

生物电化学

生物氧化还原反应

【意】 G. Milazzo 合编 肖科 等译
【美】 Martin Blank 梅慧生 等校

天津科学技术出版社



Q591
MLZ

82880

生物电化学

生物氧化还原反应

【意】 G. Milazzo 合编 肖科 等译
【美】 Martin Blank 梅慧主 等校



C0157311



责任编辑：苏飞

生物电化学
生物氧化还原反应

肖柯等译

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道123号

天津新华印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本850×1168毫米 1/32 印张12.25 插页6 字数313 000

1990年4月第1版

1990年4月第1次印刷

印数：1—1 720

ISBN 7-5308-0458-8/Q·2 定价：9.25元

C0157311



译者的话

电子转移在生命过程中扮演着神奇的角色。无论是能量转换，还是神经传导，无论是光合作用，还是呼吸过程，甚至生命的起源、大脑的思维、基因的遗传、癌病的防治都离不开这个重要的问题。

生物电化学现象在生命过程中普遍存在，它对于理论研究和实际应用的意义不言而喻。但是，对它的产生、传导，及其对生物分子和组织结构的作用，我们至今还愧知甚微。

作为在电子水平上认识生命过程的生物电化学，最近迅速发展起来，它吸引了许多领域的科学家，受到全世界的重视。1981年，举办了首次国际生物电化学讲座，欧洲议会还特别派出代表参加。本书就是在这次讲座的基础上，由国际生物电化学学会主席G. 米拉佐教授等编写的。它是这一新兴交叉学科的第一本专著，也是一本必读教程。

生物电化学有很多子学科，本卷着重阐述生物氧化还原反应的问题，包括生物电和生物能、光合作用、酶促反应、生物膜电位、线粒体呼吸链、动力学研究、先进伏安技术的应用以及电化学方法在生物学和医疗中的应用等。书中介绍了生物燃料电池、传感器电极、人工脏器、电刺激和电麻醉、食品控制、环境保护以及癌等多方面有趣的应用，触及了许多基础理论和应用研究的前沿课题，权威性地介绍了这一领域的基础理论、研究课题和最新成果。

唐宝璋译出第一章，史尔钢译出第四章前部并提出许多修改

意见，其余由我译出。在翻译过程中，得到北京大学梅慧生教授和吴相钰教授的宝贵指正，还得到中国科学院生物物理所邹承鲁先生的教诲。在此一并深致谢忱。

由于译者水平所限，百日之内五缮其稿，难免有错误和纰漏之处，深望读者批评指正。

早在上个世纪，恩格斯就在《自然辩证法》中预言：“电化学——维德曼在描述电对化学分解和合成的影响时宣称：这宁可说是化学上的事；在同一场合下，化学家却宣称这倒不如说是物理上的事。这样，在分子科学和原子科学的接触点上，物理学家和化学家都承认自己没有能力，然而正应当在这点上期待着最大的成果。”

生物电化学正是这种需要多学科相互合作的接触点，愿与有志同人共勉。

肖 科*

1985年 北京

中文版前言

两个世纪以前，一位意大利生理学家L.伽伐尼教授在 Bologna大学进行了一系列实验，他用青蛙的肌肉证明了活机体组织与“电”的相互作用。这个“看似平常”的实验却悄悄播下了一颗新学科的种子，经过了长时期的孕育阶段，她开始变得越来越活跃，直至近十年来发生了爆炸式发展。

今日的生物电化学已经涉及到不同领域的生物学问题，其中一些列举如下：

一、在生物体内进行的绝大部分化学反应都是氧化还原反应。例如为生命需要（营养、组织生长、再生、废物排泻等等）进行的化学新陈代谢，即先把物质和能量贮存起来、然后再使用它们。这些氧化还原反应都可以用电化学理论和技术来研究和解释。

二、通过吸收太阳辐射、从太空捕获能量的基本作用，即光合作用。作为整个过程来说，它包括吸收分子的电子激发过程，随着边界（膜）上产生电位的电子和质子转移过程，以及随后的一系列代谢化学反应。

三、膜现象几乎完全控制着离子和中性分子等物质从活细胞外部向内部或者反方向的运输。离子向一个方向和两个方向的运输造成了跨膜电位差，它反过来调节着一系列的物质运输。

四、生物体所需的信息过程几乎都是通过电信号方式发生的，这种所谓的动作电位沿着神经线从末梢神经向中枢神经系统传输，并且在大脑处理之后又反向回传到要进行动作的组织器

官。这就是电生理学研究的领域，包括视觉、动作、痛觉、热刺激、饥饿和干渴感等等。

五、用一定周期和幅度的适当电脉冲在膜中造成长寿或瞬时的微孔，即电打孔作用，它会使物质更容易跨膜转移。当两个细胞足够接近即相互接触时，电诱导和孔部位可以融合成一个膜，于是使两个细胞生成一个细胞，即实现细胞融合。进而，在电穿孔阶段，象质体DNA这样的DNA双螺旋能穿过多孔膜，并成为细胞基因的一部分，即电打孔基因摄取。

六、生物电化学方法对各种疾病的治疗效果是众所周知的，并已应用于不同的疗法中，其中最重要的是矫型学领域，虽然还谈不上对这些现象的透彻和正确的认识。

我们还可以举出生物电化学研究的许多其他特殊生物学领域，但这就远远超出了一篇前言的篇幅。由于生物电化学包括许多子学科，不可能在一两周的课程内把它们都包罗无遗，因此我们仅把最有普遍性的氧化还原反应部分选编入本卷。但就算限定于氧化还原反应，也只能讨论有数的几个课题，选中这些题目是因为它们可以作为一般导论，成为进一步研究特定问题的基础。今后我们还将就其他子学科开设其他课程，这样来为研究工作打下一个牢固的基础，并进一步激发人们对这个交叉科学（物理化学和生物学）的新学科的兴趣。此外，若要对有机体生物学问题进行更严谨和科学的探索，从这两方面加以研究也是必不可少的。

国际生物电化学学会主席

G. Milazzo

1986年5月 于罗马

前 言

本书是国际生物物理学机构举办的第一个生物电化学讲座的教程。

尽管这一科学分支已有约二百年的历史，但真正作为活跃发展时期的独立学科不过是近十几年的事。这就是E. 马约拉纳中心为什么举办第一个生物电化学讲座的原因。

生物电化学有很多子学科，要在短短一周的讲座中囊括其全部内容，即便是肤浅地提及也绝办不到。因此，我们选最有普遍性的氧化还原反应编为第一卷。可是，甚至局限于氧化还原反应，也只能述及其中的几个问题。这些课题的入选，是考虑到它们可以作为最普遍的指导原则，为今后进一步研究个别问题提供一个基础。

通过本书，我们希望能够提供良好的学习基础，进一步激发人们对此生物学和物理化学分支的兴趣。另一方面，若要更严谨、更合逻辑地解决有机体的生物学问题，这种学科之间的相互探讨也是必不可少的。

目 录

符号和缩写	(1)
第1章 生物电化学和生物能学概论 G.MILAZZO	(8)
第2章 进行氧化还原反应的一般准则 R.BUVET	(19)
2.1 引言	(21)
2.2 生物电化学氧化还原反应的物质平衡和电荷平衡	(21)
2.3 氧化还原反应的能量平衡	(28)
2.4 氧化还原对电子交换的能力学	(30)
2.5 光合作用化学储能的原理	(37)
2.6 进行氧化还原反应的动力学准则	(39)
2.7 水溶液中氧的还原	(48)
2.8 结束语	(52)
第3章 光合作用——选题 H.METZNER	(57)
3.1 历史简介	(59)
3.2 光的性质	(61)
3.3 激发态	(62)
3.4 激发分子的反应	(66)

3·5	能量转换	(70)
3·6	叶绿体结构	(79)
3·7	初级电荷分离	(82)
3·8	电荷分离后的二级反应	(84)
3·9	CO ₂ 的并入和还原	(89)
3·10	光合作用的量子需求量	(93)
3·11	光合氧的来源	(97)
3·12	人工系统	(115)

第4章 生物酶氧化还原反应的能力学

	B.A.MELANDRI	(127)
4·1	生物氧化还原反应的偶联和区域化	(129)
4·2	生物膜中酶促氧化还原体系的热力学特性	(134)
4·3	氧化还原事件与质子移位的偶联	(142)
4·4	电荷分离和质子束缚	(148)

第5章 生物电化学的动力学：在电极上和溶液中的光氧化还原反应

	H.BERG	(157)
5·1	对反应速度极谱测定简介	(159)
5·2	敏化物在电极上的光氧化还原反应	(170)
5·3	溶液中敏化物的光氧化还原反应	(180)
5·4	光氧化还原反应在微生物学和医学上的应用	(188)

第6章 生物电化学中现代伏安方法的应用

	H.W.NÜRNBERG	(201)
6·1	引言	(203)
6·2	一般方法论述	(203)
6·3	对单核苷酸和寡核苷酸的研究	(211)

6.4	对核酸生物物理化学的研究	(222)
6.5	在食品控制、毒物学和解毒学中的应用	(236)
6.6	结束语	(239)
 第7章 从生理学观点看跨膜电位和氧化还原反应		
	M.BLANK	(251)
7.1	引言	(253)
7.2	天然膜	(253)
7.3	双电荷层	(257)
7.4	膜过程: 表面区域的特殊效应	(258)
7.5	多个亚基蛋白质的缔合	(262)
7.6	膜电位	(265)
 第8章 线粒体呼吸链		
	D.R.WILSON	(273)
8.1	引言	(275)
8.2	电位 U_m 和 n 值的测定	(275)
8.3	氧化还原组分的化学计量	(283)
8.4	细胞色素c氧化酶使氧电化学还原为水	(290)
8.5	呼吸链的综合功能	(292)
 第9章 电化学方法在生物学和医学中的应用		
	J.R.RAO	(313)
9.1	引言	(315)
9.2	一般目标	(316)
9.3	能源与发电	(317)
9.4	传感器电极	(335)
9.5	电信号和电刺激的传导	(348)
9.6	人工肾脏中的电化学系统	(354)

9•7 结束语	(360)
编者的话 G.MILAZZO	(364)
出席学者名录	(368)
主题索引	(374)

符号和缩写

为确保一致和便于理解，列出最常用符号和缩写词。其他不常用符号的含意参见相应章节。

(按字母顺序排列)

a	活度
$a, c,$	交流电
A	吸光率；面积
A	安培
Acc	受体（受主）
ADP	腺苷二磷酸
Ala	丙氨酸
AMP	腺苷一磷酸
AMPH	两性电解质
AODC	一个碳原子的平均氧化度
AONC	一个碳原子的平均氧化数
ApA	腺嘌呤二核苷酸
Arg	精氨酸
ATP	三磷酸腺苷
ATPase	三磷酸腺苷酶
$[Bchl]_2$	细菌叶绿素二聚体
BLM	脂双层膜
BSA	牛血清白蛋白

<i>c</i>	浓度 (普通)
<i>C</i>	电容
<i>C</i>	库仑
$^{\circ}\text{C}$	摄氏温标
<i>cal</i>	卡
<i>car</i>	类胡萝卜素
<i>Chl</i>	叶绿素
<i>c.d.</i>	电流密度
<i>CMP</i>	胞嘧啶单核苷酸
<i>CoA</i>	辅酶 A
<i>CpC</i>	胞嘧啶二核苷酸
<i>c.s.v.</i>	循环扫描伏安
<i>CT</i>	小牛胸腺
<i>cyt</i>	细胞色素
<i>d</i>	相对密度
<i>d</i>	微分
<i>D</i>	扩散系数
<i>d.c.</i>	直流电
<i>DHAP</i>	磷酸二羟丙酮
<i>d.m.e.</i>	滴汞电极
<i>DNA</i>	脱氧核糖核酸
<i>DNAase</i>	脱氧核糖核酸酶
<i>DNAD⁺</i>	脱氨基NAD ⁺
<i>DiPGA</i>	1,3二磷酸甘油酸
<i>DOC</i>	脱氧胆酸
<i>Don</i>	供体
<i>DPN</i>	见NAD ⁺
<i>DPNH</i>	见NADH
<i>d.p.p.</i>	微分脉冲极谱

e	电子的电荷
e^-	电子
E	能, 内能
$\tilde{E}$	电化学内能
$\vec{E}$	电场强度
ECE	电化学—化学—电化学反应
<i>E.coli</i>	大肠杆菌
EDTA	乙二胺四乙酸
<i>e.p.r.</i>	电子顺磁共振
<i>eq</i>	当量 (化学)
<i>e.s.r.</i>	电子自旋共振
$\exp(\cdots)$	$e(\cdots)$ (以 e 为底的指数)
eV	电子伏特
F	法拉
F	克式量
F	法拉第常数 (96500库仑)
FAD	黄素腺嘌呤二核苷酸
FCCP	碳酰 (羰基) 氰对三氟甲氧基苯胺
FMN	黄素单核苷酸
(g)	气体
g	克
G	自由焓 (吉布斯自由能); 电导
$\bar{G}$	电化学自由焓 (电化学自由能)
G°	标准自由焓 (标准吉布斯自由能)
GAP	3-磷酸甘油醛
GC	鸟嘌呤—胞嘧啶
h	普朗克常数
h	小时
Hz	赫兹

H	焓
$\tilde{H}$	电化学焓
HPLC	高压相层析
I	电流
I_0	交换电流
I_c	电容电流
I_d, I_{diff}	扩散电流
I_f	法拉第电流
I_k	动力学电流
I_{lim}	极限电流
I_p	峰电流
i.v.	反伏安图
j	电流密度
j_0	交换电流密度
J	焦耳
J	通量
k	波尔兹曼常数, 速度常数
K	开氏温标 (绝对或热力学温标)
K	平衡常数
l	升
l	长度
(l)	液体
Leu	亮氨酸
LipS ₂	氧化型硫辛酸
Lip(SH) ₂	还原型硫辛酸
ln	自然对数 (以 e 为底)
log	常用对数 (以10为底)
l.s.v.	线性扫描伏安
Lys	赖氨酸

m	米
m	质量
M	浓度〔摩尔/分米 ³ (升), 旧称克分子浓度〕
min	分钟
mol	物质的量
8MOP	8-甲氧基—补骨脂素
MOPS	2-(<i>N</i> -吗啉代)-丙烷磺酸
<i>n</i>	摩尔数, 电子数
<i>N</i>	浓度〔化学当量/分米 ³ (升), 旧称当量浓度〕
<i>N_A</i>	阿佛加德罗常数
NAD	烟酰胺腺嘌呤二核苷酸
NAD ⁺	氧化型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸
NADH	还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸
NADP ⁺	辅酶 I
NADPH	还原型辅酶 I
n.h.e.	标准氢电极
NHI	非血红素铁
n.m.r.	核磁共振
n.p.p.	普通脉冲极谱
·ODC	一个碳原子的氧化度
·OX	氧化剂
<i>p</i>	压力, 几率
<i>P</i>	通透性
P ₈₇₀	相当于[Bchl] ₂ 的反应中心
PES	吩嗪硫酸乙脂
PGA	3-磷酸甘油酸
Pi	无机磷酸根
PMS	吩嗪硫酸甲脂
PUVA	用紫外线照射进行的补骨脂素疗法