

〔英〕 J. N. 达维生 著

R. L. P. 亚当斯 等 修订

核酸的生物化学



科学出版社

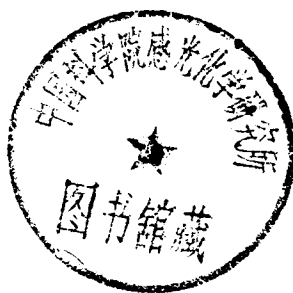
15-173
DF17/33

核酸的生物化学

〔英〕J. N. 达维生 著

R. L. P. 亚当斯 R. H. 伯顿 修订
A. M. 坎贝尔 R. M. S. 史曼莱

生物物理研究所二室 译
《核酸的生物化学》翻译小组



科学出版社

1983

内 容 简 介

本书概述了核酸的结构和特性,以及它在生命活动中的功能。此书是在第七版的基础上作了较大的修改,增加了很多新的内容,因此它既概括了核酸各方面的基本知识,也反映了新的发展和成就。可供分子生物学、生物化学、遗传学和基础医学工作者,以及大专院校有关专业师生参考。

J. N. Davidson
THE BIOCHEMISTRY OF THE NUCLEIC ACIDS

Eighth edition

Revised by

R. L. P. Adams, R. H. Burdon
A. M. Campbell, R. M. S. Smellie
Chapman and Hall, 1976

核酸的生物化学

〔英〕J. N. 达维生 著

R. L. P. 亚当斯 R. H. 伯顿 修订
A. M. 坎贝尔 R. M. S. 史曼莱

生物物理研究所二室 译
《核酸的生物化学》翻译小组

责任编辑 吴铁双

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1983年7月第一版 开本: 850×1168 1/32

1983年7月第一次印刷 印张: 13 1/2

印数: 0001—6,600 字数: 354,000

统一书号: 15031·2288

本社书号: 3134·13-10

定 价: 2.50 元

图版 (在第 87 页至第 94 页之间)

- I. 由大肠杆菌噬菌体颗粒渗透破裂而产生的 DNA 线状物
- II. 阐明哺乳动物细胞的精细结构的电子显微照片
- III. SV40 DNA 分子的复制
- IV. PM2 病毒 DNA 的二种形式
- V. 酵母苯丙氨酸转移核糖核酸的模型
- VI. DNA 转录的电子显微照片
- VII. 45S 核糖体的前体 RNA 的电子显微照片
- VIII. 小鸡红血球的染色质纤维

译者的话

1972年,我们组织翻译了J. N. 达维生著的“核酸的生物化学”第六版。译书出版后不久,就看到了原书第七版,一九七七年又看到原书第八版。

第八版的“核酸的生物化学”是达维生的四位同事修订的。他们作了大量的修改,增补了不少新的内容,介绍了很多新的思想和新的观点。例如,就“DNA的复制”一章来说,第八版全面地叙述了复制在体内研究和体外研究的进展情况。内容自然比第六版丰富多了,而且也比较深入。又如,第八版专辟一章,介绍核酸和蛋白质合成的调节,这些在第六版几乎很少谈到。

另外,在章节结构上明显可以看出的有:第六版的“核酸的水解产物”、“层析、电泳及紫外吸收”、“测定核酸的化学方法”、“细胞化学和组织化学”等四章,在第八版修改成“核酸的存在”、“核酸的化学组成”、“核酸的分离和鉴定”等三章。第六版的“单核苷酸的生物合成”、“核酸的分解代谢”二章,在第八版中合并成为“核苷酸的代谢”一章。总之,原书第八版比第六版显然更能反映这个领域的最新进展。

近年来,由于分子生物学的不断发展,尤其是遗传工程的提出,广大读者更迫切要求了解和掌握核酸的知识,而达维生的“核酸的生物化学”正是学习和了解核酸的一本很好的入门书。

基于上述理由,所以我们翻译了该书的第八版。由于我们的水平有限,在翻译中定有不妥之处,请予批评指正。

译者

1979年2月

前 言

本书第一版于 1950 年问世,它既反映了当时核酸生物化学知识的概貌,又是 1931 年 Levene 有关核酸著作以后的第一部关于核酸生物化学的专著。之后,仅 25 年就出了八版,而且这一新版的内容与第一版比较已是面目全非,这可作为衡量此领域发展的尺度。

对于生物化学专业的高年级学生、希望对这一领域的生物学方面有更多了解的化学家以及想学习化学和分子生物学的生物学家来说,这部为 Glasgow 大学化学系所熟习的“核酸启蒙”至今仍然是一本主要的入门书。

本书前七版是 J. N. 达维生执笔的。他于完成第七版之后不久,即于 1972 年 9 月逝世。这次新版即第八版,由我们——他的四位同事作了大量修订写成。我们认识到在今天有必要为这部核酸生物化学加以补充,使此书既反映了该领域的最新进展,又是一本基础读物。为此,我们尽量保持原书的结构和特点,同时又增补了新的概念和观点,删去了陈旧的内容。对于某些章节,尤其是有关结构、功能、生物合成及控制等内容都重新编写,对原书的章节次序作了更动,有些章节合并及增添一些新的章节。旧版本的一个突出特点是引用了大量参考文献,这次再版时我们尽量予以保留,同时又以新代旧,并增添了新近的综述和原始论文。

我们已故的同事达维生教授曾为本书前几版的编写竭尽心血,因此,我们希望这次再版也能达到预期的目标,以保持原书的第一流水平。

R. L. P. 亚当斯

R. H. 伯顿

A. M. 坎贝尔

R. M. S. 史曼莱

1976 年 1 月

缩写和命名法

本书所用的缩写词均系按国际理论和应用化学联合会(IUPAC)所属生物化学命名委员会(CBN)及国际生物化学联合会(IUB)规定。

核苷

A	腺苷
G	鸟苷
C	胞苷
U	尿苷
ψ	假尿苷
I	次黄嘌呤核苷, 肌苷
X	黄苷
T	核糖胸腺嘧啶(核糖胸腺嘧啶核苷)
N	任一核苷
R	任一嘌呤核苷
Y	任一嘧啶核苷
dA	2'-脱氧核糖腺苷
dG etc.	2'-脱氧核糖鸟苷等
dT	胸腺嘧啶核苷

稀有核苷(处于序列中时)

m^1I	1-甲基次黄嘌呤核苷, 1-甲基肌苷
m^1G	1-甲基鸟苷
m^2G	N^2 -甲基鸟苷
m_2^2G	N^2 -二甲基鸟苷
Gm	2'-O-甲基鸟苷
mA	甲基腺苷

m ⁶ A	N ⁶ -二甲基腺苷
iA	N ⁶ -异戊烯基腺苷
hU	5,6-二氢尿苷
m ⁵ C	5-甲基胞苷
ac ⁴ C	N ⁴ -乙酰基胞苷
Um	2'-O-甲基尿苷
Cm	2'-O-甲基胞苷
核苷酸	
AMP	腺苷 5'—磷酸(5'-腺苷酸)
GMP etc.	鸟苷 5'—磷酸(5'-鸟苷酸)等
dAMP	2'-脱氧核糖腺苷 5'—磷酸(5'-脱氧腺苷酸)
dGMP etc.	2'-脱氧鸟苷 5'—磷酸(5'-脱氧鸟苷酸)等
dTMP	胸腺嘧啶核苷 5'—磷酸(5'-胸腺嘧啶核苷酸)
2'-AMP, 3'-AMP (5'-AMP) etc.	2'-, 3'-, (5'-)腺苷酸等
ADP, etc.	5'-(焦)腺苷二磷酸, 等
ATP, etc.	5'-(焦)腺苷三磷酸, 等
多核苷酸	
RNA	核糖核酸
DNA	脱氧核糖核酸
mRNA; rRNA	信使 RNA; 核糖体 RNA
nRNA	核 RNA
tRNA	转移 RNA (接受和转移氨基酸的 RNA; 氨基酸受体 RNA)
Alanine tRNA or tRNA ^{Ala} , etc.	丙氨酸转移 RNA, 等
Alanyl-tRNA ^{Ala} or	携带着共价连接的丙氨酰残基的丙氨酸

Ala-tRNA ^{Ala} or	转移 RNA
Ala-tRNA	
Poly (N), or (N) _n , or (rN) _n	核糖核苷酸 N 的 3'→5' 聚合物
Poly (dN), or (dN) _n	脱氧核糖核苷酸 N 的 3'→5' 聚合物
Poly (N-N'), or r(N-N') _n , or (rN-rN') _n	已知序列 N-N'-N-N'-有序交替的 3'→5' 共聚物
Poly d(N-N'), or d(N-N') _n or (dN-dN') _n	已知序列 dN-dN'-dN-dN'-有序交替的 3'→5' 共聚物
Poly(N, N'), or (N, N') _n	N 和 N' 呈无规则排列的 3'→5' 共聚物
Poly (A)·Poly(B), or (A) _n ·(B) _n	一般或完全联结在一起的两条链
Poly (A), Poly(B), or (A) _n , (B) _n	非特异或方式未知联结在一起的两条链
Poly (A) + Poly(B), or (A) _n + (B) _n	一般或完全未联结在一起的两条链

其他

RNase, DNase	核糖核酸酶, 脱氧核糖核酸酶
P _i , P _{ii}	无机正磷酸和焦磷酸

氨基酸

Ala	丙氨酸
Arg	精氨酸
Asp	天冬氨酸
Asn	天冬酰胺
Cys	半胱氨酸
Glu	谷氨酸
Gln	谷氨酰胺

Gly	甘氨酸
His	组氨酸
Ile	异亮氨酸
Leu	亮氨酸
Lys	赖氨酸
Met	甲硫氨酸(蛋氨酸)
fMet	甲酰甲硫氨酸(甲酰蛋氨酸)
Phe	苯丙氨酸
Pro	脯氨酸
Ser	丝氨酸
Thr	苏氨酸
Trp	色氨酸
Tyr	酪氨酸
Val	缬氨酸

生物化学命名委员会的详细介绍刊登在下列期刊上: *J. Biol. Chem.*, **246**, 4894 (1971), *Biochim. Biophys. Acta*, **247**, 1 (1971), *Biochemistry*, **5**, 1445 (1966), *Arch. Biochem. Biophys.*, **115**, 1 (1966), *J. Mol. Biol.*, **55**, 299 (1971), *Biochem. J.*, **126**, 1 (1972), *European J. Biochem.*, **15**, 203 (1970) 及 *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*, 15 (1975).

酶的命名力求遵照国际生物化学联合会酶学委员会的推荐, 并且在文中每种酶的名称之后标出该委员会对此种酶的编号。

目 录

译者的话	iii
前 言	iv
缩写和命名法	v
第 一 章 引言	1
第 二 章 核酸的存在	7
第 三 章 核酸的化学组成	37
第 四 章 核酸的分离和鉴定	52
第 五 章 DNA 的结构	85
第 六 章 RNA 的结构	124
第 七 章 病毒和质粒中的核酸	146
第 八 章 核酸酶和有关的酶	172
第 九 章 核苷酸的代谢	210
第 十 章 DNA 的遗传功能	231
第十一章 DNA 的复制	251
第十二章 RNA 的生物合成: 转录	323
第十三章 RNA 的生物功能: 蛋白质合成	365
第十四章 核酸和蛋白质合成的调节	402

第一章 引言

发现核酸的奠基人是 Friedrich Miescher^[1] (1844—1895), 他被认为是细胞核化学的创始人。1868 年他在提宾根的 Hoppe-Seyler 实验室工作。在这段早期工作中, 他曾由外科废弃绷带上的脓细胞中分离出细胞核, 并发现核物质中有一种含磷异常多的化合物, 他称之为“核素”, 即我们现在熟知的核蛋白。以后, 他在巴塞尔继续从事这项研究, 花费了他毕生的大部分精力。在那里他研究鲑鱼精子中的核物质, 于 1872 年发现精子头部含有一种酸性化合物和一种碱性化合物; 前者即现在所说的核酸, 后者他命名为“鱼精蛋白”。随后就证明了核酸是已研究过的所有细胞和组织的正常组分。Altmann 继续了 Miescher 的研究, 于 1889 年建立了从动植物组织和酵母制备不含蛋白质的核酸的方法。继而, 这项工作又由海德尔堡的 Kossel、巴尔的摩的 Jones、纽约的 Levene、斯德哥尔摩的 Hammarsten、诺丁汉的 Gulland 等人继续下去^[2-7]。

胸腺是核酸的最好的动物性来源之一, 因此胸腺核酸也就研究得最多。其水解产物是腺嘌呤和鸟嘌呤, 胞嘧啶和胸腺嘧啶, 磷酸和一种糖。后来证明是 D(-)2-脱氧核糖, 因此, 称之为脱氧核糖核酸或 DNA。而酵母核酸水解产物是腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶、尿嘧啶、磷酸和一种戊糖, 后来证明是 D(-)核糖。因此, 它与胸腺核酸之间的差别是以尿嘧啶代替了胸腺嘧啶, 核糖代替了脱氧核糖, 故称之为核糖核酸或 RNA。因多数来源于动物的核酸类似胸腺核酸, 而当时(1920 年)由植物制备的唯一的另一种核酸类似酵母, 使人产生一种印象: 胸腺型的脱氧戊糖核酸是动物组织的核酸, 酵母型的戊糖核酸是植物组织的核酸^[8]。由此, 1920 年 Jones 曾断言: “我们确知自然界仅有两种核酸, 一种来自动物细

胞,另一种来自植物细胞。”^[6]

然而,不久即对此概念的确切性提出疑问。因为先前就知道动物组织含有戊糖衍生物。例如,1894年 O. Hammarsten 就曾由哺乳动物胰脏制备出含戊糖的 β 核蛋白^[7],稍后, Jorpes 进而提出了戊糖型的核酸,它很象酵母核酸并证实胰中含量颇多^[8]。Odenius^[9]、Mandel 和 Levene^[10]的有关工作也曾提及乳腺中的戊糖核酸。Calvery 在鸡胚胎浆^[11], Jones 和 Perkins 在脾脏^[12], Thomas 和 Berariu 在肝^[13], Blanchard 在海胆卵里都曾发现戊糖核酸衍生物^[14]。由此看来,戊糖核酸似乎既是动物组织的正常组分也是植物组织的正常组分。所以, Jones 和 Perkins^[12]认为:“动植物核酸之间的差异在将来也不会有明确界限。”

到四十年代初,根据 Caspersson 的紫外分光光度研究^[15]、Brachet 的组织化学实验^[16]及 Davidson 的化学分析结果^[17,18],才得到确凿论据,证明 RNA 是动植物和细菌细胞的一种共同组分。

这些进展使核酸生物学建立在一个新的基础上。细胞化学和细胞分离新技术的应用,证明了 DNA 和 RNA 是所有动植物细胞的正常组分, DNA 仅存于细胞核,而 RNA 也分布于细胞质中^[17-22]。

亚细胞分离技术的发展及其在核分离上的应用^[23-28],使之能够用化学法测定 DNA 和 RNA 在各种类型细胞的亚细胞分布,并最终确定 RNA 存在于细胞的核、核糖体级分和可溶性级分。并证实了任何特定物种的体细胞中每个核的 DNA 平均含量是恒定的^[29](见第二章)。

这些研究以及标记前体掺入 DNA 和不同亚细胞部分的 RNA 的测定证明,各种 RNA 的代谢活性显著不同(第十二章)。

Levene 和 Jacobs 确定肌肉的肌苷酸含 D-核糖、次黄嘌呤和磷。后来,又发现在酵母核酸中含腺苷酸、鸟苷酸、胞苷酸、尿苷酸。这些工作都是对认识核酸结构的最早贡献^[3,32,33]。他们也发现在胸腺核酸中胸腺嘧啶代替了尿嘧啶。这些核苷酸含量几近等克

分子比,致使出现了 DNA 和 RNA 的四核苷酸假说。这个假说认为, DNA 和 RNA 都是含有等量的四种单核苷酸的聚合物,而这些单核苷酸均为相应嘌呤和嘧啶碱基的衍生物,在聚合物结构中四核苷酸为单位重复连结。至于确定胸腺中的糖系 D(-)-2-脱氧核糖,乃是很晚的事了。

至四十年代末期,这种核酸结构的概念虽然依据不足但仍很流行^[34],只是在核酸定量分析方法发展之后^[35,36],证明了各种核苷酸并非以等克分子比存在^[37]后才最终放弃了四核苷酸假设。然而,Chargaff 发现了 DNA 组成中的某些规律^[38],即嘌呤碱和嘧啶碱的总量相等,含氮碱基(腺嘌呤和胞嘧啶)与含酮碱基(鸟嘌呤和胸腺嘧啶)的总量相等以及腺嘌呤和胸腺嘧啶的总量相等与鸟嘌呤和胞嘧啶的总量相等(第五章)。这些发现在稍后阐明 X 射线结晶分析中是非常重要的。

核苷和核苷酸结构细节的阐明主要归功于 Todd 及其同事(综述见参考文献 [39])。他们确定了糖基和嘌呤或嘧啶碱基之间的 β -糖苷键以及磷酸酯键的实质。这些工作同 Cohn 等^[40]的研究结合起来最后证实了 DNA 和 RNA 中核苷酸之间的键的本质,因而能够提出两种类型核酸的一级结构的明确概念(第五章和第六章)。

在核苷酸和多核苷酸化学结构的研究取得这些进展的同时, DNA X 射线晶体衍射研究也取得了进展。根据 Astbury^[41], Pauling 和 Corey^[42], Wilkins 和他的同事^[43],以及 Franklin 和 Gosling 等^[44]的工作, Watson 和 Crick^[45]提出了当今著名的碱基以专一氢键结合配对的双螺旋结构(第五章)及“遗传物质可能的复制机理”。

阐明的 DNA 和 RNA 一级结构和 DNA 二级结构的主要特征为我们以后认识 DNA 和 RNA 的合成机理及其在生命体系中的作用的飞跃发展奠定了基础^[46]。以下各章将详细论述前面所涉及的核酸的结构、功能和生物合成等方面的问题^[47-63]。

参 考 文 献

- [1] Miescher, F. (1879) *Die Histochemischen und Physiologischen Arbeiten*. Leipzig
- [2] Fruton, J. S. (1972) *Molecules and Life*. New York: Wiley-Interscience
- [3] Levene, P. A. and Bass, L. W. (1931). *Nucleic Acids*. New York: Chemical Catalog Co.
- [4] Altmann, R. (1889) *Nucleinsäuren*, *Arch. Anat. Physiol.*, 524
- [5] Levene, P. A. (1921) *J. Biol. Chem.*, 48, 119
- [6] Jones, W. (1920) *The Nucleic Acids*. London: Longmans
- [7] Hammarsten, O. (1894) *Hoppe-Seyler's Ztschr.*, 19, 19
- [8] Jorpes, E. (1924) *Biochem. Ztschr.*, 151, 227
(1928) *Acta Med. Scand.*, 68, 253, 503
(1934) *Biochem. J.*, 28, 2102
- [9] Odenius, R. (1900) *Jahresber. Fortschr. Thierchem.*, 30, 39
- [10] Mandel, J. A. and Levene, P. A. (1905). *Hoppe-Seyler's Ztschr.*, 46, 155
- [11] Calvery, H. O. (1928) *J. Biol. Chem.*, 77, 489, 497
- [12] Jones, W. and Perkins, M. E. (1924-5) *J. Biol. Chem.*, 62, 290
- [13] Thomas, P. and Berariu, C. (1924) *Compt. Rend. Soc. Biol.*, 91, 1470
- [14] Blanchard, K. C. (1935) *J. Biol. Chem.*, 108, 251
- [15] Caspersson, T. (1950) *Cell Growth and Cell Function*. New York: Norton
- [16] Brachet, J. (1950) *Chemical Embryology*. New York: Interscience
- [17] Davidson, J. N. and Waymouth, C. (1944) *Biochem. J.*, 38, 39
- [18] Davidson, J. N. and Waymouth, C. (1944-5) *Nutrition Abs. Rev.*, 14, 1
- [19] Feulgen, R. and Rossenbeck, H. (1924) *Hoppe-Seyler's Ztschr.*, 135, 203
- [20] Kiesel, A. and Belozerski, A. N. (1934) *Hoppe-Seyler's Ztschr.*, 229, 160
- [21] Belozerski, A. N. (1936) *Biochimia*, 1, 253
(1939) *Compt. Rend. Acad. Sci. U.R.S.S.*, 25, 751
- [22] Behrens, M. (1938) *Hoppe-Seyler's Ztschr.*, 253, 185
- [23] Claude, A. (1946) *J. Exp. Med.*, 84, 51
- [24] Hogeboom, C., Schneider, W. C. and Palade, G. E. (1948) *J. Biol. Chem.*, 172, 619
- [25] Dounce, A. L. (1943) *J. Biol. Chem.*, 147, 685
(1943) *ibid.*, 151, 221, 235
- [26] Mirsky, A. E. and Pollister, A. W. (1943) *J. Gen. Physiol.*, 30, 117
- [27] Behrens, M. (1938) *Aberhalden's Handbuch der Biologische Arbeitsmethoden*, Sect. 5, Part 10, p. 1363
- [28] Dounce, A. L. (1955) *The Nucleic Acids*, Vol. 2, p. 93 (E. Chargaff and J. N. Davidson, Eds.). New York: Academic Press
- [29] Vendrely, R. (1955) *The Nucleic Acids*, Vol. 2, p. 155 (E. Chargaff and J. N. Davidson, Eds.). New York: Academic Press
- [30] Marshak, A. and Calvet, F. (1949) *J. Cell Comp. Physiol.*, 34, 451.
- [31] Smellie, R. M. S. (1955) *The Nucleic Acids*, Vol. 2, p. 393 (E. Chargaff and J. N. Davidson, Eds.). New York: Academic Press
- [32] Levene, P. A. and Jacobs, W. A. (1908) *Ber. Deutsch. Chem. Ges.*, 41, 2703

(1909) *ibid.*, 42, 335

- [33] Levene, P. A. and Jacobs, W. A. (1912) *J. Biol. Chem.*, 12, 411
- [34] Gulland, J. H. (1947) *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 1, 1
- [35] Vischer, E. and Chargaff, E. (1947) *J. Biol. Chem.*, 168, 781
- [36] Wyatt, G. R. (1955) *The Nucleic Acids*, Vol. 1, p. 243 (E. Chargaff and J. N. Davidson, Eds.). New York: Academic Press
- [37] Chargaff, E. (1950) *Experientia*, 6, 201
- [38] Chargaff, E. (1955) *The Nucleic Acids*, Vol. 1, p. 307 (E. Chargaff and J. N. Davidson, Eds.). New York: Academic Press
- [39] Brown, D. M. and Todd, A. R. (1955) *The Nucleic Acids*, Vol. 1, p. 409 (E. Chargaff and J. N. Davidson, Eds.). New York: Academic Press
- [40] Cohn, W. E. (1956) *Currents in Biochemical Research*, p. 460 (D. E. Green, Ed.). New York: Interscience
- [41] Astbury, W. T. (1947) *Symp. Soc. Exp. Biol.*, 1, 66
- [42] Pauling, L. and Corey, R. B. (1953) *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 39, 84.
- [43] Wilkins, M. F. H., Stokes, A. R. and Wilson, H. R. (1953) *Nature*, 171, 738
- [44] Franklin, R. E. and Gosling, R. G. (1953) *Nature*, 171, 740; 172, 156
- [45] Watson, J. D. and Crick, F. H. C. (1953) *Nature*, 171, 737
- [46] Kornberg, A. (1974) *DNA Synthesis*. San Francisco: Freeman
- [47] Jordan, D. O. (1960) *Chemistry of the Nucleic Acids*. London: Butterworths
- [48] Potter, V. R. (1960) *Nucleic Acid Outlines*. Minneapolis: Burgess Publishing Company
- [49] Steiner, R. F. and Beers, R. F. (1961) *Polynucleotides*. Amsterdam: Elsevier
- [50] Allen, F. W. (1962) *Ribonucleoproteins and Ribonucleic Acids*. Amsterdam: Elsevier
- [51] Perutz, M. F. (1962) *Proteins and Nucleic Acids*. Amsterdam: Elsevier
- [52] Chargaff, E. (1963) *Essays on Nucleic Acids*. Amsterdam: Elsevier
- [53] Davidson, J. N. and Cohn, W. E. (Eds.) (1963-72) *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*, Vols. 1-15. New York: Academic Press
- [54] Michelson, A. M. (1963) *The Chemistry of Nucleosides and Nucleotides*. New York: Academic Press.
- [55] Synthesis and Structure of Macromolecules (1963). *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* Vol. 28
- [56] Taylor, J. H. (Ed.) (1963) *Molecular Genetics*, Part I; (1967) Part II. New York: Academic Press
- [57] Vogel, H. J., Bryson, V. and Lampen, J. O. (Eds.) (1963) *Informational Macromolecules*. New York: Academic Press
- [58] Steiner, R. F. (1965) *The Chemical Foundations of Molecular Biology*. Princeton: Van Nostrand
- [59] Jukes, T. H. (1966) *Molecules and Evolution*. New York: Columbia University Press
- [60] Kendrew, J. (1966) *The Thread of Life*. London: Bell
- [61] Watson, J. D. (1968) *The Double Helix*. New York: Atheneum
- [62] Cantoni, G. L. and Davies, D. R. (Eds.) (1956) *Procedures in Nucleic Acid Research*. New York: Harper and Row

- [63] Grossman, L. and Moldave, K. (Eds.) (1967) Part A; (1968) Part B; (1971) Parts C and D, *Nucleic Acids*, being Vols. 12, 20, and 21 of *Methods in Enzymology* (S. P. Colowick and N. O. Kaplan, Eds.). New York: Academic Press
- [64] Parish, J. H. (1972) *Principles and Practice of Experiments with Nucleic Acids*. London: Longmans
- [65] Kornberg, A. (1974) *DNA Synthesis*. San Francisco: Freeman
- [66] Lewin, B. (1974) *Gene Expression*, Vols. I and II. London: Wiley