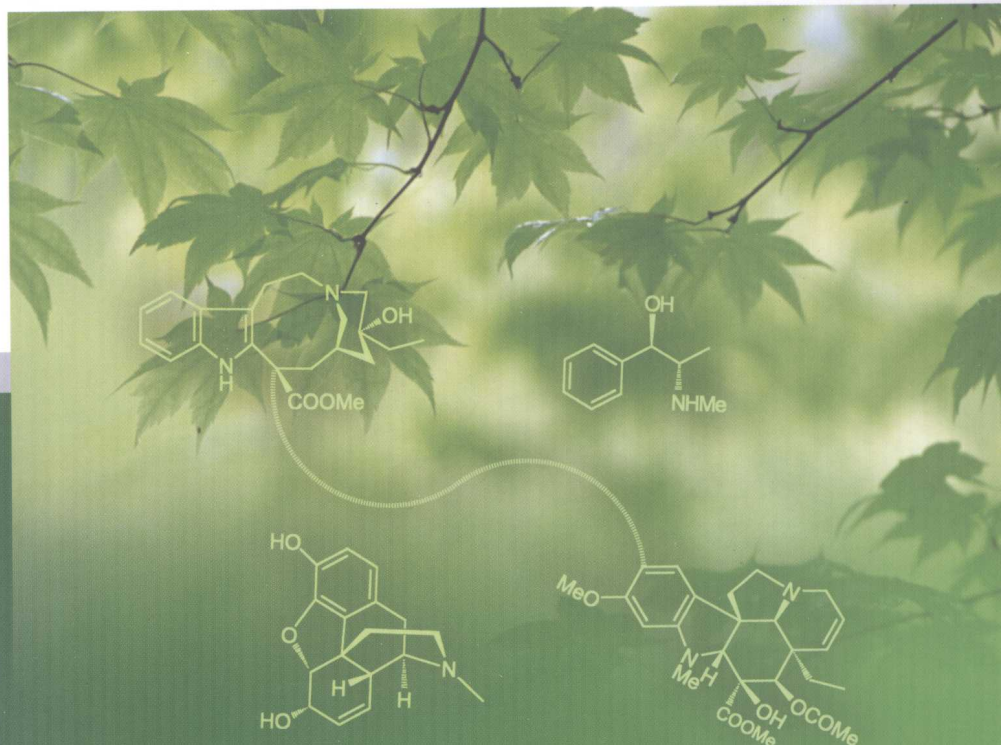


天然产物化学 丛书

生物碱化学

王锋鹏 主编



化学工业出版社

天然产物化学丛书

生物碱化学

王锋鹏 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是几十位从事生物碱科学与研究的一线工作者在多年工作经验基础上,结合大量的文献综述,高度提炼、归纳总结出的经验和规律。本书以生物碱的生源关系结合化学分类为主,把生物碱分为25类,如:吡咯类、托品烷类、吡咯里西丁类、哌啶类、石松碱类、吲哚里西丁类、奎诺里西丁类、吡啶酮类、苯丙胺类、四氢异喹啉类、吐根碱类、喹啉类、肽类、萜类生物碱等,并且从简单到复杂,分别论述。

对于每类生物碱,分别介绍了它们的结构分类与生源关系,谱学特征与结构测定,理化性质与化学反应,构效关系与结构修饰,化学合成,生物活性及应用等方面。

本书主要读者对象为从事天然产物化学、药物化学、有机化学等相关专业的研究生、教师与科研人员。

图书在版编目(CIP)数据

生物碱化学/王锋鹏主编. —北京:化学工业出版社, 2008.1
(天然产物化学丛书)
ISBN 978-7-122-01501-3

I. 生… II. 王… III. 生物碱 IV. 0629.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第177953号

责任编辑:梁虹 李晓红
责任校对:蒋宇

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:北京市白帆印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张35 字数882千字 2008年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:88.00元

版权所有 违者必究

序

过去半个多世纪,天然产物化学快速发展,取得了举世瞩目的成就,主要体现在以下方面:首先,天然产物化学结构多样性充分展现。发现并拓展了许多具有重要理论意义和应用价值的分子结构骨架体系并衍化成众多复杂天然产物结构,极大丰富了天然产物化学的内容,促进有机化学发展。多发色团吲哚生物碱和异喹啉生物碱,复杂环系萜类化合物,特异取代基的黄酮、香豆素和木脂素衍生物以及植物环肽、聚酮类等天然产物,结构奇异,变化万千,显示了大自然造就结构艺术的无穷魅力。

再者,复杂结构全合成艺术日臻完善并达到了新的高峰。数以百计的复杂结构天然化合物成功地被手性全合成,且反应收率及光学选择性不乏达到实际应用水平。逆合成原理应运而生,开创了合成设计新纪元。多项研究成果获得世界化学最高奖——诺贝尔奖。有机合成伟大艺术独特魅力得到空前完美展现。

第三,生物活性多样性紧伴化学结构多样性。过去半个多世纪,国际上研发成功的不少原创性重量级新药,多源于天然产物或其衍生物。在1982—2002年全球上市的小分子药物中,6%直接来自天然产物,其余55%亦与天然产物紧密关联。在天然产物化学发展中,色谱、波谱等物理学方法的应用起到关键作用。以HPLC为代表的色谱学方法极大提高了分离纯化的效率,使一些往常难以分离的成分达到了高效纯化目的。波谱学方法包括MS, NMR, CD, X-ray等,开创了新的结构测定思维和手段,一个复杂天然产物结构仅需毫克级样品、耗时数日,便可完成结构研究包括立体构型测定。

我国是天然药物资源丰富的国家,药用植物有万余种,且有数千年民间用药经验,为从中发现生物活性物质、研发创新药物提供了广阔研究空间。在过去半个多世纪,我国天然药物化学研究取得了快速发展,成绩显著,研制成功了青蒿素等一系列天然创新药物。我国已形成了一支学科齐全、人员结构组成较合理、仪器设备基本达国际水平、从事天然药物化学研究的科研创新群体,正在为国家创新药物的研发而努力奋斗。

天然产物化学出版物,国内外已有不少版本,有大型系列参考书,亦有专论编著,篇幅有大有小,内容各有侧重与特点。但关于天然产物化学的系列图书,国内尚无版本面世。我国天然产物化学研究虽取得了显著成绩,但与国际先进水平相比,总体看还存在较大差距。为增强我国天然产物化学研究创新能力,提高研究水平,适应我国中草药大国的国际地位,化学工业出版社高瞻远瞩,决定推出这套《天然产物化学丛书》(以下简称《丛书》),以使广大从事天然产物化学研究的科学工作者系统了解掌握这一学科的系统知识和该领域的现状和未来发展,提高我国天然产物化学研究水平和创新能力,适应时代的需求。

《丛书》共有《天然产物研究方法和技术》、《生物碱化学》、《单萜和倍半萜化学》、

《二萜化学》、《三萜化学》、《甾体化学》、《香豆素化学》、《黄酮化学》、《木脂素化学》、《醌类化学》、《酚酸化学》、《天然糖化学》、《蛋白质类化学》13个分册，涵盖了天然产物化学的主要内容，各分册由主编组织国内本领域专家编写，他们大多为正从事教学和科研的中青年学术骨干。《丛书》涉及面广，内容丰富，工作量浩瀚。《丛书》的出版工程浩大，得到各方鼓励与帮助，尤其是化学工业出版社领导和编辑的大力支持方可完成。参与《丛书》编写的各位主编和数以百计的专家、学者，在繁重的教学科研中，耗费大量时间与精力不辞辛苦地完成编著，在此对他们表示衷心感谢。化学工业出版社的编辑同志认真审阅和修改，精心排版，做了大量工作，在此对他们的辛勤努力表示诚挚的谢意。

由于科研教学任务繁重，时间紧迫，书中难免有不当和错误之处，还望读者不吝批评指正。

于德泉，孙汉董

2007年12月

前 言

在于德泉和孙汉董两位院士的主持与指导下,两年前大型专著《天然产物化学丛书》编著工作正式启动。这是我国天然产物化学领域中的大事情。作为该丛书中的《生物碱化学》分册,在数十位编者的努力下,终于完成并出版了。

生物碱是一大类十分重要的天然化合物。自从 1806 年德国药剂师泽图纳 (Sertürner F W) 从鸦片中分离出吗啡碱以来,生物碱的研究历经近 200 年的艰难曲折。其中约 1 个半世纪 (20 世纪 40 年代以前) 的研究内容几乎都是分离纯化与化学法阐明结构。此外,生物碱的毒性与药物用途很早就被人们所熟知,并最先引起对其化学方面的兴趣。而包括生物合成,及其调节代谢的遗传学与酶学、生物碱的积累和对生物体本身的意义等生物化学方面的研究与确立,则是 20 世纪 70 年代以后的事情。无疑,20 世纪 60 年代是天然产物化学研究史上的分水岭。随着一大批分析仪器的问世,特别是近 20 年来,现代分离方法与波谱技术的迅速发展,有力地推动了包括生物碱在内的天然产物化学多方面的发展。2001 年 Cordell G. A. 报道,从天然界 (植物、动物、霉菌、细菌、海洋生物和微生物) 分离出的已知生物碱化合物约 26900 个。其中从植物中分离得到约 1872 个骨架 21120 个生物碱。由此看出,生物碱广泛地分布于植物界。而许多重要的植物,如罂粟、麻黄、金鸡纳、番木鳖、汉防己、莨菪、延胡索、洋金花、秋水仙、长春花、三尖杉、乌头 (附子) 等都主要含有生物碱成分。生物碱具有多种多样的生物活性与药用价值,由其开发的药物约占全部植物药的 46%。这也是其他天然产物不可比拟的。

生物碱又是天然有机化学的重要研究领域之一。在数十年生物碱的化学研究中,创立与发现了不少新的方法、技术与反应,从而有力地促进了天然有机化学的发展。另外,有关生物碱的文献数目繁多,且与日俱增。其中专著方面,首先是 Manske 生物碱系列 (The Alkaloids: Chemistry and Physiology, vols. 1—20; Chemistry and Pharmacology, vols. 21—49; Chemistry and Biology, vols. 50—63; 1950—2006), 接着 1971—1983 年由英国化学会主编的专家年报中《生物碱》系列 (Alkaloids, vols. 1—13), 再延续到天然产物报告 (Nat Prod Rep, 1984—) 以及由 Pelletier 主编的生物碱系列 (The Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives, vols. 1—15, 1983—2001) 最为重要。此外,单卷本的生物碱专著尚有: Химия Алкалоидов (生物碱化学, 俄文版, Орехов А П, 第一版, 1938; 第二版/修改版, Р. А. 柯诺瓦洛娃, А. А. 柯诺瓦洛娃, 1952)、The Plant Alkaloids (Henry T A, 1949)、Alkaloids (Stane K J, 1957)、The Alkaloids (Beasley K W, 1965)、Medicinal Plant Alkaloids (Sim S K, 1965)、An Introduction to the Alkaloids (Swan G A, 1967)、The Biochemistry of Alkaloids (Robison R, 1968)、Alkaloid-Bearing Plants and their Contained Alkaloids (Willaman J J & Li H L, 1970)、

Chemistry of the Alkaloids (Pelletier S W, 1970)、Alkaloidchemie (德文版, 1978)/Alkaloid Chemistry (英文版, 1981) (Hesse M.)、Introduction to Alkaloids (Cordell G A, 1981)、Biochemistry of Alkaloids (Mothes K., 1985)、Chemistry and Toxicology of Diverse Classes of Alkaloids (Blum M S, 1996)、Alkaloids: Biochemistry, Ecology, and Medicinal Applications (Roberts M F, 1998) 等。显然,除了袁开基等翻译的奥列赫夫《生物碱化学》(原著第二版, 1952; 科学出版社, 1960) 外,生物碱化学方面中文版的专著至今尚未看到。

本书由绪论和各论共 26 章组成。结构上,强调各类生物碱之间的本质联系。天然产物化学的核心是结构,本质上它反映与其理化性质、光谱学和生物学等的相关性。鉴于此,本书尽力遵循的指导原则是:①分类上,以生源结合化学分类为主。尽量不用来源分类,如鸦片生物碱、石蒜科生物碱等。②排列上,在充分考虑生源关系的前提下,从简单到复杂,循序渐进,便于理解、学习与掌握。③写法上,不求面面俱到,但求共性与系统性。坚持既要看到“森林”,又要有“参天大树”。材料取舍上,力求繁简适当。④语言上,尽力做到简明扼要,且保持相当的自由度。

尽管参加该分册撰写的所有编者都是经过精心挑选后而确定,而且,所有章节都经本人仔细复核修改,但是,由于本书内容涉及面较广、较深,以及编者学识有限,所以,一定存在不少缺点,诚恳地希望读者批评指正。

在本书组稿时,兰州大学程东亮教授欣然应允,并认真撰写。他在 2007 年春节前还告诉我正作最后润色修改,不幸的是,数月后竟因病溘然辞世,终未能看到本书的出版,成为一大憾事。

本书能够出版,始终得到化学工业出版社及责任编辑的大力支持。此外,于德泉和孙汉董两位院士在百忙中又为本书的编写及时指导,并撰写序,在此也一并深表感谢。

王锋鹏

2007 年 10 月于成都华西坝

目 录

第1章 绪论	王锋鹏
1.1 概述	1
1.1.1 生物碱的发展简史	1
1.1.2 生物碱的定义	2
1.1.3 生物碱的存在形式	3
1.1.4 生物碱的分布	4
1.2 生物碱生物合成的基本原理	4
1.2.1 环合反应	5
1.2.2 氨基化	9
1.3 生物碱的提取与分离	11
1.3.1 总生物碱的提取	11
1.3.2 单体生物碱的分离	13
1.4 生物碱的结构分类	15
参考文献	17
第2章 吡咯类生物碱	叶 阳
2.1 概述	19
2.2 结构分类与分布	20
2.2.1 结构分类	20
2.2.2 分布	21
2.3 结构测定与谱学特征	21
2.3.1 滇百部碱与异滇百部碱	21
2.3.2 细花百部碱	21
2.3.3 狭叶百部碱	22
2.3.4 原百部碱	22
2.3.5 百部叶碱	23
2.3.6 百部新碱	23
2.3.7 对叶百部碱	24
2.3.8 越南百部碱	24
2.4 化学合成	25
2.5 生物活性及其应用	27
2.5.1 抗菌作用	27
2.5.2 杀虫作用	28
2.5.3 镇咳作用	28
参考文献	28
第3章 托品烷类生物碱	娄红详, 沈 涛
3.1 概述	30

3.2 结构分类、生源关系与分布	30
3.2.1 结构分类与分布	30
3.2.2 生源关系	35
3.3 主要托品烷类生物碱及其理化性质	38
3.3.1 莨菪碱和阿托品	38
3.3.2 山莨菪碱、樟柳碱和东莨菪碱	39
3.4 结构修饰与构效关系	40
3.5 化学合成	45
3.6 生物活性及其应用与药用价值	50
3.6.1 M胆碱受体拮抗作用	50
3.6.2 多药耐药逆转活性	50
3.6.3 糖苷酶抑制活性	51
3.6.4 神经毒性	51
3.6.5 肝脏保护作用	51
3.6.6 其他生物活性	51
参考文献	51

第4章 吡咯里西丁类生物碱 程东亮，高 坤

4.1 概述	53
4.2 结构分类、生源关系与分布	53
4.2.1 结构分类	53
4.2.2 生源关系	56
4.2.3 分布	56
4.3 谱学特征与结构测定	58
4.3.1 紫外光谱	58
4.3.2 红外光谱	58
4.3.3 ^1H NMR 谱	58
4.3.4 ^{13}C NMR 谱	59
4.3.5 质谱	59
4.3.6 结构解析实例	61
4.4 理化性质与化学反应	63
4.4.1 理化性质	63
4.4.2 化学反应	63
4.5 构效关系与结构修饰	64
4.5.1 抗肿瘤活性	64
4.5.2 致肝中毒活性及其羟化机制	64
4.5.3 代谢吡咯形成机理	64
4.5.4 结构修饰	66
4.6 化学合成	67
4.6.1 由开链化合物苹果酸合成天芥菜次碱	67
4.6.2 由吡咯衍生物合成野百合次碱	67
4.6.3 PAs 的全合成	68

4.7 生物活性及其应用	68
参考文献	70

第5章 哌啶类生物碱 邱 峰

5.1 概述	71
5.2 结构分类与分布	71
5.2.1 <i>N</i> -酰基取代哌啶类	71
5.2.2 短链(烷、烯、醇、酮、酸)取代哌啶类	72
5.2.3 长脂肪链取代哌啶类	73
5.2.4 色原酮哌啶类	74
5.2.5 螺环哌啶类	74
5.2.6 桥环哌啶类	74
5.2.7 聚合哌啶类	75
5.3 生源关系	76
5.4 结构修饰与构效关系	78
5.4.1 M受体拮抗作用	79
5.4.2 乙酰胆碱酯酶抑制作用	79
5.4.3 生长抑制作用	81
5.4.4 致畸作用	82
5.5 化学合成	82
5.5.1 短链取代哌啶类生物碱	82
5.5.2 长脂肪链取代哌啶类生物碱	86
5.5.3 螺环哌啶类生物碱	87
5.6 生物活性及其应用	89
5.6.1 抗惊厥和镇静作用	89
5.6.2 抗肿瘤活性	89
5.6.3 抗菌活性	89
5.6.4 食用毒性	90
5.6.5 其他生物活性	90
参考文献	90

第6章 石松碱类生物碱 朱大元, 谭昌恒

6.1 概述	92
6.2 分类与生源关系	93
6.2.1 石松碱类	93
6.2.2 石松定碱类	94
6.2.3 伐斯替明碱类	95
6.2.4 其他类生物碱	97
6.2.5 生源关系	99
6.3 谱学特征	101
6.3.1 质谱	101
6.3.2 NMR谱	102

6.4 结构修饰与构效关系	104
6.5 化学合成	105
6.5.1 石松碱的全合成	106
6.5.2 石松定碱的全合成	106
6.5.3 luciduline 的全合成	108
6.5.4 马尾杉碱的全合成	108
6.5.5 蛇足石松宁碱的全合成	108
6.5.6 锡金石松碱的全合成	110
6.5.7 石杉碱甲的合成	110
6.6 生物活性与药用价值	113
6.6.1 石杉碱甲的发现	113
6.6.2 石杉碱甲的植物资源分布	113
6.6.3 石杉碱甲的药理活性	114
参考文献	115

第7章 吲哚里西丁类生物碱 张国林, 罗应刚

7.1 概述	118
7.2 结构分类、生源关系与分布	118
7.2.1 羟化吲哚里西丁类	119
7.2.2 烷化吲哚里西丁类	119
7.2.3 芳基取代的吲哚里西丁类	120
7.2.4 多官能团取代的吲哚里西丁类	120
7.2.5 8b-氮杂萘嵌戊烷吲哚里西丁类	121
7.2.6 萘并吲哚里西丁类	121
7.2.7 菲并吲哚里西丁类	121
7.2.8 含螺环的吲哚里西丁类	122
7.2.9 一叶萩碱类	122
7.3 结构测定与谱学特征	123
7.4 结构修饰与构效关系	124
7.5 化学合成	125
7.5.1 (-)-swainsonine 的全合成	125
7.5.2 一叶萩碱的全合成	127
7.6 生物活性及其应用	130
参考文献	131

第8章 喹诺里西丁类生物碱 叶文才

8.1 概述	134
8.2 结构分类、分布与生源关系	134
8.2.1 结构分类与分布	134
8.2.2 生源关系	138
8.3 结构测定与谱学特征	139
8.3.1 紫外光谱	139

8.3.2 红外光谱	139
8.3.3 质谱	140
8.3.4 NMR 谱	140
8.4 化学合成	142
8.4.1 (+)-myrtine 的合成	142
8.4.2 (-)-lasubine I 和 (+)-subcosine I 的合成	142
8.5 生物活性及其应用	143
参考文献	143

第 9 章 吡啶酮类生物碱 赵 昱

9.1 概述	144
9.2 生源关系、结构分类与分布	144
9.3 结构测定与谱学特征	147
9.4 理化性质与化学反应	147
9.5 结构修饰与构效关系	147
9.6 化学合成	149
9.6.1 简单吡啶酮类	149
9.6.2 C-异戊烯基吡啶酮类	151
9.6.3 呋喃吡啶酮类	151
9.6.4 吡喃吡啶酮类	152
9.6.5 二聚吡啶酮类生物碱及其相关的衍生物	154
9.7 生物活性及其应用	155
参考文献	155

第 10 章 苯丙胺类生物碱 梁敬钰, 杨 洋

10.1 概述	157
10.2 结构分类、生源关系与分布	157
10.2.1 结构分类	157
10.2.2 分布与生源关系	158
10.3 结构测定与谱学特征	158
10.4 理化性质与化学反应	159
10.5 麻黄碱的化学合成	160
10.6 生物活性及其应用	161
10.6.1 麻黄碱	161
10.6.2 阿拉伯茶	162
10.6.3 左旋多巴	162
参考文献	163

第 11 章 苄基四氢异喹啉类生物碱 胡立宏, 杨劲松

11.1 概述	164
11.2 结构分类、分布与生源关系	164
11.2.1 苄基四氢异喹啉类	164

11.2.2	双苄基四氢异喹啉类	165
11.2.3	吗啡烷类	166
11.2.4	阿朴菲类	169
11.2.5	原小檗碱类和小檗碱类	171
11.2.6	普罗托品类	173
11.2.7	苯菲啶类	173
11.2.8	分布	175
11.2.9	生源关系	175
11.3	理化性质与化学反应	177
11.3.1	苄基四氢异喹啉类	177
11.3.2	双苄基四氢异喹啉类	179
11.3.3	吗啡烷类	180
11.3.4	阿朴菲类	183
11.3.5	原小檗碱类和小檗碱类	185
11.3.6	普罗托品类	188
11.3.7	苯菲啶类	188
11.4	结构测定与谱学特征	190
11.4.1	苄基四氢异喹啉类	190
11.4.2	双苄基四氢异喹啉类	191
11.4.3	吗啡烷类	193
11.4.4	阿朴菲类	193
11.4.5	原小檗碱类和小檗碱类	197
11.4.6	普罗托品类	198
11.5	化学合成	200
11.5.1	构建骨架的基本方法	200
11.5.2	光学活性苄基四氢异喹啉生物碱的合成	201
11.6	结构修饰与构效关系	207
11.6.1	抗肿瘤多药耐药作用	208
11.6.2	抗心律失常作用	208
11.6.3	多巴胺受体活性	210
参考文献		212

第12章 苯乙基四氢异喹啉类生物碱 吴凤镔, 邓 赞

12.1	概述	216
12.2	结构分类、生源关系与分布	216
12.2.1	秋水仙碱类	216
12.2.2	三尖杉碱类	218
12.2.3	高刺桐碱类	220
12.3	结构测定与谱学特征	221
12.3.1	秋水仙碱类	221
12.4	理化性质与化学反应	223
12.5	结构修饰与构效关系	223

12.5.1 秋水仙碱·····	223
12.5.2 三尖杉碱类生物碱·····	225
12.6 化学合成·····	226
12.6.1 秋水仙碱·····	226
12.6.2 三尖杉碱类生物碱·····	226
12.7 生物活性及其应用·····	227
12.7.1 秋水仙碱·····	227
12.7.2 三尖杉碱类生物碱·····	228
12.7.3 高刺桐碱类以及其他类型生物碱·····	229
参考文献·····	229

第13章 苄基苯乙胺类生物碱····· 丁立生, 郑颖

13.1 概述·····	230
13.2 结构分类、生源关系与分布·····	230
13.2.1 结构分类·····	230
13.2.2 生源关系·····	232
13.2.3 分布·····	233
13.3 结构测定与谱学特征·····	233
13.3.1 ^1H NMR 谱·····	233
13.3.2 ^{13}C NMR 谱·····	233
13.3.3 质谱·····	234
13.4 化学合成·····	234
13.4.1 石蒜碱型生物碱·····	234
13.4.2 加兰他敏型生物碱·····	236
13.5 生物活性及其应用·····	237
13.5.1 抗癌、抗肿瘤作用·····	237
13.5.2 中枢神经系统作用·····	238
13.5.3 心血管系统作用·····	238
13.5.4 其他药理作用·····	238
13.5.5 毒性·····	238
参考文献·····	239

第14章 吐根碱类生物碱····· 姜红祥, 沈涛

14.1 概述·····	240
14.2 结构分类与分布·····	240
14.3 生物合成·····	244
14.4 化学合成·····	246
14.5 生物活性及其应用·····	251
14.5.1 抗寄生虫作用·····	251
14.5.2 细胞毒作用·····	251
14.5.3 其他活性·····	251
参考文献·····	252

第 15 章 β-卡波林类生物碱	刘吉开, 汤建国
15.1 概述	253
15.2 结构分类、生源关系与分布	253
15.3 理化性质与化学反应	254
15.3.1 理化性质	254
15.3.2 化学反应	255
15.4 化学合成	256
15.4.1 β -卡波林的合成	256
15.4.2 β -卡波林生物碱的全合成	259
15.5 结构修饰与构效关系	261
15.5.1 manzamine A	261
15.5.2 Tadalafil	262
15.5.3 Lavendamycin	262
15.6 生物活性及其应用	263
15.6.1 抗肿瘤活性	263
15.6.2 抗骨质疏松作用	264
15.6.3 杀虫活性	264
15.6.4 抗病毒活性	264
15.6.5 抗氧化活性	265
15.6.6 其他活性	265
参考文献	266
 第 16 章 半萜吡啶碱类生物碱	 孔令义, 陈玉琪
16.1 概述	268
16.2 结构分类、生源关系与分布	268
16.2.1 结构分类	268
16.2.2 分布与生源关系	271
16.3 结构测定与谱学特征	272
16.3.1 紫外光谱	272
16.3.2 质谱	272
16.3.3 NMR 谱	274
16.3.4 结构研究实例	277
16.4 理化性质与化学反应	278
16.4.1 理化性质	278
16.4.2 化学反应	278
16.5 结构修饰与构效关系	280
16.5.1 D 环的修饰	281
16.5.2 B 环的修饰	283
16.5.3 A 环上 C-13、C-14 位的取代	285
16.5.4 由 C/D 环修饰产生 <i>abeo</i> -麦角碱类	285
16.6 化学合成	285

16.6.1 麦角酸类生物碱的全合成	286
16.6.2 裂环化合物的全合成	286
16.6.3 棒麦角素类生物碱的全合成	288
16.6.4 麦角肽类生物碱的合成	288
16.7 生物活性及其应用	290
16.7.1 不同类别麦角碱类生物碱的活性比较	290
16.7.2 麦角碱类生物碱的药理活性及临床应用	290
参考文献	291

第17章 单萜吲哚生物碱 郝小江, 秦 勇, 周 华, 宋 颖

17.1 概述	293
17.2 分布、生源关系与结构分类	293
17.2.1 分布	293
17.2.2 生源关系与结构分类	294
17.3 结构测定与谱学特征	309
17.3.1 紫外光谱	309
17.3.2 红外光谱	310
17.3.3 质谱	310
17.3.4 NMR 谱	312
17.3.5 CD 谱	312
17.3.6 结构测定示例——5-methoxyl strictamine 的结构研究	312
17.4 理化性质	313
17.5 结构修饰与构效关系	314
17.5.1 柯南因-士的宁碱类	314
17.5.2 白坚木碱类	315
17.5.3 依波加明碱类	315
17.5.4 双吲哚类	317
17.5.5 灯台碱类	323
17.6 化学合成	323
17.6.1 柯南因-士的宁碱类	324
17.6.2 白坚木碱类	332
17.6.3 双吲哚类	332
17.6.4 灯台碱类	336
17.7 生物活性及其应用	336
17.7.1 柯南因-士的宁碱类	336
17.7.2 白坚木碱类	339
17.7.3 依波加明碱类	339
17.7.4 双吲哚类	339
17.7.5 灯台碱类	340
参考文献	340

第18章 喹啉类生物碱 叶 阳

18.1 概述	346
---------	-----

18.2 结构分类、生源关系与分布	346
18.2.1 奎宁类生物碱	347
18.2.2 喜树碱类生物碱	348
18.3 结构测定与谱学特征	349
18.4 理化性质	350
18.4.1 奎宁类生物碱	350
18.4.2 喜树碱类生物碱	351
18.5 结构修饰与构效关系	352
18.6 化学合成	352
18.6.1 奎宁的全合成	352
18.6.2 喜树碱的全合成	352
18.7 生物活性及其应用	352
参考文献	355
第19章 肽类生物碱	谭宁华
19.1 概述	356
19.2 结构分类、生源关系与分布	357
19.2.1 结构分类	357
19.2.2 生源关系	364
19.2.3 分布	365
19.3 结构测定与谱学特征	365
19.3.1 环肽生物碱	365
19.3.2 石竹科类型环肽	368
19.3.3 环蛋白	370
19.4 理化性质与显色反应	370
19.4.1 理化性质	370
19.4.2 显色反应	370
19.5 化学合成	371
19.5.1 环肽生物碱	371
19.5.2 茜草科类型环肽	371
19.5.3 环蛋白	371
19.6 生物活性	376
参考文献	377
第20章 单萜生物碱	陈东林
20.1 概述	378
20.2 结构分类、生源关系与分布	378
20.2.1 结构分类与分布	378
20.2.2 生源关系	381
20.3 结构测定与谱学特征	383
20.3.1 紫外光谱	383
20.3.2 红外光谱	383