

生物大分子簡介

國立中山大學生物科學系許清玫
中華民國九四年五月

緒論

細胞為生物的基本構造，細胞內所含的重要物質主要是水及含碳的有機化合物如醣類、脂質類、蛋白質與核酸等生物大分子。重要的生物大分子各有其特殊的官能機與構形，決定了各類大分子扮演的生物功能，而多數的生物大分子皆由較簡單的有機化合物連接而形成。

醣類

醣類的定義為含多元醇 (-OH) 的醛或酮，或經水解後產生此類化合物的衍生物。由於大部分的醣類都具有分子式 $(\text{CH}_2\text{O})_n$ ($n \geq 3$)，故俗稱碳水化合物。醣類在生物界的分布很廣，主要的功能如表一，而其中植物的澱粉與纖維素是自然界藏量最多的醣類。醣類可分為單醣，寡醣與多醣三大類，單醣是單一的多醇醛或多醇酮分子（分別稱為醛醣或酮醣）。寡醣由 2 至 10 個單醣分子以糖苷鍵連接而成，其中以雙醣最為普遍。而多醣則是由許多單醣分子組成的聚合物。

表一 醣類的生物功能

生物功能	例子
燃料分子	如經氧化後能提供能量的葡萄糖
儲存功能	如儲存化學能的植物澱粉與動物肝糖
結構功能	如纖維素為細胞組織的結構要素
辨識功能	如充當辨識標記的寡糖
其它	如可提供合成其它含碳細胞成分的代謝中間產物

單醣

分佈最廣、含量最多的單糖是六碳糖中的葡萄糖，除外比較重要的尚有屬於五糖碳的核糖與去氧核糖及屬於六碳糖的半乳糖與果糖等。葡萄糖與許多單醣分子在水溶液中具有在開鏈式結構與環式結構互變的特性（圖一），此互換的速度很快仍足以表現醛基或酮基的反應性，如在鹼性的 CuSO_4 溶液中可將 Cu^{+2} 還原成 Cu^+ （即一般所稱還原糖的原

因)。其中葡萄糖的環式結構為六元環，當以實際立體結構的構形表示時，有船形與椅形兩種（圖二）。其中六碳糖以椅形為主要形式，而葡萄糖在所有六碳糖中具有最穩定的椅形構形，這也是自然界中葡萄糖含量最多的原因。

雙糖與寡糖

雙糖是由兩個單糖分子以糖苷鍵結合而成，最常見的有麥芽糖、乳糖與蔗糖（圖三）。麥芽糖由兩個葡萄糖分子以 α （1 → 4）糖苷鍵結合，是澱粉的構成單元。乳糖是半乳糖與葡萄糖以 β （1 → 4）糖苷鍵結合，是乳汁中主要的糖成分。而蔗糖則是由葡萄糖及果糖以 α （1 → 2）糖苷鍵連接構成，甘蔗與甜菜中含量最多，是一般食用的糖。這些雙糖除蔗糖外均為還原糖。

多糖

自然界存在的高分子量多糖，依其功能可分為儲存性多糖與結構性多糖（圖四）。儲存性多糖以植物的澱粉及動物的肝糖為主，兩者均由葡萄糖構成，又稱聚葡萄糖。澱粉可分直鏈澱粉與支鏈澱粉，其中直鏈澱粉是由葡萄糖分子以 α （1 → 4）糖苷鍵連接而成的長形直鏈化合物，此長形直鏈化合物會形成螺旋狀的立體構造，與碘液反應時呈藍色。支鏈澱粉則含有支鏈，其主鏈中葡萄糖分子間的糖苷鍵仍是 α （1 → 4），但支鏈的糖苷鍵鍵結則為 α （1 → 6），與碘液反應時則呈紫紅色。至於肝糖的結構則類似支鏈澱粉，與碘液作用時亦呈紫紅色。除外植物、酵母、細菌等亦含由不同單糖分子（如阿拉伯糖、甘露糖等）所組成的儲存性多糖。而結構性多糖中的纖維素，是植物細胞壁的主要成分也是自然界含量最多的有機化合物。纖維素雖然也是聚葡萄糖，但組成的葡萄糖分子間的糖苷鍵是 β （1 → 4），因此人體無法消化並利用，且所形成的纖維素構造較展延，適合擔任結構保護的角色。除外，如甲殼動物外骨骼的幾丁質及動物細胞外膜或細胞間質的黏多糖亦是由不同的單糖衍生物（如 N-乙醯胺基葡萄糖、胺基葡萄糖等）所構成的結構性多糖，其單糖

分子間的鍵結多是 $\beta(1 \rightarrow 4)$ 的形式。

醣蛋白

醣蛋白（圖五）是一種以共價鍵與醣分子結合的複合蛋白，種類繁多，分佈廣且具有多種重要的生理功能。醣蛋白中的醣成份包括各種不同的單糖或單糖衍生物。在動物體內，大多數的醣蛋白均存在於細胞外或分泌到細胞外作用如循環中的抗體與醣蛋白荷爾蒙及分泌到腸胃道中的消化酶等。而醣蛋白中的醣成分所扮演的功能雖然尚未完全明瞭，但一般認為可能是影響蛋白質的構形、安定性與生物活性，和胚胎的發育與分化，細胞的辨識等過程有關。

蛋白醣

結締組織中的主要聚合物如軟骨醣與肝質醣則屬於蛋白醣（圖五），這些成份在各組織細胞間質的基液中分佈極廣，如在軟骨中軟骨醣的含量即可達乾重 40% 之多。

脂質類

脂質是不溶於水但溶於有機溶劑的疏水性生物分子，其化學成分極不相同但依其功能可歸類如表二。脂質亦可和醣類或蛋白質結合而形成醣脂質與脂蛋白。脂質分類的方法不同，如依其化學結構則可分為含脂肪酸成分的複脂（即可皂化的脂質）與不含脂肪酸的單脂，而最常用來純化與分析各類脂質的技術有薄層層析法與氣相層析法等。

表二 脂質的生物功能

生物功能	例子
結構功能	如細胞膜的主要結構成分磷脂類
運輸功能	如血液中的脂蛋白、白蛋白
保護功能	如組織與器官周圍的保護性覆被三酸甘油脂
儲存功能	如脂肪組織中的三酸甘油脂
調節管制功能	如由膽固醇衍生的一些荷爾蒙
其它	如參與代謝反應的一些脂溶性維生素

脂肪酸

生物體僅有微量的未酯化游離脂肪酸，大部分的脂肪酸均是複脂的成分。自然界可分離出的脂肪酸有三百多種，而各脂肪酸的區別在於碳鏈的長短及雙鍵的數目與位置，表三即為自然界常見的脂肪酸。生物體中含量最多的是含偶數碳的直鏈脂肪酸，如棕櫚酸與硬脂酸是最常見的飽和脂肪酸而油酸則是最常見的不飽和脂肪酸。不飽和脂肪酸的熔點低於相同碳數的飽和脂肪酸，雙鍵愈多，熔點愈低。而每一雙鍵至少相隔一個次甲基，且雙鍵多屬順式 (*cis*) 組態。由於脂肪酸的命名通常以含縮基的碳為第一個碳原子，第二個碳原子則依序為 α 、 β 及 γ 碳原子等等，但通常最後一個含甲基的碳原子稱為 ω 碳原子 (圖六)，因此亞麻仁酸與花生四烯酸又稱 ω -6 脂肪酸，而次亞麻仁酸、二十碳五烯酸 (EPA, 20:5, $\Delta^{5,8,11,14,17}$) 與二十二碳六烯酸 (DHA, 22:6, $\Delta^{5,8,11,14,17,20}$) 又稱 ω -3 脂肪酸。

表三 常見的脂肪酸

常用名稱	結構式	符號
飽和脂肪酸		
棕櫚酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	16:0
硬脂酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	18:0
不飽和脂肪酸		
油酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	18:1, Δ^9
亞麻仁酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	18:2, $\Delta^{9,12}$
次亞麻仁酸	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	18:3, $\Delta^{9,12,15}$
花生四烯酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	20:4, $\Delta^{5,8,11,14}$

三酸甘油脂

三酸甘油脂俗稱中性脂，是動植物體儲存脂質的主要成分，也是自然界含量最多的脂質。一般稱在室溫為固體的稱為脂肪，而液體者稱為油。由於三酸甘油脂中與甘油酯化的脂肪酸成分與位置可有不同的組合 (圖七)，因此三酸甘油

脂的種類很多。

甘油磷脂類

甘油磷脂類是含有磷酸根的甘油脂，為細胞膜結構的主要成分。甘油磷脂類的分子除了由長鏈涇基組成的非極性尾部構造外，尚有連接於磷酸根的極性頭部構造（圖八），因此稱為兩性脂類，此特性也是甘油磷脂類會形成脂質雙層結構的分子基礎。而各類的甘油磷脂類則可依其極性頭部的分子構造、大小與帶電荷情形而加以區分。

神經脂類

神經脂類是由神經胺醇為基本結構所衍生的一類神經胺醇脂，可分神經磷脂類與神經醣脂類（圖九）。

固醇類

膽固醇（圖十）是主要的動物固醇，未酯化的膽固醇是人與動物細胞膜的重要成分，主要是調節細胞膜的流動性。一般相信血中的膽固醇濃度與動脈硬化等心臟血管疾病有關，但膽固醇的代謝產物或衍生物卻又擔任重要的生理功能。如 7-去氫膽固醇是維生素 D 的先驅物，而膽汁中的膽鹽則是膽固醇主要的代謝產物—膽酸的鹽類，具強烈苦味但扮演促進脂肪乳化、幫助消化吸收、活化胰脂酶、促進脂肪水解等等多項的生理功能。而膽固醇最重要的是可經系列酵素作用而合成多種固醇類荷爾蒙（圖十），如影響醣類、脂質與蛋白質等能量代謝的葡萄糖皮質固醇，影響礦物質吸收代謝的礦物質皮質固醇及影響第二性徵與生殖功能的性荷爾蒙等。

蠟與異戊二烯類化合物

蠟是由長鏈脂肪酸與長鏈一元醇或固醇所形成的固態酯類化合物（圖十一），為皮膚、羽毛、樹葉、果實及昆蟲外殼保護性覆被的成分。而異戊二烯類化合物則是由數個異戊二烯單體所構成的，又稱帖類（圖十二）。植物中含有多種

帖類，通常具有特殊香味，是各種芳香性揮發油的主要成分，另外脂溶性維生素 A、E 與 K 等亦是屬於異戊二烯類的化合物，與生物的視覺反應、骨骼結構的維持及血液凝固等多種重要過程有關。

花生四烯酸衍生物

前列腺素、血栓素與白三烯素統稱二十酸物質（圖十三），均為花生四烯酸經多種酵素作用而衍生的重要活性物質。前列腺素種類多且具不同的生理活性，但大致均有降低血壓與收縮平滑肌的功能。血栓素具促進凝血的活性，而白三烯素則能促進白血球的活動與聚集作用。

蛋白質

蛋白質是細胞的主要成份，約佔總乾重的一半以上。其在生物體內的重要性可由蛋白質所擔任的多種功能得知（表四）。蛋白質由 20 種胺基酸（圖十四）構成，每一種胺基酸的支鏈構造不同，有的帶電荷、有的是疏水的非極性、有的則是不帶電但具極性。蛋白質可依其外觀形狀與溶解度而分為球狀蛋白、纖維狀蛋白與膜蛋白（圖十五），其中大部分酵素、荷爾蒙等功能性的蛋白，其外觀都是球狀，因而使得球狀蛋白廣受矚目。

表四 蛋白質的生物

生物功能	例子
催化功能	如酵素
結構功能	如指甲、毛髮及皮膚的角蛋白及膠原蛋白
運動功能	如與肌肉收縮有關的肌紅蛋白及肌動蛋白
運輸功能	如攜帶氧氣的血紅素及肌紅蛋白
防禦保護功能	如抗體、補體及凝血因子
儲存功能	如牛奶中的酪蛋白
調節管制功能	如胰島素及生長激素
其它	如引起食物中毒的細菌毒素及蛇毒蛋白等

纖維狀蛋白

纖維狀蛋白的形狀多為纖維狀或長條狀，如皮膚、韌帶、軟骨、頭髮與蠶絲等所含的蛋白成分，此類蛋白質在細胞內多擔任結構性、支撐性或保護性的角色。

球狀蛋白

球狀蛋白的形狀為球形，在細胞內的角色多是功能性的，其立體結構緊密，水分子不易進入，但其外部多為極性或親水性胺基酸的支鏈，因此可與水接觸或與其他分子產生交互作用。

膜蛋白

膜蛋白在水溶液中的溶解度極低，有些鑲嵌於細胞的各種膜構造中，有些則僅附著於膜的構造。大多數的膜蛋白為球狀構造，在膜構造中形成通道，控制物質的進出。除外，膜蛋白亦參與傳遞外界的訊號與產生能量等與膜相關的功能。由於位於膜構造的環境，因此膜蛋白的外部多為非極性的胺基酸支鏈。

酵素

已知的蛋白質種類中，最重要的是酵素。生物系統中幾乎所有的化學反應（新陳代謝）都由酵素催化，因此可說唯有此類生物催化劑（酵素）的存在，生命才得以發生。

核酸

核苷酸是由含氮鹼基，五碳糖與磷酸所構成的（圖十六），而核酸則是由 4 種核苷酸組成的巨大分子聚合物，正如蛋白質是由 20 種胺基酸組成一樣。核酸在細胞內除擔任遺傳物質的儲存形式及參與遺傳訊息的傳遞外，其組成份尚參與其他重要的代謝反應（表五）。

表五 核苷酸與核酸的生物功能

生物功能	例子
遺傳物質 參與代謝	如 DNA 與 RNA 中的核苷酸 如 GTP 參與蛋白質合成，CTP 參與脂類合成， UTP 參與醣類合成，ATP 參與各需能的合成反應
能量傳遞 輔酵素的成分 訊號分子	如 ATP 為細胞內的能量貨幣 如 ATP 為合成 NADH 與 FADH ₂ 等的先驅物 cAMP，cGMP

去氧核糖核酸

早在 1868 年瑞士化學家 Miescher 即開始研究去氧核糖核酸 (DNA)，但直到 1950 年代初期才解出其正確結構。一般 DNA 因分子太大在多數細胞內不易完整的分離出，通常原核細胞僅含一染色體而真核細胞則含有多個染色體且多半和組織蛋白結合。DNA 分子含有 dAMP、dCMP、dGMP 與 dTMP 等四種核苷酸，各核苷酸間以 3',5'-磷酸雙酯鍵相連 (圖十七)，其中核苷酸中的含氮鹼基擔任攜帶遺傳訊息的角色而五碳糖與磷酸則是 DNA 分子的結構主體。

DNA 的構造主要是由 Watson 與 Crick 依據 X 光繞射的研究結果於 1953 年提出的 (兩人因此貢獻同獲 1962 年諾貝爾生理及醫學獎)。DNA 分子由兩股聚核苷酸鏈組成，兩股的方向相反，相互纏繞為雙股螺旋形 (圖十八)。右旋的雙螺旋 DNA 分子中，五碳糖與磷酸暴露在外而攜帶遺傳訊息的鹼基則包埋於分子內部，雙股之間以互補鹼基間的氫鍵相連 (A 與 T 而 G 與 C 配對)。此由 Watson 與 Crick 所發現的雙螺旋 DNA 分子目前稱為 B-DNA，而 1979 年由人工合成的核苷酸鏈 (具嘌呤嘧啶如 GCGCGC 交替出現的組成) 卻可以以左旋的雙螺旋型態存在，稱為 Z-DNA。此左旋的 DNA 分子仍以互補鹼基間的氫鍵相連，一般認為 Z-DNA 的存在與基因表現的調控有關。

核糖核酸

核糖核酸 (RNA) 共有訊息核糖核酸 (mRNA)，核糖體

核糖核酸 (rRNA)，與轉運核糖核酸 (tRNA) 三類。RNA 分子為單股聚核苷酸鏈，與 DNA 分子不同，但其分子內亦有某種程度的鹼基配對，尤其是 rRNA 與 tRNA 分子。

所有 mRNA 的核苷酸只含 A、U、G、C 四種鹼基，擔任傳遞 DNA 遺傳訊息給蛋白質的角色。每一 mRNA 分子攜帶一個或數個蛋白質的遺傳密碼，所以細胞內含有無數種不同 mRNA 分子，因此要分離特定種 mRNA 極為不易。tRNA 則是在蛋白質合成過程中負責攜帶對應於密碼的胺基酸，每種胺基酸可有一種或數種 tRNA 相對應。tRNA 分子的形狀類似苜蓿葉 (圖十九)，有四處具特殊功能的部位。一為胺基酸接合部位，一為反密碼區、含有三個核苷酸組成的反密碼可與 mRNA 上的密碼互補相配對，一為核糖體接合部位，另一則是負責與相關酵素的接合。而 rRNA 佔 RNA 總重量的 65%，是核糖體結構的主要成分之一。除外近年的研究中亦發現幾種 RNA 具有催化反應的功能，打破了過去認為生物催化劑都是蛋白質的觀念。

質體

大部分的原核細胞與少部分的真核細胞，除染色體外尚含有環形的小 DNA 分子，稱為質體。微生物的質體經常帶有使其細胞對抗生素產生抗性的抗性基因，雖然此已成為臨床醫學上的一大問題，但此類質體常可以加以改造並以人工的方法嵌入一段外來基因，而使外來基因被質體一併帶入細胞中予以表現，此種人工修飾的質體稱為基因載體，其在遺傳工程的研究上貢獻良多。

- 圖一 葡萄糖的開鏈式結構與環式結構
- 圖二 葡萄糖的船形與椅形兩種立體結構
- 圖三 常見的雙醣麥芽糖、乳糖與蔗糖
- 圖四 儲存性多醣與結構性多醣
- 圖五 醣蛋白與蛋白醣
- 圖六 脂肪酸的構造
- 圖七 三酸甘油脂（中性脂）
- 圖八 甘油磷脂類
- 圖九 神經磷脂類與神經醣脂類
- 圖十 膽固醇與固醇類荷爾蒙
- 圖十一 蠟
- 圖十二 異戊二烯類化合物（帖類）
- 圖十三 前列腺素、血栓素與白三烯素（二十酸物質）
- 圖十四 胺基酸的構造
- 圖十五 球狀蛋白、纖維狀蛋白與膜蛋白
- 圖十六 核苷酸的構造
- 圖十七 核苷酸間的相連
- 圖十八 B-DNA，A-DNA 與 Z-DNA
- 圖十九 tRNA 與 rRNA