

大學生物化學

BIOCHEMISTRY

上册

ALBERT L. LEHNINGER 原著
陳國成 · 劉學絢 · 林彩蓮 合譯



大學生物化學

UNIVERSITY BIOCHEMISTRY

第 1 版



主編：張生信
副主編：張生信、張生信、張生信



大學生物化學

BIOCHEMISTRY

— 上冊 —

細胞結構與功能之分子基礎

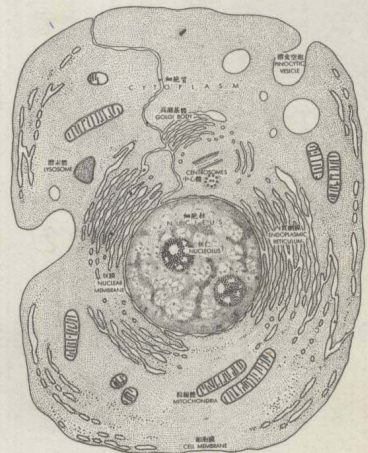
(THE MOLECULAR BASIS OF CELL
STRUCTURE AND FUNCTION)

原作者：ALBERT L. LEHNINGER

(美國 約翰·霍布金斯大學醫學院)

編譯者：陳國成 (國立中興大學 化學系)

合譯者：劉學絢·林彩蓮



BIOCHEMISTRY

The Molecular Basis of Cell
Structure and Function

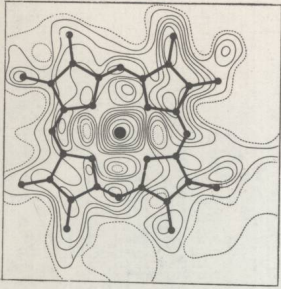
by Albert L. Lehninger

Originally Published by
WORTH PUBLISHERS, INC.

CHINESE EDITION Translated by
Prof. Robert Kuo-Cheng Chen, etc.

Published by
GREAT CHINA BOOK COMPANY
Taipei, Taiwan, China

First Printing August, 1972



大學生物化學

學物化主學大
BIOCHEMISTRY
THE MOLECULAR BASIS OF CELL
STRUCTURE AND FUNCTION

ALBERT L. LEHNINGER

Albert L. Lehninger

Albert L. Lehninger

大學生物化學 上冊

細胞結構與功能之分子基礎

原 著 者：Albert L. Lehninger

編 譯 者：陳 國

合 譯 者：劉 學 絢 · 林 彩 蓮

編 排 及 設 計：何 子 佳 · 陳 莉 莉

丘 育 汕 · 王 寶 瑜

發 行 人：薛 瑜

發 行 所：大 中 國 圖 書 公 司

臺 北 市 重 慶 南 路 一 段 六 十 六 號

劃 撥 帳 號：二 六 一 九 號

電 話：三 一 一 一 四 八 七 號

排 版 者：廣 益 印 書 局

臺 中 市 北 屯 路 二 八 六 號

印 刷 者：興 臺 彩 色 印 刷 有 限 公 司

臺 中 市 忠 孝 路 六 十 四 號

定 價：基 本 定 價 九 元 (平 裝 本)

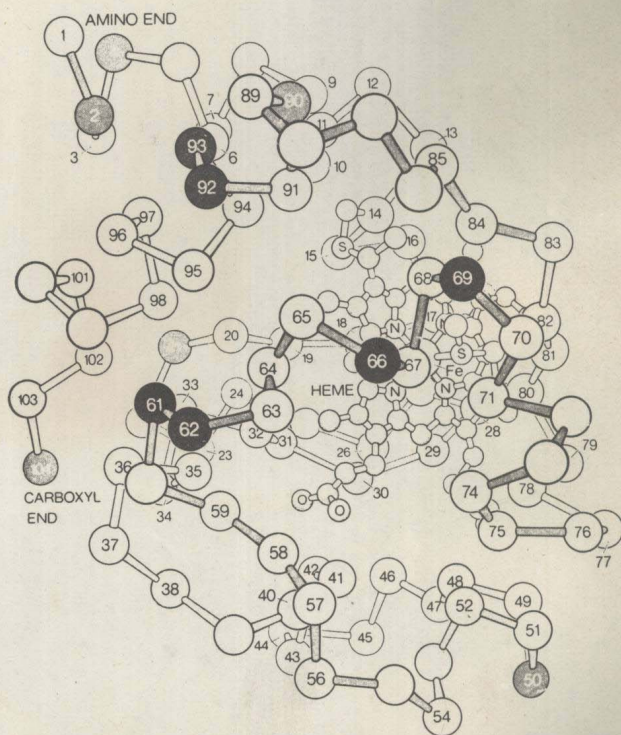
新 聞 局 登 記 證：局 版 臺 業 字 第 C 六 五 三 號

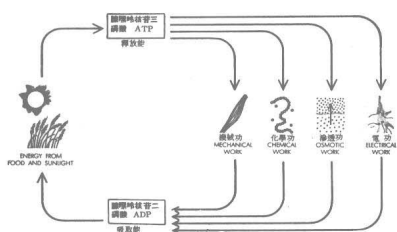
中 華 民 國 七 十 一 年 八 月 再 版

大 中 國 圖 書 公 司

大學生物化學

BIOCHEMISTRY





前 言

此書是為首次研習以及可能僅修一次生物化學的學生所寫，無論是大學部或研究所或醫學院的學生均甚適合。筆者承擔此項工作，乃因欲將此一科學之近貌觀點，傳授給學生。生物化學已不再僅僅是生物所發生的及許多有機化合物酵素反應之一篇綱目而已。在過去幾年內，隨著許多新事實之發現，生物化學已獲得一系列組織化的原則，使此學科成為更簡單而易於瞭解，同時，也是分析許多生物學上重要難題之更有力途徑。

究竟何以致此？乃因科學研究的每一門，在其演進之中，總有某一時期經歷深刻的變遷，集合起廣泛分散的事實與假說，由一些基本觀念將之統一，凝結成合乎邏輯的結晶圖樣。生物化學受到新的實驗發現與新見識之刺激，已經在進行此種變遷。其中包含有認識細胞中能量傳遞之原則；調整主要代謝路徑之機構；關於膜之重要性；核糖體的研究；以及其他細胞內超微結構要素該等之分子活性；同時尚對由胺基酸順序以決定蛋白質分子之三次元構造，因而決定其生物功能，此項重大影響工作已獲致結論。又遺傳學之分子基礎上所得新知，已使所有的生物學改觀，且具有最深遠的影響力。因為這些發展事實，如今生物化學已有個中心課題，也即其研究主旨，筆者擬在緒言中設法用簡明字句表達之。

此書主要論述係以細胞基準上來闡解生物化學，尤其對組織化的原則作最清晰說明。筆法側重於中心觀念的解釋，而不在於仿效生物學之百科全書或作細節上的敘述。全書計分四個主要部份：

1. 生物分子 (*Biomolecules*)
2. 能量之產生過程 (*Energy-yielding processes*)
3. 能量之需求過程 (*Energy-requiring processes*)
4. 遺傳信息之傳遞 (*Transfer of genetic information*)

上述各主題的再細分工作，則以合乎邏輯方式分述為各章節，期望對於學生和教師均有個完整的“體系”，供作全期授課或討論之內容。筆者同意許多教師的建議，認為有些生物分子構造和性質，最好與其代謝作用一併討論，但仍然為了學生研習方便起見，選定最主要各種型式的生物分子，將其構造、化學及存在等方面的大部份資料，收集於「第一

部」部分。對於上項建議在此書中仍是頗為可行的。筆者相信如此較容易參考，使該建議仍有可行之彈性收效。

現今，生物化學有許多新的尚待研究之領域。是以在篇章中凡屬於一些最有前途者均加以描述：例如蛋白質合成之調整及其在細胞分化中的任務；自身組合與形態發生學之分子基礎；以及生命的起源。

這些篇章也許很快地就不合時代，但是筆者深望能提供給好學的同學們一些未來的生物化學智識。

誌 謝

許多人將會體認到單由筆者薄弱力量去寫一本具有深度的生物化學教本，實為不智之舉。幸有出版公司的贊助，敦聘許多化學家，生物化學家以及生物學家，他們對本書所編述之各章節領域均曾有精湛的研究或富有經驗的教導；提供了寶貴的批評和建議。幾乎每一章都經由至少一位，乃至數位權威人士的閱讀與指示。深感到對他們虧欠不少，不僅是得到熱誠的鼓勵並且偶爾也得到坦率的批評，指點出唯有真正專家才能表達的見識與洞察力。也許，本書中尚有無可避免地一些事實方面、解釋方面、或者語氣上的錯誤，但是這些漏誤應諉諸於筆者個人。同樣地，衷心極為感激學生以及教師所給予的註釋、批評和錯誤提示及各種有關改進的建議，以使將來重印或再版予以更正，期求全書更為完美。

對於下列審閱者，謹致真摯的謝意：

Jay Martin Anderson, Christian B. Anfinsen,
Robert E. Beyer, R. G. S. Bidwell, Rodney L. Biltonen,
Konrad E. Bloch, Benjamin Bouck, Daniel Branton,
Robert H. Burris, Melvin Calvin, Roderick K. Clayton,
Helena Curtis, Robert E. Davies, Bernard D. Davis,
John T. Edsall, Paul T. Englund, Allan H. Fenselau,
J. Lawrence Fox, Richard Goldsby, Ursula Johnson
Goodenough, Guido Guidotti, Gordon G. Hammes,
William F. Harrington, Edward C. Heath, Harold G.
Hempling, Donald P. Hollis, Lloyd L. Ingraham, Andre T.
Jagendorf, William P. Jencks, Daniel E. Koshland, Jr.,
Sir Hans A. Krebs, Myron Ledbetter, William J.
Lennarz, Richard C. Lewontin, Julius Marmur, Daniel
Nathans, Leslie Orgel, Peter L. Pedersen, Keith R. Porter,
David Prescott, John Sinclair, Gunther Stent, Jack L.
Strominger, Maurice Sussman, Serge N. Timasheff, and
William B. Wood.

同時也感謝其他許多人，致謝列於書末，對於慷慨地應允准予引用各種插圖，電子顯微圖片及其他敘述文件，致深謝忱。

筆者亦十分感激 Worth 出版公司及其全體職員的支助，並能真正有興趣於學生及教師的需要，尤感激對於一位大學作者的鑑賞和支持，共同期望出版一本富於教育性的有益書籍。

在 Johns Hopkins 醫學院的生理化學系中，筆者的同事們曾提供許多意見，特別是在計劃此書時所疏漏之處，亦承補遺和指正。尤其是 Linda Hansford 給予無價珍貴的幫助；在改進閱讀，附錄，檢查習題，收集資料及參攷諸方面，以一學生之觀點提供許多寶貴的意見。也感謝 Konald Garrett 的攝影分子模型，及秘書 Peggy Ford 不僅於授課、研究、系務和寫書方面，有效地安排時間與注意事項，而且將文稿中許多章節整理清楚。

最後，筆者對家人表示深摯的感激，他們在我寫書時耐心地忍受許多週末及夜晚，且在我最需要時給予最大的鼓勵。

ALBERT L. LEHNINGER

Sparks, Maryland
March, 1970

譯者序



多年來一直盼望寫一本取材新穎，編排合理、內容充實的生物化學教本。自歸國後，此一心願尤為殷切，惟四載以來，在初期，時斷時續，始終無法成章完稿。主要是課務研究工作繁重，並擔任出版編務的工作，平日缺少完整的時間去整理和思攷，同時亦感個人的學識功力不足以擔此重任。加之生化進展迅速，欲求趕上時代，在國內搜集最新研究報告和素材，對揀選上在在都是困難。為此，在同一時期，基於同樣動機，籌劃編譯“生物化學論叢”和各類生物化學叢書、由於主題明顯、工作份量較輕、加上在校同仁和同學等的熱心合作，遂能將各書陸續問世。但是內心總希望能為國內學術界提出一本具水準的生物化學教材。近來講授「生物化學特論」課程，時時注意新書出版，以期搜集些資料介紹給同學們。較新出版者類如：

James M. Orten & Otto W. Neuhaus: BIOCHEMISTRY, Eighth Edition (1970)

R. W. McGilvery: BIOCHEMISTRY—a functional approach. (1970)

Nathan H. Sloane & J. Lyndal York: REVIEW OF BIOCHEMISTRY (1969)

Henry R. Mahler & Eugene H. Cordes BIOLOGICAL CHEMISTRY (1968)

諸書雖各具特長，但總覺得若採用為教材尚欠完善。去年年初好友饒連財博士自母校加州大學（柏克萊校區）致函推介一本最新出版 Albert L. Lehninger 所著之“生物化學”（1971年增訂版）。以航郵寄至，展閱之下愛不釋手。關於 Dr. Lehninger 之論著（原載“SCIENTIFIC AMERICAN”）過去曾譯介數篇，分別刊於生化論叢各集中，多偏重於生化能量學方面，此次作者以其淵博的學識經驗和充沛的活力，致力於生化教學工作，完成此一傾全力著述之巨著，實為時下不可多得權威性教本。無論在章節、編排、圖解、說明和文筆上均獨具匠心。為此立意以最大決心將全書譯出，極感欣喜的是至友鄭天佑博士專攻生物物理，自耶魯大學畢業後，除在史丹福大學生化系擔任短期研究後，現正在原作者所執教的約翰·霍布金斯大學醫學院生化系任職，給予許多支持，對於此書中文譯述的出版助力非淺。由於原著篇幅浩繁是同時嘗試以新式的編排法，盡量符合原著優點，在編寫和製版上工作甚為艱巨。極可告慰的，全部工作，大家集體合作方式完成，在工作分配上係採取分工的辦法；擔任初譯是二位研究得力助手劉學綸女士和林彩蓮女士、協助譯述尚有陳莉莉女士、林明勇君和陳起君，校對工作包括宋臺生、梁文進、鍾耀雄、張之武、劉大貝、吳增仁、鄧逸芳、何嘉璐、洪錫欽諸君，此外最喫力的工作是圖版設計和稿式的編排，是由何子佳、丘育汧女士負責，另由王寶猜、陳莉莉、羅玉娜女士等協助。全稿由筆者再譯、校註和總集成並策劃等。一年多以來，大家雖然感到辛苦，但也深為所達成的收穫而感到無比的興奮。如今全書付印之時，謹識於此，以為人生旅程的一個里程和懷念，並對參與工作的全體寄與深切的祝福，盼望這些愛好生命科學的莘莘學子和從事科學研究的年青同工，大家並肩攜手為祖國科學尊基工作一齊努力。

最後在譯述上極感到困難是譯名的不統一，和新的科學術語無法找到適當的翻譯。教育部所頒佈的科學名詞彙編無法適應當前的需要，因此人名部分均直接寫下原文，術語、名詞盡量同時列出原文，化合物等名詞在第一次出現均寫出中英對照（若遇冷僻名詞曾多次附列原文，以便讀者參攷），並且為閱讀便利及敘述簡潔起見，在方程式或文句中亦常採用原文或中英併列方式以及使用縮寫字，此點原作者在本書附錄詳列生物化學常用符號與縮寫對照表，此外筆者復將索引詳加訂正，以為隨時翻閱之參攷。

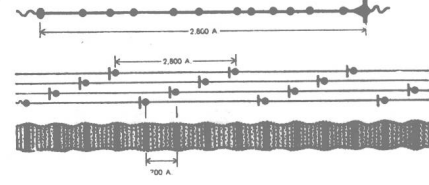
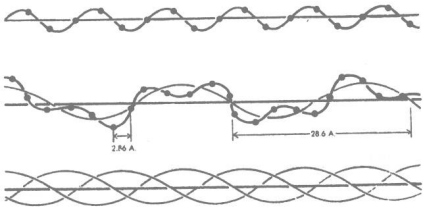
付梓前夕，深深感謝大中國圖書公司薛瑜總經理的大力支持，方便此一巨著出版成為可能。在排版製版技術上，多蒙廣益印刷廠和興臺彩色印刷公司的合作協助，衷心感激。因為撰寫和編印時間仍覺緊迫，漏誤之處在所難免，尚希先進學者多賜教益，亦盼讀者們時常連絡給予指正，以便再版時修訂參攷，是幸。

陳國成代序於臺中

國立中興大學化學系

目 錄

— 上 册 —



	頁數
前 言.....	V
譯者序.....	Viii
目 錄.....	X
緒 言：生物體之分子邏輯.....	1
(THE MOLECULAR LOGIC OF LIVING ORGANISMS)	

第一部 細胞之分子成分 13

(THE MOLECULAR COMPONENTS OF CELLS)

第一章 生物分子與細胞.....	15
(Biomolecules and Cells)	
第二章 水.....	37
(Water)	
[附錄一] 水.....	53
第三章 蛋白質及其生物功能：概說.....	63
(Proteins and Their Biological Functions: A Survey)	
第四章 蛋白質：胺基酸建材.....	75
(Proteins: The Amino Acid Building Blocks)	
第五章 蛋白質：共價主幹與胺基酸順序.....	97
(Proteins: Covalent Backbone and Amino Acid Sequence)	
[附錄二] 蛋白質一級構造之決定.....	118
[附錄三] 胜肽固相合成法.....	124
第六章 蛋白質：構形.....	129
(Proteins: Conformation)	

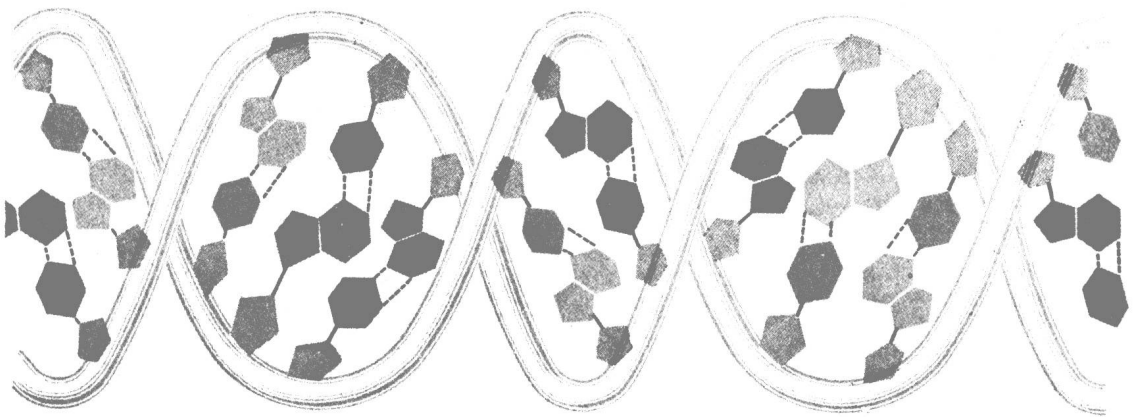
第七章	蛋白質：在溶液中的行爲	149
	(Proteins: Behavior in Solution)	
第八章	酵素：動力學與抑制作用	169
	(Enzymes: Kinetics and Inhibition)	
第九章	酵素：機構、構造、與調節作用	191
	(Enzymes: Mechanism, Structure, and Regulation)	
	[附錄四] 酵素分類與命名	210
第十章	脂質、脂蛋白質、與膜類	219
	(Lipids, Lipoproteins, and Membranes)	
第十一章	糖類、貯藏之多醣類、與細胞壁	247
	(Sugars, Storage Polysaccharides, and Cell Walls)	
第十二章	核苷酸與多核苷酸	271
	(Nucleotides and Polynucleotides)	

第二部 分解代謝與磷酸鹽-鍵能之產生.....295 (CATABOLISM AND THE GENERATION OF PHOSPHATE-BOND ENERGY)

第十三章	代謝與能量傳遞之行徑：概說	297
	(Metabolic and Energy-Transfer Pathways: A Survey)	
第十四章	生物能量之原則與腺嘌呤核苷三磷酸循環	319
	(Bioenergetic Principles and the ATP Cycle)	
第十五章	糖解作用	345
	(Glycolysis)	
第十六章	三羧酸循環與磷酸葡萄糖酸酯行徑	369
	(The Tricarboxylic Acid Cycle and the Phosphogluconate Pathway)	
第十七章	電子轉移與氧化磷酸酯化作用	399
	(Electron Transport and Oxidative Phosphorylation)	

緒言 生物體之分子邏輯

INTRODUCTION THE MOLECULAR LOGIC OF LIVING ORGANISMS





緒言 生物體之分子邏輯



INTRODUCTION THE MOLECULAR LOGIC OF LIVING ORGANISMS

生物是由無生命的分子所組成，這些分子於個別單離和檢視之下，乃與描述無生命物質之所有物理及化學法則均相一致。然而，生物體擁有超凡的屬性，是無生命物質之集合體所無法顯示的。假如對於此等特殊性質加以研討，則能對於生物化學所欲尋求解答之基本問題，有較佳的瞭解，以期達成研究生物化學之目的。

生物之鑑定特性

The Identifying Characteristics of Living Matter

或許生物體最顯明的屬性為其繁複的與高度的組織化。它們擁有錯綜的內部構造物，含有許多種複雜的分子。尤其在不同物種中發現有驚人的變化。相反地，無生命物質在其環境中，如土壤，水及岩石所代表者，通常是由簡單的化合物隨意混合而成，其構造之組織化亦較為單純。

其次，一個生物體之每一成分部份，均表現其特殊目的或功能。不僅在細胞內部構造物，(intracellular structures) 如細胞核及細胞膜如此；在細胞中的個別化合物，諸如脂質、蛋白質及核酸亦復如此。於生物體中，探究某一分子之功能為何，是頗為合理之事。然而，將此類問題詢之於無生命物質之集合體則屬離題而毫無意義。

再者，生物體有能力自其環境中抽取能量且將之轉換，以用來將簡單的原料建造並維持其自身的複雜構造物。同時也能執行別種有目的之工作，如運動之類的機械工作。無生命物質則無此種能力，來運用外界能量以維持其自身之結構組織。事實上，無生命物質當其吸收外界能量如熱或光之後，通常衰變(decays)成更不規則的狀態。

但是，生物體最超凡的屬性，乃是其正確地自身複製(self-replication)之能力，此種性質可認為是生活狀態之精華所在。無生命物質之集合體，吾人已熟悉其顯然缺少經由“一代”接“一代”地來繁殖與自身相同質量、形狀及內部構造之能力。

生物化學及生活狀態

Biochemistry and the Living State

如今要問：假若生物體是實質上由無生命之分子所組成，無生物也是由無生命之分子組成的，為何生物與無生物如此截然的不同？何以生物體表現出不僅是其無生命部份之總合物而已？中世紀的哲學家曾經回答，謂生物體乃天賦有

神秘而非凡的生命力。但是此種學說，稱為生機論 (vitalism) 者，只不過是一種迷信，已被近代科學所拒絕。當今生物化學的基本目標，在於決定出構成生物體之無生命分子集合物，究竟如何彼此作用以維持其生活狀態並使之永久延續。是項目標乃訂在決定出地球之早期史中，生活狀態首度出現的方式。

生物學與化學在傳統上被認為是區別分明的知識體系，每一種有其所有的一系定律與原則。然而，因生物體是由特別相互作用之分子所組成，故必須準備考慮生物學 (biology) 即化學 (chemistry) 之此一觀念。此並非說生物學僅僅是化學的另一個領域，猶如有機化學，物理化學，或無機化學等。事實上，生物學是一種超級化學 (superchemistry) 它包括同時超越了傳統的化學範圍。這是因為組成生物體之分子，不僅符合控制無生命物質行為上所有熟悉的物理和化學原則；此外其等分子間相互作用，乃依照其他一系列原則，總稱之為生活狀態之分子邏輯。這些原則未必需要包含新的或迄今未發現的物理定律或力量。而它們應被認為是獨特的一系“基本規則”(“ground rules”)，控制著在生物體內所發現之特殊型分子的性質、功能及相互作用，且賦予它們自身組織 (self-organization) 和自身複製的能力。並非所有組成生活狀態之分子，其邏輯原則均已確認明白，有些則僅模糊地被觀察到。事實上，或可謂這些原則為公理 (axioms) 或假說 (hypothesis)，也許更合適，因其中有些是直覺的且尚未可證實。

目前且看是否能於生活狀態之分子邏輯中確認出一些重要的公理。首先擬簡要地研究生物體內所發現之各分子，其構造與功能，這些分子稱之為生物分子 (biomolecules)。

生物分子 Biomolecules

生物體之化學組成，在本質上是頗為不同於其生存之物理環境的，生物體之大部份化學組成分，是碳的有機化合物，其中碳相對地被還原或氫化 (hydrogenated)。許多有機的生物分子也含有氮。相反地，元素碳和氮在無生命物質中並不充斥，且在大氣與地殼中僅以簡單之無機鹽方式存在，例如二氧化碳，分子態氮，碳酸鹽類及硝酸鹽類等。

在生活物質中存在的有機化合物，以非凡的變化呈現之，且多數是極端複雜的。舉例而言，甚至最簡單且最小的細胞，即細菌 (bacteria)，就含有許許多多不同的有機分子。經估計，大腸桿菌 (*Escherichia coli*) 含有大約 5,000 種不同的有機化合物，其中包括大約 3,000 種不同的蛋白質和 1,000 種不同的核酸。甚且，蛋白質與核酸均是複雜的分子，其中僅有少數構造被知曉。

若轉向較大而更複雜的生物體本身，即高等動物和植物，則可發現亦均含有蛋白質與核酸，且具有很大的變異性。譬如，人體中大約有多至五百萬種不同的蛋白質，與大

腸菌之 3,000 種相比較，顯然多出很多。大腸菌之蛋白質分子，沒有一種是與人體中所發現之蛋白質相同，雖然有些在功能上方式極為相似，事實上，生物之每一物種，有其本身化學上截然分明的蛋白質分子與核酸分子組系。由於生物體可能超過一百二十萬個物種，範圍之複雜性自大腸菌以至人類，據推算所有生活之物種總合之，將含有大約 10^{10} 至 10^{12} 種不同的蛋白質分子及大約 10^{10} 種不同的核酸。如果將這些數據來和至今已可用人工合成之全部有機化合物（約一百萬種，即 10^6 ）相比較；顯然可知，在所有吾人相信其存於生物體中之有機分子，實僅曉得其中區區一小部分的正確構造而已。因此，對生物化學家而言，企圖將生物體中現存之所有不同的有機分子，加以單離 (isolate)，確認 (identify)，及合成 (synthesize)，顯然是為不可能之事。

然而，至為奇妙地，生物體內有機分子雖具極大變異性，却全然可減少至幾近不可思議的簡單性。如今已知細胞中的大分子 (macromolecules) 是由許多簡單而微小的建材分子 (building-block molecules) 所組成，串連在一起形成長鏈。以蛋白質為例；多含有 100 個以上的胺基酸殘基 (residues) 者，是以共價鍵結而成。胺基酸是已知構造的小化合物。一般蛋白質中僅發現有 20 種相異的胺基酸，但是它們以許多不同的順序排列着，形成多種不相同的蛋白質。所以，大腸菌中所有的 3,000 種或更多之蛋白質，均是由 20 種不同的小分子造成的。類此，大腸菌細胞之所有 1000 種或更多之核酸，也是長形聚合性的分子，乃是由僅僅五種不同建材，稱為單核苷酸 (mononucleotide) 者所構成。甚且，構成蛋白質之 20 種不同胺基酸和造成核酸之五種不同核苷酸，在所有生活之物種體內均屬相同。雖然至今，吾人所確切知悉僅約 50 種蛋白質之共價結構 (covalent structure)，而蛋白質化學之技術已獲長足進展——在原則上，由生物之任何物種，以闡明任何蛋白質之構造，乃屬於生物化學的能力範圍之內，是以有待今後之努力。

此等構成大分子之少數簡單建材分子，均有其獨特之處。每一種分子在生活細胞內的功能不祇一途。確實，有些是多方面的，擔當許多任務。例如胺基酸不僅供作蛋白質之建材，也是賀爾蒙 (hormones)，生物鹼 (alkaloids)，紫質 (porphyrins) 色素及許多其他生物分子的前驅物 (precursors)。再如，單核苷酸不僅供做核酸之建材，同時也是輔酶 (coenzymes) 及攜帶能量之分子 (energy-carrying molecules)。因此顯示，諸種建材生物分子在生物演化過程中，因其所提供之幾種功能，而可能被揀選應用。至今所知，生物體內正常情況下，未含有無功能之化合物，雖則有些分子之功能尚未瞭解。

現可見及生活狀態之分子邏輯中，出現一些公理。如細胞的分子組織中有基本的單純性；是以數以千計之不同種大分子僅由少數簡單建材分子所構成。復因建材生物分子在所有已知物種中是完全相同的，故可謂所有生物均有一共同遠

祖 (common ancestor)。吾人可知生物之每一物種，其同一性之賴以保存，是藉著擁有一組特殊核酸與蛋白質所致。尤其，由建材生物分子之功能多面性而觀，則有其基本的分子經濟原則。也許生活細胞所含者，僅是最少數不同型；以及盡可能最簡單型的分子，恰足以使之賦有生命屬性，且在所處的環境狀況下持有物種之同一性。

生活細胞中能量之變換

Energy Transformations in Living Cells

生物之分子複雜性與構造上的秩序性，乃是和無生物之無規性相反，此對於物理學家是有深刻含意的。熱力學 (thermodynamics) 之第二定律即物理學的分支，涉及能量與其變換者，敘述物理及化學過程傾向於增加該體系之無秩序 (disorder) 或亂度 (randomness)，即熵 (entropy)。自然界之過程不會循著減少此物質世界之總無規性或熵之方向發生。然而，生物究竟如何能在此種相當無規的且隨時更趨紊亂之環境中，創造與維持其複雜的秩序性？

生物在結構上不超出熱力學定律範疇。其高度的分子規律性，必須以某種方式付出代價，因其不能由紊亂中自動產生秩序。熱力學第一定律謂能量既不能被創造也不能被毀滅。因而生物不能耗盡或用掉能量；只能將能量由一種形式變形為他種。生物在其所生活的特殊溫度和壓力條件下，由其環境吸收對它有用的能量，而後以等量的另一種較無用的形式，將能量交還給四周環境。細胞所吸取有效形式之能量稱為自由能 (*free energy*)，關於自由能之簡明定義：即屬能量之一種型式，可在固定的溫度與壓力下作出功者。而細胞還給周遭環境之較無用型能量，多屬於含有熱及其他形式，迅速地在環境中變成無秩序，因而增加其無規性或熵。現今當可陳述生活狀態之分子邏輯中，一項極端重要的公理：生物乃是藉著耗費其周遭環境，以創造和維持其主要規律性，致使環境趨向於更無秩序與紊亂。

生物之環境是絕對重要的，它不僅是提供自由能的來源，同時也是原料之來源。以熱力學術語而言，生物是“開放”系統 (“open” systems)，因它們與環境交換能量與物質，且在交換當中，將此二者變換。開放系統之特性在於它與環境並不平衡。雖然生物可能呈現在平衡狀態，因為當吾人觀察一段時間之後，它們並無顯見的改變，事實上仍處於所謂穩定狀態 (*steady state*)，此種狀態是開放系統的一種情況，該情況即由環境進入系統中之物質與能量的轉移速率，恰好與由該系統所出來的物質與能量之轉移速率達成平衡。因而成為生活狀態之分子邏輯上的一部份，說明細胞是個不平衡的開放系統 (nonequilibrium open system)，是個由環境抽取自由能的“機器”，使環境增加其熵。此外，也是最大經濟原則之另種反射作用，此因生活細胞能極有效地運用能與物質。將輸入之能量變成事工的達成，在