

上 冊

Lehninger 生 物 化 學

國立台灣大學醫學院生化學科研究所 理學碩士 陳長安 · 蘇清正 譯



上 冊

生 物 化 學

Lehninger

陳長安・蘇清正 譯

合記圖書出版社 發行

著作權註冊臺內著字第 號
出版登記局版臺業字第〇六九八號

上冊 生 物 化 學

實價：新台幣 元整

譯 著 者：陳 長 安・蘇 清 正
發 行 人：吳 富 章
發 行 所：合 記 圖 書 出 版 社
地 址：台北市吳興街249號
總 經 銷：合 記 書 局
郵 政 劃 撥：0 0 0 6 9 1 9 - 2 號
發 行 日 期：
著 作 完 成 日 期：

地址：台北市吳興街249號
電話：7019404・7071647
分店：台北市石牌路二段120號
電話：8 3 1 6 0 4 5
分店：台北市羅斯福路四段12巷7號
電話：3951544・3411444
分店：高雄市北平一街一號（自由路口）
電話：（07）3226177

香 港 代 理：藝 文 圖 書 公 司

地址：香港九龍又一村之路30號
地上後座
電話：3-805705・3-805807

中華民國七十四年八月初版
中華民國七十五年九月二版

版權所有※翻印必究

獻給熱愛生命

的人們

——在此並感謝張素霞藥師

和周秀冠藥師

○

編譯者序

靠在南下的車窗，冥想我不朽的過去
——我曾為萬物，亦將再為萬物，恆古不變

在虛無飄渺中，突然一股巨爆
墜落的星塵凝集成體，接著
又是長年的寂靜——

諾亞的方舟行駛在千古的銀河谷，掌舵的
上帝——偉大的遺傳工程師
依祂的形塑造萬物

祂要碳、氫、氧……………原子相連，
上帝說要葡萄糖，就有葡萄糖；
上帝說要脂肪酸，就有脂肪酸；
上帝說要胺基酸，就有胺基酸；
但是，上帝終究要離去，祂又要萬物代代相傳，於是
祂又說要核苷酸，就有核苷酸

失落的伊甸園又再度重見
上帝說：要在矛盾中相容；撒旦說：要在相容中對立
終於人們要互愛，相怨；互助，相殘；互敬，相妒

靠在北上的車窗，我又經歷一段生命的旅程
不禁又想起——
我曾為萬物，亦將再為萬物，恆古不變

啊！生化學不只是另一部聖經而已

陳長安 謹誌

於台灣第一個試管嬰兒誕生前夕

原著者序 (Preface)

生化學原理一書主要是為初學生化學的學生而寫。本書是本嶄新的書，不僅是將早期我所寫的生化學（1970～1975）及生化學的短期課程（1973）加以修訂而已。在開始準備新版本時，漸次對自己的目標感到不安。1970年出版的第一版生化學，主要的目的是當作大學部的學生於第一次修習（或是僅有的一次）生化學時之教本。1975年的第二版本，份量增加了五分之一以上。第三版本若將新近的生化學進展依比例加入，則頁數將達1500頁之多。如此多頁的書自然在生化學的教育上扮有重要的角色，但對適應我最初所寫的生化學之大學部讀者而言，並不適當。於是，生化學原理一書有意使之再度回歸於我的初衷；仍然用口語化的文體寫成，所以可說是生化學第一版的1982年再生本。

其實，書本體積的大小並不是惟一要考慮的。而且，目前也已進入單一生化學教科書無法提供所有學生全部內容的時代。適合研究生又能代表今日生化學全貌的綜合性書籍，無疑地，對第一次遇上該類書的大部份大學生而言，必有相當的壓迫感。加之，教科書的編寫，為求更能包羅萬象，於是在續寫新版時有變為長篇累牘的趨勢，結果，常失去最初版本的簡潔說明及編排的優點。因此，似乎需要來個新的開始。

我一度覺得生化學應是在化學及生物學有充份基礎後的研究所課程。今日我却有相當不同的看法。由於生化學已成為生命科學的混合語言且大大地啟發生物學任何領域的研究，所以應該早點開始修習才是。而且不僅在生物學上有助益，就是化學系或物理系的學生，初步的生化學也能使彼等對生物體如何解決最重要的化學及物理問題，有莫大啟示性的基本瞭解。

從更廣泛的角度來看，大學部的生化學課程，在教育年青人，使其對人類健康及福祉有較多的關心上，也佔有一席之地。生化遺傳學及遺傳工程的非比尋常進展，加上隨之而來的社會意義，已成為社會大眾利益的事務。全球漸增多的人口，及食物、原料與能源需求量的日漸增多

，目前已對生物圈內微妙的生態平衡產生衝擊。漸漸地，社會要在生物原則與政治、工業或倫理關切之間作一些重大的決定。因此，生化學的知識對有教養的大眾相當有用，不論從事何職，即使完全與探求活有機體內分子之交互作用，而有不凡體驗無關的行業，亦復如是。

生化學原理一書共有四部份：生物分子，生物能量學及新陳代謝，人體生化學的部門，及分子遺傳學的基本原理等，使用的詞語及格詞一如在生化學中所採用的。全書中，我都在試著強調生化學的架構及分子原理的重要性，時時對各種基本過程作詳盡的說明與補述，而不是像百科全書粗細不擇地記述。

以細胞構造及生物分子相關的有機化學基本原理為本書的開始；因此，對生物學及有機化學基礎較薄弱的人有實質的助益。水的性質研討之後，蛋白質的構造及生物功能則有深入的描述。詳細檢視血紅素以表明胺基酸序列及一級構造如何決定構形，及構形又如何地影響著細胞構造及功能。各種酵素活性的調節也有深入的交代，藉酵素構造的綜覽專欄，不厭其煩地強調構形的重要性。以有關維生素及輔酶，碳水化合物與脂質及細胞膜的各章作為第一部份的結尾。

第二部份談論的是生物能量學及細胞的新陳代謝，亦即生化學的“肉與馬鈴薯”部份。紮實的細胞生物能量學基礎之後，為醣解作用，檸檬酸循環，電子傳遞，及氧化性磷酸化的詳盡探討。隨後的是有關脂肪酸及胺基酸的代謝，其後則為有關生合成的途徑及光合作用。新陳代謝途徑的調節則有深入透徹的討論。

第三部份專注於人體生化學。包括各器官在新陳代謝上的交互作用，內分泌調節及人體營養。就我而言，營養學不單是知道某維生素擔任何種型式的輔酶而已。營養科學是生化學對人類福祉最大貢獻之一，我堅信營養學不應再受到過去以管窺天的待遇。

在第四部份，我把分子遺傳學的“皮毛”部份作了特別詳盡的安排；其中各章考慮到自1981年來的快速新發展，DNA株選技術即含於其中。

全書中，有許多充滿相關資料且又引人入勝的論題；有些是有歷史性意義，許多則與醫學及人體健康有關，還有些動物學上感人的問題及動物生理學，農業，食物，環境論題及世界性的營養問題等。間或有簡短的章節涵蓋較困難，數量上的，或有趣但可刪選的資料。由於此類資料並非各種課程所共有，故特予專欄以便於查閱。例如，Hend-

erson-Hasselbalch 方程式的推導，RS 系統，藉胺基酸化學定出年齡，及 DNA 序列的決定等等。 -

本書中，約有 850 幅表、圖及相片。每章之末有摘要小文及推薦讀物表。書末也有 400 條以上的生化學名辭之綜合性字彙集。

特別值得注意的是，每章末之問題，共有 350 多題，其中大部份是 Harvey Mudd College 的 Paul Van Eikeren 所寫。該問題不只是數字上的遊戲而已，而是與生化學理論有密切關聯及需要遇到的推理分析。所有的問題及附錄中之解答，皆經有經驗的大學部生化學老師的徹底檢驗過。

在此謹推出此本新書，再次地，歡迎各地師生的建議及批評指教。

ALBERT L. LEHNIN GER

Sparks Maryln Sparks Maryland

January 1982.

內 容

CONTENTS

編譯者序

原著者序

第一部份 生物分子 1

- 第1章 生物化學：生物體的分子邏輯 3
 - 第2章 細胞 15
 - 第3章 生命物質的組成：生物分子 47
 - 第4章 水 69
 - 第5章 胺基酸和肽類 97
 - 第6章 蛋白質：共價結構與生理功能 127
 - 第7章 纖維狀蛋白質 157
 - 第8章 球狀蛋白質：血紅素的構造與功能 181
 - 第9章 酵 素 217
 - 第10章 各種酵素功能中的維生素及微量元素 259
 - 第11章 碳水化合物：構造與生物性功能 291
 - 第12章 脂質與細胞膜 317
-

第二部份 生物能量學與新陳代謝 345

- 第13章 新陳代謝的測定 347
- 第14章 A T P環和細胞的生物能量學 375
- 第15章 醣解反應：葡萄糖分解代謝 413
- 第16章 檸檬酸循環 455
- 第17章 電子傳遞，氧化磷酸化和A T P產生的調節作用
491
- 第18章 動物組織裡脂肪酸的氧化作用 539

第19章	胺基酸的氧化分解作用：尿素循環	563
第20章	動物組織裡碳水化合物的生合成	595
第21章	脂質的生合成	621
第22章	胺基酸和核苷酸的核苷酸的生合成	657
第23章	光合作用	691

第三部份 人體生化學的一、二事 731

第24章	消化運輸及新陳代謝之整合性	733
第25章	荷爾蒙〔(激素)〕	771
第26章	人體營養	809

第四部份 遺傳訊息的分子級傳遞 849

第27章	DNA：染色體及基因的構造	851
第28章	DNA的複製與轉錄	897
第29章	蛋白質的合成及其調節	931
第30章	再談基因一、二事：修補，突變，重組及株選	975
附錄A	生化學文獻報告上常見的簡寫	1010
附錄B	單位簡寫，字首，常數，和轉換因子	1012
附錄C	國際原子量	1013
附錄D	對數表	1014
附錄E	問題解答	1016
附錄F	語彙集	1033
	提供圖表的芳名錄	1063
索引		1065

章節的標題

LIST OF TOPICS

第一部份 生物分子 1

第1章 生物化學：生物體的分子邏輯

3

識別生物的特質 3

窮究生活狀態的生化學 4

含有機巨分子的所有生物體都根據
共同通則而構成的 5

活細胞中能量和物質的轉換 7

酶，活細胞的催化劑可促進有機化
的化學反應系列 8

細胞以化學的形式傳遞能量 9

細胞代謝有一固定的調節 10

活的生物體能夠準確的複製自己

10

第2章 細胞 /5

所有的細胞都具有某些共同的結構特
徵 15

細胞必須具有非常小的尺寸 16

細胞可分成二大類：原核細胞和真核
細胞 17

原核細胞為最簡單和最小的細胞

18

大腸菌是最有名的原核細胞 20

真核細胞的細胞核是非常複雜的結構

24

粒線體是真核細胞的動力工廠 25

內質網形成管道穿過細胞質 27

高爾基體是分泌性的細胞器官 28

溶體為水解酶的袋子 29

過氧體為過氧化囊泡 29

細胞的收縮過程中微細纖維的功能

29

微細管也有細胞運動的功能 30

微細纖維，微細管和微細柱網構成細

胞骨骼 30

纖毛和鞭毛使細胞有推進的力量

31

細胞質也含有顆粒體 33

胞質液是細胞質的連續性水相 33

細胞膜有大的表面積 33

很多動物細胞表面也含有“觸角”

35

真核植物細胞具有許多特徵 36

病毒為超大分子的寄生體 37

摘要 40

推薦讀物 41

問題 42

第3章 生命物質的組成：生物分子

47

生命物質的化學組成與地殼上物質組
成的差異 47

大部份的生物分子為碳化合物 48

有機生物分子具有特殊的外形和大小

49

有機生物分子的官能基決定它們的化
學性質 50

很多生物分子具有不齊性 52
細胞主要類別的生物分子都是非常大的分子 55
巨分子是由建造基石的小分子構成的 56
建造基石分子具有簡單的結構 57
細胞的結構有其階層體系 59
生物分子藉化學性演化首先出現 60
化學性演化是可以模擬的 62
摘要 64
推薦讀物 65
問題 65

第4章 水 69

由於氫鍵導至水分子不尋常的物理性質 69
氫鍵常見於生物系統中 71
水具有不尋常的溶劑性質 72
溶質改變水的性質 73
利用平衡常數來表示可逆反應的平衡點 75
利用平衡常數表示的離子化反應 76
從PH值表示 H^+ 和 OH^- 的濃度 78
酸和鹼反映出水的性質 79
弱酸滴定曲線的特質 81
弱酸和其共軛鹼混合物為一緩衝劑 83
磷酸鹽與重碳酸氫鹽為生物最重要的緩衝系統 85
水的環境對生物的適宜性 89
酸雨正污染我們的湖泊與溪流 90
摘要 91
推薦讀物 92
問題 92

第5章 胺基酸和肽類 97

胺基酸具有共同的構造特徵 98

幾乎所有的胺基酸都具有一個不齊碳 98
立體異物是以它們的絕對構形為基礎來命名 100
蛋白質之光學活性胺基酸都是L形式的立體異構物 103
胺基酸可以它們的R基團為基礎來分類 104
8種胺基酸具有非極性的R基團 104
7種胺基酸具有不帶電荷的極性R基團 106
2種胺基酸具有負電極(酸性)的R基團 106
3種胺基酸具有帶正電荷(鹼性)R基團 107
有些蛋白質也含有“特殊”的胺基酸 107
胺基酸在水溶液中的離子化 107
胺基酸具有酸和鹼的作用 108
胺基酸具有特殊的滴定曲線 109
利用滴定曲線來預測胺基酸的電荷 110
胺基酸具有不同的酸-鹼性質 111
胺基酸的酸鹼性質可做為分析的基礎 112
濾紙電泳法可按照電荷來分離胺基酸 113
離子交換色層分析法為最常使用的分離法 114
胺基酸具有的化學反應特性 115
肽類的胺基酸鍵 116
肽類可按它們離子化的行為來分離 117
肽類具有化學反應特性 118
有些肽類具有強力的生理活性 119
摘要 120
推薦讀物 121
問題 121

第 6 章 蛋白質：共價結構與生理功能

127

蛋白質具有很多不同的生物功能

128

酶 128

運輸蛋白質 128

營養性與貯存性蛋白質 129

收縮性或運動性蛋白質 129

結構性蛋白質 129

防禦性蛋白質 130

調節性蛋白質 130

其他的蛋白質 130

有些蛋白質含有胺基酸所沒有的化學

基團 130

蛋白質也可根據外形來分類 132

蛋白質經水解產生它們的胺基酸

132

蛋白質為非常大的分子 133

蛋白質能夠被分解與純化 134

多肽鍵的胺基酸序列能夠測定出

136

第 1 步驟：決定胺基酸的組成 137

第 2 步驟：確認胺基酸和羧基端的殘
餘基 137

第 3 步驟：多肽鏈的細斷化 138

第 4 步驟：肽類片斷序列的確認
139

第 5 步驟：利用第 2 種方法將原來的
多肽鍵分解 139

很多其他蛋白質的序列已都確立了
140

第 6 步驟：利用重疊法確立肽類片斷
排列次序 141

胰島素為第 1 個被確認出序列的蛋白
質 142

不同物種的同源蛋白質具有同源序
144

免疫反應能夠偵測同源蛋白質間的差
異 146

蛋白質產生的結構改變叫做變性

148

摘要 149

推薦讀物 150

問題 151

第 7 章 纖維狀蛋白質 157

組態與構形有不同的意義 157

令人不解地，天然存在的蛋白質僅以
一種或極少數的構形存在 158

α -角蛋白是表皮細胞製造的纖維狀
蛋白質 159

角蛋白的 X-射線分析顯示其有重複
的構造單元體 160

肽類 X-射線的研究顯示肽類鏈應是
堅實且平面的 160

α -角蛋白質中的多肽鏈形成 α -螺
旋體 161

有些胺基酸與 α -螺旋體不共存
163

α -角蛋白質含有很多可與 α -螺旋狀
構造共存的胺基酸 163

天然 α -角蛋白的 α -螺旋形多肽鏈，
經極度的扭曲而成繩索狀 164

α -角蛋白質的水不溶性是胺基酸非
極性 R 基的結果 164

β -角蛋白質的多肽鏈，具有不同的
構形： β 構造 165

電燙頭髮是項生物工程傑作 166

膠原蛋白和彈力蛋白是結締組織中的
主要纖維狀蛋白質 167

膠原蛋白質是體內含量最多的蛋白質
168

膠原蛋白既有人們熟悉的也有不尋常
的性質 169

膠原蛋白中的多肽是三股的螺旋形構
造 169

彈性蛋白的構造使彈性組織有特異的
性質 171

纖維狀蛋白質對吾人有何有關蛋白質
構造的啓示 172

細胞內的其他種纖維狀或線狀蛋白質

173

摘要 174

推薦讀物 175

問題 176

第8章 球狀蛋白質：血紅素的構造與功能 181

球狀蛋白質的多肽鏈是緊密摺疊的

181

肌球蛋白的X-射線分析是件突破性成就 182

來自不同種類的肌球蛋白有相似的構形 185

每種球狀蛋白質的三級構造都具獨特性 185

胺基酸的順序決定三級構造 189

使球狀蛋白質的三級構造安定的四種不同力量 190

多肽鏈的摺疊速率頗重要 191

複組成單元有三級和四級兩種構造 192

血紅素的完整構造已由X-射線分析揭曉 193

肌球蛋白與血紅素的 α 和 β 鏈有幾近相同的三級構造 195

其他複組成單元蛋白質的四級構造也已決定 196

紅血球特化成携氧的工具 197

肌球蛋白與血紅素的氧結合曲線不同 197

氧的協調性結合增進血紅素當氧攜帶者的效率 199

血紅素也輸送 H^+ 和 CO_2 199

血紅素的氧合作用改變其本身的三度空間的構形 201

鐮狀細胞貧血是血紅素的分子性疾病 205

鐮刀一細胞血紅素的胺基酸順序有改變 207

成鐮刀狀是血紅素S分子黏結在一起的傾向所致 207

含有“錯誤”胺基酸的蛋白質是基因突變的結果 209

鐮刀狀血紅素的分子治療法能否求得？ 210

摘要 210

推薦讀物 211

問題 212

第9章 酵素 217

生化學史大部份為酵素研究史 218

蛋白質的諸般性質酵素都有 219

酵素依其催化的反應而分類 220

酵素以降低活化能而增進化學反應的速率 221

基質濃度對酵素催化的反應速率有深遠的影響 222

基質濃度與酵索性反應速率之間有定量上的關係 223

每一酵素對某特定的基質有其特異的 K_M 226

許多酵素催化有二基質的反應 228

酵素各有其最適的pH 229

酵素能加以定量 229

酵素對其基質有特異性 231

酵素能受特殊的化學藥劑抑制 232

有二種可逆性抑制劑：競爭性與非競爭性 233

非競爭性抑制作用也是可逆的但非因基質而呈可逆性 235

甚多因素與酵素催化效率有關 236

由X-射線分析已得知許多重要的酵素構造特性 237

酵素系內有節律器或調節性酵素 243

異位酶的調節是靠調節分子的非共價性結合 244

異位酶可由調節因子加以刺激或抑制 245

異位酶不遵循MICHAELIS-MENTEN行爲 246

異位酶的各次單元之間能互相溝通信息 247

有些酵素係藉共價性改變而受調節 248

許多酵素以多種型態存在 250

由於基因的突變，酵素的催化作用有可能受損 251

摘要 252

推薦讀物 253

問題 254

第10章 各種酵素功能中的維生素及微量元素 259

維生素是必需的有機微量營養素 260

維生素是輔酶及酵素的輔酶基之必需組成份 260

維生素可分成兩類 261

噻胺是以噻胺焦磷酸鹽形式發揮功能 262

核黃素是核黃核甘酸的組成份 265

菸醯胺是輔酶 NAD 及 NADP 的活化基 266

泛酸是輔酶 A 的組成份 267

吡哆醇（維生素 B₆）在胺基酸的代謝非常重要 268

生物素是 Biocytin 之有效成份，也是某些羧化反應酵素的輔酶基 270

葉酸是輔酶四氫葉酸的前驅物質 271

維生素 B₁₂ 是輔酶 B₁₂ 之前驅物 273

維生素 C 的生化功能尚未知道 275

脂溶性維生素是異戊雙烯類的衍生物 275

維生素 A 可能有好幾種功能 276

維生素 D 是激素的前驅物 278

維生素 E 防止細胞膜被氧化 280

維生素 K 是羧化作用的酵素成份之一 280

許多無機元素為動物營養所必需 281

有許多需要鐵之酵素 282

銅也在某些氧化性酵素內發生作用 283

鋅是許多酵素作用所必備的 283

錳離子為好幾個酵素所必需 284

鈷是維生素 B₁₂ 之一部份 284

硒是必需的微量元素也是毒素 284

其他微量元素是某些酵素所必需 285

摘要 285

推薦讀物 286

問題 287

第11章 碳水化合物：構造與生物性功能 291

以糖單位的數目為準碳水化合物分為三類 291

單醣有兩族：醛醣和酮醣 292

常見的單醣有一些不對稱中心 293

常見的單醣以環狀型式存在 295

簡單的單醣是還原劑 298

雙醣含有兩個單醣單元 298

多醣含有許多的單醣單元 301

有些多醣作為細胞燃料的貯存機構 301

纖維素乃含量最豐的構造性多醣 303

細胞壁富含構造性和保護性的多醣 306

醣蛋白是——混成分子 308

動物細胞之表面含有醣蛋白 308

酸性黏多醣和蛋白醣是結締組織的重要成份 310

摘要 311

推薦讀物 312

問題 313

第12章 脂質與細胞膜 317

脂肪酸是大部份脂質組成份的建造基
石 317

三醯基甘油酯是甘油與脂肪酸的酯化物
320

三醯基甘油酯是儲存性脂質 322

蠟是長鏈醇類的脂肪酸酯 323

磷脂類是細胞膜脂類的主要成分
325

神經脂質也是一種重要的細胞成分
326

固醇類是無法自化的脂質，另具有特
別的功能 329

脂蛋白兼有脂質和蛋白質的特性
330

極性的脂質形成細微粒，單層脂和雙
層脂 332

膜的主要成份是極性脂質和蛋白質
333

膜有流動鑲嵌的構造 335

膜有特別的邊或非對稱性 336

紅血球的細胞膜已有詳細的研究
337

植物毒蛋白能結合或凝集某些細胞是
特殊的蛋白質 338

膜有很複雜的功能 339

摘要 340

推薦讀物 341

問題 342

第二部份 生物能量學與新
陳代謝 345

第13章 新陳代謝的測定 347

活生物體參與碳和氧的循環 347

在生物圈中，氮是循環性的 349

新陳代謝途徑是由一連串的酶系所促
成的 350

新陳代謝包括代謝（分解性）途徑合

成（合成的）途徑 351

代謝途徑滙集於少數的終產物 352

合成的途徑趨向於產生多種產物
353

相對應的代謝與合成途徑之間有許多
重大的差異 355

由代謝到合成的反應APP擔任攜能
的工作 357

NADP以還原力形式攜帶能量 358

細胞的新陳代謝是種既經濟又嚴密控
制的過程 359

新陳代謝途徑受三種層次控制 360
次級新陳代謝作用 361

新陳代謝序列的確認，有三種主要的
方法 362

有機體的突變種可用於確認新陳代謝
中間步驟 362

同位素追蹤劑提供新陳代謝研究的有
力方法 365

新陳代謝途徑局限在細胞內的特定區
366

摘要 368

推薦讀物 370

問題 371

第14章 ATP環和細胞的生物能量學
375

熱力學第一、第二定律 375

第一定律 376

第二定律 376

細胞需要自由能 379

化學反應之標準自由能變化能加以計
算 379

不同之化學反應有特定的 $\Delta G^{\circ'}$ 值
381

$\Delta G^{\circ'}$ 和 ΔG 之間有重要的不同處
382

化學反應之標準自由能值有加成性
383

ATP是細胞內產能與需能活動間的

- 主要化學連繫物 384
- ATP 的化學性已為人們深知 386
- ATP 水解時有一特別之標準自由能 387
- 何以 ATP 水解會有相當高的標準自由能？ 388
- ATP 在磷酸轉移的反應中，當共通的中間物 389
- 葡萄糖分解成乳酸時，生成兩種超高能磷酸鹽化合物 391
- 從 ATP 將磷酸鹽基轉移到接受者的分子上，並將之賦與能量 393
- ATP 用作肌肉收縮的能源 394
- 磷酸肌是肌肉高能量磷酸鹽暫時儲存型 397
- ATP 也供能量給主動運輸將物質運送通過細胞膜 398
- ATP 也能分解成 AMP 和焦酸鹽 400
- 除了 ATP 以外，還有其他富含能量的 5'-三磷酸核甘酸 403
- ATP 系是在動力穩定下發揮功能 405
- 摘要 406
- 推薦讀物 407
- 問題 408
- 第15章 醣解反應：葡萄糖分解代謝 4/3
- 醣解反應是大部份生物體的中樞性途徑 413
- ATP 的形成與醣解反應耦合 415
- 很多自由能仍然保持在醣解的產物理 416
- 醣解反應有 2 個相 416
- 醣解反應藉由磷酸化中間產物進行的 419
- 醣解反應第 1 相產生六碳醣鏈斷裂的結果 419
- 葡萄糖磷酸化 419
- 葡萄糖 6- 磷酸轉化成果糖 6- 磷酸 421
- 果糖 6- 磷酸經磷酸化成果 1,6- 雙磷酸 422
- 果糖 1,6- 雙磷酸的裂解 422
- 三碳醣磷酸的互變 423
- 醣解作用的第 2 相能保存能量 424
- 甘油醛 3- 磷酸氧化成 3- 磷酸甘油磷酸 424
- 從 3- 磷酸甘油磷酸轉移磷酸給 ADP 426
- 3- 磷酸甘油酸轉化成 2- 磷酸甘油酸 427
- 2- 磷酸甘油酸脫水形成磷酸烯醇丙酮酸 428
- 從磷酸烯醇丙酮酸轉移磷酸基給 ADP 428
- 丙酮酸還原成乳酸 429
- 總平衡式 430
- 從肝醣和其他碳水化合物經由“餵食”途徑導入中樞醣解途徑 431
- 其他的單醣類能夠進入醣解作用序列 434
- 雙醣類首先必須水解成單醣類 437
- 葡萄糖殘餘基進入醣解反應序列的調節 437
- 激素對磷酸酶 a 和 b 互變的終極調節作用 440
- 醣解序列本身在 2 個主要位置進行調節作用 441
- 在整個細胞中醣解反應的調節步驟如何協同一致？ 443
- 酒精發酵與醣解反應們的差異只在於其最後的步驟 444
- 摘要 446
- 推薦讀物 448
- 問題 449
- 第16章 檸檬酸循環 455
- 葡萄糖氧化成 CO_2 和 H_2O ，所釋出