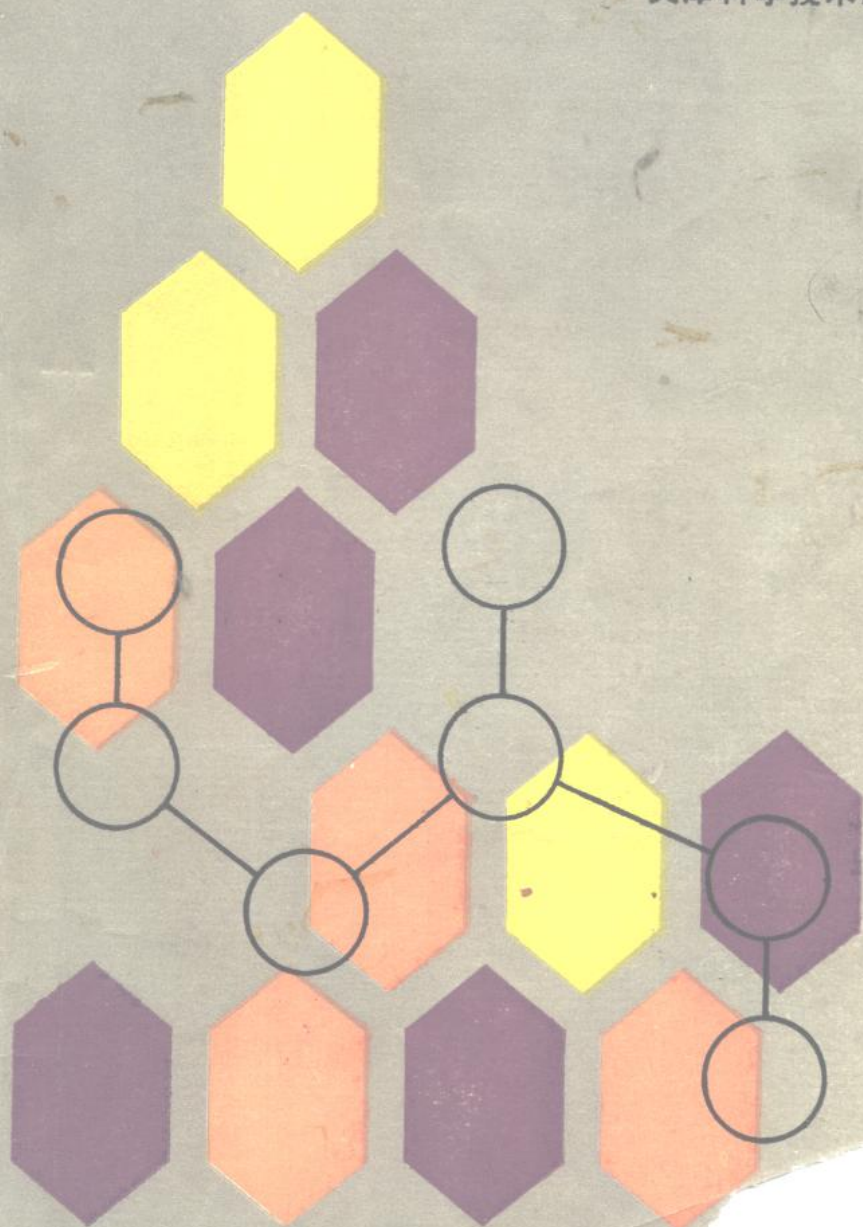


生物无机化学概要

郭德威 编著 申泮文 审校

天津科学技术出版社



58.173
430

生物无机化学概要

郭德威 编著 中泮文 审校

24548/04

天津科学技术出版社

责任编辑：吴孝钧

生物无机化学概要

郭德威 编著 申泮文 审校

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本860×1168毫米 1/32 印张10.625 字数267 000

1990年1月第1版

1990年1月第1次印刷

印数：1—2 310

ISBN 7-5308-0387-5/O·23 定价：6.20元

内 容 提 要

本书对生物无机化学的概貌作了较系统的、简要的介绍。全书共十二章。它由生物配体、酶的有关基本概念和酶促反应动力学基本原理、人体中必需微量元素种类及其生物功能、金属蛋白、金属酶、人工载氧体、金属离子对核酸的性质及对核酸遗传信息传递的影响等内容组成。它可作为高等院校高年级学生的教材或研究生的参考书，也可供生物、医学、营养化学、临床化学、环境保护以及其他科学工作者参考。

序

过去认为生物化学仅与有机化学有关，生命过程是由许多精细复杂的有机物分子促成的。近几十年来，由于无机化学家、特别是配位化学家的努力，无机化学与生物科学发生了深刻的渗透，使人们认识到，生物化学并不单纯仅与有机化学有关，而是还与许多金属元素有着密切的联系。如果没有一些无机元素的参与（这些元素常常被认为与有机化学关系不大），生命——至少是目前存在的生命形式——将不会存在。由于无机化学家的贡献，人们今天已普遍承认，对于生命过程来说，无机化学至少与有机化学具有同等的重要性。近20年来，生物无机化学这个新兴二级学科的建立和发展，自然是近代科学技术迅猛发展的必然结果。

现已发现，对生命有重要意义的无机元素约有26种，其中13种为金属元素，四种为半金属元素(B.Si.P.Se)，其余为非金属元素。金属与半金属元素的有机化学还处在刚刚开始发展的阶段，但它们在生命过程中的重要作用已经达到不可忽视的地位了。在13种金属元素中，至少有7种对于各种生命形式都是不可缺少的。在生物圈中最丰饶的元素首推铁，其次是锌，再下面是镁、钙、铜和钾。

生物无机化学的主要任务是研究上述无机元素在生命过程中的作用，例如它们在金属酶和金属蛋白中的存在形式、传输、贮存和代谢等反应机理，借以深入认识和解决医疗、保健、环境保护等工作中的问题，期望给人类带来更美好的生活。

自70年代以来，我国优越的医疗保健制度，与在我国开始萌芽的生物无机化学相结合，对我国某些地区的常发地方病进行了

大规模的普查与实验研究，取得了具有国际水平的成果。例如对河南省与山西省交界地区太行山两麓人民的多发病食道癌进行的普查和研究，发现致病原因是土壤和农作物中缺钼。对东北和内蒙古自治区人民的多发病克山病的普查和研究，发现致病原因是食物源中缺少痕量硒（此项工作已获得国际奖金）。这些工作都为有效的医疗和防治方案提供了依据，并为生物无机化学在我国的实际应用开辟了前进的道路。科学技术为祖国的四化建设服务毕竟是十分具体的和生动的。

我国目前在高等学校中生物无机化学的教学与科学研究已有一定的发展，但尚未见出版有关生物无机化学的教科书及专著。南开大学化学系无机化学教研室郭德威同志编写的这一部《生物无机化学概要》正好适应了这种需要。本书对生物无机化学的概貌，作了简要的介绍，可作为本学科的简明教科书和有关工作者的参考书。本书文字流畅，便于自学，是生物无机化学这门新兴学科的一部很好的入门教材，我愿向读者们推荐。

申泮文代序

1987年11月

前 言

生物无机化学是一门新兴的边缘科学。它是当前研究生命的科学之一。近代科学发展的进程表明,边缘科学的崛起对推动科学的发展起着十分重要的作用。目前,在我国高等学校中,生物无机化学的教学和科学研究已有一定的规模。鉴于它的重要性和为了适应高等学校教学和有关工作者的需要,试编了本书。

本书共分十二章。第一章概述了生物无机化学的研究对象及其主要的研究内容。第二章重点介绍了人体中必需的痕量金属元素及其生物功能,以及它们在体内的平衡。第四章和第五章讨论了常见的血红素蛋白(如血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素等)和重要的金属蛋白(如各种非血红素铁蛋白、铜蛋白、锰蛋白等)的结构及其生物功能,以及影响其生物功能的各种因素。第六章着重介绍载氧体模拟化合物的合成及其载氧性质。第七章概述了金属离子对核酸的性质及对核酸遗传信息传递的影响。第十章、十一章和十二章着重讨论各种金属酶(如锌酶、铜酶、铁酶、锰酶、钼酶等)的结构、催化功能、作用机理,以及它们的活性被激活与被抑制等。关于一些重要的生物配体的结构、性质及其与金属离子的作用,酶、辅酶、辅基的基本概念,酶的结构与催化功能的关系,影响酶催化活性的各种因素,酶促反应的动力学基本原理等,则分别在第三、第八和第九章中予以介绍和讨论。

本书未编入配位化学的理论及与其有关的研究方法。读者如属需要,定会方便地找到各有关的教材和专著。

在编写本书的过程中,有幸得到中国科学院学部委员申泮文教授的关怀和指导,并承审阅了全部书稿和为本书作序。在此,作者表示衷心的感谢。

本书的编写还得到不少同事的热情鼓励和大方支持，借此机会，谨向他们致以衷心的感谢。

编者期望本书能对读者有所裨益。但本人学识有限，难免有漏误之处，祈请专家及读者多方予以批评指正。

郭德威

1987年11月于天津

目 录

略语表.....	(1)
第一章 绪论.....	(4)
1·1 什么是生物无机化学	(4)
1·2 生物无机化学的研究内容	(5)
1·3 生物无机化合物的类型	(6)
1·4 生物无机化学的一般研究方法	(8)
第二章 人体中的痕量元素.....	(11)
2·1 人体中的元素	(11)
2·2 必需的痕量金属元素	(13)
2·3 工业金属污染的危害	(22)
2·4 体内金属元素的补充和促排	(32)
第三章 生物配体.....	(39)
3·1 生物配体的概念	(39)
3·2 氨基酸	(40)
3·3 肽和蛋白质	(49)
3·4 核酸	(70)
3·5 卟啉	(85)
3·6 离子载体	(89)
第四章 血红素蛋白.....	(96)
4·1 一般介绍	(96)

4.2	血红蛋白	(98)
4.3	肌红蛋白	(109)
4.4	细胞色素	(112)
4.5	过氧化物酶和过氧化氢酶	(129)
第五章 金属蛋白		(131)
5.1	概述	(131)
5.2	非血红素铁蛋白	(131)
5.3	铜蛋白	(154)
5.4	锰蛋白和钒蛋白	(156)
第六章 人工载氧体		(159)
6.1	合成及研究载氧体模拟化合物的意义	(159)
6.2	人工载氧体研究概况	(161)
6.3	载氧体模拟化合物	(162)
6.4	人造载氧血液	(178)
第七章 金属离子与核酸的功能		(183)
7.1	金属离子与核酸遗传信息的传递	(183)
7.2	金属离子对核酸性质的影响	(195)
第八章 酶		(199)
8.1	酶的一般概念	(199)
8.2	酶的化学本质及其组成	(205)
8.3	辅酶的结构和功能	(207)
8.4	酶的结构与催化功能的关系	(219)
8.5	酶催化作用的解释	(224)
8.6	酶的提纯和酶的活力单位	(226)
8.7	酶的命名与酶的分类	(231)

第九章 酶促反应动力学基本原理.....(239)

- 9.1 概述(239)
- 9.2 米氏方程(242)
- 9.3 酶浓度对酶促反应速度的影响(251)
- 9.4 温度对酶促反应速度的影响(251)
- 9.5 pH对酶促反应速度的影响(253)
- 9.6 激活剂对酶促反应速度的影响(257)
- 9.7 抑制剂对酶促反应速度的影响(260)

第十章 锌酶.....(276)

- 10.1 概述.....(276)
- 10.2 羧肽酶A(277)
- 10.3 碱性磷酸酯酶.....(282)
- 10.4 碳酸酐酶.....(285)
- 10.5 几种含锌脱氢酶.....(289)
- 10.6 DNA聚合酶和RNA聚合酶(293)

第十一章 铜酶、铁酶和锰酶

- 11.1 铜酶.....(294)
- 11.2 非血红素铁加氧酶(302)
- 11.3 锰酶.....(309)

第十二章 钼酶.....(313)

- 12.1 概述.....(313)
- 12.2 固氮酶.....(316)
- 12.3 其他钼酶(326)

主要参考书目.....(328)

略 语 表

A	腺嘌呤核苷；腺苷
Ade	腺嘌呤
ADP	腺苷二磷酸
Ala	丙氨酸
AMP	腺苷一磷酸；腺嘌呤核苷酸
Arg	精氨酸
Asn	天门冬酰胺
Asp	天门冬氨酸
ATP	腺苷三磷酸
C	胞嘧啶核苷；胞苷
CDP	胞苷二磷酸
CMP	胞苷一磷酸；胞嘧啶核苷酸
CoA	辅酶A
CoQ	辅酶Q
CTP	胞苷三磷酸
Cys	半胱氨酸
Cyt	胞嘧啶
Cyt a	细胞色素a；余类推
dA	脱氧腺苷；腺嘌呤脱氧核苷
dAMP	腺嘌呤脱氧核苷酸；脱氧腺苷酸
dATP	脱氧腺苷三磷酸
dC	脱氧胞苷；胞嘧啶脱氧核苷
dCMP	胞嘧啶脱氧核苷酸；脱氧胞苷酸
dCTP	脱氧胞苷三磷酸

dG	脱氧鸟苷，鸟嘌呤脱氧核苷
dGMP	鸟嘌呤脱氧核苷酸，脱氧鸟苷酸
dGTP	脱氧鸟苷三磷酸
DNA	脱氧核糖核酸
dT	脱氧胸苷，胸腺嘧啶脱氧核苷
dTTP	脱氧胸苷三磷酸
FAD	黄素腺嘌呤二核苷酸
FMN	黄素单核苷酸
G	鸟嘌呤核苷，鸟苷
GDP	鸟苷二磷酸
Gln	谷氨酰胺
Glu	谷氨酸
Gly	甘氨酸
GMP	鸟苷一磷酸，鸟嘌呤核苷酸
GTP	鸟苷三磷酸
Gua	鸟嘌呤
Hb	血红蛋白
His	组氨酸
Hyp	羟脯氨酸
Ile	异亮氨酸
Leu	亮氨酸
Lys	赖氨酸
Mb	肌红蛋白
Met	蛋氨酸；甲硫氨酸
mRNA	信使RNA
NAD ⁺	烟酰胺腺嘌呤二核苷酸，辅酶 I
NADP ⁺	烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸，辅酶 II
P _i	无机磷酸
PP _i	无机焦磷酸

Ph	苯基
Pro	脯氨酸
Py	吡啶
RNA	核糖核酸
rRNA	核糖体RNA
Ser	丝氨酸
T	胸腺嘧啶核苷；胸苷
TDP	胸苷二磷酸
Thr	苏氨酸
Thy	胸腺嘧啶
tRNA	转移RNA
Trp	色氨酸
Tyr	酪氨酸
U	尿嘧啶核苷；尿苷
UDP	尿苷二磷酸
UMP	尿苷一磷酸；尿嘧啶核苷酸
Ura	尿嘧啶
UTP	尿苷三磷酸
Val	缬氨酸

第一章 绪 论

1.1 什么是生物无机化学

生物无机化学是一门新兴的边缘科学。它的萌芽约始于30年前，但成为独立的学科体系却只有十多年的历史。

随着无机化学和生物化学的发展、近代物理仪器的涌现和实验技术的不断提高，人们已能在分子的水平上研究生物体的化学本质和生物体在生命活动过程中的化学变化规律。在研究中发现，某些痕量金属元素和非金属元素在各种不同的生物过程中起着极其重要的作用。为此，无机化学和生物化学工作者以及其他（如临床化学、医学、营养化学）工作者，各自开展了大量的研究。自50年代起，通过一些会议，促进了有关工作者的接触和研究成果的交流。有关金属离子和生物分子（如蛋白质、酶、核酸和核酸的降解产物等）的相互作用及其与生物功能相互关系研究的成果，不断填补着无机化学和生物化学之间的空白，并进一步冲破了“无机这个字眼意味着和有机无关”的传统观念。

1970年召开的第一届国际生物无机化学会议和1971年《生物无机化学》杂志（“Bioinorganic Chemistry”，后在1979年更名为“Journal of Inorganic Biochemistry”）的创刊，标志着生物无机化学作为一门新兴的科学正式问世，并为它的向前发展开辟了道路。此后，又由美国著名化学家施劳泽尔（G.M. Schrauzer）发起，成立了生物无机化学国际协会。在此期间，不少学术性刊物也相继为生物无机化学开辟了专门栏目，以供大量有关论文的发表。在英、美、苏、联邦德国、日本等世界各国，以生物无机化学或无机生物化学命名的专著、论文集等如雨后天

笋纷纷出版，给人们展示了该学科一片蓬勃发展的前景。

生物无机化学是在无机化学和生物化学的发展和推动下产生的，它是介于无机化学和生物化学之间的一门边缘科学。

生物无机化学虽然已成为近年来十分活跃的学科领域之一，但它还处于生长前期。因而，要给它下一个严格的定义，无疑是困难的。但是，初步地说，所谓生物无机化学，就是用无机化学特别是配位化学的理论和方法，去研究和阐明参与生物体（尤其是人体）中化学反应的痕量元素（特别是痕量金属元素）所起的作用以及它们同生物功能之间的相互关系的一门科学。

生物无机化学的问世，是生物科学即将成为下一世纪自然与应用科学中带头学科的前奏，也是生物科学与环境科学迅速发展的必然结果。它一经诞生，就受到国际科学界的广泛欢迎和重视。

1.2 生物无机化学的研究内容

鉴于生物无机化学正处于向前发展的阶段，并迅速向各有关方面渗透，对它的研究内容目前只能作一大致的概括。主要的有：

（1）研究人体以及其他生物体究竟需要哪些痕量金属元素和痕量非金属元素，它们在各种器官组织中的分布状况、存在状态、作用机理和功能以及最合适的摄取量等。为维持生物体（尤其是人体）的正常生命活动和健康状态，还研究怎样去补充这些元素和如何防止这些元素的过量。

（2）研究地球化学环境，特别是工业金属元素的污染对人类健康的影响。阐明污染元素使人体中毒和致病的机理。指出减少污染、防止疾病和增进健康的途径。

（3）探讨一些常见疾病（如动脉粥样硬化、高血压、癌症等）的发病与某些金属元素或非金属元素之间的关系，并研究怎

样调节和控制这些元素来防止病变的发生。

(4) 合成新的药物和研究药理。从目前国内外的动态来看,在这方面比较活跃的课题有:合成抗癌药物和研究其抗癌机理;合成载氧人造血液及研究其载氧机理;合成某些用来排除人体过量的和有害的金属元素的配体(金属解毒剂),并探讨其作用机理;合成旨在能结合细菌体内金属离子、破坏其体内酶系的抗菌剂等。

(5) 研究金属离子与生物配体(如氨基酸、小肽、多肽、蛋白质、核酸、叶啉等)所组成的配位化合物或人工合成其中某些模拟化合物,揭示其结构、性质与生物功能之间的关系,以期为人类尽可能多地积累有关生命本质的信息,并最终汇同其他学科共同阐明生命的本质问题。

1.3 生物无机化合物的类型

构成生物体的物质大致可分为结构物质和功能物质两类。用来构成生物机体的形态和结构的物质叫做结构物质,如构成动物骨骼的磷酸钙。具有一定生物功能的物质叫做功能物质,如激素、酶、血红素蛋白等。生物无机化学所研究的化合物,几乎全是生物体的功能物质,其中一般都是金属离子和生物配体构成的配合物,它们有如下几种主要的类型:

氨基酸配合物 已从人的血清中分离出氨基酸的配合物,如L-谷氨酰胺—铜(Ⅰ)、L-组氨酸—锌(Ⅰ)、L-组氨酸—铜(Ⅰ)—L-苏氨酸等。它们参与体内金属离子的输送,同时也和小分子配合物与大分子配合物之间金属离子的交换有关,在生理条件下,存在如下的平衡:

