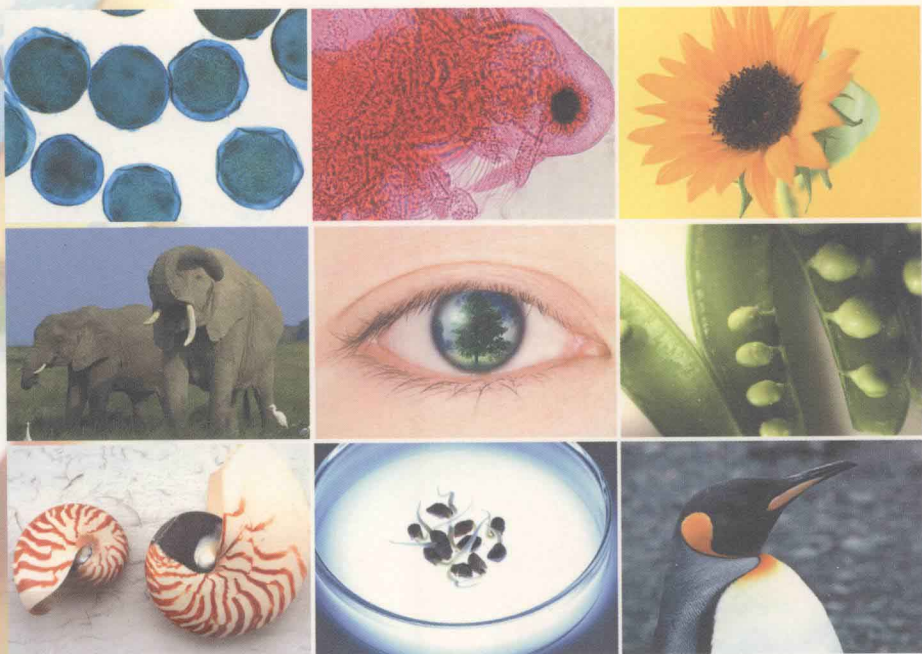


國立臺灣大學共同教育委員會策劃

現代生物學

嚴震東、羅竹芳等◎編



國立臺灣大學通識課程教學參考資料叢書

國立臺灣大學生物資源博物館

現代生物學

鄭育雄・鄭育博主編

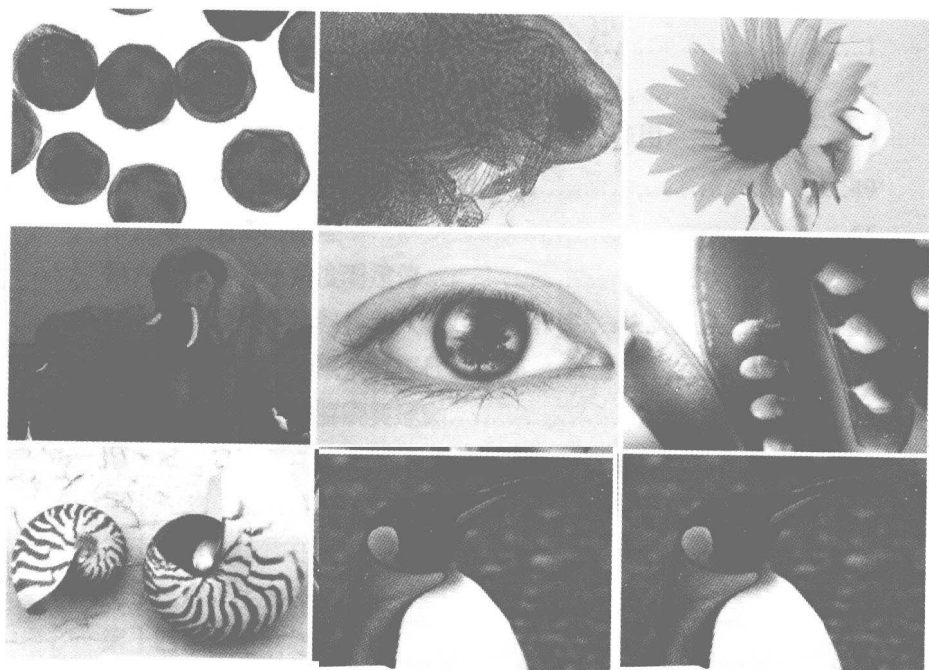


國立臺灣大學生物資源博物館學術出版計畫

國立臺灣大學共同教育委員會策劃

現代生物學

嚴震東、羅竹芳等◎著



國立臺灣大學通識課程教學參考資料叢書

國家圖書館出版品預行編目資料

現代生物學 / 嚴震東，羅竹芳等編。 --初版.-

- 臺北市：臺大出版中心，2005[民 94]

面； 公分 --（國立臺灣大學通識課程
教學參考資料叢書）

ISBN 986-00-1809-X (平裝)

1. 生物學

360

94013943

統一編號 1009402117

現代生物學

作 者	嚴震東、羅竹芳等編
出版者	國立臺灣大學出版中心
發行人	李嗣涔
發行所	國立臺灣大學出版中心
	臺北市 10617 羅斯福路四段一號
	電話：(02)2365-9286
	傳真：(02)2363-6905
	E-mail: ntuprs@ntu.edu.tw
版(刷)次	2005 年 8 月初版
定 價	新臺幣 260 元

ISBN: 986-00-1809-X

GPN: 1009402117

課程簡介

一、課程名稱：現代生物學

二、所屬領域：生命科學領域

三、學分數：二學分

四、授課教師：生命科學系羅竹芳教授等十五位（詳見課程進度）

五、課程說明：

1. 本課程開授之目的，在於培育並及早發掘跨領域之基礎科學優秀人才，因此本課程在設計上針對來自文學院、工學院、理學院、電機學院等非以生物為主修的學生，並期望透過本課程對談與討論的活動，訓練學生以跨領域團隊合作方式解決問題的能力。
2. 本學期課程共十六週分成十五個講授單元，每一講授單元包括下列各項：
 - (1) 講授內容摘要：由各授課老師針對講授單元做一提綱挈領之論述。
 - (2) 參考資料：列舉當代學者所撰有關該講授單元之研究論著書目或研究論文，作為學生將來進一步自修之參考。
 - (3) 討論與思考問題：就每一講授單元或閱讀作業之相關課題，列舉問題若干則，提供學生思考空間，並作為檢驗學習效果之參考。

3. 課程要求：

- (1) 本課程每週上課二小時，同學課堂上需積極參與討論及發言，討論部分之發言成績將併入學期成績計算。
- (2) 本課程每次上課後需填寫問卷，以作為課程改進之依歸，問卷填寫次數列入學生出勤狀況。
- (3) 本課程有期末考，學期成績計算標準如下：

期末考佔	40%
課堂討論及發言佔	40%
課堂出席佔	20%
合計	100%

六、課程進度：

週次	時 間	講 員	主 題
1	92/09/15 (一) PM1:20~3:10	羅竹芳	課程簡介及序論
2	92/09/22 (一) PM1:20~3:10	潘建源	構成生命的基礎物質
3	92/09/29 (一) PM1:20~3:10	李心予	細胞學於現代生物學之貢獻
4	92/10/06 (一) PM1:20~3:10	王淑美	生物能量的流動： 光合作用與呼吸作用
5	92/10/13 (一) PM1:20~3:10	鄭登貴	現代生物學的應用： 動物基因轉殖技術之簡介
6	92/10/20 (一) PM1:20~3:10	于宏燦	遺傳的原理
7	92/10/27 (一) PM1:20~3:10	黃曉薇	從分子角度看遺傳
	92/11/03 (一) PM1:20~3:10	期中考試	

8	92/11/10 (一) PM1:20~3:10	何國傑	現代生物科技與人類基因體計畫
9	92/11/17 (一) PM1:20~3:10	胡哲明	演化生物學及其現代之發展
10	92/11/24 (一) PM1:20~3:10	嚴震東	生物體的協調與運動
11	92/12/01 (一) PM1:20~3:10	陳瑞芬	生物體功能之運作： 體內環境的恆定
12	92/12/08 (一) PM1:20~3:10	吳益群	模式生物在現代發育生物學的角色
13	92/12/15 (一) PM1:20~3:10	林讚標	植物在陸地上的拓殖與植物的多樣化
14	92/12/22 (一) PM1:20~3:10	陳俊宏	生物多樣性： 動物篇
15	92/12/29 (一) PM1:20~3:10	陳歷歷	生物與環境間之互動： 生態學的研究
16	93/01/05 (一) PM1:20~3:10	羅竹芳	生物對環境的適應： 動物行為
	93/01/12 (一) PM1:20~3:10	期末考試	

※以上係 2003 年上學期課程，實際講授之內容每年均稍做調整。

七、基本參考書：

本課程之教材相關資料以及各授課教師所參考之網站位置，均在各講授單元詳列，以下僅列出基本參考書籍。

1. Campbell, N. A., Reece, J. B., Mitchell L. G., and Taylor M. R. (2003) *Biology-Concepts & connections* (6th ed). Benjamin Cummings, California.
2. Raven, P. H. and Johnson G. B. (2002) *Biology* (6th edition). The McGraw-Hill Companies, New York.
3. Star, C. (2000) *Biology: Concepts and applications* (4th ed). Thomson Learning, Inc.

現代生物學

目次

課程簡介.....	i
第一章 構成生命的基礎物質.....	1
第二章 細胞學於現代生物學之貢獻.....	17
第三章 生物能量的流動：光合作用與呼吸作用.....	29
第四章 動物基因轉殖技術之簡介.....	49
第五章 遺傳的原理.....	65
第六章 從分子角度看遺傳.....	75
第七章 現代生物科技與人類基因體計畫.....	91
第八章 演化生物學及其現代之發展.....	109
第九章 生物體的協調與運動.....	125
第十章 生物體功能之運作：體內環境的恆定.....	139
第十一章 現代發育學的拓荒者：模式生物的研究.....	155
第十二章 植物在陸地上的拓殖與植物的多樣化.....	173
第十三章 生物多樣性：動物篇.....	187
第十四章 生物與環境間之互動：生態學的研究.....	199
第十五章 動物行為：動物對環境的適應.....	211

第一章 構成生命的基礎物質

潘建源

壹、講授內容摘要

生命的基本行為，皆遵循化學基本原理。因此要瞭解生命運作的方式，就需先有化學的基礎知識。原子是構成所有物質的最小單元，分子則是由原子相互作用，依循化學鍵結的基本原則，以一定的比例構成。而所組成的分子，其三度空間的構形變化，則決定分子的性質。

在希臘文中，原子 (atom) 的原意是「不可分割」，意即組成元素，且具有和元素相同性質的最小單位。當然，現代科學的研究知道，原子可再分割為質子 (proton)、中子 (neutron) 及電子 (electron)。質子帶正電，與不帶電的中子組成原子核，而帶負電的電子則環繞在四周。不同元素有不同的質子數目，而因每個原子都是電中性，亦即相對有同數目的電子。

惰性氣體 (inert gas) 是所有元素中，最為穩定且不易與其他元素反應的元素。究其原因，就是其電子數達到一個最穩定的飽和狀態。而其他元素，為達到像惰性氣體一般的穩定電子狀態，就必需與其他原子共享或傳送電子，因此而結合在一起。這使原子結合在一起的力量，稱為化學鍵 (chemical bonds)，共有四種：離子鍵

2 現代生物學

(ionic bond)、共價鍵 (covalent bond)、氫鍵 (hydrogen bond) 與凡德瓦爾力 (van der Waals force)。

水是孕育生命的搖籃，一般生物體內，有 70~75% 是水。而一個水分子是由兩個氫原子與一個氧原子，以穩定的共價鍵結合在一起。然而氫與氧原子間的電子分享，並不是均勻的，而是較集中於氧原子，造成氧原子四周有較多的負電荷分佈，相對地，氫原子則是較多的正電荷分佈。因此不同水分子間的氫與氧原子，由於正負電荷的吸引，會形成所謂的氫鍵；使得水相較於其他相同分子量的化合物，有較高的沸點、較大的表面張力與熱焔。也因為正負電荷部分分離的關係，許多離子化合物及大分子等，都可輕易地溶解在水中，使水成為一個非常好的熔爐，讓許多反應皆可輕易進行。

構成生命有機體的主要基本物質，可分為四大類：(1)碳水化合物 (carbohydrates)、(2)脂質 (lipids)、(3)蛋白質 (proteins)、(4)核酸 (nucleic acids)。這些化合物，主要都是由碳、氫、氧、氮、磷等基本元素鍵結而成。而其性質，則依這些原子三度空間的組合方式，而有極大的差異。然而無論如何，所有這些物質的組成方式及其反應，都遵循化學的基本原理而進行。因此生命的種種現象，都可透過一系列的化學反應而予以瞭解。

本章內容分為四個部份：

- 有機與無機
- 原子與分子
- 水的特性
- 基本組成分子

一、有機與無機

1953 年諾貝爾獎得主，現任美國冷泉港研究中心負責人華森博士 (Dr. James D. Watson) 曾說：凡細胞皆遵循化學定律。此說明了化學觀念在生命活動中的重要性，因此，我們先探討一下歷史上，化學的研究對生命觀念的影響。

在十九世紀初期，由於科學的研究，人們已認識到，不論是生命或無生命，皆需遵循著基本的化學定律而變化；雖然如此，人們對生命的觀念是，除基本的化學反應外，另有一個生命元素，將生物與非生物區分開來。因此有所謂的有機物 (organics) 與無機物 (inorganics) 的分別，且兩者間是不可跨越的。那時的想法是，凡是與生命相關的化學物質，包括組成生物及生物的排出物，都是有機物；而其他的物質就都歸類為無機物。而要成為有機物，都是要有一個生命元素附在上面，因此無法以人工的方式，讓無機物變成有機物，無機物只能由無機物組成，而有機物就只能由有機物變化而來。

然而在 1828 年時，有一個有機合成上的重大突破：有機物可由無機物合成而來。Dr. Wöhler 將屬於無機物的氰酸鉍，合成屬於有機物的尿素。這實驗使人們認識到，無機物與有機物間，其實也可透過適當的化學反應，進行轉換。更進一步地，Dr. Kolbe 在 1845 年時，以碳元素為起始物，合成出甲酸。再次證明不需所謂的生命元素，無機物也可變成有機物。

因此人們逐漸相信所謂的生命元素，並不存在，而無論是有機體或無機物，皆遵循基本的化學法則進行各種變化。影響所及，科學家對生物的研究，著重在探討生物體中的各種分子，以及這些分子間的變化關係，試圖解出生命的基本運作法則。此後一直到二十世紀中期，主要的研究都是著重在瞭解細胞中有哪些物質，與這些

4 現代生物學

物質新陳代謝的途徑，希望透過物質變化的過程，瞭解生命的奧妙。

而在 1953 年，美國芝加哥大學的米勒博士 (Dr. Stanely Miller)，在密閉瓶中放入遠古大氣成分，並以高壓電刺激，最後在瓶中找到許多組成有機體的眾多基本分子，如氨基酸、核酸等。由此證明在遠古時代，經由化學反應，地球的環境確實會產生許多構成生命所需的物質，並配合各式化學反應，演化產生現代種種多樣的生命。

由此可見化學在「生命」中的重要性：

- 物質的組成及其變化依循化學法則。
- 要瞭解生理的變化，須有化學的基礎。
- 身體的各項功能是由細胞內的化學變化所決定。

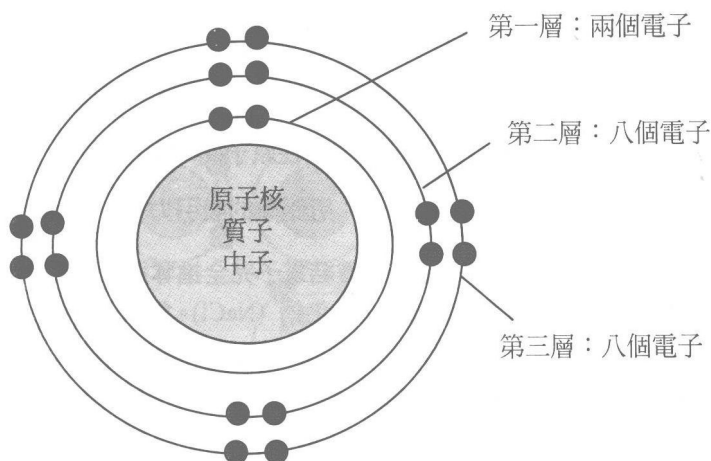
因此要瞭解生物體內的各項變化，就須先有一些基本的化學背景知識，方能確切掌握生命的本質。本章主要所探討的是前兩項，而第三項則在往後各章中，分別探討。

二、原子與分子

原子 (atom)，在希臘文中的原意是「不可分割」。每個元素都是由一獨特的原子所構成，原子是物質的最小，但仍具有元素特性的組成單位。原子再往下細分，則有組成原子核的質子 (proton) 與中子 (neutron)，及環繞在四周的電子 (electron)。質子帶正電而電子帶負電，中子則不帶電。因為每個原子的質子與電子數量相等，因此原子呈電中性。不同的原子，具有不同數目的質子與電子。而相同的原子，其中子數可能不同，形成所謂的同位素。

如氫 (hydrogen) 原子的原子核只有一個質子，周圍也僅一個電子環繞；然而氫原子的同位素，氚 (tritium)，原子核除一個質子外，尚有兩個中子，而周圍也是一個電子。另以碳原子 (carbon, C) 而言，原子核中有六個質子與六個中子，周遭有六個電子；而同位素 C_{14} 則在原子核有六個質子與八個中子。

因此根據原子的質子數與其性質，科學家們排列出所謂的「週期表 (Periodic Table)」。而原子序即代表此原子的質子數目，原子量則是此原子的重量。由週期表中發現，原子核外的電子，有一特別的軌域關係。第一層軌域，僅能填充兩個電子，當有第三個電子出現時，就需填充到第二層軌域。而第二層可容納八個電子，填滿時，就需到第三層軌域，這一層也可容納八個電子。大部分常見的元素，大概都屬於這三層。



圖一：原子核與三層電子軌域

研究發現，當原子的最外層電子數是屬於充滿狀態時，即是在一最穩定的狀態。鈍氣，如氦（helium，原子序 2）、氖（neon，原子序 10）等的最外層，就是此一情況。因此最不會和別的元素反應，稱為惰性氣體（inert gas）。而其他的原子，則會和其他原子作用，以使其最外層電子達到飽和的狀態，以穩定下來。

因此不同的原子間，會經由接受、給予、或分享電子的方式，使其外層電子達到飽和而結合在一起，形成分子。而所形成的分子，其性質與所含的原子原本的性質，大不相同。因此不同的原子，經由各種的結合方式，會組合出性質相異的許多分子。

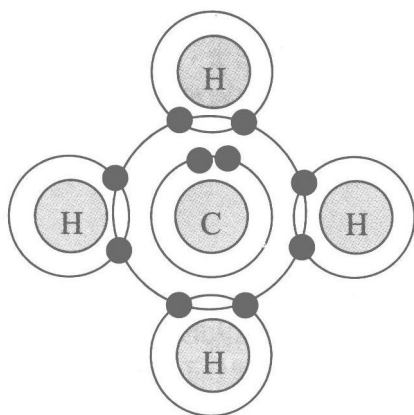
分子就是具有不完整價鍵層的原子，彼此分享或傳遞電子，形成所謂的化學鍵，將兩或多個原子結合在一起，成為一個性質全新的化合物。因此我們可以說，化學鍵就是分子間對電子的拔河賽，而根據電子的分佈情況，一般分為四類：

- 離子鍵（ionic bond）：不同電荷的離子間吸引力。
- 共價鍵（covalent bond）：均等或不均等的電子分享。
- 氫鍵（hydrogen bond）：氫原子與電負性原子間的吸引力。
- 凡得瓦爾力（van der Waals force）：近距離的吸引力。

離子鍵是一原子將另一原子的鍵結電子完全搶奪過去，使得兩原子一帶正電，一帶負電。如食鹽，氯化鈉（NaCl）。氯原子（Cl）原子序為 17，因此有十七個電子，一、二、三層軌域分別有二、八及七個電子，因此若其再有一個電子，就可將最外層變為八個電子，達到穩定的狀態。而鈉原子（Na）的原子序是 11，最外層僅有一個電子。因此當氯原子與鈉原子結合時，鈉原子將最外層所多出來的電子，交給氯原子，以補其不足，如此兩個原子的最外層電子軌域，正好都是在飽和且穩定的狀態。鈉原子失去一個電子，本身

就變成一個帶正電的陽離子 (cation)，寫成 Na^+ ；相對的，氯原子多出一個電子，成為陰離子 (anion)，以 Cl^- 表示。如此電子極端地分佈到一個原子上，形成正負離子結合，所形成的化學鍵，即是屬於離子鍵。

而共價鍵則是兩原子均等或不均等地分享鍵結電子，雖然有些是不均等，但卻沒有一方可像離子鍵一樣完全獨佔，因此可說為雙方所共有。如甲烷 (methane)， CH_4 ，雖然電子會比較靠到碳原子上，但基本上能是由雙方所共享。如此碳的外層有四個電子，再加上四個氫原子的四個電子，就可有八個電子；而每個氫原子，分享碳原子的一個電子，使外層軌域成為兩個電子，而處在穩定的狀態。要注意的是，這些所分享的電子，是同時為兩原子所用，以達到最穩定的狀態。

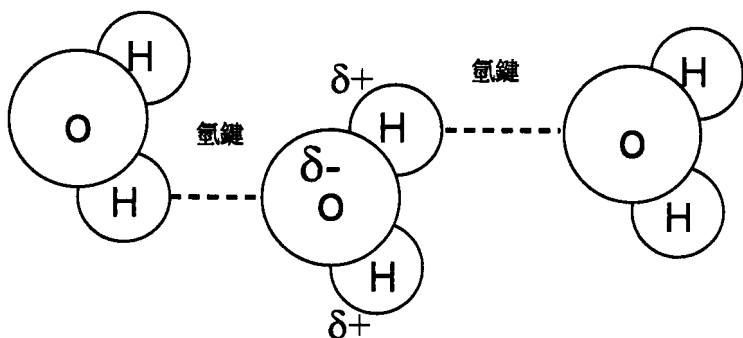


圖二：甲烷 CH_4

但由於鍵結電子有靠近一方的趨勢，此共價鍵本身會有所謂的極性 (polarity)。碳與氫的鍵結，靠近碳的一邊是 δ^- ，而靠近氫的

一邊則是 δ^+ 。

由於共價鍵本身有極性的特性，造成分子與分子間的正負極性，在距離夠近時，會相互吸引，尤其是與氫原子結合的氮 (N) 與氧 (O) 原子，更為明顯。如水分子 (H_2O)，不同分子間的氧 (δ^-) 與氫 (δ^+)，由於相互間的強烈極性吸引力，形成所謂的氫鍵。此氫鍵是造成水分子特殊性質的重要因素。



圖三：水分子間的氫鍵

凡得瓦爾力則是原子或分子在近距離時的吸引力，雖然小，但若數量多時，其總和的吸引力是非常大的。如壁虎腳上，即是利用凡得瓦爾力，使其可吸附在許多物體分子表面上。

因此雖然常見的元素有限，但原子間彼此互相以各種方式結合，可以組出各式各樣不同性質的分子。而即使是由相同的元素所組成，在三度空間上的排列不同，又會有不同的性質。如正丙醇 (1-propanol) 與異丙醇 (2-propanol)，分子式都是 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ ，然而其醇官能基 (OH group) 所在的位置不同，造成此兩分子性質上的差異。

因此生物可利用這些不同分子的性質，進行各項生理反應，進而推動生命的活動。生命體內的一連串活動，可說是由一系列的化學反應組合而成。簡而言之，化學反應就是原子的重新排列組合。而在重新組合後，新的分子有其特別的性質，以進行其專屬的生理反應。

如光合作用是植物的葉綠體，利用光的能量，將二氧化碳 (CO_2) 與水，重新組合成葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 與氧氣 (O_2)。這些原子並沒有消失或增加，所改變的是彼此間的組合情況。不同的組合，形成不同的分子與不同的性質，此即是化學反應的基本要義。

而反應的另一重要性質是化學平衡，所探討的是產物的生成速率與分解速率之間的關係。對生物體而言，在休息態時，所有的反應都是處在一個平衡狀態，而當一個刺激進入時，平衡就會被打破。此時生物體會因應此一刺激，而進入另一個平衡狀態。因此對生物而言，所有的化學反應，常是以各種的平衡變化方式，以完成各種生理活動。如神經脈衝傳導，即是利用細胞膜內外離子的濃度不平衡，以達到訊號傳導的目的。

三、水的特性

水雖然只是一個小分子，但卻由於其獨特的氫鍵性質，造成地球多采多姿的變化。地球表面有 70% 的表面積為水所覆蓋，更別提我們體內有三分之二的組成是水。由此可見其重要性。

● 密度

一般分子，固態的密度通常比液態大。然而由於氫鍵的關係，水在不同狀態下的密度變化是相當特別的。在 0°C 時，水是固態，