

大學叢書

生物化學

東北人民政府衛生部

1951

生物化學

東北人民政府衛生部

1951

1951年8月初版

1—5,000冊

版 權 所 有

生 物 化 學

著 者

李 震 勛

出 版	東北人民政府衛生部教育處出版科
印 刷	東北醫學圖書印刷廠
發 行	東北醫學圖書出版社
	瀋陽總社：和平區中山路84號
	哈爾濱分社：地段街47號
	長春分社：勝利大街二段14號

序

抗日戰爭時期的中國醫科大學，處在國民黨反動派封鎖之下的農村環境，參考書籍和雜誌極端缺乏，講授生物化學時，無中文課本可用，便以 A. T. Cameron 所著 A Textbook of Biochemistry 爲藍本編譯講義，以應急需。

一九四九年春，大連關東醫學院仍無適當生化教材；同時大連東北書店擬出版醫學叢書，由於授課時間迫促，不及修改，即以油印講義原稿交書店付印。

去年，東北人民政府衛生部要重印該書，但其中許多內容已嫌陳舊，本人對生化並非所長，且爲行政事務所纏，乃請本院生化系涂長晟同志增訂，將其中第七、第九、第十、第十三、第十八、第十九、第二十、及第二十二等章根據原著最新版本重譯，其餘各章亦加修改，交東北醫學圖書出版社出版。

我們在編譯和增訂過程中均試圖運用唯物辯證法的觀點和方法，但限於我們本身的理論修養和科學水平，錯誤是免不了的，歡迎大家批評指正。

李 震 勛

一九五一年六月於大連醫學院

目 錄

序 言

第 一 章 導 論.....	1
第 二 章 氫游子指數.....	5
第 三 章 膠態物質.....	12
第 四 章 醣.....	17
第 五 章 脂肪及類脂質.....	29
第 六 章 蛋白質.....	37
第 七 章 核酸及核酸蛋白.....	49
第 八 章 酶的化學.....	53
第 九 章 維生素.....	62
第 十 章 食 物.....	77
第 十 一 章 消化及吸收.....	87
第 十 二 章 腸內細菌的作用.....	97
第 十 三 章 去毒作用.....	101
第 十 四 章 血液及其它體液.....	106
第 十 五 章 呼吸的化學.....	115
第 十 六 章 組織的化學.....	125
第 十 七 章 激 素.....	140
第 十 八 章 醣類的利用.....	151
第 十 九 章 脂肪的利用.....	161
第 二 十 章 蛋白質的利用.....	169
第 二 十 一 章 醇，水及無機鹽的新陳代謝.....	173
第 二 十 二 章 細胞內呼吸.....	188
第 二 十 三 章 體內能的新陳代謝.....	195
第 二 十 四 章 排洩的化學.....	201

第一章 導 論

生物化學一語，英文是 Biochemistry，依字義而言即生命的化學（Bio 源出希臘語 Bios 即生命之意）。研究生物化學是從化學家的觀點研究活着的或曾經一度生活過的物質，換句話說，即考察活物是由什麼化合物所組成，考察它們如何構成，怎樣毀壞，以及功用如何等等。

生物化學之成為一門獨立的科學，還不過是十九世紀末葉的事，它雖是一門新興科學，可是它的進步卻是異常迅速的。過去的化學家咸以為有機化合物之造成，必賴生物體內某種「活力」或「生命力」(Vitalforce)之助方才可能，此種錯誤的觀點直至一八二八年德國化學家 Wöhler 從氰酸銨製成尿素以後始被逐漸矯正，從這時起才有了生物化學的萌芽。雖然一八八三年已經在德國斯特拉斯堡 (Strassburg) 建立了第一個生物化學的講座，但是可以說直至本世紀初美國生物化學家 Fein 及 Van Slyke 等利用了生物化學的精細的技巧在臨床醫學上直接加以應用以後它才能脫離生理學的襁褓，而得到突飛猛進的自由發展，至今生物化學亦稱生理化學 (Physiological Chemistry)。

生物化學雖然已經成為一門獨立的科學，可是，在現階段它和生物物理學以及生理學三者之間，還不能劃出明確的界限，這三門科學仍密切地互相聯系，並且互相推動向前發展。

生物化學是在普通化學，無機化學及有機化學等科的基礎上建立和發展起來的，因此，研究生物化學必須具備這些科學特別是有機化學的基本知識，如果把生物化學比作一種文字，那末有機化學便好比這種文字的字母，要懂得這種文字就非先學會它的字母不可。

生物化學底發展，在臨床醫學上直接應用以後才有長足的進步，近來它的飛速進步又給醫學研究以更大的貢獻，於是這一門新科學的發展和現代新醫學的進步就血肉相關地聯在一起了，內科學上新陳代謝疾病（如糖尿病）的知識，完全依據生物化學上關於新陳代謝的研究結果，生物化學上關於維生素 (Vitamin) 的知識之進步；不僅使內科學中的營養缺乏病及眼科學上的乾眼病之治療得以解決，並且可以利用這些知識來加以預防，生物化學上關於內分泌的知識的進步，發現了胰島素 (insulin) 甲狀腺素 (thyroxin) 動情素 (Oestrin) 才解決了糖尿病，甲狀腺的治療問題及產科學上的孕娠試驗 (Aschheim zondek test)。如不明瞭血液的化學，則血液的疾病（如酸中毒、貧血等）的研究就無從着手。

不僅臨床醫學如此，醫學基礎各科亦然，診斷學上尿中蛋白質與糖的試驗，細菌學上關於細菌的培養，吲哚試驗 (indol test) 及甲紅反應 (Methyl-red Reaction) 藥理學上各種化學品對於組織的影響，病理學上關於新陳代謝疾病，膽石之形成多發性神經炎等等的原理，莫不有賴於生物化學的基礎而生理學之直接基於生物化學更不待言。此類例證不勝枚舉。總之如不具備

生物化學的基本知識，而欲深刻研究現代醫學，是不可能的事，可是生物化學研究成果在醫學上應用的結果也幫助生物化學家作更進一步的研究。

生物化學與醫學的關係雖然如此密切，但是它的應用並不限於這一方面，植物的生長和組成也在它的研究範圍以內，它對於植物疾病的研究也有許多貢獻，其他如它與獸醫學間的關係，也同樣密切，不過我們的目的是研究醫學，所以這本提綱的內容主要的只限於人類方面，即與醫學各科有關的方面而已。

研究生物化學需要具備定量分析的技能，否則就無法研究組織的成分，食物的化學組成及各種成分在消化和新陳代謝的過程 中所起的變化 等等問題。但不能忘記經化學方法處理過的組織 (tissue) 在化學變化過程中起了變化或破壞已經不是活的組織了，所以活物的本性之研究，受到一定的限制，因此必須將化學分析的結果與組織的功用聯繫起來研究，才能對生物體的各種機能得到正確的認識。

細胞是生物的結構的單位，這是生物學上的基本觀念，原生質是細胞的主要部份，它是一種有生命的複雜物質，是生命的基本物質，稱之為生命的物質基礎。

原生質是由水，蛋白質，脂，無機鹽類，酶和一些其他的物質所組成，可是即使對原生質的有機組成有完滿的知識，我們仍舊不能洞悉原生質所特有的本性，所以現在還不能給原生質下一個明確的定義，它的各種成分相互依賴，並組成一種協調的生理化學的系統，它的活動和本性的多樣性就以此為基礎，許多反應——氧化和還原，水解和綜合——可以同時同在一個細胞內有條不紊地進行，而彼此不相妨礙，生物之有別於無生物的一些特性——感應性，營養，呼吸，新陳代謝，生長——也就依賴這許多化學反應。

究竟什麼是生命呢？對於這個問題，恩格斯給了經典式的解答：「生命是蛋白體的存在形式實質上就是在於把這些蛋白體的化學的構成要素作經常的自我更新。……無論在什麼地方，要是我們遇到生命，我們總是看到生命是與某種蛋白體相聯系的，並且無論在什麼地方，要是我們遇到任何不處於解體過程中的蛋白體，那末我們也必然看到生命的表現」（反杜林論，吳譯本訂正版）。

組織的化學元素：大多數組織都含有70—90%的水，肌肉約含水75%，骨約含水40%，即人身最硬的組織——珐瑯質也含近5%的水，於是氫與氧兩元素在人體中就其重量而言，是很重要的。人體中的氧在60%以上，氫將及10%，氫、氧和碳組成醣類，這三種元素與氮及硫組成蛋白質，磷存在於某些蛋白質及脂肪中，並與鈉，鉀，及鈣組成無機化合物。碳，氮，硫，磷四種元素在人體中所佔的百分率約為：C 20% N 25% S 9.74% P 1.74%。

鈉，鉀，兩種元素廣佈於動植物界，在生理上也非常重要，人的血漿中鈉的含量比鉀多，而紅血球內則相反。人體含鈉0.17%，鉀0.70%。

鈣是細胞的必要成份，骨骼中含量特別豐富，鎂也是在組織中同樣廣佈的一種元素，同時也是組成葉綠素的元素之一，人體含鈣約0.9%，鎂約0.07%。

鐵是動植物原生質的必要成分，它是血紅素的成分之一，人體含鐵約0.07%。

碘大部分與鉀，結合成無機物，人體含0.06%。碘是組成甲狀腺素的必要成分。甲狀腺素對於新陳代謝的控制有重大作用，故碘對於人體也很重要。

銅與血紅素的產生有關，雖然血紅素本身並不含銅。

生物化學之鳥瞰：任何生物，從最簡單的變形蟲（Amoeba）到最複雜的人類都有兩種不同的重要活動，一種是種族的繁殖，另一種是將從外界取得的食物改變成為自身發育和補償的材料並用以生熱及供給工作所需要的能，高等動物的生存時期較長，所以前一類的活動較為次要，後一類活動——生物體內各種反應的過程——則為生物化學研究的主要對象。

我們所研究的是，生物如何將食物中儲存的勢能變為功與熱。這些化學過程也關係于生物本身的耗費及損壞，所以也要研究生物本身底化學的毀壞和補償。這一切過程，無論在單細胞生物或人類基本上，大致相類似，在一切生物體中均有下列種種作用：首先改變食物成為能吸入體壁的狀態，吸收進去用以補償消耗和發生能力（功與熱），然後將細胞毀壞所生的產物及發生能力的化學作用所生的產物從體內排出。

熱之產生顯然由於氧化，多數生物所需要的氧，均從大氣中取得。生物化學之一部分即研究氧如何適應體內各部分的需要。

人類依賴各種飲食而生存。依化學的分析可將這些飲食品分為幾類重要的化合物，即醣，脂肪，蛋白質，幾種無機鹽類，維生素，以及水和氧。

所喫的醣，脂肪和蛋白質，大部分不能溶解，且不能通過動物膜，從口到肛門的消化道係由動物膜所組成，它底內容物，其實是在體外，消化道的功用在於使某些化學變化能在其中進行以使蛋白質，脂肪，及大部分醣等等的複雜的分子，分解成能溶於水且能透過動物膜的簡單的分子，這些化學變化有賴于各種腺體，如唾液腺和胰臟所分泌的某些化合物的幫助，才能進行，這類化合物稱為酶（Enzyme）它們的作用和接觸劑（Catalysts）相似，極複雜的澱粉分子的分子式可寫作 $(C_6H_{10}O_5)_n$ ， n 是一個尚未確定的極大數字，由於某種酶的作用，每個分子澱粉與許多分子水結合，直到大部分成為麥芽糖 $C_{12}H_{22}O_{11}$ ，後者又因另一種酶的作用，而成兩分子葡萄糖， $C_6H_{12}O_6$ ，還有其他種種的酶，可以使蛋白質的分子和水結合，再分為許多簡單化合物，名氨基酸（Amino-acids），同樣由於酶的作用，脂肪分子與水作用，生成甘油及脂肪酸。

當食物與消化液的混合物在消化道內前進時，逐漸變成流體，大部被腸所吸收（凡溶解在溶液內的物質均同被吸收）被吸收的物質由血液循環輸送到全身的細胞，同時經肺吸收入血的氧，

以化學結合的狀態，也被血液輸送至全身的細胞。食物與氧在體內發生許多化學反應，而大部分是氧化作用，一部分化學反應為神經所控制，其餘則受內分泌物（internal secretion）的影響而發生，內分泌物是由內分泌腺，如腎上腺，甲狀腺等所造成，直接傾入血液循環，如此種種不同的化學作用，構成所謂新陳代謝（Metabolism），新陳代謝既涉及氧化作用則必然產生熱，體內千萬細胞中的種種氧化作用產生大量的熱，身體表面亦散失大量的熱，而體溫的高低便是熱的產生和散失兩方面平衡的結果。

各種化學反應的結果產生兩類產物，一類是較為複雜的化合物，或保留在細胞內成為細胞的一部分（它的原生質），或傾出作特別用途（酶，內分泌物），或以脂肪及動物澱粉之形式儲存。其他一類便是比較簡單的廢物，其中最重要的是尿素，二氧化碳和水。這三種廢物先由組織細胞入血液循環，然後大部分移至肺臟（排出二氧化碳及水）；腎臟（排出水及尿素）和皮膚（排出水）。能溶解的排洩物都由腎臟排出，雖然也有一小部分由腸排出（大便）。

這些化學過程的研究涉及能的轉變——勢能轉變為動能。能不滅定律（The Law of Conservation of Energy）應用於生命過程與應用於無生命的過程同樣準確，雖然應用的方式和方法可以不同。飲食和排洩之精確的化學實驗證實：身體既不能創造能，亦不能毀滅能，從定量分析的觀點，也要就個人能力的需要和飲食的需要加以研究，維生素和無機鹽等也是食物的一部份，雖與能的轉變或無直接關係，但無適當供給，則身體不能完善地調節能的轉變。

一般的說，植物比動物有更大的綜合能力，而且因植物有葉綠素，所以能夠將太陽的輻射能以勢能的形式，儲藏於醣類之中。

第二章 氫游子指數

生物體內的各種化學反應，大多數都在近於中性的媒質中進行，假若媒質的酸度或鹼度略有變化，則細胞的活動（也就是生物化學反應的具體表現）便遭受到極不利的影響，我們在這一章裏所要討論的便是用甚麼簡單的符號去表示媒質中的酸度或鹼度，以及用甚麼方法來測定牠們等問題：

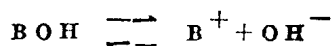
游離：酸，鹼和鹽在水中都能游離產生荷正電的陽游子，和荷負電的陰游子。例如酸在水溶液中便能依照下式游離：



根據質量作用定律可得：

$$\frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = K_a$$

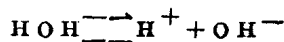
$[H^+]$ 表示氫游子濃度， $[A^-]$ 表示陰游子濃度， $[HA]$ 表示未游離的酸分子濃度，濃度用每公升溶液中所含溶質的克分子數來表示。 K_a 叫做該酸的游離常數。同樣，鹽基在水溶液中，也能依照相仿的方式游離。



依質量作用定律便可以得出該鹽基的游離常數公式：

$$K_b = \frac{[B^+][OH^-]}{[BOH]}$$

生物體內的一切反應都在含有水的媒質中進行，而水是依照下式游離的：



按質量作用定律可以得到：

$$\frac{[H^+][OH^-]}{[HOH]} = K$$

但水的游離度極小，未游離的水分子的濃度極大，所以 $[HOH]$ 可看作一常數，因此：

$$[H^+][OH^-] = K \times [HOH] = K_w$$

用極純的水作精密測定的結果，在22°C時， K_w 的數值是 1×10^{-14} 。既然是純水則：

$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$ ，即每公升純水中含有一千萬分之一克(0.00000001公升)氫游子，或者說在一千萬公升的純水中含有氫游子1克，羥游子17克。

倘在這種中性水中加入酸(也就是在這種平衡狀態下的水中加入大量的氫游子)，則爲了保持這種平衡狀態，便必須減少羥游子的濃度。倘在這種中性水中加入鹼，則情形正相反，這時氫游子的濃度便必須減少，以保持原來的平衡狀態，因此：

$$[H^+][OH^-] = K_w$$

這一平衡式適用於一切水溶液。我們在這裏應該特別注意到兩項事實：(1) K_w 的數值隨溫度的變動而變動，溫度愈高，牠的數值也越大。(2) K_w 的數值雖然甚小，但卻是一個常數，不是0。也就是說，在任何水溶液中， $[H^+]$ 或 $[OH^-]$ 都絕對不能等於0。

在中性溶液中 $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$

在酸性溶液中 $[H^+] > [OH^-]$ 或是 $[H^+] > 10^{-7}$

在鹼性溶液中 $[H^+] < [OH^-]$ 或是 $[H^+] < 10^{-7}$

酸，鹽基都是電解質，在水中都能游離，但每種酸或鹽基的游離度是不同的，在濃度相同的水溶液中，游離度大的酸所產生的氫游子的濃度(即每公升水溶液中所含氫游子的克游子數)比游離度較小的弱酸所產生的氫游子的濃度要大，因此酸的強弱是在一定濃度之下，由游離度的大小或氫游子的濃度的大小來決定的，它與溶液中所含酸量的多少沒有關係。

數種酸的游離度及游離常數 (0.1M)

酸	所產生游子	游離度 %	游離常數
鹽酸	$H^+ + Cl^-$	>90	>10 ³
磷酸	$H^+ + H_2PO_4^-$	24	7.5×10^{-3}
醋酸	$H^+ + CH_3COO^-$	1.33	1.8×10^{-5}
碳酸	$H^+ + HCO_3^-$	0.18	3.1×10^{-7}

總酸度(總濃度)和實際酸度(實際濃度)：在中和反應中，我們知道用某種鹼溶液去滴定鹽酸和醋酸時，祇要這兩種酸的濃度相同，容積相等時，鹼溶液的用量一定相等，而就上表看來，鹽酸的游離度要比醋酸的大得多，也就是鹽酸游離所產生的氫游子濃度要比醋酸所產生的大得多，因此我們可以知道利用中和反應(如滴定法)是不能夠測定某種溶液中所實際含有的氫游子濃度(實際酸度)或羥游子濃度(實際鹼度)的，由它所表示出的是該分子或該分子的總濃度與游離度並沒有關係。爲了要測定酸性溶液或鹼性溶液中的實際濃度或實際鹼度，必須用另外的

方法，而且在生物體內的各種體液和組織液中所含有的氫游子或羥游子的濃度都很小，（譬如正常人的動脈血液一千萬公升中祇含有0.47克的氫游子），爲了便於掌握這些濃度的意義，也勢必要採用簡單的符號來表示。

氫游子指數 (pH)： 丹麥生物化學家索永生 (Sørensen) 在1909年指出用氫游子濃度的倒數的對數(以10爲底)來表示氫游子濃度的便利。自此以後，遂被普遍採用，他用pH這個簡

單的符號來代表 $\log_{10} \frac{1}{[H^+]}$ 。中性溶液的氫游子濃度的數值是 10^{-7} ，它的pH值即 $\log_{10} \frac{1}{1 \times 10^{-7}}$ 或 $-\log_{10} 10^{-7}$ 或是7，如已知某溶液的氫游子濃度，它的pH值就可求得，例如：

$$[H^+] = 2 \times 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \log \frac{1}{[H^+]} = \log \frac{1}{2 \times 10^{-6}} \\ &= \log 1 - \log (2 \times 10^{-6}) \end{aligned}$$

$$\text{但 } \log 1 = 0$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{pH} &= -\log (2 \times 10^{-6}) = -\log 2 - \log 10^{-6} \\ &= -0.301 + 6 = 5.699 \end{aligned}$$

pH值也可以換算成氫游子濃度，例如：

$$\text{pH} = 2.3$$

$$\begin{aligned} &= 3 - 0.7 = 3 - \log 5.01 \\ &= -\log 10^{-3} - \log 5.01 \\ &= \log \frac{1}{5.01 \times 10^{-3}} \end{aligned}$$

$$\therefore [H^+] = 5.01 \times 10^{-3}$$

由pH的定義，可以知道：

$$\text{中性溶液} \quad \text{pH} = 7$$

$$\text{酸性溶液} \quad \text{pH} < 7$$

$$\text{鹼性溶液} \quad \text{pH} > 7$$

在應用pH時，我們應該注意到它是對數，每差一個單位時，實際上是差十倍。

下面列舉出幾種體液的氫游子濃度及pH值，以指出利用pH這個符號的簡便：

$$\text{胃液 (成年人)} \quad \text{pH} : 1.3$$

$$[H^+] : 0.05 \text{ 或 } 5.0 \times 10^{-2}$$

$$\text{尿 (酸性極限)} \quad \text{pH} : 5.8$$

$$[H^+] : 0.000016 \text{ 或 } 1.6 \times 10^{-5}$$

唾液(平均值)	pH: 6.6	
	$[H^+]: 0.000000025$	2.5×10^{-7}
中性水	pH: 7.0	
	$[H^+]: 0.0000001$	1×10^{-7}
動脈血液	pH: 7.3	
	$[H^+]: 0.000000047$	4.7×10^{-8}
尿(鹼性極限)	pH: 7.5	
	$[H^+]: 0.000000032$	3.2×10^{-8}

依上面的計算方法可以知道，酸度 (Acidity) 愈高則是 $[H^+]$ 之值亦愈大，(注意 pH 變為對數的尺度，其差別為幾何級數之差。) 而 pH 值愈小，酸性溶液之 pH 值小於 7。中性等於 7。而鹼性溶液之 pH 值則大於 7。

氫游子濃度測定法：最常用的測定氫游子濃度的方法之一是比色法，比色法利用在不同的氫游子濃度的溶液中有一定顏色改變的有機指示劑 (Indicator)。指示劑的本身是弱酸性或弱鹼基性的染料，對不同的氫游子濃度顯示不同的顏色，有些指示劑的未游離的分子和游離的基各呈不同的顏色，另外有些指示劑在溶液中的分子發生互變導性的變化 (Tautomeric Changes)，由於分子內部的改組，不同的結構呈不同的顏色，例如番試藥 (Phenolphthalein) 是一種弱酸性指示劑，它有兩種互變導性體 (Tautomeric Forms) 在酸性溶液無色，在鹼基性溶液呈紅色 (變色點 pH 9)，剛果紅 (Congored) 加酸則變藍 (pH 4)，而石蕊質 (Litmus) 在酸性溶液中呈紅色，在鹼基性溶液中則呈藍色這都是變色很快的指示劑，但其他指示劑當氫游子濃度改變時，其顏色改變很慢，所以在它改變顏色的 pH 限度內，可顯深淺不同的種種顏色。溶液的 pH 雖只有十分之一的差別，也能辨別，各種不同 pH 改變顏色的指示劑現已列成各種不同的組，可用以測定 1 至 10 之間的種種 pH 值，下列一組即其一例：

指 示 劑	顏色改變	pH 限度
麝香番藍 Thymol blue	紅—黃	1.2 — 2.8
溴酚藍 Bromphenol blue	黃—藍	3.0 — 4.6
甲基紅 Methyl red	紅—黃	4.4 — 6.0
溴甲酚紫 Bromocresol purple	黃—紫	5.4 — 7.0
溴麝香番藍 Bromthymol blue	黃—藍	6.0 — 7.6
酚紅 Phenol red	黃—紅	6.6 — 8.2
甲番紅 Cresol red	黃—紅	7.2 — 8.8
麝香番藍 Thymol blue	黃—藍	8.2 — 9.8

測定pH的方法很簡單，加一定滴數的指示劑於被測定的無色溶液（最好無色）中，將所呈顏色和一系列已知PH的溶液相比較（用同量的體積和同樣大小之試管內加入同樣滴數的指示劑）或與顏色圖表比較即可得出待測定溶液的pH。

〔溶液中有許多種不同的游子，所以可看作許多不同濃度的酸，鹽基，及鹽的混合液，但將這些溶液看作許多游子與少量不游離的化合物混合而成一平衡狀態，便比較簡單，無論這類混合液如何複雜，用pH所表示的氫游子濃度，便代表它的酸度或鹼度，這種複雜混合液和簡單溶液的主要區別，就在於複雜游子的平衡可當作一種緩衝劑，防止溶液的pH因受外加的少量酸或鹼而急劇改變。〕

電位差法：倘有某種金屬浸在含有該金屬游子的鹽溶液中時，便可能產生兩種作用相反的壓力，一種是金屬溶解產生游子的溶解壓力，另一種則是由於業已存在於溶液中的金屬游子因濃度而產生的滲透壓力。倫斯特（Nernst）依熱力學推算出在這種情況下，金屬與溶液之間所產生的電位差的公式如下：

$$E = 2.303 \frac{RT}{nF} \log \frac{K}{P}$$

式中E是電位差，R是氣體常數（8.316焦耳）T是絕對溫度，n是金屬游子價，F是法拉第（96,500庫倫）K是金屬的溶解壓，P是金屬游子的滲透壓。由這公式可以知道某種金屬浸在該金屬游子的鹽溶液中所產生的電位差是由金屬的溶解壓和金屬游子價及金屬游子的滲透壓決定的，而金屬游子的滲透壓又和金屬游子的濃度有正比例的關係。

若將種類相同的兩片金屬分別浸在兩種濃度不同的該金屬游子的鹽溶液中，而將兩片金屬用導線連接，兩種溶液用鹽橋相聯就形成了一個濃度差電池。這濃度差電池的電位差則由下式決定：

$$E = 2.303 \frac{RT}{nF} \log \frac{C_2}{C_1}$$

式中C₂，C₁是兩種濃度不同溶液的濃度。

在用氫電極測定氫游子濃度時，若將這兩種濃度不同的溶液其中之一的濃度訂為1時，上式即可寫為

$$E = 2.303 \frac{RT}{F} \log \left[\frac{1}{H^+} \right]$$

將R，T，F的數值分別代入，即可求出在20°C時

$$E = 0.058 \log \left[\frac{1}{H^+} \right]$$

或是

$$E = 0.058 - pH$$

即

$$pH = \frac{E}{0.058}$$

利用電位差測定氫游子濃度所用的電極雖然有甘汞電極，醃銀電極，玻璃電極等等的不同，却都是利用本節所討論的原理。

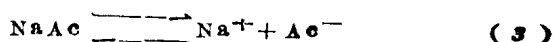
緩衝溶液：(Buffer solution) 不因酸或鹼的小量增減而急劇改變其氫游子濃度的溶液稱為緩衝溶液，它是弱酸和帶有強鹼基的鹽或弱鹼和帶有強酸基的鹽的混合溶液，因為氫游子濃度的改變影響這二種混合液中的強酸或弱酸的游離度，所以它的氫游子濃度不因酸鹼的小量增加而急劇變更，加酸可减少弱酸的游離，加鹼則增加其游離度，弱鹼的游離度則因加酸而增大，因加鹼而减小。

試以醋酸與醋酸鈉所組成的緩衝溶液為例，醋酸是弱酸，其水溶液的游離度很小，依下式：



$$K_{\text{HAc}} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{Ac}^-]}{[\text{HAc}]} \quad (2)$$

H^+ 及 Ac^- 兩種游子少，而未游離的醋酸分子 HAc 多，所以 K_{HAc} 的數值也小，反之醋酸鈉則依下式游離：



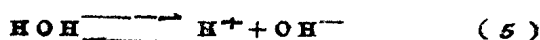
$$K_{\text{NaAc}} = \frac{[\text{Na}^+] \times [\text{Ac}^-]}{[\text{NaAc}]} \quad (4)$$

Na^+ 及 Ac^- 游子很多，而未游離的 NaAc 分子很少，因此 K_{NaAc} 的數值很大。

如將這兩種溶液混合起來，因 NaAc 游離極完全，所以 Ac^- 游子很多，依照 (1) 式，平衡向左移動，結果使 H^+ 減少，而增多了未游離的 HAc 分子。

現在如果加些強酸於此混合溶液， H^+ 增加，使平衡依照 (1) 式更向左移動，使 HAc 的游離更加减小，結果，該混合溶液的氫游子濃度之增加，不如預期之多，如所加強酸的量極少，氫游子濃度可以完全不變。

如不加酸而加鹼則增加了溶液的 OH^- 游子但：



$$[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w \quad (6)$$

K_w 的值是不變的 (如溫度不變) OH^- 游子增多了，則平衡依 (5) 式向左移動，而 H^+ 減少，如 Ac^- 的數目不變， H^+ 減少了則 (1) 式平衡向右移動，所以 OH^- 的增加，使 HAc 的游離增加產生較多的 H^+ 以中和 OH^- 結果增加了未游離的 H_2O 分子，減少了 HAc 分子，而溶液的氫游子濃度得以維持不變。

緩衝溶液對於所加酸或鹼所起的這種化學作用稱為緩衝作用 (Buffer Action)。

弱鹼及帶有強酸基的鹽之混合溶液也有同樣的緩衝作用。

生物體內溶液的反應均屬中性或極近中性，氫游子濃度太高或太低皆不利於生物體內各種酶的正常活動，緩衝物質是生物維持其正常活動的重要物質，生物體內的緩衝物質大多數是由弱酸及帶有強鹼基的鹽所組成，如下列三組：

1. 重碳酸鈉及碳酸 ($\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3$)。

2. 磷酸二氫鈉及磷酸氫二鈉；($\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$)。

3. 酸性蛋白質及其鹽類。

緩衝作用有其一定的限度，如所加的酸已使弱酸完全停止游離，或所加的鹼已使弱酸完全游離，則再加酸或鹼自然再不能起緩衝作用了。

活原生質之一切化學反應均在緩衝的媒質中發生。

第三章 膠態物質

生物體的組織中所含有的有機物，約有90%都以膠態物質的形式存在着，因此我們若要研究生物體內的各種化學反應，便必須首先明瞭膠態物質的涵義及其一般的性質。

1861年格蘭姆在研究物質的擴散現象時，注意到有些物質（如蔗糖，食鹽，脲等）在水中擴散得很快，並且很容易結晶，而另外有些物質（如澱粉，白蛋白，膠蛋白等）則在水中擴散極慢，其水溶液的粘度很大，與膠相似，因此他便把前一類物質稱為晶態物質，後一類物質稱為膠態物質。其後奧斯特瓦更進一步的指出：一種物質在某種情況下，可以表現晶態物的性質，但在另外的條件下，却又能表現出膠態質的性質，例如食鹽溶在水中時是晶態質，而在有機溶媒中則呈膠態，由此可以知道這兩類物質的區別並不在於化學本質上有甚麼不同，而僅僅是由於物理性狀有差異。假若質粒的大小和蔗糖或食鹽的分子相似，則在水溶液中由於質粒和溶媒（水）分子的相對大小沒有甚麼差別而形成一種均勻的真溶液，假若質粒比溶媒分子大得多，則所形成的溶液將是不均勻的。若將這種不均勻的溶液靜置後，質粒並不與溶媒分離開來，則這種溶液便叫做膠態溶液。

膠態顆粒的大小：如果拿膠態顆粒和水的分子（主要的是 H_2O 與 H_2O_2 ）比較，究竟它有多大呢？用普通的尺度來量這個大小太不方便，這需要一種新的尺度，我們知道一千分之一公尺（met）稱為一公厘（millimet）現在我們稱一千分之一公厘為 μ （等於 $0.001mm = 1 \times 10^{-3}mm$ ）而一百萬公分之一公厘稱為 m 。（等於 $0.000001mm = 1 \times 10^{-6}mm$ ）眼不能見而用顯微鏡才能看見的顆粒，其直徑至少是 0.1μ 。在顯微鏡下也看不見的顆粒還可以用度外顯微鏡窺見，其直徑約在 $0.1m$ 至 $1m$ 之間，這種顆粒便組成膠態液，比這更小的顆粒，便是分子和游子。

膠態顆粒既然比分子或游子大得多，因此我們便不難瞭解下列幾項事實：

一、膠態溶液不能超過羊皮紙膜，這個現象的最簡單的解釋便是分子或顆粒，比膜的間隙大些。

二、因同樣的緣故膠態物的顆粒，不易瀾散。

三、膠態液溶一般均略渾濁，這種渾濁度亦由於溶質的大顆粒而產生，這些溶液幾乎都呈丁鐸爾現象（Tyndall phenomenon）。

膠態溶液的一般性質：布朗運動。用超顯微鏡去觀察膠態溶液時，便可以察知膠態顆粒呈現着不停的運動（布朗運動），這種運動的原因是由於膠態顆粒受了溶媒分子不停的運動相互衝擊的結果。膠態溶液中膠態顆粒之所以不致受地心引力的作用而沉降，也可以用布朗運動來部份地加以說明。