第一章　細胞的組成與構造

1-1　細胞的化學組成

【學習目標】

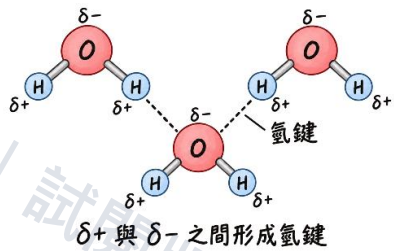
(1) 解釋水分子的極性與氫鍵，說明水對生命的四大重要特性
(2) 比較單醣、雙醣、多醣的結構差異，以糖苷鍵類型解釋功能差異
(3) 解析蛋白質四級結構各層次的穩定力，說明變性與水解的差異
(4) 說明脂質三大類型的結構與功能，解釋不飽和脂肪酸熔點較低的原因
(5) 比較 DNA 與 RNA，並運用 Chargaff 法則解題

激點科學 Leviax Lab｜試閱版

一、 水（Water）

1. 極性與氫鍵

- O 的電負度（3.5）＞H（2.1）→ 電子偏向 O → 水為極性分子：O 端 δ^-、H 端 δ^+
- 相鄰水分子的 δ^+ 與 δ^- 之間形成氫鍵；每個水分子最多 4 個氫鍵



▲ 水分子的偶極性與氫鍵形成

2. 水的四大特性

特性	原因	生物意義
(1) 比熱大 4.18 J/g·°C	升溫須先破壞大量氫鍵	維持體溫穩定、海洋緩衝氣候
(2) 汽化熱大 2260 J/g	液態→氣態須克服所有氫鍵	流汗、蒸散帶走大量熱能
(3) 內聚力與附著力	水－水氫鍵（內聚力） 水－纖維素氫鍵（附著力）	木質部水柱維持、毛細現象、表面張力
(4) 密度異常 4°C 時最大	結冰時氫鍵固定成六角晶格，分子間距增大	冰浮於水面，水底仍為液態，水生生物得以度冬

二、 無機鹽（Inorganic Salts）

離子	主要功能	缺乏症
Ca^{2+}	肌肉收縮、神經傳導、血液凝固、骨骼成分	骨質疏鬆
PO_4^{3-}	合成磷脂、核酸、ATP；骨骼成分	—
Mg^{2+}	葉綠素的核心元素、多種酵素的輔因子	葉片黃化
$Fe^{2+/3+}$	血紅素的核心元素、電子傳遞鏈的細胞色素	貧血
I^-	甲狀腺素的組成元素	甲狀腺腫
K^+/Na^+	建立跨膜電位差，產生動作電位、傳導神經訊號	神經肌肉異常

【小整理】緩衝系統

- 磷酸鹽（$H_2PO_4^-$／HPO_4^{2-}）與碳酸鹽（H_2CO_3／HCO_3^-）為體液的緩衝對
- 可抵抗 pH 劇烈變化，使各系統在適宜 pH 下正常運作

三、 醣類（Carbohydrates）

通式 $C_n(H_2O)_m$，由 C、H、O 組成，因為 H : O = 2 : 1，又稱碳水化合物。

1. 單醣

碳數	代表物	生物功能
三碳醣	甘油醛	光合作用固碳反應中間產物
五碳醣	核糖、去氧核糖	核酸骨架：核糖 → RNA；去氧核糖 → DNA
六碳醣	葡萄糖、果糖、半乳糖	主要能量來源；雙醣、多醣的原料

【小補充】α-葡萄糖 vs. β-葡萄糖

構型	第 1 位碳的 －OH	聚合產物
α-葡萄糖	朝下（與 CH_2OH 同側）	澱粉、肝糖
β-葡萄糖	朝上（與 CH_2OH 反側）	纖維素

2. 雙醣

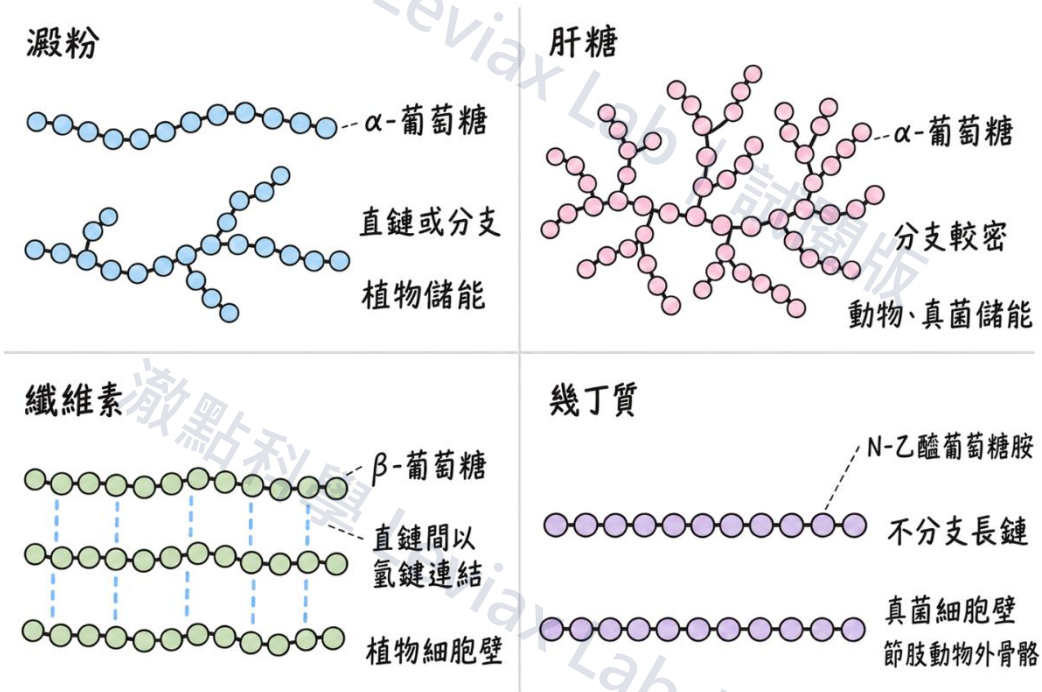
雙醣	組成	來源／特性
麥芽糖	葡萄糖＋葡萄糖	澱粉水解的中間產物

澈點科學 Leviax Lab｜試閱版

雙醣	組成	來源／特性
蔗糖	葡萄糖＋果糖	植物主要運輸糖
乳糖	葡萄糖＋半乳糖	乳汁；缺乳糖酶者乳糖不耐

3. 多醣

多醣	單體	結構	分布／功能
直鏈澱粉	α-葡萄糖	線型螺旋	植物儲能
支鏈澱粉	α-葡萄糖	樹枝狀（每 24～30 單元一分支）	植物儲能（大多數澱粉）
肝糖	α-葡萄糖	高度分支（每 8～12 單元一分支）	動物（肝、肌肉）儲能
纖維素	β-葡萄糖	線型，鏈間氫鍵成束	植物細胞壁
幾丁質	葡萄糖胺	線型	真菌細胞壁、動物外骨骼
肽聚糖	多醣＋多肽	網狀交聯	真細菌細胞壁



▲ 澱粉、肝糖、纖維素與幾丁質的結構與功能比較

激點科學 Leviax Lab｜試閱版

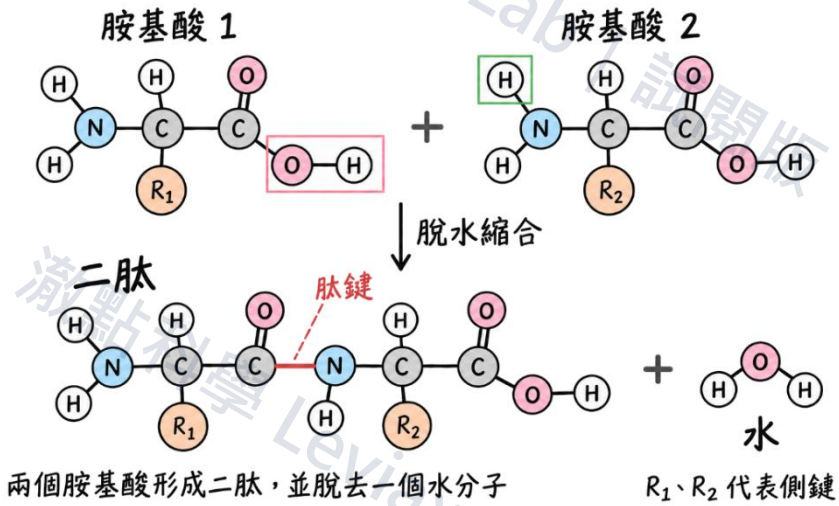
【小補充】同為葡萄糖組成，為何澱粉能消化、纖維素不能？

	澱粉	纖維素
鍵結	α-1,4	β-1,4
鏈的構形	螺旋捲曲	平行伸展，鏈間大量氫鍵形成緻密束
人體消化	澱粉酶可水解 α-糖苷鍵	人體缺乏 β-糖苷酶，無法消化（牛、白蟻靠腸道共生微生物的 β-糖苷酶分解纖維素）

四、 蛋白質（Proteins）

1. 胺基酸與肽鍵

- 常見的胺基酸共 20 種；胺基酸均由胺基（－NH_2）、羧基（－COOH）、α-碳、R 基（側鏈）四個部分組成
- 一個胺基酸的 －COOH 與另一個的 －NH_2 脫水縮合 → 肽鍵（－CO－NH－）
- 多肽鏈兩端：N 端（自由胺基）、C 端（自由羧基）



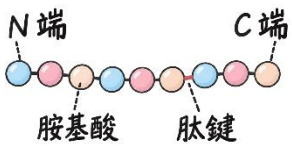
▲ 兩個胺基酸脫去一分子水，形成肽鍵

R 基類型	特性	例子
(1)　非極性（疏水）	折疊時聚集於蛋白質內部	丙胺酸（Ala）、纈胺酸（Val）
(2)　極性（親水）	可與水或極性基形成氫鍵	絲胺酸（Ser）、天冬醯胺（Asn）

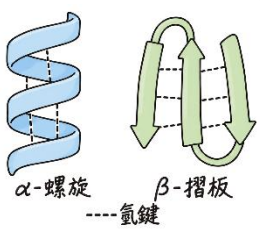
R 基類型	特性	例子
(3)　帶正電（鹼性）	生理 pH 下帶 $-NH_3^+$	離胺酸（Lys）、精胺酸（Arg）
(4)　帶負電（酸性）	生理 pH 下帶 $-COO^-$	天冬胺酸（Asp）、麩胺酸（Glu）
(5)　含硫	－SH 可氧化形成雙硫鍵（－S－S－）	半胱胺酸（Cys）

2. 蛋白質的四級結構

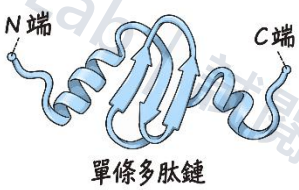
層級	定義	主要穩定力	說明
一級	胺基酸排列序列	肽鍵	由 mRNA 序列決定
二級	局部規則構形	氫鍵（骨架 N－H···O=C）	α-螺旋、β-摺板
三級	完整立體構形	疏水效應、氫鍵、離子鍵、雙硫鍵	雙硫鍵由兩個 Cys 的 －SH 氧化形成
四級	多條多肽鏈聚合	非共價鍵為主	例：血紅蛋白（$2\alpha+2\beta$）



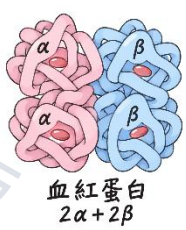
▲ 一級結構



▲ 二級結構



▲ 三級結構



▲ 四級結構

【小整理】變性 vs. 水解

	變性（Denaturation）	水解（Hydrolysis）
成因	高溫、強酸鹼、有機溶劑	蛋白酶催化的反應
破壞的鍵	非共價鍵	肽鍵
結果	三、四級結構被破壞，蛋白質失去功能	釋出游離胺基酸
例子	雞蛋煮熟	消化道消化

澈點科學 Leviax Lab｜試閱版

3. 蛋白質的功能

類別	例子	說明
(1)　酵素	澱粉酶、DNA 聚合酶	催化反應，具受質專一性
(2)　結構蛋白	膠原蛋白、角蛋白	約占人體蛋白質 30%，提供支撐
(3)　運輸蛋白	血紅蛋白、膜通道蛋白	血液中或跨膜運輸物質
(4)　受體蛋白	細胞膜上的激素受體	接受訊息分子，引發訊號傳遞
(5)　調節蛋白	胰島素、生長激素	固醇類激素為脂質
(6)　免疫蛋白	抗體	辨識並結合特定抗原
(7)　運動蛋白	肌動蛋白、肌凝蛋白	肌肉收縮、細胞骨架

五、 脂質（Lipids）

共同特性：主要由 C、H、O 組成（部分含 N、P），不溶於水，可溶於有機溶劑。

種類	結構	重點
(1)　三酸甘油酯	1 分子甘油＋3 分子脂肪酸	儲存能量
(2)　磷脂質	甘油＋2 分子脂肪酸＋磷酸基	雙親性、細胞膜成分
(3)　固醇類	四環固醇核（3 個六元環＋1 個五元環）	膽固醇、性激素

1. 飽和 vs. 不飽和脂肪酸

	飽和脂肪酸	不飽和脂肪酸
碳鏈鍵結	只有 C－C 單鍵	含 1 個或多個 C=C 雙鍵
構形	直鏈，可緊密堆積	雙鍵（順式）使碳鏈彎折，排列鬆散
分子間作用力	Van der Waals 力強	Van der Waals 力弱
熔點	高（室溫固態）	低（室溫液態）
來源	動物油（豬油、牛油）	植物油（橄欖油）、魚油

2. 磷脂質：雙親性分子

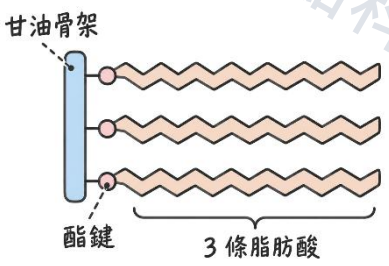
部位	組成	性質
親水頭部	磷酸基＋含氮有機基	帶電，可與水形成氫鍵

激點科學 Leviax Lab｜試閱版

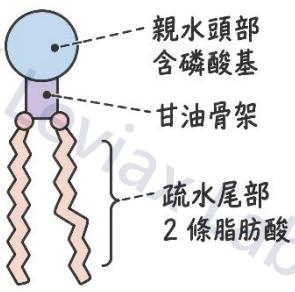
部位	組成	性質
疏水尾部	2 條脂肪酸碳鏈	非極性，因疏水效應聚集；在水中尾對尾排列，形成磷脂雙層→ 細胞膜

3. 固醇類

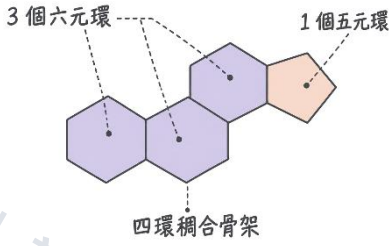
種類	功能
(1)　膽固醇	動物細胞膜成分，調節膜的流動性 性激素、維生素 D、膽汁酸的合成前驅物
(2)　性激素	雌二醇、睪固酮 脂溶性→ 直接穿過細胞膜，與核受體結合，調控基因轉錄
(3)　腎上腺皮質素	可體松（cortisol）；調節血糖代謝與免疫反應



▲ 三酸甘油脂：甘油＋3 條脂肪酸



▲ 磷脂：親水頭＋2 條疏水尾



▲ 固醇：四環稠合骨架

六、 核酸（Nucleic Acids）

1. 核苷酸

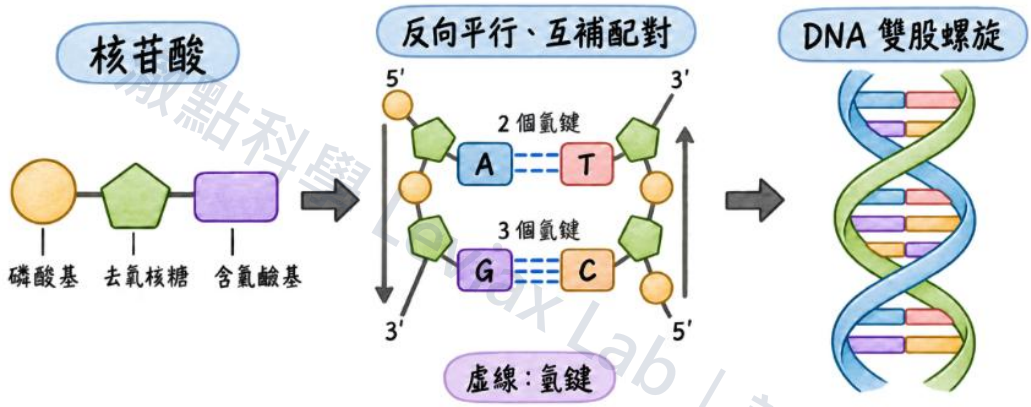
核苷酸 ＝ 含氮鹼基＋五碳醣（核糖→ RNA；去氧核糖→ DNA）＋磷酸基



▲ 核苷酸＝磷酸基＋五碳醣＋含氮鹼基

鹼基類別	環數	鹼基
嘌呤（purine）	雙環	腺嘌呤（A）、鳥嘌呤（G）
嘧啶（pyrimidine）	單環	胞嘧啶（C）、胸腺嘧啶（T）（僅 DNA）、尿嘧啶（U）（僅 RNA）

激點科學 Leviax Lab｜試閱版



▲ 核苷酸經互補配對形成 DNA 雙股螺旋

2. DNA vs. RNA

特徵	DNA	RNA
五碳醣	去氧核糖（2´ 無 －OH）	核糖（2´ 有 －OH）
含氮鹼基	A、T、C、G	A、U、C、G
鏈數	雙股螺旋	通常單股
鹼基配對	A＝T（2 個氫鍵） C ≡ G（3 個氫鍵）	A＝U（2 個氫鍵） C ≡ G（3 個氫鍵）
化學穩定性	高（2´ 無 －OH，不易水解）	低（2´-OH 在鹼性下攻擊磷酸酯鍵）
游離核苷酸原料	dATP、dTTP、dCTP、dGTP	ATP、UTP、CTP、GTP
功能	遺傳資訊長期儲存	mRNA（傳遞）、tRNA（轉接）、rRNA（核糖體）、ribozyme（催化）

【小整理】Chargaff 法則（僅適用於雙股 DNA）

嘌呤總量＝嘧啶總量　⇒　A＝T，C＝G　⇒　(A+G) % = (C+T) % = 50%

計算步驟（例：1000 bp 雙股 DNA，A 占 20%）：

(1)　A = T = 20%；G = C = 30%

(2)　總鹼基 2000 → A－T 對 400 對、G－C 對 600 對

(3)　氫鍵總數 = 400 × 2 ＋ 600 × 3 = 2600

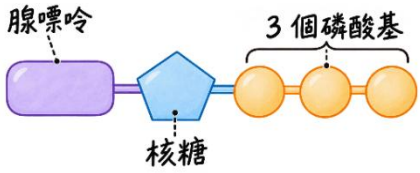
(4)　GC content = 60%；GC 含量越高，熔解溫度（T_m）越高

注意：不適用於單股 DNA、RNA，或 RNA 病毒的基因體

澈點科學 Leviax Lab｜試閱版

3. ATP 的雙重角色

- 核苷酸原料：RNA 的游離核苷酸之一（腺嘌呤＋核糖＋3 個磷酸基）
- 能量貨幣：末端磷酸鍵水解釋放自由能（$\Delta G \approx -30.5$ kJ/mol）



▲ ATP＝腺嘌呤＋核糖＋3 個磷酸基

$$ATP + H_2O \rightleftharpoons ADP + P_i + \text{能量}$$

- ATP 再生：由呼吸作用或光合作用驅動

七、 維生素（Vitamins）

溶解性	種類	衍生輔酶	主要功能
水溶性	B 群	NAD^+、$NADP^+$	電子載體：NAD^+ → 呼吸作用；$NADP^+$ → 光合作用
	C	—	抗氧化；膠原蛋白合成的輔因子
脂溶性	A	—	視紫質組成；維持暗視覺
	D	—	促進 Ca^{2+} 吸收；骨骼生長
	E	—	抗氧化（保護膜磷脂）
	K	—	促進凝血因子合成

【小補充】輔因子 vs. 輔酶

	定義	例子
輔因子	協助酵素催化的非蛋白質成分（含無機離子與輔酶）	Zn^{2+}、Cu^{2+}、Mg^{2+}
輔酶	有機小分子，多為維生素衍生物	NAD^+

【單元整理】

分子	組成元素	單體	主要功能
水	H、O	—	溶劑、體溫調節、反應介質
無機鹽	各種離子	—	骨骼結構、神經傳導、酵素輔因子、緩衝系統
醣類	C、H、O	單醣	能量（澱粉／肝糖）、細胞壁（纖維素）、核酸骨架（五碳醣）

激點科學 LeviaxLab｜試閱版

分子	組成元素	單體	主要功能
蛋白質	C、H、O、N、S	胺基酸	酵素、結構、運輸、受體、免疫
脂質	C、H、O（N、P）	甘油＋脂肪酸	能量（三酸甘油酯）、細胞膜骨架（磷脂）、激素（固醇）
核酸	C、H、O、N、P	核苷酸	遺傳資訊（DNA）、蛋白質合成（RNA）、能量（ATP）
維生素	各異	—	輔酶／輔因子；調節代謝；多數動物無法自行合成

澈點科學 Leviax Lab｜試閱版