

OUTLINES OF
BIOCHEMISTRY

生物化學

上 冊

徐 嘉 義 編譯

新興圖書公司

生物化學 上 冊
徐 嘉 義 編譯

出版：新興圖書公司

發行：時代圖書有限公司

香港九龍彌敦道 500 號一樓
3-308884

印刷：毅昌印刷公司

版權所有 * 不准翻印 1974年 5 月版

上 冊

目 錄

第一篇	生物學化合物之化學	1
第一章	pH 及緩衝劑	3
1-1	引言	3
1-2	水之若干重要性質	3
1-3	質量作用定律	6
1-4	水之離解	7
1-5	pH	8
1-6	Brönsted 酸類	9
1-7	強電解質之離解 (電離)	10
1-8	弱酸之電離作用	11
1-9	弱鹼之電離作用	12
1-10	Henderson-Hassel- balch 方程式	14
1-11	若干代表性問題	15
1-12	滴定曲線	18
1-13	pKa 之測定	21
1-14	緩衝劑	21
1-15	生理緩衝劑	23
1-16	一個緩衝問題	25
第二章	碳水化合物	28
2-1	引言	28
2-2	立體異構性	29
2-3	葡萄糖之結構	38
2-4	單糖類的其他結 構	45
2-5	單糖類的性質	48
2-6	寡糖類	54
2-7	多糖類	57
	習題	64
第三章	脂類 (類脂化合物)	66
3-1	引言	66
3-2	脂肪酸類	66
3-3	脂類之分析	71
3-4	命 名	71
3-5	醯基甘油	73
3-6	蠟質	73
3-7	磷脂類	76
3-8	(神經) 鞘類脂物	76

3-9	乙二醇脂類.....	77	3-12	磷肌.....	81
3-10	粘類.....	78	3-13	脂類之比較分析.....	82
3-11	脂類之功能.....	79		習題.....	84

第四章 氨酸及蛋白質..... 86

4-1	引言.....	86	4-6	氨酸之反應.....	96
4-2	分子式.....	87	4-7	簡單的肽類.....	105
4-3	蛋白質中發現的 氨酸結構.....	88	4-8	蛋白質.....	108
4-4	非蛋白質氨酸.....	91	4-9	若干定義.....	114
4-5	氨酸之性質.....	93	4-10	球狀蛋白質.....	118
				習題.....	127

第五章 核酸及其成分..... 129

5-1	引言.....	129		比率之測定.....	143
5-2	嘌呤類及嘧啶類.....	132	5-8	RNA 之結構.....	144
5-3	核武.....	134	5-9	DNA 之結構.....	148
5-4	核武酸.....	135	5-10	DNA 之第三結構.....	152
5-5	DNA 及 RNA.....	137	5-11	病毒.....	153
5-6	核酸之化學.....	139	5-12	核肌.....	155
5-7	核酸中鹽基莫耳			習題.....	156

第六章 生物化學之能學..... 158

6-1	引言.....	158	6-5	反應之偶聯.....	173
6-2	自由能的觀念.....	159	6-6	ΔG 及氧化還原.....	175
6-3	ΔG 之測定.....	160		習題.....	179
6-4	能量豐富之化合 物.....	163			

第七章	酶類	181
7-1	引言	181
7-2	酶類之濃度及受 質濃度之效應	182
7-3	多項受質之反應	190
7-4	溫度的效應	193
7-5	pH 之效應	196
7-6	酶類如何催化	197
7-7	特殊性	198
7-8	酶類之抑制劑	201
7-9	別樣立體的酶類 (又稱反效酶類)	208
7-10	輔因素	212
7-11	酶類之為蛋白質 習題	213 222

第八章	維生素及輔酶	223
8-1	引言	223
8-2	維生素 - 輔酶之 關係	223
8-3	菸醯胺；菸酸	226
8-4	核(糖)黃素	233
8-5	雙硫辛酸	239
8-6	生物素	241
8-7	硫胺素	244
8-8	維生素 B ₆ 組群	246
8-9	葉酸	250
8-10	維生素 B ₁₂	256
8-11	泛酸	260
8-12	抗壞血酸, 維生素 C	263
8-13	維生素 A 組群	265
8-14	維生素 D 組群	269
8-15	維生素 E 組群	271
8-16	維生素 K 組群	273
8-17	在生物化學中之金 屬 習題	275 279

第二篇	產能化合物之代謝作用	281
-----	------------	-----

第九章	細胞 - 其生物化學的組織	283
9-1	引言	283
9-2	細胞壁	284
9-3	血漿膜	291
9-4	核	296
9-5	細胞質內之網狀 構造	297

9-6	線粒體.....	300	9-10	微粒體.....	308
9-7	葉綠體.....	303	9-11	傳遞程序.....	309
9-8	溶酶體.....	305		習題.....	317
9-9	高爾基器官又稱分 散高爾基體.....	307			

第十章 碳水化合物嫌氣的代謝作用..... 319

10-1	引言.....	319	10-8	嫌氣碳水化合物代 謝作用之重要局 面.....	339
10-2	糖酵解：一個定 義.....	320	10-9	糖酵解及生物合 成的中間體.....	342
10-3	酒精發酵作用.....	320	10-10	其他碳水化合物 之利用.....	342
10-4	糖酵解程序的反 應.....	321	10-11	若干碳水化合物之 生物合成.....	351
10-5	ATP 之產生.....	334	10-12	糖酵解之調節.....	355
10-6	全部的能量關係...	334		習題.....	360
10-7	糖酵解程序之逆轉	335			

下 冊

目 錄

第十一章 戊糖磷酸途徑.....	363
11-1 引言.....	363
11-2 戊糖磷酸途徑之 酶類.....	364
11-3 非氧化性“相”之 摘要.....	370
11-4 戊糖磷酸途徑之 意義.....	371
11-5 Enter-Doudoroff 途徑.....	372
習題.....	373
第十二章 三羧(基)酸循環.....	374
12-1 引言.....	374
12-2 史話.....	374
12-3 丙酮酸變為乙 醯基-CoA之氧 化作用.....	376
12-4 三羧酸循環之諸 反應.....	379
12-5 三羧酸循環之意義.....	384
12-6 三羧酸循環之調節.....	387
12-7 Krebs循環之組成 代謝的性質.....	387
12-8 乙醛酸循環.....	391
12-9 線粒體之分區作用.....	393
習題.....	395
第十三章 脂質之代謝作用.....	397
13-1 引言.....	397
13-2 飲食的脂質之變遷.....	398
13-3 腺腔.....	398
13-4 上皮細胞及乳糜 微粒.....	399
13-5 脂肪組織.....	401
13-6 肝臟.....	404
13-7 不飽和脂肪酸之 氧化作用.....	412
13-8 丙酸之氧化作用.....	413
13-9 酮體之形成.....	414
13-10 脂肪酸類之生物合成.....	415
13-11 葡萄糖與脂肪酸 合成之比較.....	422
13-12 棕櫚酸延長成為 硬脂酸.....	422

13-13 不飽和脂肪酸之 生物合成.....	424	13-16 胆甾醇（即膽固醇） 之生物合成.....	432
13-14 磷脂之生物合成.....	428	13-17 胆固醇合成之 調節作用.....	435
13-15 神經鞘類脂物 之生物合成.....	430	習題.....	436

第十四章 電子傳遞及氧化性磷酸化作用..... 438

14-1 引言.....	438	14-7 氧化性磷酸化 作用之機程.....	454
14-2 在電子傳遞中 涉及的成分.....	439	14-8 加氧酶類.....	457
14-3 呼吸鏈鎖.....	445	14-9 線粒體之滲透性.....	460
14-4 氧化性的磷酸 化作用.....	446	14-10 碳水化合物，脂類 及氨基酸代謝反應的 集合.....	462
14-5 氧化性磷酸化 作用之能學.....	449	習題.....	467
14-6 能量轉變程序.....	453		

第十五章 光合成..... 469

15-1 引言.....	469	15-11 光合作用之 量子需要.....	488
15-2 光合成的早期研究.....	470	15-12 在細菌中之還 原性羧基化 反應.....	489
15-3 光合成的器官.....	473	15-13 C_4 途徑.....	490
15-4 光之性質.....	476	15-14 由葉綠體傳遞 ATP 及 NADPH 至 細胞膠體.....	494
15-5 被葉綠素吸收的光.....	477	15-15 光合成之調節.....	495
15-6 能量轉變程序.....	477	15-16 光呼吸.....	497
15-7 非環狀磷酸 化作用.....	481	習題.....	501
15-8 環狀磷酸化作用.....	482		
15-9 在細菌的光合中之 電子流.....	482		
15-10 碳之途徑.....	483		

第十六章 氮及硫之循環..... 502

- | | | | |
|-------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 16-1 引言..... | 502 | 16-7 磷酸根離子
之利用..... | 512 |
| 16-2 非生物性氮固定..... | 503 | 16-8 硫循環..... | 513 |
| 16-3 生物的固定氮法..... | 503 | 16-9 硫酸鹽呼吸作用..... | 519 |
| 16-4 氮之同化作用..... | 507 | 16-10 由有機化合物釋出
之硫..... | 519 |
| 16-5 氮固定酶活性
之控制..... | 510 | 習題..... | 520 |
| 16-6 硝化作用..... | 511 | | |

第十七章 氮及含氮聚合元之代謝作用..... 522

- | | | | |
|-------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 17-1 引言..... | 522 | 17-15 嘌呤生物合成..... | 554 |
| 17-2 氮均衡之研究..... | 523 | 17-16 嘌呤核甙酸
之間之互變..... | 561 |
| 17-3 氮化合物之動力學
的代謝作用..... | 524 | 17-17 嘌呤核甙酸
生物合成之
調節作用..... | 563 |
| 17-4 氨基酸之一般反應..... | 525 | 17-18 嘧啶之生物
合成..... | 564 |
| 17-5 氨基酸類之代謝
的命運..... | 533 | 17-19 二磷酸鹽類及
三磷酸鹽類之
合成..... | 567 |
| 17-6 NH_3 之同化作用..... | 534 | 17-20 脫氧核糖酸
之形成..... | 568 |
| 17-7 尿素循環..... | 538 | 17-20 胸腺嘧啶生物
合成..... | 569 |
| 17-8 氮素排泄之比較
生物化學..... | 541 | 17-22 對嘌呤及嘧啶
核甙酸類修復
機程..... | 570 |
| 17-9 尿酸之形成..... | 543 | 習題..... | 573 |
| 17-10 氨基酸代謝之組成
代謝的景象..... | 545 | | |
| 17-11 含硫氨基酸類之代謝..... | 546 | | |
| 17-12 氨基酸類為其他化合
物之先質..... | 549 | | |
| 17-13 核糖生物合成..... | 550 | | |
| 17-14 四吡咯合成之
調節作用..... | 553 | | |

第三篇 資料性分子之代謝作用..... 575

第十八章 核酸類之生物合成..... 577

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| 18-1 引言..... 577 | 18-7 RNA 轉寫的
生物合成..... 594 |
| 18-2 定義..... 577 | 18-8 修正..... 599 |
| 18-3 複製..... 580 | 18-9 聚核甙酸磷
酸化酶..... 599 |
| 18-4 逆轉寫..... 589 | 習題..... 600 |
| 18-5 突變(變種)..... 589 | |
| 18-6 修復機程..... 592 | |

第十九章 蛋白質之生物合成..... 602

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 19-1 麩醯胺..... 602 | 19-9 蛋白質合成..... 620 |
| 19-2 馬尿酸..... 603 | 19-10 體外完全蛋
白質之合成..... 626 |
| 19-3 穀胱甘肽..... 603 | 19-11 蛋白質之化學合成... 628 |
| 19-4 環狀多肽..... 605 | 19-12 胰島素之生物
合成..... 631 |
| 19-5 蛋白質合成之
成份..... 607 | 19-13 在代謝作用中之
遺傳的缺陷..... 631 |
| 19-6 基因密碼..... 612 | 習題..... 635 |
| 19-7 傳遞者 RNA..... 616 | |
| 19-8 核酸體..... 617 | |

第二十章 代謝的調節作用..... 636

- | | |
|------------------------------|---|
| 20-1 引言..... 636 | 適應的變化..... 652 |
| 20-2 酶之分區..... 636 | 20-8 阻遏及誘導：
藉轉寫作用之
調節控制酶合成..... 653 |
| 20-3 對立的單向反應..... 638 | 20-9 分解代謝產物
阻遏..... 658 |
| 20-4 動力的因子..... 640 | 20-10 結論..... 659 |
| 20-5 調節酶類之化
學的修改..... 644 | 習題..... 660 |
| 20-6 階式系統..... 649 | |
| 20-7 在酶含量中之 | |

附錄 I	緩衝液及 pH 問題	661
A-1.1	二次方程式之求解 ...	661
A-1.3	pH 問題	664
A-2.2	對數之溫習	662
A-1.4	習題	667
附錄 II	生物化學之實驗法	669
A-2.1	目標	669
A-2.8	離子交換	679
A-2.2	玻璃電極	669
A-2.9	膠體過濾法	681
A-2.3	同位素方法	671
A-2.10	酶類之純製	683
A-2.4	分光光度測定法	673
A-2.11	純度之規範	685
A-2.5	氣體色析法	675
A-2.12	決定一蛋白質 中氨基酸順序的 方法	690
A-2.6	紙色析法	676
A-2.7	薄層色析法	678
索 引		695

第一篇

生物學化合物之化學

CHEMISTRY OF
BIOLOGICAL
COMPOUNDS

第一章

pH 及緩衝劑

pH and Buffers

目標 本章討論若干水溶液之化學性質，做為弱電解質電離作用的引介。此教材乃依緩衝系統之陳述，以及各種所與緩衝劑之實例而進行。而在本書之末再說明可電離的化合物及在其結構上 pH 效應的許多實例。

1-1 引言 (Introduction)

生命細胞含有各種數量不等的碳水化合物 (carbohydrates)，脂類化合物 (lipids)，氨基酸 (amino acids)，蛋白質 (proteins)，核酸 (nucleic acids)，核糖酸 (nucleotides) 以及相關之化合物。雖然此等化合物具有幾乎無限大數量的化學結構，然此等化合物的質量却幾乎完全僅由六種元素——碳 (C)，氫 (H)，氧 (O)，氮 (N)，磷 (P)，及硫 (S) 所組成。並且其中兩種元素，氫及氧，造成大多數豐富的細胞性成份， H_2O ，則並未併入以前所列的任何分類中。血漿 (blood plasma) 90% 以上是 H_2O ，肌肉 (muscle) 約含 80% 的 H_2O ，以及其他動植物組織大多數均有超過半數以上 H_2O 的組織成份。

雖然 H_2O 是最豐富的細胞成份，它也是對於生命為不可或缺的化合物。細胞消費的營養素，此等營養素在氧化作用中所用的氧，以及其產生的廢料產物，均以 H_2O 傳遞之。所以注意這種熟知的，却具意外特性的化學品，它在生命溶劑這項任務中造成最特殊的適合性，這項事實是有用的。

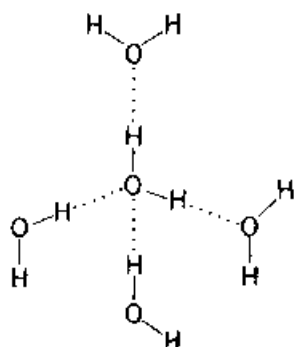
1-2 水之若干重要性質 (Some Important Properties of Water)

水之許多物理性質都是非常獨特的。試就表 1-1 所列各化合物為例思考

之。試以此等化合物與水或以同為優良溶劑性質上或以同具相同數目的電子（等電子的，iso-electronic）上相比較。易見 H_2O 最具有高的沸點，最高的汽化比熱，且其熔點也是此等化合物中最高者。鮑林氏(L. Pauling)陳述水之特異行為乃以週期表第 VI 屬其他元素之氫化物—— H_2S ， H_2Se 及 H_2Te ——相比較。如此則吾人預言，水之沸點將為 -100° ，而非實際結果之 $+100^\circ$ 矣。

水分子被高度極化，因陰電性的氧原子有將氫原子的電子使之遠離而至氧原子處的傾向，故氫子成為四周繞着正電荷的質子（proton）。因有此極化，水分子行為便像一偶極，而相互間能與正及負離子成方向性的吸引。此性質轉而使水做為溶劑時乃具不尋常的能力。在一結晶格子中正或負離子能以偶極的水分子接近，且帶入溶液中。一俟在溶液內，正及負電荷之離子均將被水分子之保護層（protective layers）所包圍，因此在此等相反電荷離子間之相互作用將隨之減弱。

H_2O 之高沸點及熔點及其高蒸發熱都是鄰近的水分子間以所謂的氫鍵（hydrogen bonding）相互作用而產生的結果。簡短的說，氫鍵一項乃涉及與一氫原子的相互作用，即一陰電性原子與第二個陰電性原子做共價的鍵聯。對於氫原子與第二個陰電性原子藉該原子非鍵合電子對相結合，於是有一種能量約為 4.5 kcal/mole 的弱鍵產生（在生物化學物料中有二原子大多數普遍涉及氫鍵中者為氮 N，及氧 O）。在液態水中水分子的小的“瞬變鏈”（transient chains）即由此種作用發生。



要斷裂氫鍵（ $4-10 \text{ kcal/mole}$ ）所需之能量比斷裂一條 $\text{O}-\text{H}$ 共價鍵所需要的小很多，且在溶液中氫鍵容易斷裂及形成的。用水的氫鍵加成效應為解釋 H_2O 之許多不尋常的性質主要因素。故沸騰水及熔解水需要額外的

能量極可能歸因於蔓延性的氫鍵。

水之其他不尋常性質使之對有生命之機構為一理想的介質。因此 H_2O 之特殊的比熱——一克之水由 15° 升至 16° 所需之卡路里數——為 1.0，要比多種溶劑的（例如乙醇之 0.58；甲醇，0.6；丙酮，0.53；氯仿 0.25；及乙酸乙酯 0.46）顯然特別高。僅液態氮最高為 1.12，一物質之比熱愈高則當一定量的熱量被吸收時，影響溫度之變化愈小，故水在生命機構中能保持溫度在相當的恒定情況。亦即水之此種性質使地球上之海洋成為一種對生命起源及原始形態進化的理想環境。

水之汽化熱已如前述是不尋常的高。對水而言其比汽化熱（每克水汽化時所吸收之熱量）在沸點時為 540 卡，溫度愈低時其值愈高。此高值在生命機構中維持恒定溫度時亦非常有用。因大量的熱可由水之汽化而消失了。

H_2O 之高熔化熱（80 cal/g，而乙醇為 25，甲醇為 22， H_2S 為 17，及丙酮為 23），在穩定生物體上也有其重要性。在細胞中之水在高等生命形態中鮮有冷凍的。因在冷凍時由 H_2O 放出熱量乃冬季使水溫的實際降低量減少之主要因素。蓋一克之水凍結成冰其放出之熱量為 80 cal/g 乃由 $1^\circ C$ 至 $0^\circ C$ 時之 80 倍。

表1-1 水與其他化合物之若干物理性質

化合物	熔點 ($^\circ C$)	沸點 ($^\circ C$)	汽化熱 (cal/g)	比熱 (cal/g)	熔解熱 (cal/g)
H_2O	0	100	540	1.000	80
乙醇	-114	78	204	0.581	24.9
甲醇	-98	65	263	0.600	22
丙酮	-95	56	125	0.528	23
乙酸乙酯	-84	77	102	0.459	—
氯仿	-63	61	59	0.226	—
NH_3	-78	-33	327	1.120	84
H_2S	-83	-60	132	—	16.7
HF	-92	19	360	—	54.7

在生命體中 H_2O 之性質另一實例乃水之比重在 $4^\circ C$ 時為一最大值。因之， H_2O 在固態即冰狀時比重較低而膨脹。此現象雖甚罕見，但在生物學上的重要性已發覺。若冰較水重，則將見容器之底部先凍結。意謂海洋，湖泊及池沼均將先由底部漸漸向上凍結，一旦凍結則將極難溶化矣。如此情況下，將

發現對水中居住的生物十分不適宜。事實上溫暖之液態水流向任何上有浮冰的湖泊及海洋的底部，故熱可來自外在環境中，可到達冰處且熔化之。

至於其他之性質如高的表面張力及高的介電常數均在生物學上十分重要。學生可參閱 L. J. Henderson 所著之 “The Fitness of the Environment” (環境之適應) 一書，其中討論此問題更為詳盡，且着重 pH，蓋 pH 為水溶液中之氫離子 (H^+) 之量，是一適宜之表示法。如此，要溫習質量作用定律及水之離子產物。

1-3 質量作用定律 (The Law of Mass Action)

對於反應



二反應物 (reactant) A 及 B 化合為二生成物 (product) C 及 D。可寫出下式：

$$K_{eq} = \frac{C_C \cdot C_D}{C_A \cdot C_B} \quad (1-2)$$

此即質量作用定律之表示式，引用於反應 1-1 可陳述：在平衡時，一化學反應生成各質之濃度的乘積除以反應中各反應物之濃度的乘積，為一常數稱之謂平衡常數 K_{eq} 。此常數在任何指定溫度下是固定不變的。若此反應中之任一單獨成份之濃度有變化時，則至少另一成份之濃度為了配合由 K_{eq} 所控制之平衡狀態而有所改變。

為精確計，應在反應物及生成物之濃度與此等反應物之“活動度” (activity) 或“有效濃度” (effective concentration) 間加以區別。早已知悉一質之濃度在一化學反應中未必總是確切的有其活動度。尤有進者，在反應物濃度甚大時則其行為愈呈相反性質。在此情況下，反應物之各個單獨質點可能互相間早顯吸引作用，或在發生反應之溶劑中與溶劑相吸引。另一方面，在稀薄溶液或低濃度溶液中則此相互間作用小至可以忽略不計。為更正濃度及有效濃度間之差別，可導入“活動度係數 γ ” (activity coefficient γ)，故有：