

Environmental Microbiology

環境微生物

— 九版 —

石濤 編著

Tingmao Group



鼎茂圖書出版股份有限公司
<http://www.tingmao.com.tw>

Environmental Microbiology

環境微生物

— 九版 —

石 濤 編著

Taso Group



鼎茂圖書出版股份有限公司
<http://www.tingmao.com.tw>

國家圖書館出版品預行編目資料

環境微生物／石濤 編著．--九版．--

臺北市：鼎茂圖書，民 101.07

面：公分

ISBN 978-986-226-748-6（平裝）

1.環境微生物學

369

101007537



環境微生物

作者 石濤 編著

企畫編輯 李世純

專案行銷 張容甄

印務採購 賴銘銓、張育菁

發行通路

校園 張容甄

書局 高嘉聰

網路 黃志偉

發行所／鼎茂圖書出版股份有限公司

台北市中正區開封街 1 段 32 號 11 樓

電話：(02) 2381-4314 傳真：(02) 2382-5963

鼎茂網路書店 <http://www.tingmao.com.tw> 電子郵件信箱 service@tingmao.com.tw

郵政劃撥／18242879

鼎茂圖書出版股份有限公司

登記證／局版台業字第 5881 號

法律顧問／第一國際法律事務所 余淑杏律師

台北市中山區民生東路一段 43 號 3 樓

電話：(02)25215990

封面設計／視名創意廣告社

打字排版／恆新電腦排版打字行

本書編號／AE7002

I S B N / 978-986-226-748-6 《平裝》

出版日期／中華民國 101 年 07 月九版

定 價／480 元

◎本著作物係著作人授權發行，若有重製、仿製或對內容之其它侵害，本公司將依法追究，絕不寬待！

◎書籍若有倒裝、缺頁、破損，請逕寄回本公司更換。

九版序

針對環境生物技術與其在能源應用之發展與命題方式的改變，坊間用書一成不變之內容已不敷教學與考試之用。因此，本人根據各大專院校上課之講義與目前微生物於環工上之發展及個人所蒐集之資料，彙編此『環境微生物學』，希望協助各大專院校教師之授課與對有志於技師、高考及研究所的朋友，可如魚得水，有所助益，並發揮此教科書授課、自我學習及考試之機能。本書並根據近年臨場解題經驗，於後附有歷年研究所、高考、技師考、檢覈考、甚至檢定考的題目、提示及解答，以利教師出題、同學複習與考生準備考試之用。最後，感謝鼎茂出版社之協助、大專院校之指定使用及廣大讀者之愛用，使本書於短短時間，得之再版及更新，由於時間匆促及作者才疏學淺；希望各方前輩不吝指教，使本書更臻完美。

石濤

2012年6月於鼎茂
stonewave@pchome.com.tw

目錄

第一章 緒論

1.1 前言	2
1.1.1 微生物於環工上之意義	2
1.2 微生物	3
1.2.1 微生物一般性之定義	3
1.2.2 微生物學術上之定義	3
1.2.3 原生生物的分類	4
1.2.4 微生物分類概述	4
1.3 環境微生物	7
1.3.1 根據環境微生物之應用一般可區分成四方面	8
1.3.2 水質生物檢驗目的	8

第二章 原核生物與病毒

2.1 生物之分類	10
2.2 原核細胞(Procaryotes)	13
2.2.1 細菌	13
2.2.2 藍綠藻(Blue green algae/Cyanobacter)	22
2.3 病毒	24
2.4 最新細菌分類法 (Bergey 氏手冊)	26
2.4.1 古細菌之細胞壁及細胞膜	31
2.5 古細菌各論 (參考)	33
2.6 特殊細菌 (參考)	35

第三章 真核生物

3.1 前言	42
3.2 真菌	42
3.3 藻類(Algae)	48
3.4 原生動物	53
3.4.1 單細胞原生動物	53
3.4.2 多細胞原生動物 (後生動物) (Metazoan)	57
3.4.3 微生物指標 (種歧異度)	60
3.4.4 微生物營養要求—細胞化學組成	61

第四章 研究微生物的方法

4.1 觀察微生物的方法	64
4.1.1 顯微鏡種類	64

4.1.2 鏡檢之方法	67
4.2 檢體製備－染色	67
4.2.1 常見的染色法	69
4.3 微生物的培養	72
4.3.1 培養之種類	72
4.3.2 培養基之種類	72
4.3.3 培養之技術	75
4.4 菌種的保存	80
4.5 微生物生長之測定	81
4.5.1 菌數測定(Total count)	81
4.5.2 菌體重量測定	82
4.5.3 菌體活性測定	83
4.6 目前水中微生物之標準檢測方法（暫定）	84
4.6.1 水中大腸桿菌群檢驗法－多管醱酵法	84
4.6.2 水中生菌數檢驗法－塗抹法	90
4.7 應用分子生物技術進行微生物之檢測	91

第五章 影響微生物生長、死亡的環境因子及其生長特性

5.1 生長條件	100
5.2 生長特性	109
5.2.1 微生物數目 vs.時間圖	110
5.2.2 模式之數學解析	111
5.2.3 比生長率和時間關係	112
5.2.4 基質降解和生物增長動力學	113
5.2.5 比基質利用 vs.基質濃度	116
5.2.6 內呼吸期的數學模式	118
5.2.7 完全混合活性污泥槽問題	119
5.2.8 BOD 去除問題	121
5.2.9 化學恆定器與完全混合活性污泥槽	121
5.3 微生物的死亡	123
5.3.1 一般名詞	124
5.3.2 滅菌之方法	125
5.3.3 作用原理	129
5.3.4 石炭酸係數(Phenol coefficient)	130
5.3.5 常用之化學消毒劑	132
5.3.6 影響消毒劑之因子	133

第六章 環境微生物

6.1	基礎觀念.....	136
6.2	種類.....	137
6.2.1	碳循環.....	138
6.3	氮細菌.....	138
6.3.1	氮的循環可分為五大作用.....	138
6.3.2	硝化菌.....	140
6.3.3	脫氮菌(Denitrifier).....	142
6.3.4	氮固定菌(三類).....	143
6.3.5	毒性問題.....	144
6.4	硫細菌.....	145
6.4.1	硫循環.....	146
6.4.2	$H_2S \xrightarrow{-O_2} S$	146
6.4.3	$H_2S(S、S_2O_3^{2-}) \xrightarrow{+O_2} SO_4^{2-}$ 硫氧化菌.....	147
6.4.4	硫還原菌(化學異營菌)(SRB).....	150
6.4.5	光合非硫菌.....	153
6.5	鐵細菌($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$).....	154
6.6	錳細菌.....	158
6.7	汞細菌.....	159
6.8	氫細菌.....	160
6.9	甲烷菌.....	161
6.10	微生物去除環境中重金屬之機制.....	163
6.11	自然生態系之模擬(Winogradsky column).....	167

第七章 環工微生物之應用

7.1	廢水處理的程序.....	170
7.2	生物處理法.....	171
7.3	活性污泥法.....	173
7.3.1	污泥膨化現象之深入探討.....	181
7.4	滴濾池(Trickling Filter).....	185
7.5	氧化塘(Oxidation Pond).....	190
7.5.1	生物相(參考).....	190
7.6	旋轉生物盤(RBC).....	191
7.6.1	RBC之優點.....	191
7.6.2	基質及溶氧在旋轉盤上之變化情形(污水工程高考考題).....	192

7.7	活性生物濾床法(ABF).....	195
7.8	厭氧消化法.....	196
7.8.1	優缺點.....	197
7.8.2	厭氧消化之過程.....	198
7.8.3	影響消化的因素.....	200
7.9	接觸曝氣法.....	201
7.10	高級處理(三級處理).....	206
7.10.1	氮的去除.....	207
7.10.2	磷的去除.....	207
7.10.3	頑固性有機物去除-活性碳.....	209
7.11	環境微生物之新應用.....	210
7.12	堆肥技術.....	213

第八章 指標微生物

8.1	前言.....	218
8.2	對自來水理想指標微生物的條件.....	218
8.2.1	Coliform group 大腸菌群.....	219
8.2.2	以大腸菌作為污染指標之優點.....	220
8.2.3	鑑定方法.....	222
8.3	河流之自淨作用.....	226
8.4	水體污染指標.....	228
8.5	生物毒性試驗.....	230

第九章 優養化現象

9.1	前言.....	234
9.2	優養化(Eutrophication).....	234
9.3	春秋翻騰(Turnover).....	235
9.4	名詞解釋(參考).....	240

第十章 頑固有機物之處理

10.1	土壤中之微生物.....	244
10.2	空氣中之微生物.....	245
10.3	難分解有機物概論.....	247
10.4	一般有機物之代謝反應.....	249
10.5	生物復育技術.....	254
10.6	頑固有機物分解模式.....	254
10.7	突變與酵素調控機制.....	256

10.7.1 突變	256
10.7.2 酶合成之調控	257

第十一章 微生物之代謝

11.1 酵素與有機物代謝作用	261
11.1.1 酵素之特性	261
11.1.2 有機物代謝作用	262
11.2 糖解作用(Glycolysis)(EMP Pathway)	265
11.2.1 進入 TCA cycle 之起始反應	266
11.3 檸檬酸循環	267
11.4 電子傳遞鏈 (厭氧及好氧)	268
11.5 醱酵作用	269
11.6 甘油進入 TCA cycle	272
11.7 胺基酸進入 TCA cycle	274
11.8 基質代謝總論	277
11.9 微生物產能之方式 (三種)	282

附 錄

精選例題	294
------------	-----

第一章 緒論

- 1.1 前言
- 1.2 微生物
- 1.3 環境微生物

1.1 前言

環境之污染已被公認為台灣地區重要問題之一，而學習環境污染及其防治之知識領域中，微生物學為其關係密切而不可缺少之一門科學。微生物為自然界普遍存在的生物。水、空氣或土壤等環境均存在著大量的微生物，而且當環境條件不同時，也會有不同特性之微生物產生，因此受污染的環境中，就會出現特殊種類的生物，可作污染之生物指標。另外，環境工程界利用微生物分解污染物質之特性，而應用作為廢水生物處理中，成為分解廢水污染物之主要角色。因此，我們必須具備微生物各方面的知識，才能妥善掌握微生物的特性，並應用於環境中。

1.1.1 微生物於環工上之意義

一. 目前，微生物於環境工程上作用，主要有下列各點：

- (一)利用微生物之代謝處理污水。(如：活性污泥法)
- (二)作為水體污染之生物指標。(致病菌或和致病菌有關之非致病菌如：大腸桿菌)
- (三)作為水處理程度之指標。(如：活性污泥的操作狀況)
- (四)水體之自淨作用。(由髒至乾淨四階段，將出現不同之微生物)
- (五)利用微生物處理廢氣。(如：生物濾床)
- (六)利用微生物進行土壤及地下水復育。(如：生物刺激法)
- (七)利用微生物進行廢棄物減量。(如：堆肥法)

二. 其於環境上負面的作用，則有下列各點：

- (一)致病菌污染。(如：水媒病原菌之污染)
- (二)管線腐蝕。(如：鐵管腐蝕)
- (三)臭味問題。(如：優養化現象及放射菌滋生所產生之異臭味)

(四)造成淨水過濾池堵塞，進而縮短濾程。(如：大粒徑藻類之堵塞)

(五)造成水處理效能不佳。(如：膨化作用)

(六)鐵管堵塞。(如：鐵菌大量滋生)

1.2 微生物

1.2.1 微生物一般性之定義

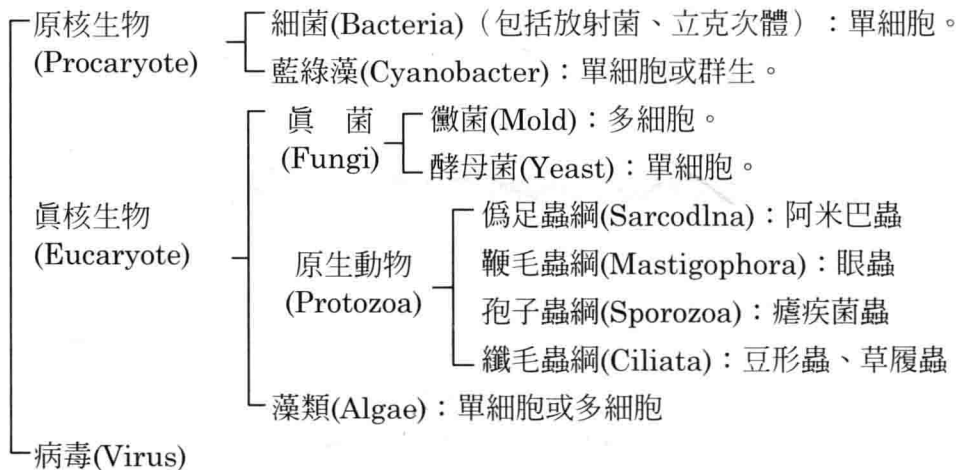
在自然界中，有很多構造簡單、形體甚小、肉眼看不見之生物存在，通常為單細胞或多細胞、無組織之分，此類生物通稱“微生物”。微生物種類甚多，包括藻類、原生動物、黴菌、細菌、立克次菌及病毒等。

1.2.2 微生物學術上之定義

通常為單細胞（單一或群聚），且以細胞為基礎，可自行完成生命功能之個體，一般須合乎下列三要件：

- (一)構造簡單、體積甚小、用顯微鏡方可看見之生物。
- (二)單細胞、多細胞，或形成單細胞之聚集體(Colony)。
- (三)內部細胞構造未分化。

1.2.3 原生生物的分類



1.2.4 微生物分類概述

一. 原核生物 (約 1~3 μm) :

具最原始最簡單之細胞構造，特徵為：沒有細胞核膜、核仁、粒線體等構造，且只具一條染色體。

(一) 細菌 :

1. 可分解有機物質，少數可利用無機物質做為食物 (請見第六章)。
2. 常作環境污染指標 (請見第八章)。
3. 少部份細菌具光合色素，但其對環工上不重要。
4. 在油鏡下 (10 \times 100 倍) 方可看到。
5. 一般扮演分解者之角色。

(二) 藍綠藻 :

1. 可行光合作用 (但僅具葉綠素，而不具葉綠體胞器，為生產者)。

2. 水體中 N、P 含量大增時，藻類將繁殖迅速，可能引起優養化（請見第九章）。
3. 大小比細菌大，可運動但無鞭毛，生殖方式以二分裂法(binary fission)為主。

二. 真核生物：

(一) 真菌：

1. 比細菌大， $\geq 5\mu\text{m}$ ，具菌絲及菌絲體。
2. 缺乏葉綠素。
3. 多細胞（成份以多醣類為主，蛋白質成份較細菌少）。
4. 無法以二分裂法(binary fission)繁殖。
5. 一般扮演分解者之角色。

(二) 原生動物：

1. 屬單細胞動物，無法進行光合作用，一般採分裂生殖。
2. 以微生物為食物，尤以細菌為主。
3. 部分以不可溶有機物為食物。
4. 可做為水生動物之食物。
5. 大部分會移動，且有些會引起疾病。
6. 在廢水之生物處理程序中，因其生態特性，可作為處理效果之指標。
7. 大小約 $2\sim 200\mu\text{m}$ 。
8. 一般扮演消費者（清道夫）角色。

(三) 藻類：

1. 水生區域最重要的生產者。
2. 有葉綠體可進行光合作用。
3. 一般呈樹葉狀，但無維管束、輸導組織及真正的根、莖、葉等陸生植物之構造。
4. 單、多細胞皆有，大小不一，有的只能在顯微鏡下看到，有的卻長達 150m，如昆布。

5. 葉綠體中的色素，一般有三類，包括葉綠素、胡蘿蔔素及植物色蛋白。

三. 其他：

(一) 立克次體：

1. 一般歸為細菌。
2. $0.1\sim 0.6\mu\text{m}$ （須以電子顯微鏡方能觀察得到）。
3. 只可寄生於細胞中生長，為寄生性。

(二) 病毒：

1. $0.01\sim 0.3\mu\text{m}$ （須以電子顯微鏡方能觀察的到）。
2. 只可寄生於活體中，一般環境不易發現。
3. 構造簡單，由核酸及蛋白質外殼組成。

表 1-1 原核和真核細胞的比較

	原核細胞	真核細胞
核體	無核膜，無有絲分裂。	有核膜及有絲分裂。
DNA 的結構	單一分子，不和粗蛋白結合。	數個或多個染色體，一般和粗蛋白結合。
細胞膜的成分	不含固醇類(sterol)。	含固醇類。
呼吸系統地點 (產能地點)	呼吸系統為細胞質膜的一部份或細胞質膜所特化之中間體的一部份。	存在於粒線體中。
光合作用地點	光合機構由內膜組織化而成，無葉綠體(如：葉綠素)。	光合機構在葉綠體。
核糖體的大小	70s。	除粒線體和葉綠體內的核糖體為 70s，其餘為 80s。

細胞壁成份	化學構造複雜的細胞壁(主要為肽醣類)。	如果有的話,由簡單有機物或無機物組成,常為纖維素、半纖維素、幾丁質等多醣類。
鞭毛結構	每一條鞭毛,由一束纖維所構成。	每一條鞭毛由 20 束纖維以各種不同的型式組成。
有性生殖方式	無有絲分裂,一般只有部份的基因為互補。	具有絲分裂,整條染色體互補。
液泡	極少有。	常見。
核仁、核膜、粒線體、內質網、高基氏體等構造	無。	有。
典型菌種	細菌及藍綠藻。	真菌、藻類、原生動物、(動物、及植物)。
菌體大小	5 μm 以下。	5 μm 以上。



(三)多細胞原生動物(後生動物):

為較高等、大型之原生動物,一般常作河川污染的指標。例:

1. 輪蟲(Rotifer)。
2. 甲殼類(Crustaceans): 如水蚤及劍水蚤(Cyclops)。
3. 蟲(Worm) } 常生長於有機底泥及生物浮膜中,如 Tubifex (蠹
4. 幼蟲(Larval) } 蚓) 及搖蚊幼蟲(Chironomus sp)。

1.3 環境微生物

凡是和人類環境有關的微生物,稱為環境微生物,主要包括水及土壤中發現的微生物。

1.3.1 根據環境微生物之應用一般可區分成四方面

- (一)衛生工程上之微生物（二級處理所用之生物處理法）。
- (二)污染物之生物淨化作用（大自然之自淨作用）。
- (三)生物毒性及累積作用（毒性及重金屬之累積）。
- (四)和生態及元素循環相關之微生物研究（如：N.S.P 之循環）。

1.3.2 水質生物檢驗目的

- (一)可用以解釋水中顏色與濁度形成的原因，並了解異臭味及可見特殊物質的存在情形，同時，可以幫助尋求防止或去除的可能方法。
- (二)幫助解釋各種水質化學分析的結果與生物的存在對於自然水體中缺氧或過飽和的關係。
- (三)鑑定水體與其他水源之關係。
- (四)解釋給水管線、濾池的阻塞現象，而且有助於自來水工程的設計及操作。
- (五)顯示水資源受污水或工業廢水污染情形。
- (六)顯示河川或其他水域的自淨過程。
- (七)用於研究魚類及其他水棲生物的類型，並由此獲得影響其生長因素，如：食物、寄生蟲或其他因素（食物鏈關係）。
- (八)幫助說明廢水生物處理的原理或做為處理效果的指標。
- (九)確定水廠內有關水處理各單元的效果，且當涉及水中有機物的含量時，可決定有效加氯量。
- (十)決定消毒劑處理的最佳時間，並檢驗其處理效果。
- (十一)判定地下水是否受污染。