

水質學



黃春蘭 博士 編著

藝軒圖書出版社

水質學

黃春蘭 博士 編著

藝軒圖書出版社

國家圖書館出版品預行編目資料

水質學／黃春蘭編著. --第一版. --臺北縣新店
市：藝軒，2003[民 92]

面：公分.

參考書目：面

ISBN 957-616-729-9 (平裝)

1. 水

345.112

92015592

本書任何部份之文字或圖片，如未獲得本社書面同意，
不得以任何方式抄襲、節錄及翻印

新聞局出版事業登記證局版台業字第一六八七號

水 質 學

編著者：黃 春 蘭

發行所：藝軒圖書出版社

發行人：彭 賽 蓮

總公司：台北縣新店市寶高路 7 巷 1 號 5 樓

電話：(02)2918-2288

傳真：(02)2917-2266

網址：www.yihscient.com.tw

E-mail:yihscient@ms17.hinet.net

總經銷：藝軒圖書文具有限公司

台北市羅斯福路三段 316 巷 3 號

(台大校門對面·捷運新店線公館站)

電話：(02)2367-6824

傳真：(02)2365-0346

郵政劃撥：01062928

台中市

台中市北區五常街 178 號

(健行路 445 號宏總加州大樓)

電話：(04)2206-8119

傳真：(04)2206-8120

大夫書局

高雄市三民區十全一路 107 號

(高雄醫學大學正對面)

電話：(07)311-8228

本公司常年法律顧問／魏千峰、邱錦添律師

二〇〇三年九月第一版

ISBN 957-616-729-9

本書如有缺頁、破損或裝訂錯誤，請寄回本公司更換。

讀者訂購諮詢專線：(02) 2367-0122

校 長 序 言

目前坊間涉及水質相關之書籍大多偏向探討陸域水質分析，較少討論海域水質，而能符合環境污染現況之書籍就更少了，不是年代久遠，就是內容上缺少融合陸上和海洋水質之整體觀念。本書講授水質監測方法，亦提供了殊多污染生物學相關知識，尤其著重水污染對水圈生物之影響，這是以往國內提及水質分析時比較疏忽的課題。值得一提的是，本書所引用的資料幾乎全為台灣所經歷的，極具本土特色，此亦為相關書籍所少有的。

此外，本書對一些熱門議題，諸如：戴奧辛、環境荷爾蒙、陰離子界面活性劑等均有深入的介紹；也提到現今讓養殖戶極為苦惱而需克服的養殖場水質自動監測與分析以及養殖用水自動處理等水質學之應用。本書內容兼顧了淡、海水化學及污染生物學之整體概念，為最適合大專生學習的教科書，而對從事環境保護工作的社會人士或工程顧問機構而言，是很好的一本參考書。今當此書出版前夕，特書數言，以表個人欽佩之意，即以爲序。

陳哲聰 校長
於國立高雄海洋技術學院

作者序言

近年來由於經濟的快速發展及生活水準不斷的提升，環境污染的問題卻日益嚴重，所有生物依賴以爲生的各種水域遭受各式各樣的污染，使得自然界的生態系統面臨空前的挑戰，不但造成大量陸上或水中生物滅亡，也嚴重威脅人類生存。因此，對於水資源之保護已是刻不容緩。

本書適合學習水產養殖與環境類科的學生及從事有關之業者使用。由於考慮到研讀的學生或業者可能不具良好的化學基礎，撰寫本書之文字力求淺顯易懂。本書之編著是利用教學與研究的同時，歷時十年收集國內外有關書籍與文獻成書，尤其收集許多台灣近年來陸上與沿海一手的本土資料，讓所有研讀者更能了解自己生活的環境，進而可以找出與解決環境的問題，期許我們美麗的「福爾摩沙」再現。

本書共包括十一章，分別爲第一章緒論、第二章水質的外觀與物理性質、第三章酸鹼度、氧化還原電位與硬度、第四章溶解氧、第五章有機物質、第六章營養鹽、第七章微量元素—金屬與非金屬、第八章硫化物、鹵化物與氰化物、第九章有機污染物、第十章基礎生產力與水質衛生和第十一章水質自動監測與分析等。

學海浩瀚，筆者才疏學淺，本書不週延之處在所難免，殷望各界先進不吝指正，讓本書能更加完善。

黃春蘭 謹識
於高雄海洋學院
2003.8

目次

第 1 章 緒論	1
1.1 水化學	1
1.2 水中元素對生物效應的因素	11
1.3 水質的研究對水產養殖的意義	13
1.4 影響水質特點及水域機能的因素	13
1.5 一般工業或飲用水水質處理	15
1.6 溫 泉	18
1.7 水質標準之訂定	22
1.8 常見的純水及處理方法	23
1.9 術語小檔案	28
習題一	31
參考資料	32
第 2 章 水質的外觀與物理性質	33
2.1 外 觀	33
2.2 水 溫	33
2.3 味	34
2.4 臭	35
2.5 各種固體及殘留物	37
2.6 透明度	41
2.7 透視度	46

2.8 濁 度	46
2.9 水 色	48
2.10 導電度與電阻	49
2.11 密 度	50
2.12 鹽 度	53
2.13 術語小檔案	58
習題二	64
參考資料	65

第 3 章 酸鹼度、氧化還原電位與硬度——pH 值、酸度、鹼度、 二氧化碳、氧化還原電位與硬度

3.1 pH 值	67
3.2 鹼 度	79
3.3 酸 度	81
3.4 二氧化碳	82
3.5 硬 度	90
3.6 氧化還原作用	97
3.7 術語小檔案	102
習題三	104
參考資料	105

第 4 章 溶解氧	107
4.1 定 義	107
4.2 溶氧飽和度	107
4.3 溶氧量的來源與變化	110
4.4 溶氧量污染指標與水域營養狀況	114
4.5 養殖生產對溶解氧的要求	115

4.6 養殖池水質的惡變	117
4.7 養殖水域中溶氧的管理	117
4.8 術語小檔案	119
習題四	121
參考資料	122
第5章 有機物質	123
5.1 有機物質	123
5.2 有機物指標表示	132
5.3 總有機碳	133
5.4 生物化學需氧量	136
5.5 化學需氧量	139
5.6 術語小檔案	140
習題五	142
參考資料	143
第6章 營養鹽	145
6.1 前言	145
6.2 氮及其化合物	147
6.3 磷及其化合物	165
6.4 矽酸鹽	179
6.5 術語小檔案	182
習題六	185
參考資料	186
第7章 微量元素—金屬與非金屬	189
7.1 重金屬	189

7.2 汞	204
7.3 鐵	207
7.4 錳	212
7.5 銅	213
7.6 鉛	217
7.7 鎘與鋅	219
7.8 鉻	221
7.9 鎳	222
7.10 鋁	222
7.11 砷	223
7.12 硒	224
7.13 其他元素	226
7.14 術語小檔案	232
習題七	233
參考資料	235
第 8 章 硫化物、鹵化物與氰化物	237
8.1 硫及其化合物	237
8.2 氯氣與氯化物	244
8.3 氟化物	249
8.4 氰化物	252
8.5 術語小檔案	255
習題八	257
參考資料	258
第 9 章 有機污染物	259
9.1 前 言	259

9.2 油 脂	260
9.3 陰離子界面活性劑	262
9.4 農 藥	263
9.5 揮發性有機物	267
9.6 三鹵甲烷	272
9.7 酚 類	273
9.8 甲基第三丁基醚	274
9.9 三氯乙烯	277
9.10 多氯聯苯	278
9.11 戴奧辛	280
9.12 環境荷爾蒙	284
9.13 術語小檔案	287
習題九	289
參考資料	290
 第 10 章 基礎生產力與水質衛生	 293
10.1 基礎生產力	293
10.2 葉綠素	293
10.3 浮游生物	294
10.4 藻 類	297
10.5 水質衛生品質指標	304
10.6 術語小檔案	308
習題十	309
參考資料	310
 第 11 章 水質自動監測與分析	 311
11.1 前 言	311

11.2 養殖環境自動監控	311
11.3 循環水養殖系統	317
11.4 養殖用水自動處理	319
11.5 超集約養殖系統	327
11.6 流動注射分析	328
11.7 術語小檔案	346
習題十一	347
參考資料	348
附 錄	349
附 錄 一 飲用水水質標準	349
附 錄 二 飲用水水源水質標準	354
附 錄 三 地面水體水質分類標準	359
附 錄 四 台灣地區沿海水區範圍及水體分類	364
附 錄 五 海域環境分類及海洋環境品質標準	365
附 錄 六 地下水污染監測基準	369
附 錄 七 地下水污染管制標準	371
附 錄 八 污水經處理後注入地下水體水質標準	374
附 錄 九 放流水標準	377
附 錄 十 海洋放流水標準	384
附錄十一 包裝飲用水	389
附錄十二 礦泉水（已包裝）	391
附錄十三 運動飲料（已包裝）	395
附錄十四 游泳池水質標準	397
附錄十五 養殖用水水質標準	398
附錄十六 美國加州之水產用水標準	399
附錄十七 水族箱之水質標準	400

附錄十八	鰻魚池水質的好壞	402
附錄十九	飲用水水質項目對人體健康的影響	403
附錄二十	認識安全的飲用水	414
附錄二十一	認識淨水器專刊	418
附錄二十二	廢水處理的程度	436
附錄二十三	工業廢水的污染特性和主要污染物	437
附錄二十四	人工海水	438
附錄二十五	河川水質分級標準	439
附錄二十六	台灣主要河川歷年污染變化	440
附錄二十七	高雄市台北市和台灣地區歷年來自來水水質合格 格率	441
附錄二十八	台灣西南海域水質背景濃度一覽表	442
附錄二十九	台灣溫泉簡介	443
附錄三十	海域環境監測及監測站設置辦法	449
附錄三十一	常用的養殖用水水質改善劑	451
附錄三十二	水族箱中亞硝酸鹽之水質管理	457
附錄三十三	各種淡水熱帶魚酸鹼值對照表	460
附錄三十四	台灣地區土壤重金屬含量標準與等級區分表 (暫定)	463
附錄三十五	沉積物重金屬含量的各種標準	464
附錄三十六	土壤污染管制標準	465
附錄三十七	土壤污染監測基準	468
附錄三十八	有害事業廢棄物認定標準	470
附錄三十九	有害有機物質特性	486
附錄四十	環保署公告水質名詞定義	499

第 1 章 緒論

1.1 水化學

1.1.1 前言

水化學主要是探討水域裡跟化學有關的一些因子，例如：溶氧量、鹽度、元素組成、物理性質等等；以及探討些跟生物有關的物質，例如：營養鹽、氮、磷和矽等。近年來水化學的研究重點趨向於水資源和水污染兩部份。

1.1.2 水資源

地球上存在的總水量估計為 13.7×10^9 億立方米，其中海水佔 97.3%，淡水佔 2.7%。淡水不僅比例小，而且大部份存在於地球南北極的冰帽、冰河及深度在 750 公尺以上的地下水中。水在地球上的分佈如表 1-1。可利用的淡水資源只有河流、湖泊及地下水的一小部份，不到總量的 1%。整個地球的年降水量約為 4×10^{14} 立方米，其中約四分之一降在陸地上。

根據台大水工試驗所研究指出，台灣平均年降雨量為 2,500 公釐，是世界平均值的 2.7 倍，但因人口密度過高，每人可用水量約僅世界平均值的 1/6，在全球缺水國家排行榜中排名第 18 位。在用水分配方面，以農業用水最多，佔總用水量的比率超過 75%。另外，台灣自來水有相

表 1-1 地球上水的分配比

地球上水的分配 (%)		地球上淡水的分配 (%)	
海水	97.3		
淡水	2.7	冰帽、冰河	77.20
		地下水、土壤水	22.40
		湖泊、沼澤	0.35
		大氣	0.04
		河流	0.01

資料來源：水和廢水監測分析方法指南（上），1990。

當量的漏水情況，漏水率約達 24.6%，相當於每年流掉兩座翡翠水庫。

1.1.3 天然水的化學組成

自然界存在的水並不是理論上的 H_2O ，實際上是溶解有各種無機物和有機物等複雜組成的水溶液，天然水的成分與起源如表 1-2 所示，概略可分為五大類：

1. 主要的離子：

Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 等八種離子。它們的含量佔天然水中離子總量的 95~99%。其中，淡水之溶解成分則較為多變；而海水具有相對恆定的成分，主要的離子濃度如表 1-3 所示。表 1-4 為世界河、湖、海水的平均組成。

2. 溶解性氣體：

含量較多的有氧氣、氮氣、二氧化碳和硫化氫，含量較少的有甲烷和氬氣等。

表 1-2 水中之成分與其起源

成分 起源		懸浮性 成分	膠質性 成分	溶 解 性 成 分			
				氣 體	非離子性	陽離子性	無離子性
無機起源	無機性土壤及岩石	黏土、砂、其他無機性土壤	黏土、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 MnO_2 、 Al_2O_3	CO_2		Ca^{+2} 、 Na^{+} 、 Mg^{+2} 、 K^{+} 、 Fe^{+3} 、 Mn^{+2} 、 Zn^{+2}	HCO_3^- 、 Cl^- 、 F^- 、 SO_4^{-2} 、 OH^- 、 CO_3^{-2} 、 NO_3^- 、 HSiO_3^- 、 H_2BO_3^- 、 H_2PO_4^- 、 HPO_4^{-2}
	大氣			N_2 、 O_2 、 CO_2 、 SO_2		H^+	HCO_3^- 、 SO_4^{-2}
有機起源	動植物死骸	有機性土壤（表土）、有機性廢物	植物性色素、有機性廢物	CO_2 、 NH_3 、 NO_2 、 H_2S 、 CH_4 、臭氣成分	植物性色素、有機性廢物	Na^{+} 、 NH_4^{+}	Cl^- 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 OH^- 、 HS^-
	動植物體	魚類、藻類、微生物	病毒、細菌、藻類				
	化學工業製品			DDT, BHC, PCB 等的石油化合物為主體			

資料來源：水和廢水監測分析方法指南（上），1990。

3. 生源物質：

指出成因上與生命活動有關的物質，主要是氮的化合物（ NH_4^{+} 、 NO_2^- 、 NO_3^- ）、磷的化合物（ HPO_4^{-2} 、 H_2PO_4^- 、 PO_4^{-3} ）、鐵的化合物及矽的化合物等。

表 1-3 海水的主要成分的濃度

離 子	濃 度 (mg/L)	濃 度 (m mol/Kg)
Cl	19353	545.90
Na ⁺	10760	468.30
SO ₄ ⁻²	2712	14.12
Mg ⁺²	1284	26.61
Ca ⁺²	413	5.06
K ⁺	387	9.90
HCO ₃ ⁻	142	2.33
Br	67	0.84
Sr ⁺²	8	0.05
B ⁺³	4	0.44
F	1	0.05

表 1-4 世界河、湖、海水的平均組成 (%)

成 分	亞洲河、湖	世界河、湖	世界海水
CO ₃ ⁻²	36.6	35.2	0.41 (HCO ₃ ⁻)
SO ₄ ⁻²	13.0	12.1	7.68
Cl	5.3	5.7	55.04
SiO ₃ ⁻²	9.5	11.7	—
NO ₃ ⁻	1.0	0.9	—
Ca ⁺²	21.2	20.4	1.16
Mg ⁺²	3.4	3.4	3.69
Na ⁺	6.0	5.8	30.61
K ⁺	2.0	2.1	1.10
(FeAl) ₂ O ₃	2.0	2.7	—
H ₃ BO ₃ Sr ⁺²	—	—	0.28
合 計	100.0	100.0	99.97

資料來源：淡水養殖水化學，農業出版社，p.37，1979。

4. 微量元素：

指在天然水中含量低於 $10^{-3}\%$ 的陰離子（如 I^- 、 Br^- 、 F^- 、 BO_3^- ）、微量金屬離子及放射性元素等。表 1-5 為海水中的微量元素。

5. 有機物質：

指各種生物體、食物、殘骸及石化工業污染物等。

1.1.4 水的性質

與同類化合物比較，液態水具有許多異常的物理性質。在週期表中，與氧同族元素之氫化物分別是 H_2O 、 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te 。由於水分子間存在有很強的氫鍵，使得其有異常高的沸點與熔點，如圖 1-1 所示。在地表溫度條件下，大部份水呈液態，使其能在環境系統中發揮巨大的作用。水與普通物質不同，當凍結時其體積不是收縮而是膨脹，在 $0\sim 4^\circ C$ 溫度內，隨著溫度的升高，水的體積反而縮小，至 $4^\circ C$ 時體積最小，而密度最大，超過或低於此溫度時體積都會膨脹。這是由於在固體的冰結構中，水分子氫鍵數目達到最飽和的四個氫鍵，整齊的排列成六方晶系晶格，形成許多空隙，如圖 1-2 所示，因而造成 $0^\circ C$ 冰之密度小於 $4^\circ C$ 水之密度。在所有的固體、液體與氣體中，除了氦氣外，水具有最大的比熱，即一克水每升高或降低 $1^\circ C$ 時所吸收或放出之熱量較其它物質都多，因此，大的天然水體可以調節氣溫，使其變幅不致於過分劇烈。此外，水的融化熱與蒸發熱也是異常的高，使得冰在融化時可使冰水混合液的溫度保持在冰點，而水沸騰時，可使水溫保持在沸點。水為極性分子，而且由於其介電常數（dielectric constance）很大，作為一種溶劑其溶解能力極強，並使溶解其中的物質有最大的電離度。此種特性使得水中溶解的各種物質可以進行各種化學反應，而且也可以與溶劑水