



病理學

FISH PATHOLOGY

THIRD EDITION

原著

Ronald J Roberts

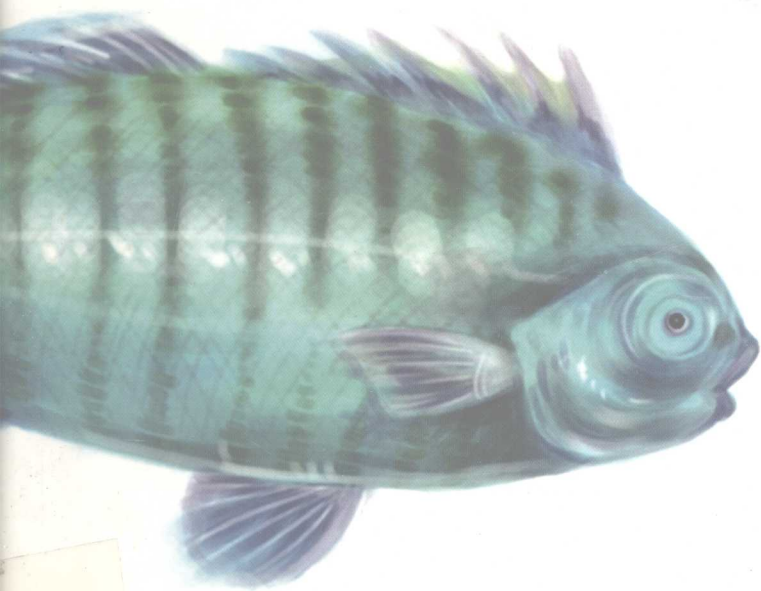
編譯

陳燕輝

德國慕尼黑大學獸醫學博士

中央研究院 生物醫學科學研究所

實驗動物中心暨病理核心實驗室主任



ELSEVIER LIMITED



合記圖書出版社 發行



病理學

FISH PATHOLOGY

原著

Ronald J Roberts

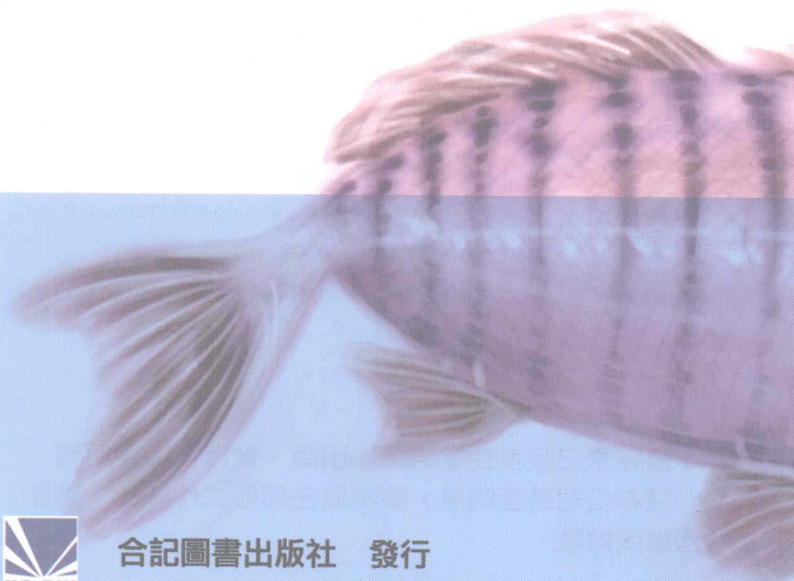
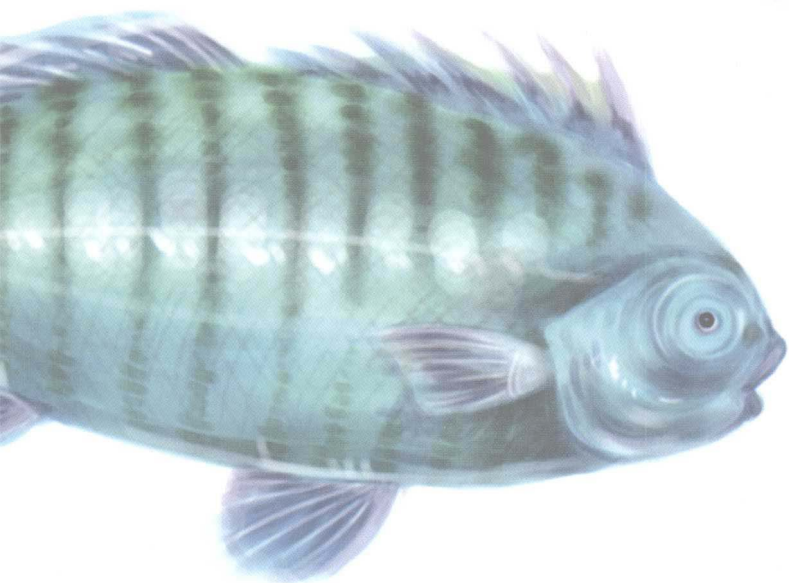
編譯

陳燕輝

德國慕尼黑大學獸醫學博士

中央研究院 生物醫學科學研究所

實驗動物中心暨病理核心實驗室主任



ELSEVIER LIMITED



合記圖書出版社 發行

國家圖書館出版品預行編目資料

魚病理學 / Ronald J. Roberts 原著；陳燕輝 編譯。

—— 初版。—— 臺北市：合記，2005〔民94〕

面：公分 參考書目：面含索引

譯自：Fish Pathology, 3rd ed.

ISBN 986-126-177-X（精裝）

1. 魚 — 疾病與 2. 防治

437.85

93021281

書 名 魚病理學
編 譯 陳燕輝
執行編輯 程穎千
發行人 吳富章
發行所 合記圖書出版社
登記證 局版臺業字第 0698 號
社 址 台北市內湖區(114)安康路 322-2 號
電 話 (02)27940168
傳 真 (02)27924702
網 址 <http://www.hochi.com.tw/>

總 經 銷 合記書局
北 醫 店 臺北市信義區(110)吳興街 249 號
電 話 (02)27239404
臺 大 店 臺北市中正區(100)羅斯福路四段 12 巷 7 號
電 話 (02)23651544 (02)23671444
榮 總 店 臺北市北投區(112)石牌路二段 120 號
電 話 (02)28265375
臺 中 店 臺中市北區(404)育德路 24 號
電 話 (04)22030795 (04)22032317
高 雄 店 高雄市三民區(807)北平一街 1 號
電 話 (07)3226177
花 蓮 店 花蓮市(970)中山路 632 號
電 話 (03)8463459

郵政劃撥 帳號 19197512 戶名 合記書局有限公司

西元 2005 年 1 月 10 日 初版一刷

Fish Pathology

Third Edition

By Ronald J. Roberts

BVMS, PhD(Glasgow), FRCVS, FRCPath, FIBiol, FRSE

ISBN 0-7020-2563-1

WB SAUNDERS

An imprint of Elsevier Limited

Copyright © by Elsevier Limited

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Copyright © 2005 by Ho-Chi Book Publishing Co.

All rights reserved. Published by arrangement with John Scott & Company.

Ho-Chi Book Publishing Co.

Head Office 322-2, Ankang Road, NeiHu Dist., Taipei 114, Taiwan, R.O.C.

TEL: (02)2794-0168 FAX: (02)2792-4702

1st Branch 249, Wu-Shing Street, Taipei 110, Taiwan, R.O.C.

TEL: (02)2723-9404 FAX: (02)2723-0997

2nd Branch 7, Lane 12, Roosevelt Road, Sec. 4, Taipei 100, Taiwan, R.O.C.

TEL: (02)2365-1544 FAX: (02)2367-1266

3rd Branch 120, Shih-Pai Road, Sec. 2, Taipei 112, Taiwan, R.O.C.

TEL: (02)2826-5375 FAX: (02)2823-9604

4th Branch 24, Yu-Der Road, Taichung 404, Taiwan, R.O.C.

TEL: (04)2203-0795 FAX: (04)2202-5093

5th Branch 1, Pei-Peng 1st Street, Kaoshiung 800, Taiwan, R.O.C.

TEL: (07)322-6177 FAX: (07)323-5118

6th Branch 632, ChungShan Road, Hualien 970, Taiwan, R.O.C.

TEL: (03)846-3459

本書經原出版者授權翻譯、出版、發行；版權所有。
非經本公司書面同意，請勿以任何形式作翻印、攝影、
拷錄或轉載。



參與作者

A.E. Ellis, MA (Oxon), PhD (Aberdeen)

Senior Principal Scientific Officer, Fisheries Research Service, Marine Laboratory, Aberdeen, Scotland.

R.W. Hardy, BSc, PhD (Washington)

Director, Hagerman Center for Sustainable Aquaculture, University of Idaho, Idaho, USA.

A.L.S. Munro, OBE, BSc (Heriot-Watt), PhD (Edinburgh)

Formerly Senior Principal Scientific Officer, Fisheries Research Service, Marine Laboratory, Aberdeen, Scotland.

R.J. Roberts, BVMS, PhD (Glasgow), FRCVS, FRCPath, FIBiol, FRSE, Commander of the Most Noble Order of the Crown (Thailand)

Hagerman Distinguished Visiting Professor, University of Idaho, USA; Technical Director, Landcatch Ltd, Ormsary, Argyll, Scotland; Emeritus Professor, University of Stirling, Scotland; formerly Founder Director, Institute of Aquaculture, University of Stirling.

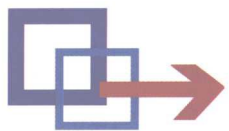
H.D. Rodger, BVMS (Glasgow), MSc, PhD (Stirling), MRCVS

Assistant Professor in Fish Pathology, University of Pennsylvania Veterinary School, Philadelphia, USA.

D.A. Smail, BA (Oxon), MSc (Birmingham), PhD (CNAA)

Senior Scientific Officer, Fisheries Research Service, Marine Laboratory, Aberdeen, Scotland.

In addition, material from the second edition contributed by Dr. A.M. Bullock, Dr. G.N. Frerichs, Dr. P. Tytler and Dr. R. Wootten has also been edited and incorporated into the text.



原著序

在驚喜中本書發行第三版，也使本書邁入第二十個年頭。此次全書有新的編排及許多新資訊的加入，我也相當感謝 W.B. Saunders 允諾讓彩色圖片可以完全使用於全書，這在早期 70 年代第一版時幾乎是無法想像的。

大部分的修訂工作是在愛達荷大學（University of Idaho）Hagerman Laboratories，約五年前開始進行；在此地，我工作生涯中第三次有機會建立一個國際級的魚病實驗室，很少人像我這麼幸運，我也衷心感謝 Hardy 教授及愛達荷大學大力的支持。

硬骨魚所居住的環境對我們大部分人來說是個陌生的世界；牠們的發展完全依據其捕食或運動的需求。自從本書第一版在 1978 年問世，水產養殖對全世界漁業生產的關係有很大的改變。在 1978 年，水產養殖佔魚類消費量僅少於 5%；然而今日其約佔所有魚類消費量的 30%，且價值更高達 50%。所謂的“藍色革命”現在正在進行。

魚病的控制已成為此快速成長中重要的課題。過去十年間，我們對於魚類病理學的知識有重大的發展，特別是在分子生物學及免疫病理學方面。這也使得一本單一的教科書產生，其試圖包含所有重要的領域。我希望本書能有助於養殖漁業的持續發展，我們可將疾病確診，並做出適當的控制；對於新的疾病，我們也能確切地處理。我相信，我們的魚群健康，不論是飼養或野生的，都是整個水族環境品質的指標。

研究魚病需要相當廣泛的知識，不只是可能的病原，也包括環境及特殊的適應問題。魚類的發炎及免疫反應都因其所處的理有了很大的改變，這也反過來影響魚類的流行病學，及不同狀況的臨床特徵，以及其處理方法。從上一版至今，發展最明顯的屬許多有效的細菌疫苗；另外還有 DNA 及重組疫苗的出現；診斷方式則有 PCR 方法及基因定序，其也有顯著的發展。

魚病理學很明顯是多領域學科，本書最主要的目的提供基礎資訊的主體，期對獸醫、微生物學者、寄生蟲學者、營養學者，甚或是水文學者有用。硬骨魚的種類約有 17,000 種，所有的生物都在整體、細胞及分子等層面適應其環境；像本書有時就必須提供一些可了解的資訊。

我非常感謝本書所有的共同作者，其貢獻其所專長的章節，並且費心將所有資料標準化使能成冊。我也必須感謝西維吉尼亞的 Leetown Laboratory 的 Dr Emmett Shott 及 Dr Rodney Wootten 的幫忙，他們幫我檢閱細菌學及寄生蟲學的章節；而賓州大學的 Dr Hamish Rodger 則給予全書編輯時的協助。若只有我獨立完成，則可想見會有許多的謬誤產生。

我和 Dr Wootten 為 Balckwell Scientific Publications 所編輯的 Journal of Fish Disease，允諾讓我使用許多首次在此期刊發表的圖片，我也非常感謝全世界所有發表這些圖片的作者讓我使用他們的作品。在文中我儘可能感謝他們的大方，但對於我所發生的錯誤也深感抱歉。

本書的準備過程如果沒有 W.B. Saunders 的 Dr Deborah 的幫忙及鼓勵將很難達成；另外也有賴我在愛達荷大學的同事 Dr Madison Powell 及 Jana Cole；Landcatch 的 William Lithgow，Hugh Currie 及 Alan Stewart；英國 Foreign and Commonwealth Office 的 Dr John Tarbit；Vetrepharm 的 Dr Keith Thompson 及在曼谷的 Dr Kamonporn Thonguthai 及 Dr Supranee Chinabut。還要感謝 Andrew Millar 及 K.G. Clarke，還有我以前在 Stirling 大學的同事，他們減輕我管理上的工作，讓我可以專心完成第三版的編輯工作。

最後我要感謝我的妻子 Helen，她幫我繪圖，並當我們所面對的任務遽增時，仍不時給我鼓勵。

Ronald J. Roberts

愛達荷

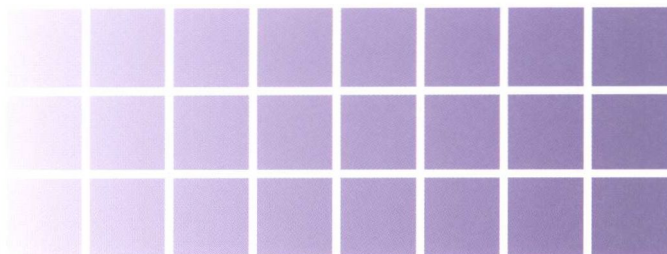
2000 年 3 月

獻 給

Stirling 大學的校長 John Forty 及秘書 Bob Bommont ,
當然還有我的妻子 Helen Macgregor 。無論我處於順境或是逆境，
他們堅定的友誼、忠誠及支持令我永遠感激。



譯者序



在譯者求學時期，一直沒有一本完整的魚病理學的中文書可供參考。此次為合記圖書出版社翻譯“魚病理學第三版”，希望能對熟稔華文的學子及養殖漁業從業人員在學習魚病有所助益。

誠如原著作者所言，魚病理是一門多領域的學科，而且魚的種類繁多，所生長的环境又與其他我們所熟知的家畜不同，所以舉凡生理學、病理學、微生物學、寄生蟲、營養學……等都必須包括，所以在翻譯時也必須多所考證，以期不至有偏離原意的情形發生。

譯者才疏學淺，研究之餘倉促成書，書中謬誤疏忽之處希望讀者先進不吝指正，以做為他日修改的依據。

本書翻譯過程中，必須感謝胡志政先生，蔡慧玲小姐及黃英蘭小姐的協助，使本書能順利出版。

最後我要感謝我的家人，特別是我的妻子靖慧給我的鼓勵，在本書編譯期間，我們的女兒秉萱也出世，謹以這本書獻給我最愛的家人。

陳燕輝 謹於
中央研究院生物醫學科學研究所
西元2004年，十月

CONTENTS

目錄

原著序	vii
譯者序	xi
第一章 水文環境	1
第二章 硬骨魚的解剖和生理學	12
第三章 硬骨魚的病理生理學級系統病理學	55
第四章 硬骨魚的免疫學	133
第五章 硬骨魚的腫瘤	151
第六章 硬骨魚的病毒學	169
第七章 硬骨魚的寄生蟲學	254
第八章 硬骨魚的細菌學	297
第九章 硬骨魚的黴菌學	332
第十章 硬骨魚的營養病理學	347
第十一章 其他非傳染性疾病	367
第十二章 實驗室診斷方法	380
參考文獻	413
魚種類索引	455
索引	457

1

水文環境

The Aquatic Environment

簡介 (INTRODUCTION)

魚類疾病與環境緊迫有緊密的關聯。在野生環境中，魚類有一定程度的自主性以調適其環境，當牠們面臨到負面的水文環境改變時，如水中溶氧降低或水溫上升，牠們會遷移到較舒適的環境；受感染的魚甚至會自行遷移到水溫較高的地方，藉以提升體溫，增加發炎反應的效率。相反的，在養殖環境中，魚較沒有機會選擇其外在環境，因此針對個別品種提供適合其生長的環是相當重要的。

水文環境包含多變的特性，實際上這些特

性影響魚類生長及繁殖所必需的穩定性；如果改變超越其可忍受的範圍，牠們可能會變得容易罹病或引發廣泛的疾病。最重要的環境指數為生理要素，如水溫，光照的強度和週期（包括隱蔽及背景色調），水的化學組成及組成生物，空間及食物的取得及驚嚇刺激的頻度如移動的陰影。其他對野生魚類或放養魚類重要的因素為其賴以為生的生態系統的生成。由於生態系統及魚的生態生理需求超越本書探討的範疇，讀者可參考 Rankin & Jensen (1993)；Macan (1974) 及 Odum (1971)。

水質之物理及化學

(PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS OF WATER QUALITY)

◆ 溫度 (Temperature)

魚類有溫度耐受上、下限，生長，孵卵，攝食及對抗特定疾病的適當溫度。這些適當條件隨魚種而改變，不同指數有不同條件，如氧張力及水的酸鹼度。

水溫是影響魚類健康相當重要的水中環境，水面溫度變動向上可升高至 40℃，其造成原因有緯度，季節，海拔，時間，深度及其他因素。海水的溫度改變範圍很小，因為其有洋流及體積巨大的水。一般而言，氣體在水中

的溶解度隨溫度升高而下降（表 1.1）；相對的，毒性物質，如原油及殺蟲劑，則隨溫度上升而增加其溶解度。另外，某些物質如重金屬的毒性亦隨溫度上升而增加。

◆ 光 (Light)

在自然水域及疏養系統，光的層次只能間接的被改變，如增加水深和控制單胞藻及樹蔭。不良的光穿透性是肇因於會吸收或反射光的污染物，如泥土，煤炭洗出物和紙屑，其會破壞藻

表 1.1 在空氣飽合水中氧在水中的溶解度 (mg/litre)

溫度 (Temperature) (°C)	鹽度 (Salinity) (‰)				
	0	8.75	17.5	26.25	35
0	14.6	13.8	13.0	12.1	11.3
5	12.8	12.1	11.4	10.7	10.0
10	11.3	10.7	10.1	9.6	9.0
15	10.2	9.7	9.1	8.6	8.1
20	9.2	8.7	8.3	7.9	7.4
25	8.4	8.0	7.6	7.2	6.7
30	7.6	7.3	6.9	6.5	6.1
35	7.1	—	—	—	—
40	6.6	—	—	—	—

* 本表數值乃壓力為 760mmHg 時的溶解度。其他大氣壓 (P) 時的溶解度 S' (mg/litre) 可由下式求得

$$S' = S \frac{P - p}{760 - p}$$

S 為 760mmHg 壓力時的溶解度；P 為常溫下飽和水蒸氣的壓力。

類生長，並可能減少魚類的食物。

在密飼系統的光線—密度，光週期，陰影範圍及被背景吸收的光—較容易控制，所有的這些指數都可能和魚的生長和成熟率有關。

在密飼系統中已有證據指出，陽光以外的紫外光照射會造成魚背側表面、頭及鰭的曬傷 (Bullock 1987)。由於氯化物排放到大氣層致使臭氧層變薄，陽光曬傷的問題在南半球已成為一個特別嚴重的課題。此外，在某些特殊情況下，低的紫外線輻射也會引起曬傷；這種情況已知為光敏感症 (photosensitization)，其通常是由於食物中的光活性化學物質，常因為治療目的藥物添加或餵飼特殊物質，如 prophyryns。

◆溶解在水中的氣體 (Dissolved gases)

溶解在水中的氣體中有兩種是特別重要的，即氧和氮氣、二氧化碳、氨及硫化氫的出現是特殊的情況，將在以後分別討論。混合的氣體如空氣中，每一種氣體溶於水中的狀況依其本身的溶解度而不同，其被下列因素所控制：

1. 空氣的總壓及各氣體和水接觸的分壓 在空氣中，氮氣和氧氣的分壓分為 0.78 和 0.21；以泵浦水提供空氣時，水可能和空氣一齊壓縮到泵浦內，如此可使氧和氮氣在水中的溶解增

加；由泵浦流出的水稱為含有過飽和氧和氮的水。

同樣的，電動噴射出的水，水和空氣在吸入口及管道中被加壓而造成過飽和。如果魚飼養在氧和氮過飽和的情況中，則會產生氣泡病 (gas-bubble disease)。

在評估是否有過飽和情形時，氧和氮的比率及總溶解氣體壓必須一併考量。一般來說，最高的安全範圍為 110 % 的總溶解氣體。在活水中（假設水在 5°C 是 100 % 的空氣飽和度），溫度由 5°C 升高到 10°C 會使氧和氮飽和度變為 112 % 和 113 %，除非水和空氣是平衡的。水深一公尺的水壓相當於 110 % 的氣壓飽和度；氣壓不足一大氣壓發生在較高緯度的地方，其氧的溶解度在表 1.1 無法知曉，但由表 1.1 的關係式可計算出高壓或低壓時的氧溶解度。

2. 水中含有鹽類 一般通則，氣體在含鹽的水中溶解度較低。海水含鹽濃度對氧溶解度的影響見表 1.1。若氣體和水中物質反應而增加溶解度則除外。

3. 溫度 溫度上升會降低大部分氣體在水中的溶解度。

◆物理化學指標

(Physicochemical parameters)

水的離子產物 (The ionic product of water)

水可經由可失去或獲得一個質子而表現為弱的鹼和酸



水解離的平衡常數如下

$$K_w = \frac{C_{\text{H}^+} \times C_{\text{OH}^-}}{C_{\text{H}_2\text{O}}}$$

C_{H^+} 和 C_{OH^-} 為個別的離子濃度。由實驗已證實，純水在 25°C 時

$$K_w = 1.00 \times 10^{-14}$$

同時兩個離子的量相等

$$C_{\text{H}^+} = C_{\text{OH}^-} = 1 \times 10^{-7} \text{ g ions/litre}$$

酸鹼度 (pH) 及酸鹼值

(pH and the pH scale)

在稀釋的液體溶液中，pH 定義為氫離子濃度的負對數，其表示為

$$\text{pH} = -\log_{10} C_{\text{H}^+}$$

用我們先前的例子，純水在 25°C 的 pH 為

$$-\log_{10} 1 \times 10^{-7} = 7$$

在稀釋的液體溶液中，水離子的產生為一常數 1×10^{-14} ，額外的氫和氫氧離子並不會改變此常數。氫離子和氫氧離子之間的關係見表 1.2，由此可見，pH 值的範圍為 0 到 14。

pH 是一個負的對數值，其意義為，pH 每減少一單位代表氫離子濃度增加十倍。中性的 pH 值代表有等量的氫離子和氫氧離子存在，此值會隨著水中鹽含量和溫度的改變而改變（表 1.3）。當氫離子的量大於氫氧離子的量，則水溶液為“酸性”，反之則稱之為“鹼性”。舉例來說，一個 pH 為 6.6 的溶液其氫離子濃度

計算如下：

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+) = 6.6$$

兩邊取反對數

$$\text{H}^+ = \text{antilog}(-6.6)$$

-6.6 可再表示為 0.4-7.0。0.4 的反對數等於 2.5，-7.0 的反對數等於 10^{-7} ；因此，

$$\text{H}^+ = 2.5 \times 10^{-7} \text{ g ions/litre}$$

反過來說，一個氫離子溶度為 $3.98 \times 10^{-8} \text{ g ions/litre}$ 溶液的 pH 值算法如下：

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log \text{H}^+ = -\log 3.98 \times 10^{-8} \\ &= -\log 3.98 - \log 10^{-8} \\ &= -0.6 + 8 \\ &= 7.4 \end{aligned}$$

弱酸及弱鹼的離子化常數 (Ionization constants of weak acids and bases)

使用大量反應定律到弱酸及弱鹼時



表 1.2 水溶液中酸鹼度與氫離子及氫氧離子間的關係

	酸性溶液					中性					鹼性溶液				
氫離子濃度	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}
pH 值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
氫氧離子濃度	10^{-14}	10^{-13}	10^{-12}	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
pOH 值	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

表 1.3 溫度對解離常數的影響

	溫度						
	0	5	10	15	20	25	30
水的 pK_A	14.939	14.731	14.533	14.345	14.167	13.997	13.832
海的 pK_A	14.947	14.739	14.541	14.353	14.175	14.005	13.840
碳酸的解離常數	2.64*	3.04*	3.44*	3.81*	4.16*	4.45*	4.71*
碳酸的解離常數與 pK_A	6.58	6.52	6.46	6.42	6.38	6.35	6.33
氨的解離常數	1.374†	1.479†	1.570†	1.652†	1.710†	1.774†	1.820†
氨的 pK_B	4.862	4.830	4.804	4.782	4.767	4.751	4.740

* $\times 10^{-4}$; † $\times 10^{-5}$

我們有如下算式：

$$\frac{C_{H^+} \times C_{A^-}}{C_{HA}} = K_A$$

在此 K_A 為弱酸的離子化或解離常數。酸性越強，則越大部分的離子為不解離狀態，且 K_A 越大。因為這些值太小，所通常將它們以負對數表示並使用 pH 的同義詞 pK_A，

$$pK_A = \log K_A$$

弱鹼，如氨，有類似的表現：



$$\frac{C_{NH_4^+} \times C_{OH^-}}{C_{NH_3}} = K_B$$

在此， K_B 為弱鹼解離出氫氧離子程度的數量，將解離數 K_B 取其負對數而形成 pK_A，弱鹼的常數 K_B 及 pK_A 和溶夜的氫氧離子濃度及 pOH 值相關。由於我們一般也用 pH 來表示弱鹼溶液，而少用 pOH，故常用 pK_{AB}，因為它和 pH 較相關。常數 pK_{AB} 可以下列 pK_B 的關係式表示 pK_{AB} = 14 - pK_B。

一般離子效應 (Common ion effect)

弱酸及弱鹼的離子化作用會被外加的物質降低，其會解離出一般離子；譬如說，氨的離子化會被外加的氫氧化鈉降低，因其會解離出氫氧離子；或外加氯化氨，因其會釋出氨離子。以大量法則的等式證明：

$$\frac{C_{NH_4^+} \times C_{OH^-}}{C_{NH_3}} = K_B$$

當氫氧離子濃度增加時，氨離子的濃度必須降低以維持 K_B 常數不變；這可解釋在水中含有氨鹽時，當鹼度增加時會形成大量不解離的氨，這點對密飼的水族養殖是很重要的。

緩衝作用 (Buffering action)

緩衝作用的原理可以下列式子理解：

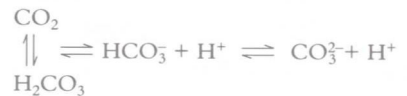


由於一般離子效應，鹽/酸混合物的 pH 較高，而鹽/鹼混合物的 pH 較低，相較於單獨的酸和鹼而言。Henderson-Hasselbach 等式解釋 pH 和鹽分布成酸和鹼比率的關係：

$$pH = pK_{A \text{ or } AB} + \log \frac{C_{\text{salt}}}{C_{\text{acid or base}}}$$

這個等式表示，弱鹼會結合住強酸釋出的氫離子，故緩衝或緩和氫離子濃度的改變；緩衝作用使增加強酸只會造成極小的 pH 值改變。最有效率的緩衝作用是保持 pH 在 ± 1 範圍內。

淡水及海水中最常見的緩衝來源為二氧化碳/碳酸/重碳酸鹽/碳酸鹽系統，表示如下：

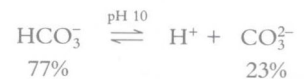
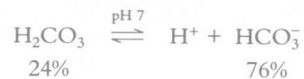
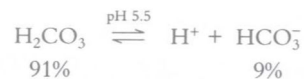


其兩個解離常數如下：

$$K_{A1} = \frac{C_{HCO_3^-} \times C_{H^+}}{C_{H_2CO_3}} \quad pK_{A1} = 6.35 \text{ at } 25^\circ$$

$$K_{A2} = \frac{C_{CO_3^{2-}} \times C_{H^+}}{C_{HCO_3^-}} \quad pK_{A2} = 10.25 \text{ at } 25^\circ$$

這兩種物質的平衡狀態在水中和 pH 有關，其表示如下：



這個系統的細節請見表 1.3、1.4 及 1.5。淡水和海水的緩衝能力是來自鈣和鎂的重碳酸鹽和碳酸鹽，其在酸性物質加入水中時扮演鹼化的角色。

表 1.4 淡水中，在兩個溫度及不同酸鹼度時碳酸，重碳酸鹽，碳酸鹽的莫耳濃度百分比的變異

pH	8°C			24°C		
	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
5.0	96.9	3.1	0	95.9	4.1	0
5.5	91.0	9.0	0	88.2	11.8	0
6.0	75.8	24.2	0	70.0	30.0	0
6.5	49.7	50.3	0	42.4	57.6	0
7.0	23.6	76.4	0	18.9	81.1	0
7.5	8.8	91.2	0	6.9	92.9	0.2
8.0	3.0	96.7	0.3	2.3	97.3	0.4
8.5	1.0	98.1	0.9	0.6	97.9	0.9
9.0	0.3	96.7	3.0	0.3	95.3	4.4
9.5	0.1	90.9	9.0	0	87.2	12.8
10.0	0	76.9	23.1	0	68.5	31.5

表 1.5 海水中，在兩個溫度及不同酸鹼度時碳酸，重碳酸鹽，碳酸鹽的莫耳濃度百分比的變異

pH	8°C			24°C		
	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	H ₂ CO ₃	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
7.4	4.9	93.5	1.6	3.7	93.7	2.6
7.9	1.6	93.2	5.2	1.1	91.4	7.5
8.4	0.5	84.4	15.1	0.3	78.9	20.8

碳酸鹽鹼的鹼度和硬度 (Carbonate alkalinity and hardness)

淡水的緩衝能力定義為碳酸鹽的鹼度，一般表示為mg/litre的等價碳酸鈣。硬度則為淡水中所含鈣、鎂及其他金屬的量，其表示為mg/litre的碳酸鈣。軟水定義為含有0~60 mg/litre，稍硬水為60~120 mg/litre，而硬水則超過120 mg/litre。淡水中含有顯著碳酸鹽鹼度者，通常為鹼性的pH值，此為石灰岩地形之特性。儘管海水有硼酸鹽加入緩衝能力，但海水仍有高的碳酸鹽鹼度；這種緩衝能力能溶解高酸或鹼的廢物，這些在淡水中通常是高度毒性的，這些廢物混合和稀釋在海水中後則變為無害的。

酸度 (Acidity)

在未受污染的淡水中，酸度來自碳酸及土壤、森林及沼澤濕地釋出的有機酸；無機酸及其鹽類為弱鹼性，可發現於工業及採礦廢水；而“酸雨”效應則提高水的酸度。

天然酸度，碳酸鹽鹼度及pH值對於魚類健康需要的水質相當重要。淡水的pH值範圍很廣而且不穩定，但一般魚類存活的pH值範圍為5.0~9.5；鮭魚在pH小於5時開始失去調節血漿中鈉和氯濃度的能力；逐步降低pH值到5以下，在低血漿鈉及氯濃度的情況下，魚活動的能力會喪失 (Leivestad & Muniz 1976)。養殖鮭魚的魚苗則要飼養在pH值較低的水中，再慢慢地加入石灰，使pH上升。甚至在pH為5~6.5的狀況下，亦有報告指出鮭魚的生長率會下降。雖然魚類可以忍受或在一個較廣的pH值環境繁殖，但魚類理想的表現乃定義為快速的生長率和最大的繁殖能力，而其僅在較窄的pH值範圍內。

二氧化碳 (Carbon dioxide)

在自然的水中或養殖系統內，溶解的二氧化碳/重碳酸鹽/碳酸鹽系統形成一個水中植物光合作用的碳貯存槽。天然植物的生長提供魚類食物，而且和重碳酸鹽—碳酸鹽緩衝能力緊密相關。光合作用移除水中二氧化碳會使pH值增加，因為氫氧離子增加了。



在黑暗中，植物呼吸作用形成二氧化碳且形成氫離子而使pH值降低。



在魚池中每日的pH值改變可大到約一個單位，其大部分都是因為這個生物性的程序。

酸性水的二氧化碳含量可由pH值，溫度和大氣中二氧化碳分壓測量。

表 1.6 在氨溶液中，不溶解氨隨溫度及酸鹼度改變之百分比

溫度 (°C)	pH 值							
	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5
0	0.008	0.026	0.083	0.261	0.820	2.55	20.7	45.3
5	0.013	0.040	0.125	0.400	1.23	3.80	28.3	55.6
10	0.019	0.059	0.186	0.590	1.83	5.56	37.1	65.1
15	0.027	0.087	0.273	0.860	2.67	7.97	46.4	73.3
20	0.040	0.125	0.400	1.24	3.82	11.2	55.7	79.9
25	0.057	0.180	0.570	1.77	5.38	15.3	64.3	85.1
30	0.081	0.254	0.800	2.48	7.46	20.3	71.8	89.0

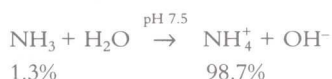
摘自 Emerson et al. (1975)，海水的酸鹼值見 Whitepiold (1974)

在天然水中，二氧化碳不會超過 6 mg/litre。表 1.6 顯示，當 pH 直下降，則游離二氧化碳（未溶解的碳酸）增加。二氧化碳的量增加會抑制魚的呼吸，但是如果增加不是太快速，魚可能可以適應。有可能魚類所需氧氣的臨界值會隨二氧化碳增加而升高。魚類能偵測和反應二氧化碳改變，許多意見指出，游離二氧化碳應低於 1.6 mg/litre；Crocker & Cech (1996) 指出，過長時間處於高濃度的二氧化碳中會使魚生長遲緩。另一個極端的發現為，魚類可以適應到 60 mg/litre 的二氧化碳。

高程度的二氧化碳一般發生於酸性的地下水，因為有微生物作用，而且二氧化碳常到達 30 mg/litre；另也會發生在密飼系統中，因為魚類代謝物之故。

氨 (Ammonia)

不解離的氨分子， NH_3 ，對魚類具有高度毒性，其為一種弱鹼（表 1.6），有些性質在一般離子效應的章節中已討論過。例如在 pH 7.5 時其解離百分比表示如下：



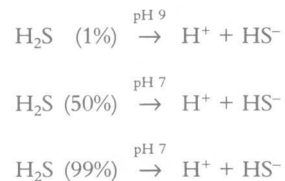
甚至在低濃度的氨即會造成鰓的增生（Smith & Piper 1975）；氨濃度超過 0.02 mg/litre 是不

被推薦的。表 1.6 顯示在不同酸鹼值在三個不同溫度不解離氨所占的百分比。當 pH 低於 7 時，在任何濃度的氨中，不解離氨的量是可被忽略的；但 pH 超過 7.5，尤其在海水（pH 7.8~8.2）對魚類健康是相當危險的。

在密飼狀況下餵以高蛋白質食物易造成高的氨含量，因為其排遺中有高含量的氮，若水是重覆使用，且沒有經過氧化作用，則毒性就會生成。現代用在高經濟價值魚類的水循環系統，如二歲大的鮭魚，在每一次循環中氨會在生物性過濾中被除去。氨毒性對鮭魚的影響參照 Knoph & Thorud (1996)，氮代謝廢物在海水狀況中的毒性參照 Handy & Poxton (1993)。

硫化氫 (Hydrogen sulphide)

其他化合物或離子對魚類的毒性則依其解離平衡後是否達到毒性程度而定。硫化氫的不解離分子對魚類有劇毒，其離子化根據 pH 如下



非解離硫化氫的最大可接受程度為 0.002 mg/litre。許多重金屬的毒性隨 pH 升高而降低，其和 pH 相關的作用有關，包括溶解度降低或其他化合物或離子結合。

礦物質 (Mineral contents)

自然界淡水中的礦物質含量改變非常大，依其來源和地點而定。海水和淡水是截然不同的，但是在自然界中它們間的鹽分含量常不是連續的。有兩種定義一般用來計算鹽含量。

鹽度 (salinity) 是指，當所有的碳酸鹽都轉換成氧化狀態，溴化物及碘化物被氯和有機物氧化的狀況下，一公斤海水中所含的鹽類；

定義可表示為 g/kg 或千分比 (‰)。鹽度的測量可用導電計，折射計或比重計。海岸附近的鹽度變化較大，因為有淡水流入的關係。

氯度是指一定量的海水中所含的鹵化物，它被定義為使 328.523 克海水中所有鹵素凝集所需的銀的質量，其通常亦以千分比 (‰) 表示。氯度通常用滴定法測量。

海洋的氯度為接近 19%，鹽度和氯度的常數關係式表示如下：

$$S‰ = 0.030 + 1.8050 \text{ Cl}‰$$

生物學家們同意必需定義鹽度和氯度的範圍，有許多的分類法被提出，最常被接受的是 Redeke 提出的 (表 1.7)。

鹽度的變化對魚類是一危險，因為鰓和腎臟會無法控制體液的通透性。

淡水中的金屬物質和它流過的土壤和岩石的組成有關。白堊質的土壤和石灰岩含有大量鈣和鎂的碳酸鹽，及少量的其他金屬；砂、砂岩、片麻岩及花崗岩含有最少可溶性的金屬化合物。雨水本身在經過大氣中的灰塵時會帶有許多元素，海水則含有大量不溶性的礦物質，如表 1.8 所示，其主要組成物很少改變。

過量的某種礦物質或離子會危害魚的健康，這些有毒狀況通常是人為的污染，較少是天然的情況；但地下水可能含有高量的可溶性礦物質，如鐵離子。

表 1.7 鹽水的分類

名稱	鹽度 (‰)
Hyperhaline	>40
Euryhaline	30-40
Polyhaline	18-30
Mesohaline a	10-18
Mesohaline b	1.84-10
Oligohaline	0.21-1.84
Fresh-water	<0.21

表 1.8 鹽度 35 % 的海水內的組成分

組成	含量*
Sodium	11.1
Magnesium	1.33
Calcium	0.42
Potassium	0.39
Strontium	0.01
Chloride	19.8
Sulphate (as SO ₄ ²⁻)	2.76
Bromide	0.066
Boric acid (as H ₃ BO ₃)	0.026
Bicarbonate, carbonate, molecular CO ₂	
pH 8.4	0.023
pH 8.2	0.025
pH 8.0	0.026
pH 7.8	0.027
Dissolved organic matter	0.001-0.0025
Oxygen (saturated value)	0.0074
Other elements	0.005

* g/litre 於 20 °C (SG1.025)

◆ 污染 (Pollution)

有許多污染物，當它出現在水中時會降低水中環境的品質，許多相關的短期毒性試驗資料已被收集，其結果一般以半致死濃度 (LC₅₀) 或半忍受極限 (TL₅₀) 表示。這兩者都表示能使 50 % 的受試魚種在一定時間內 (通常為 96 小時) 死亡的濃度；LC₅₀ 和 TL₅₀ 絕不可以視為安全範圍。安全範圍必需能使魚類正常生長及進行其他生理行為，如繁殖等。很不幸的，現今關於安全範圍的資料相當有限，而在某些情況，安全值是依經驗將半致死濃度除以某個因子而得。毒性物質的可接受濃度應是生物可以連續在其中曝露，且偶爾在濃度升高時或長期的累積效應均可 (Sprague 1971) (表 1.9)。

熱污染 (Thermal pollution)

水溫增高可能對水產養殖有益，因為其是代謝率使魚生長加快，但是這只適用於溫度在該品種的忍受極限內。相較於溫帶魚類，熱帶魚類常活在其一個接近其溫度極限的環境溫度內，