

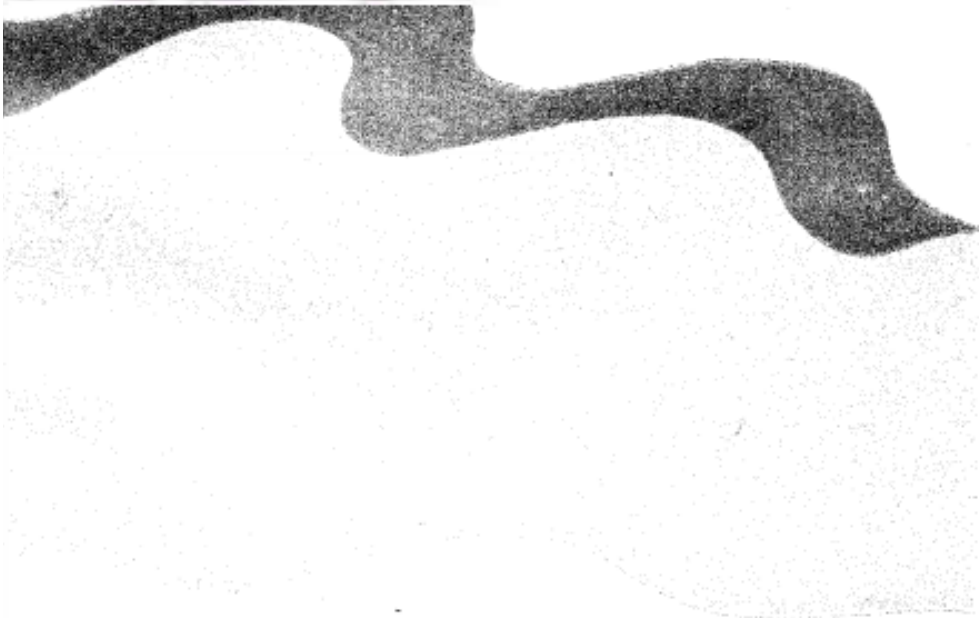
废水厌氧生物处理工程

张希衡 等编著

# 物处理工程

张希衡 等编著

中国环境科学出版社



中国环境科学出版社



数据加载失败，请稍后重试！

# 废水厌氧生物处理工程

张 希 衡 等编著

中国环境科学出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

废水厌氧生物处理工程/张希衡等编著. —北京:中国环境科学出版社,1996.9

ISBN 7-80135-113-4

I. 废… II. 张… III. 废水处理:厌氧处理:生物处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 17053 号

**废水厌氧生物处理工程**

张希衡 等编者

责任编辑 杨吉林

\*

中国环境科学出版社出版发行

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

北京市永乐印刷厂印刷

新华书店总科技发行所发行 各地新华书店经售

\*

1996 年 12 月 第 一 版 开本 850×1168 1/32

1996 年 12 月 第一次印刷 印张 13 3/8

印数 1—3000 字数 340 千字

ISBN 7-80135-113-4/X · 1080

**定价:18.00 元**

## 前 言

厌氧生物处理技术发展至今日,已形成了三个重要的分支,即厌氧消化、生物脱氮和厌氧水解酸化。厌氧消化是以废水中构成BOD的有机污染物为基质,进行沼气发酵,将其最终转化成以甲烷和二氧化碳为主要成分的生物气(沼气),借以降低废水的BOD值,同时取得气体燃料。这一技术已发展了90余年,在微生物学、生物化学和工程学方面都进行了比较深入的研究,并在工程实践中积累了比较丰富的经验。目前已成为重要的废水生物处理技术,广泛应用于实际工程中。生物脱氮技术由硝化和反硝化组成,即将废水中的氨态氮先氧化成硝酸盐或亚硝酸盐(硝化),然后在厌氧条件下将其进一步转化为氮气(反硝化),逸入大气。这项技术由于氮素的污染而日益引起人们的重视。在30多年的发展过程中,已就微生物学、生物化学和工程学方面的问题,进行了一定深度和广度的研究和探讨,但实际应用尚需进一步开拓。厌氧水解酸化实际上是不完全的厌氧消化,即控制环境条件,只完成复杂有机物的水解和酸发酵。其目的仅在于对废水中的复杂有机物进行“粗加工”,以使后续的好氧生物处理能更顺利地进行。这项技术在实践中已取得了良好的效果,引起了人们的重视。鉴于这三项厌氧生物处理技术的重要性,我们在阅读大量技术资料的基础上,结合多年来的教学心得、科研成果和工程实践经验,编写了这本以阐明基本原理和基本方法为主要内容的著作,供读者参考使用。

参加本书编写的有张希衡(第一、二、三、四、五、七、十三章)、王宝泉(第六、八、九、十章)、刘新荣(第十一、十二章)、彭党聪(第十四、十五章),全书由张希衡任主编。卞如林同志为第五、六、七、八、九、十章提供了众多宝贵技术资料,作出了重要贡献,在此表示衷心的感谢。

热忱欢迎读者对本书不足之处提出批评指正。

编者 1995.8

• 1 •

## 内 容 简 介

本书包括废水厌氧生物处理技术的三个主要分支：厌氧消化、生物脱氮、厌氧水解酸化。在厌氧消化技术中，重点介绍了沼气发酵微生物学、有机污染物的厌氧生物转化以及普通厌氧消化池和上流式厌氧污泥床反应器；对其它厌氧消化工艺和抑制机制则作了适当的介绍。在生物脱氮技术中，重点介绍了硝化和反硝化的基本原理和方法，相应地介绍了联合系统。在厌氧水解酸化技术中，重点介绍了其工作原理和工艺方法。全书条理清晰，概念准确，资料丰富，文字通畅。

本书可供从事环境工程和给水排水工程的科技人员和高等院校师生使用。

# 目 录

## 第一篇 厌氧消化技术

<b>第一章 厌氧消化微生物学</b> .....	( 1 )
第一节 概述 .....	( 1 )
第二节 发酵细菌群 .....	( 7 )
一 发酵细菌的种类 .....	( 7 )
二 发酵细菌的功能 .....	( 7 )
三 发酵细菌与生态环境 .....	( 7 )
四 发酵细菌的生化反应 .....	( 9 )
第三节 产氢产乙酸细菌群 .....	( 10 )
一 产氢产乙酸细菌的发现及其意义 .....	( 10 )
二 产氢产乙酸反应的调控 .....	( 11 )
三 基质组成对产氢产乙酸过程的调控 .....	( 13 )
第四节 同型产乙酸细菌 .....	( 14 )
第五节 甲烷细菌群 .....	( 15 )
一 甲烷细菌的分类和形态 .....	( 16 )
二 甲烷细菌的生理特性 .....	( 21 )
第六节 细菌种群之间的关系 .....	( 33 )
<b>第二章 有机污染物的厌氧生物转化</b> .....	( 35 )
第一节 基本原理 .....	( 35 )
一 有机污染物及其污染指标 .....	( 35 )
二 有机污染物的可生化性 .....	( 36 )
三 有机污染物的生物转化机制 .....	( 37 )
四 好氧和厌氧生物转化 .....	( 39 )
五 酶和酶促反应动力学 .....	( 42 )

第二节	基本营养型有机物的厌氧生物降解 .....	(61)
一	概述 .....	(61)
二	碳水化合物的厌氧生物降解 .....	(62)
三	油脂的厌氧生物降解 .....	(70)
四	蛋白质的厌氧生物降解 .....	(73)
五	尿素及尿酸的生物降解 .....	(75)
第三节	非基本营养型有机物的厌氧生物降解 .....	(76)
第四节	有机物生物转化后的环境效应 .....	(77)
一	最终代谢产物的环境效应 .....	(78)
二	中间代谢产物的影响 .....	(82)
<b>第三章</b>	<b>厌氧消化工艺的方法与系统 .....</b>	<b>(83)</b>
第一节	厌氧消化工艺发展概况 .....	(83)
第二节	厌氧消化工艺方法的分类 .....	(87)
一	以厌氧微生物存在状态为依据的分类法 .....	(87)
二	以废水中悬浮固体浓度为依据的分类法 .....	(91)
第三节	厌氧消化工艺系统 .....	(96)
<b>第四章</b>	<b>厌氧消化控制条件及反应动力学 .....</b>	<b>(98)</b>
第一节	概述 .....	(98)
第二节	氧化还原电位 .....	(99)
一	厌氧环境 .....	(99)
二	氧化还原电位的计算和测定 .....	(101)
三	氧化还原电位的控制 .....	(103)
第三节	温度 .....	(103)
一	温度对厌氧消化过程的影响 .....	(104)
二	温度突变对厌氧消化的影响 .....	(109)
三	消化温度的选择与控制 .....	(112)
第四节	pH 值及酸碱度 .....	(113)
一	厌氧消化微生物适应的 pH 值范围 .....	(113)
二	厌氧消化液的实际 pH 值及其控制 .....	(114)
三	pH 值的控制 .....	(117)
四	酸度和碱度 .....	(119)
第五节	厌氧活性污泥 .....	(120)



一	厌氧微生物的存在形式 .....	(120)
二	厌氧活性污泥的浓度 .....	(120)
三	厌氧活性污泥的性状 .....	(122)
<b>第六节</b>	<b>废水成分 .....</b>	<b>(123)</b>
一	废水的可生化性 .....	(123)
二	营养配比 .....	(124)
三	水质水量的均匀性 .....	(126)
四	抑制剂 .....	(127)
五	促进剂 .....	(127)
<b>第七节</b>	<b>负荷率与发酵状态 .....</b>	<b>(129)</b>
一	负荷率 .....	(129)
二	发酵状态 .....	(131)
<b>第八节</b>	<b>接触 .....</b>	<b>(132)</b>
一	搅拌接触 .....	(133)
二	流动接触 .....	(133)
三	气泡搅动接触 .....	(134)
<b>第九节</b>	<b>厌氧消化反应动力学 .....</b>	<b>(134)</b>
一	基质降解和微生物增长表达式 .....	(135)
二	动力学基本方程 .....	(139)
三	连续式完全混合反应器 .....	(141)
四	间歇式完全混合反应器 .....	(144)
五	带有泥水分离设备的完全混合反应器 .....	(145)
六	上流式厌氧污泥床反应器 .....	(148)
七	厌氧滤池 .....	(150)
<b>第五章</b>	<b>普通厌氧消化池 .....</b>	<b>(153)</b>
<b>第一节</b>	<b>概述 .....</b>	<b>(153)</b>
<b>第二节</b>	<b>工作原理 .....</b>	<b>(155)</b>
一	工况分析 .....	(155)
二	污泥分层现象及污泥活性 .....	(157)
<b>第三节</b>	<b>种类与系统 .....</b>	<b>(164)</b>
一	种类 .....	(164)
二	系统 .....	(171)

<b>第四节</b>	<b>池体构造和容量计算</b> .....	(172)
一	池体构造 .....	(172)
二	容量计算 .....	(173)
<b>第五节</b>	<b>加热系统及其计算</b> .....	(178)
一	热量计算 .....	(178)
二	加热方式 .....	(181)
三	热源 .....	(184)
四	消化池的保温 .....	(185)
<b>第六节</b>	<b>搅拌方法及设备计算</b> .....	(185)
一	搅拌方法 .....	(185)
二	设备计算 .....	(188)
<b>第七节</b>	<b>配管与附属设备</b> .....	(193)
一	配管 .....	(193)
二	附属设备 .....	(195)
<b>第八节</b>	<b>应用实例</b> .....	(196)
<b>第六章</b>	<b>厌氧接触工艺</b> .....	(201)
<b>第一节</b>	<b>基本原理与工艺流程</b> .....	(201)
一	基本原理与工艺流程 .....	(201)
二	厌氧接触工艺的特点 .....	(203)
<b>第二节</b>	<b>厌氧接触工艺设计</b> .....	(203)
一	厌氧接触工艺设计 .....	(203)
二	厌氧接触工艺存在的问题及其对策 .....	(204)
<b>第三节</b>	<b>厌氧接触工艺的研究与应用</b> .....	(205)
<b>第七章</b>	<b>上流式厌氧污泥床反应器</b> .....	(209)
<b>第一节</b>	<b>概述</b> .....	(209)
<b>第二节</b>	<b>反应区工况</b> .....	(210)
一	UASB 反应器功能构造 .....	(210)
二	反应区污泥固体分布规律 .....	(211)
三	颗粒污泥的形成及污泥的高浓度和高活性 .....	(216)
<b>第三节</b>	<b>布水区工况</b> .....	(225)
<b>第四节</b>	<b>分离出流区工况</b> .....	(227)

第五节	设计计算	(232)
一	反应区设计计算	(232)
二	布水区设计计算	(236)
三	分离出流区设计计算	(236)
第六节	应用实例	(240)
<b>第八章</b>	<b>厌氧生物滤池和生物转盘</b>	(244)
第一节	厌氧生物膜法概述	(244)
一	厌氧生物膜的形成及其作用	(244)
二	厌氧生物膜法的特点	(246)
三	厌氧生物膜法的种类	(246)
第二节	厌氧生物滤池	(247)
一	工作原理与构造	(247)
二	厌氧生物滤池中的微生物	(249)
三	厌氧生物滤池的特点	(251)
四	厌氧生物滤池的主要影响因素	(251)
五	厌氧生物滤池的工艺设计	(255)
六	厌氧生物滤池的研究与应用	(257)
第三节	厌氧生物转盘	(259)
一	工作原理与构造	(260)
二	影响厌氧生物转盘的因素	(261)
三	厌氧生物转盘的研究及应用前景	(264)
<b>第九章</b>	<b>厌氧附着膜膨胀床和厌氧流化床</b>	(266)
第一节	基本原理	(266)
一	固体流态化的基本原理	(266)
二	AAFEB的工作原理及特性	(269)
三	生物颗粒的生物特性	(270)
四	影响因素	(271)
第二节	研究与应用情况	(276)
一	AAFEB的研究与应用情况	(276)
二	AFB的研究与应用情况	(278)
<b>第十章</b>	<b>两相厌氧消化系统</b>	(281)
第一节	基本原理	(281)

一	两相厌氧消化原理 .....	(281)
二	相分离 .....	(282)
三	两相厌氧消化工艺的特点 .....	(284)
第二节	研究与应用情况 .....	(284)
<b>第十一章</b>	<b>沼气的应用</b> .....	<b>(287)</b>
第一节	沼气的组成与性质 .....	(287)
一	沼气的组成 .....	(287)
二	沼气的性质 .....	(289)
第二节	沼气的产生量 .....	(290)
第三节	沼气系统 .....	(291)
第四节	沼气的综合利用 .....	(295)
<b>第十二章</b>	<b>厌氧消化系统的运行与控制</b> .....	<b>(297)</b>
第一节	起动 .....	(297)
一	厌氧活性污泥的来源 .....	(297)
二	培养 .....	(299)
三	驯化 .....	(300)
第二节	运行 .....	(301)
第三节	监测 .....	(302)
一	项目设置 .....	(302)
二	试样的采集和保存 .....	(308)
<b>第十三章</b>	<b>化学物质对厌氧消化的影响</b> .....	<b>(309)</b>
第一节	概述 .....	(309)
一	综合生物活性 .....	(309)
二	化学物质对综合生物活性的影响 .....	(309)
三	抑制类别 .....	(311)
第二节	有机抑制剂 .....	(313)
第三节	无机抑制剂 .....	(318)

## 第二篇 生物脱氮和厌氧水解酸化

<b>第十四章</b>	<b>硝化—反硝化生物脱氮系统</b> .....	<b>(322)</b>
-------------	---------------------------	--------------

第一节	概述 .....	(322)
第二节	硝化 .....	(323)
一	微生物学与生物化学 .....	(323)
二	硝化过程动力学 .....	(325)
三	影响硝化过程的主要因素 .....	(328)
四	活性污泥法生物硝化系统 .....	(331)
五	生物膜法生物硝化系统 .....	(342)
第三节	反硝化 .....	(350)
一	概述 .....	(351)
二	微生物学与生物化学 .....	(351)
三	反硝化过程动力学 .....	(354)
四	重要的环境因素 .....	(356)
五	生物反硝化系统 .....	(359)
第四节	硝化—反硝化生物脱氮系统 .....	(367)
一	概述 .....	(367)
二	三相生物脱氮系统 .....	(367)
三	两相生物脱氮系统 .....	(369)
四	单相活性污泥法生物脱氮系统 .....	(370)
第十五章	水解(酸化)—好氧生物处理系统 .....	(379)
第一节	概述 .....	(379)
第二节	水解过程及其特点 .....	(380)
一	水解(酸化)的概念 .....	(380)
二	水解(酸化)与厌氧消化的区别 .....	(381)
三	影响水解(酸化)过程的主要因素 .....	(383)
四	水解(酸化)过程判断指标 .....	(386)
五	维持水解(酸化)的条件 .....	(388)
六	某些难降解物质的水解 .....	(390)
第三节	水解(酸化)过程动力学 .....	(393)
一	水解池内物料平衡关系 .....	(393)
二	水解过程动力学 .....	(394)
三	动力学模式的应用 .....	(396)
第四节	水解(酸化)反应器设计 .....	(399)

一 水解(酸化)反应器形式和性能 .....	(399)
二 水解池池容 .....	(400)
三 剩余污泥量 .....	(401)
四 水解池构造及附属部分设计 .....	(402)
第五节 后续好氧生物处理 .....	(403)
第六节 水解(酸化)—好氧生物处理工艺应用 .....	(403)
一 城市污水处理 .....	(403)
二 纺织印染废水处理 .....	(404)
三 造纸废水中段水处理 .....	(405)
<b>参考文献</b> .....	(406)

# 第一篇 厌氧消化技术

## 第一章 厌氧消化微生物学

### 第一节 概 述

厌氧消化(或称厌氧发酵)是一种普遍存在于自然界的微生物过程。凡是有水和有机物存在的地方,只要供氧条件不好或有机物含量多,都会发生厌氧消化现象,使有机物经厌氧分解而产生 $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  等气体。最常发生厌氧消化过程的地方有:(1)沼泽淤泥;(2)海底、湖底和江湾的沉积物;(3)污泥和粪坑;(4)牛及其它一些反刍动物的瘤胃;(5)废水及污泥的厌氧处理构筑物。

厌氧消化虽是一种普遍存在自然界的微生物过程,但对参与这一过程的微生物却研究和认识得不很深入。其原因有:(1)厌氧消化是一种多菌群多层次的厌氧发酵过程,种群多,关系复杂,难于弄清楚;(2)有些种菌群之间呈互营共生性,分离鉴定的难度大;(3)厌氧条件下培养分离和鉴定细菌的技术复杂。

从生态学的角度来看,厌氧消化系统有稳定系统和不稳定系统的区分。上面已提到,厌氧消化是多菌群多层次的混合发酵过程,构成了一个复杂的生态系统。当进行间歇性发酵(一次性加料发酵)时,随着最初基质的不断向中间产物转移,生活在其中的微生物组成及优势种群也随之不断更替,因而形成了一个不稳定的生态系统。当进行连续发酵(连续进料和排料)时,由于基质组成和环境条件的基本固定,微生物组成和占优势种群相对稳定,从而会形成一个比较稳定的生态系统。只有稳定的厌氧消化生态系统能

给我们提供一个比较理想的研究厌氧消化微生物种群的场所。但实际上,由于发酵原料的组成和控制发酵条件的千差万别,以及接种物的来源各不相同,致使许多研究人员提供的有关厌氧消化微生物种群的资料不尽一致,有时还有相互矛盾之处。

综合现有的研究资料,可以大致得出如下三方面的结论:

(1)在厌氧消化系统中,数量最多作用最大的微生物是细菌;真菌(丝状真菌和酵母)虽也能存活,但数量较少,作用尚不十分清楚;藻类和原生动物偶有发现,但数量不多,难以发挥重要作用。

(2)细菌以厌氧菌和兼性厌氧菌为主;在某些系统(如城市污泥消化系统)中,可能是由于进料带入的缘故,也能观察到数量可观的好氧菌。

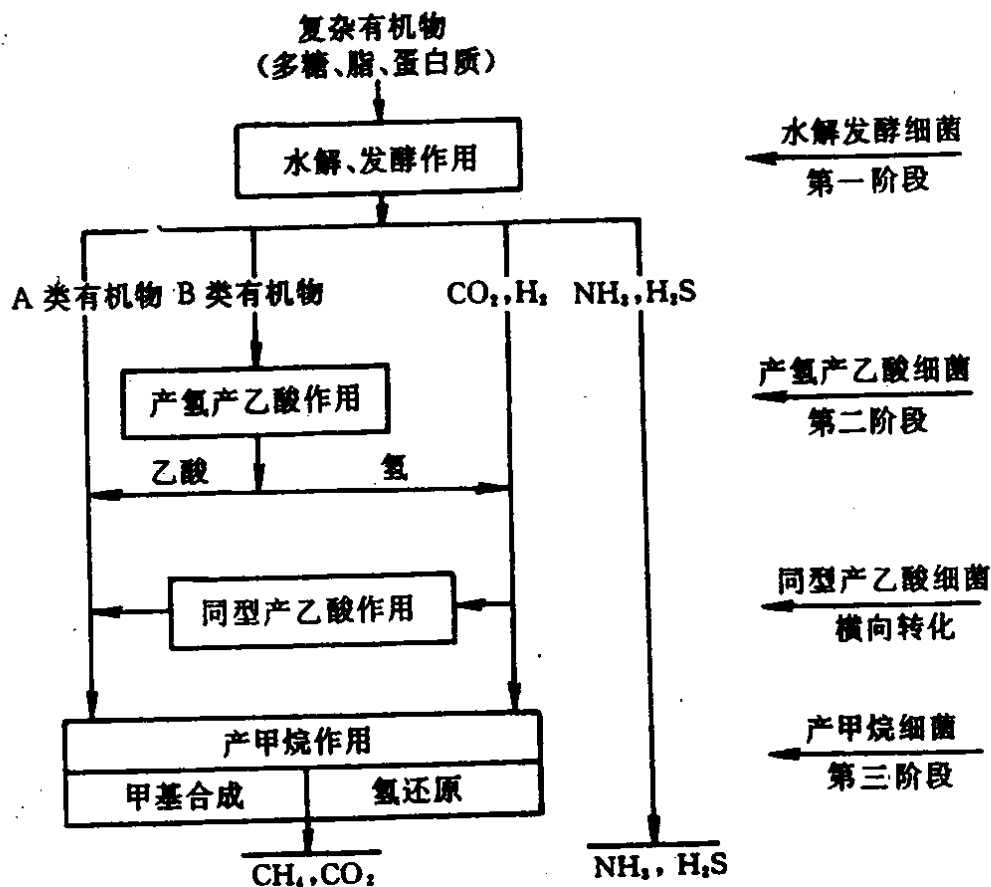


图 1-1 有机物厌氧消化三阶段图式

A. 主要为乙酸,其次为甲酸、甲醇、甲胺

B. A 以外的其它简单有机物(主要为丙酸、丁酸等)

(3)参与有机物逐级厌氧降解的细菌主要有三大类群,依次为



水解发酵细菌、产氢产乙酸细菌、产甲烷细菌。此外,还存在着一种能将产甲烷细菌的一组基质( $\text{CO}_2/\text{H}_2$ )横向转化为另一种基质( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )的细菌,称为同型产乙酸细菌。这些细菌的作用见图 1-1。

根据图 1-1 所示的有机物在厌氧消化过程中的三个转化阶段以及参与的微生物种群,可将厌氧消化的全过程归纳如表 1-1 所示。

表 1-1 有机物厌氧消化过程

生化阶段	I		II	
物态变化	液化(水解)	酸化(1)	酸化(2)	气 化
生化过程	<p>不溶态大分子有机物 <math>\xrightarrow{a}</math> 溶解态小分子有机物 <math>\xrightarrow{b}</math> <math>\left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2 \cdots \cdots \text{H}_2 \\ \text{CO}_2 \cdots \cdots \text{CO}_2 \\ \text{A} \cdots \cdots \text{A} \\ \text{B} \end{array} \right. \xrightarrow{b} \begin{array}{l} \text{CH}_4 \\ \text{CO}_2 \end{array}</math></p> <p><math>\left\{ \begin{array}{l} \text{H}_2 \\ \text{CO}_2 \\ \text{CO}_3\text{COOH} \end{array} \right.</math></p>			
菌 群	发酵细菌		产氢产乙酸细菌	甲烷细菌
发酵工艺	甲烷发酵	1 $\longrightarrow$		
		2 $\longrightarrow$		
发酵工艺	酸发酵	3 $\longrightarrow$		
		4 $\longrightarrow$		
发酵工艺	酸发酵	5 $\longrightarrow$		
		6 $\longrightarrow$		

- 注:1. A 代表甲酸、甲醇、甲胺、乙酸四种甲烷细菌可利用的有机物;  
 2. B 代表 A 以外的有机物,主要为丙酸、丁酸、乙醇、丙醇等;  
 3. a 为外酶,b 为内酶; $\longrightarrow$ 代表生化反应, $\cdots\cdots$ 代表未进行生化反应;  
 4. 发酵工艺的线段表示起始和终端物质。

首先,不溶性大分子有机物(如蛋白质、纤维素、淀粉、脂肪等)经水解酶的作用,在溶液中分解为水溶性的小分子有机物(如氨基酸、脂肪酸、葡萄糖、甘油等)。随之,这些水解产物被发酵细菌摄入