、袋形动物等完全动物性营养微生物的共存, 污水就不能完全净化。活性污泥是300—1000 μ m的无定形絮凝物, 以细菌为主凝聚。絮凝物的周围附着有微型动物。如将曝气槽的混合液静置时, 一般经5—10min就能得到上清液与分离得很好的活性污泥, 那么用30min沉降时间, 上清液就能透明。

曝气槽虽然同湖泊一样, 完全是水中环境, 可是由于通风的不断搅拌, 所以对大型动物的生存极为不利。因此出现在活性污泥中的微生物大小一般在1mm左右。活性污泥中出现的主要微生物虽然是细菌和原生动物, 可是根据活性污泥种类的不同, 有时也出现真菌类和微型后生动物。图1-4表示活性污泥与生物膜的食物链。活性污泥的食物链较生物膜是相当单纯的²⁾。

①细菌 直接摄取污水中可溶性有机物的主要是细菌。构成

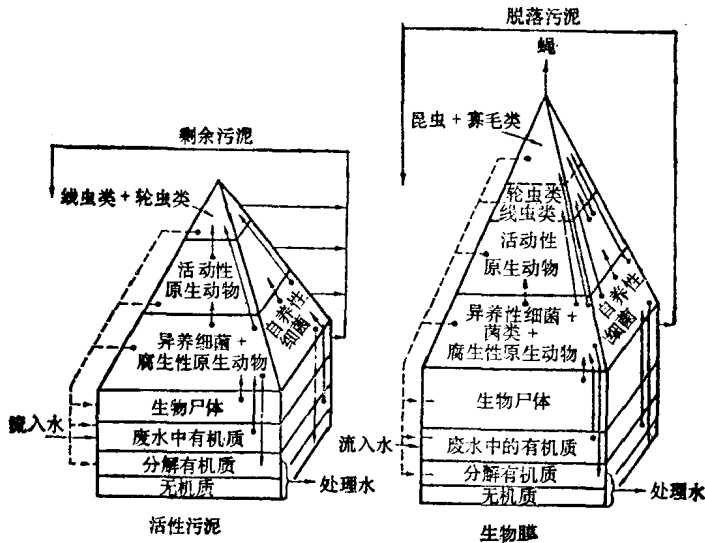


图 1-4 活性污泥与生物膜的食物链比较 (Hawkes, 1960)

活性污泥的细菌中，用显微镜经常能确认的微生物，是以形成絮凝物细菌而知名的生枝状动胶菌 (*Zoogloea ramigera*)，形成丝状体的漂游球衣菌 (*Sphaerotilus natans*)。动胶菌属 (*Zoogloea*) 作为活性污泥絮凝物的主体而受到重视，菌体被胶状物质包围着，形成手指状、树状或云状而繁殖。在实际的活性污泥中出现的动胶菌属典型絮凝物的数量并不太多。现在一般认为由许多种类的细菌构成絮凝物。球衣菌属 (*Sphaerotilus*) 形成一种杆菌排列在透明鞘中的丝状体，丝状体往往有假的分叉。如果球衣菌属发生异常繁殖时，就会引起活性污泥的膨胀，使最终沉淀池的液固分离很难进行。除此之外，还出现很多种类的细菌，根据培养实验的结果，发现多属于无色杆菌属 (*Achromobacter*)、产碱杆菌属 (*Alcaligenes*)、芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、黄色杆菌属 (*Flavobacterium*) 及假单胞菌属 (*Pseudomonas*) 等。将其结果示于表 1-3^{3, 4)}。另外，出现于活性污泥中的活菌数，在普通的城市污水活性污泥中如表 1-4 所示，每

表 1-3 活性污泥中的细菌相

属名	麦克肯尼等 (McKinney)	贾 燕 兹 等 (Jasowicz)		罗果夫斯卡娃等 (Rogovskaya)	狄亚斯等 (Dias)	吉尔斯等 (Gils)
		普通污泥	内呼吸的污泥			
无色杆菌属 <i>Achromobacter</i>	P	P	-	-	P	P
嗜气杆菌属 <i>Aerobacter</i>	P	-	-	-	P	-
产碱菌属 <i>Alcaligenes</i>	P	D	-	-	P	D
丛孢杆菌属 <i>Arthrobacter</i>	-	-	-	-	-	P
芽孢杆菌属 <i>Bacillus</i>	P	P	D	P	P	-
棒状杆菌属 <i>Corynebacterium</i>	-	-	P	-	P	-
弧单孢菌属 <i>Commamonas</i>	-	-	-	-	D	-
黄色杆菌属 <i>Flavobacterium</i>	P	D	P	-	P	D
鸡冠草孢菌属 <i>Lophomonas</i>	-	-	-	-	-	D
微球菌属 <i>Micrococcus</i>	P	P	P	P	P	-
诺卡菌属 <i>Nocardia</i>	P	-	-	-	-	-
假单胞菌属 <i>Pseudomonas</i>	D	P	P	D	P	-
八叠球菌属 <i>Sarcina</i>	-	-	-	P	-	-
螺旋菌属 <i>Spirillum</i>	-	-	-	-	P	-
动胶菌属 <i>Zoogloea</i>	P	-	-	-	D	-
通性厌气性杆菌	-	-	-	-	-	P

D: 优势种, P: 出现种 (Pipes, 1966; Gils, 1964)

MLSS 1 mg中约为 2.0×10^7 — 1.6×10^8 (1 ml活性污泥混合液中为 10^7 — 10^8)。本表的结果是用活性污泥抽出培养基, 借助均化器进行分散过的试样, 对其活菌体计数 (20℃, 培养10d) 的结果。活菌数因试样的前处理与培养基的选择不同而异, 所以活性污泥的活菌体的准确数还不太清楚。

表 1-4 活性污泥中的活菌数

试验序号	MLSS (mg/l)	活菌数 (ml^{-1})	1mg MLSS中的活菌数
1	1560	9.2×10^7	5.9×10^7
2	1830	1.4×10^8	7.7×10^7
3	1470	8.6×10^7	5.9×10^7
4	1900	2.6×10^8	1.4×10^8
5	1100	1.7×10^8	1.6×10^8
6	920	2.2×10^7	2.0×10^7
7	960	3.8×10^7	3.6×10^7
8	780	4.5×10^7	5.7×10^7
9	1190	7.4×10^7	6.2×10^7
10	1100	1.7×10^8	1.5×10^8

②原生动物 如前所述, 原生动物和细菌同样也是废水净化的主要角色, 并且也是表示处理厂管理好与坏的指示生物。活性污泥中虽然有各种原生动物, 可是不论在质或量方面, 占优势的还是纤毛虫类。出现于活性污泥中的原生动物, 据报道约有80种左右。

表1-5表示在排放极为良好的处理水的活性污泥中出现的微型动物相的一例。表1-5所示的生物个体数是 1 ml活性污泥混合液中的个体数。但有时也有用30min沉淀活性污泥或 1 mgMLSS 中的个体数来表示的。从表1-5中可以明显地看出活性污泥中的原生动物, 占优势的是钟虫属 (*Vorticella*)、累枝虫属 (*Epistylis*)、盖虫属 (*Opercularia*)、楯纤虫属 (*Aspidisca*) 等。活性污泥中的原生动物总个体数, 在 1 ml活性污泥混合液中约为 5000—20000个左右。出现于活性污泥中的原生动物因处理废水的性质和处理设施操作条件不同而大不相同, 如果对出现的少数