



全国高等农林院校“十一五”规划教材



有机化学

第二版

YOUJI HUAXUE

叶 非 冯世德 主编



中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

有机化学

第二版

叶 非 冯世德 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

有机化学/叶非, 冯世德主编. —2 版. —北京: 中国农业出版社, 2007. 12

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11973-4

I. 有… II. ①叶…②冯… III. 有机化学-高等学校-教材 IV. 062

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 179469 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

责任编辑 曾丹霞 郭元婕

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版 2008 年 1 月第 2 版

2008 年 1 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 20.75

字数: 485 千字

定价: 29.60 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

第二版编者名单

主 编 叶 非 冯世德

副主编 付 颖 王亚飞 鲁京兰

参 编 (按姓氏笔画排序)

曲 斌 曲红杰 毕洪梅 张 鑫

张晓霞 徐英超

主 审 徐雅琴

第二版前言

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材，是在叶非主编的全
国高等农业院校“十五”规划教材《有机化学》（2003年）的基础上重新修
订的，在内容和结构上做了一定的调整，并增添了新的内容。主要的变动
是：将饱和烃中的环烃单独列章；各章增添了一些新的内容以及与农业密
切相关的知识。

在编写中，我们将有机化合物的结构和性质的关系作为贯穿教材的一
条主线，建立以能力培养为中心的基础体系，突出了有机化合物的结构和
性质的相关性，力求从结构的角度阐明每类化合物各具特性的原因，把有
机化学的基本理论知识系统地阐述清楚，并着力解决基础有机化学与普通
化学及后续课程（生理、生化、遗传、分子生物学等）的衔接。本书共 17
章，包括三部分内容。第一部分为基础部分，包括有机化学的基本原理，
基本有机化合物的类型、结构、命名、性质、基本反应、立体化学等；第
二部分为天然有机化合物，包括油脂、碳水化合物、氨基酸、蛋白质、核
酸、生物碱等；第三部分为有机化合物的波谱知识，简要介绍紫外光谱、
红外光谱、核磁共振、质谱与有机化合物结构的关系。本教材章节次序基
本上以官能团系统编排。

本教材由东北农业大学、黑龙江八一农垦大学、延边大学和黑龙江农
垦职业学院等四所高等院校的 11 位教师共同编写，东北农业大学叶非和黑
龙江八一农垦大学冯世德担任主编。第 1 章、第 9 章和第 12 章由东北农业
大学叶非编写；第 2 章和第 10 章由黑龙江八一农垦大学冯世德编写；第 3
章、第 4 章和第 5 章由东北农业大学付颖编写；第 11 章和第 14 章由黑龙江
八一农垦大学王亚飞编写；第 17 章由延边大学鲁京兰编写；第 16 章由黑龙
江八一农垦大学曲红杰编写；第 6 章由东北农业大学曲斌编写；第 15 章由

黑龙江八一农垦大学毕洪梅编写；第13章由黑龙江农垦职业学院张晓霞编写；第7章由东北农业大学张鑫编写；第8章由东北农业大学徐英超编写。教材的初稿经主编、副主编审阅、修改，东北农业大学徐雅琴教授仔细审校全稿，最后由叶非通读、审定。

在本次编写过程中，我们尽了自己的最大努力，但限于水平，书中一定还会有不当之处。我们恳切希望使用本教材的同行和读者批评和指正。

编者

2007年9月

第一版编者名单

主 编 叶 非 高 岩

副主编 徐雅琴 刘文丛

参 编 (按姓氏笔画排序)

付 颖 孙艳梅 张金艳

李国权 杨雨东 赵淑杰

柴 超 鲁京兰 蔡 辉

主 审 张永忠

第一版前言

本书是经全国高等农业院校教学指导委员会审定的全国高等农业院校“十五”规划教材，是在张永忠教授和叶非教授主编的农、林、水院校教材《有机化学》（1996年，黑龙江教育出版社）的基础上重新编写的，在内容和结构上做了较大的调整，并增添了新的内容。主要的变动是：将开链烃分为饱和烃和不饱和烃两章；将环烃中脂环烃内容归入饱和烃中；各章增添了一些新的内容以及与农业密切相关的知识；每章后增加了与该章内容相关的重要科学家介绍；将书中重点、难点的理论知识制作了多媒体教学辅导课件，并在各章后列出该章的课件目录。

本次编写是以1995年在杭州召开的高等农业院校有机化学教学研讨会制定的教学大纲为依据，结合面向21世纪高等农林院校化学课程系列改革成果，以及近年来有机化学学科的新发展编写而成的。在编写中，我们始终将有机化合物的结构和性能的关系作为贯穿有机化学教材的一条主线，建立以能力培养为中心的基础体系，突出了有机化合物的结构和性质相关性，力求从结构的角度阐明每类化合物各具特性的原因，把有机化学的基本理论知识系统地阐述清楚，力求讲深、讲透，并着力解决了基础有机化学与普通化学及后续课程（生理、生化、遗传、分子生物学等）的衔接。本书共十六章、六个专题，包括四部分内容。第一部分为基础部分，包括有机化学的基本原理，基本有机化合物的类型、结构、命名、性质、基本反应、立体化学等；第二部分为天然有机化合物，包括油脂、碳水化合物、氨基酸、蛋白质、核酸、生物碱等；第三部分为有机化合物的波谱知识，简要介绍紫外光谱、红外光谱、核磁共振、质谱与有机化合物结构的关系；第四部分为专题，介绍了本学科及与其密切联系的相关学科的最新发展和知识。本书章节次序基本上以官能团系统编排，并编制了多媒体教学辅导

课件。

本书是由吉林农业大学、东北农业大学、解放军军需大学、延边大学和黑龙江八一农垦大学五所高等院校的十三位教师共同编写。由东北农业大学叶非和吉林农业大学高岩担任主编。第1章、专题1和专题3由东北农业大学叶非编写；第2、11章和专题2由吉林农业大学高岩编写；第3、8章和专题4由东北农业大学徐雅琴编写；第4、7章由东北农业大学付颖编写；第5章和专题5由吉林农业大学刘文丛编写；第6章和专题6由延边大学鲁京兰编写；第9、10章由东北农业大学柴超编写；第12、13章由东北农业大学孙艳梅编写；第14、16章由黑龙江八一农垦大学张金艳编写；第15章由解放军军需大学蔡辉编写；科学家介绍由吉林农业大学赵淑杰编写。解放军军需大学李国权和吉林农业大学杨雨东编写和制作了本书的多媒体教学辅助课件。教材的初稿经主编、副主编审阅、修改，东北农业大学张永忠教授仔细审校全稿，最后由叶非教授通读、审定。

在本次编写过程中，我们尽了自己的最大努力，但限于水平，书中一定还会有不当之处。我们恳切希望使用本教材的同行和读者提出批评和指正。

编者

2002年8月

第二版前言	第 20 页
第一版前言	第 30 页
第 1 章 绪论	1
第一节 有机化合物和有机化学	1
第二节 有机化合物的特点	1
第三节 有机化合物的分子结构	2
第四节 研究有机化合物结构的程序和方法	9
第五节 有机化合物的分类	11
第六节 有机化合物的物理性质与分子结构的关系	12
第七节 如何学习有机化学	15
科学家——鲍林	16
习题	17
第 2 章 饱和脂肪烃	18
第一节 烷烃的结构及同系列的概念	18
第二节 烷烃的异构	21
第三节 烷烃的命名法	22
第四节 烷烃的化学性质	24
第五节 自由基取代反应历程	25
第六节 甲烷	27
第七节 烷烃的用途和来源	28
科学家——卡尔·肖莱马	29
习题	30
第 3 章 不饱和脂肪烃	32
第一节 烯烃的异构和命名	32
第二节 烯烃的物理性质	35
第三节 烯烃的化学性质	36
第四节 诱导效应	40
第五节 烯烃的亲电加成反应历程	42
第六节 烯烃的自由基加成反应	43

第七节 重要的烯烃化合物	44
第八节 炔烃的结构和命名	45
第九节 炔烃的物理性质	46
第十节 炔烃的化学性质	46
第十一节 乙炔	48
第十二节 二烯烃的结构和命名	48
第十三节 共轭二烯烃的化学性质	49
第十四节 共轭效应	50
第十五节 萘类化合物	53
科学家——欧拉	57
习题	57
第4章 脂环烃	60
第一节 脂环烃概述与命名	60
第二节 脂环烃的物理性质	62
第三节 脂环烃的化学性质	63
第四节 环烷烃的结构与构象	66
第五节 重要的环烃化合物	71
科学家——哈塞尔	72
习题	73
第5章 芳香烃	75
第一节 单环芳烃概述	75
第二节 单环芳烃的物理性质	77
第三节 单环芳烃的化学性质	78
第四节 芳烃的亲电取代反应历程	81
第五节 芳烃亲电取代的定位规律	82
第六节 稠环芳香烃概述	87
第七节 萘的化学性质	88
第八节 非苯芳烃	89
科学家——凯库勒	91
习题	92
第6章 旋光异构	94
第一节 偏振光与比旋光度	94
第二节 旋光性和分子结构的关系	96
第三节 含有一个不对称碳原子的旋光异构体	97

第四节 含有两个不对称碳原子的旋光异构体	101
第五节 含不对称碳原子的环状化合物	102
第六节 不含不对称碳原子化合物的旋光异构	103
第七节 外消旋体的拆分	104
科学家——范特霍夫	105
习题	105
第 7 章 卤代烃	107
第一节 卤代烃概述	107
第二节 卤代烃的物理性质	108
第三节 卤代烃的化学性质	109
第四节 亲核取代反应历程	111
第五节 消除反应历程	114
第六节 卤代烯烃和卤代芳烃	116
第七节 重要的卤代烃化合物	118
科学家——格利雅	121
习题	121
第 8 章 醇酚醚	123
第一节 醇的分类和命名	123
第二节 醇的物理性质	124
第三节 醇的化学性质	126
第四节 重要的醇类化合物	130
第五节 酚的分类和命名	132
第六节 酚的物理性质	132
第七节 酚的化学性质	133
第八节 重要的酚类化合物	136
第九节 醚的分类和命名	137
第十节 醚的物理性质	138
第十一节 醚的化学性质	139
第十二节 乙醚	140
第十三节 环醚和冠醚	140
第十四节 硫醇、硫酚、硫醚	141
科学家——佩德森	143
习题	143

第9章 醛酮醌	146
第一节 醛、酮概述	146
第二节 醛、酮的物理性质	147
第三节 醛、酮的化学性质	147
第四节 重要的醛、酮类化合物	157
第五节 醌类概述	158
第六节 醌类的物理性质	159
第七节 醌类的化学性质	159
第八节 重要的醌类化合物	161
科学家——布朗	162
习题	163
第10章 羧酸及其衍生物	165
第一节 羧酸的分类和命名	165
第二节 羧酸的物理性质	165
第三节 羧酸的化学性质	167
第四节 重要的羧酸	171
第五节 羧酸衍生物的命名	173
第六节 羧酸衍生物的物理性质	174
第七节 羧酸衍生物的化学性质	175
第八节 重要的羧酸衍生物	177
科学家——魏尔塔南	178
习题	179
第11章 取代酸	181
第一节 羟基酸概述	181
第二节 羟基酸的物理性质	181
第三节 羟基酸的化学性质	182
第四节 重要的羟基酸	185
第五节 羧基酸概述	187
第六节 羧基酸的化学性质	188
第七节 重要的羧基酸	189
第八节 互变异构现象	189
第九节 乙酰乙酸乙酯及丙二酸二乙酯在有机合成中的应用	190
第十节 氨基酸概述	192
第十一节 氨基酸的物理性质	194

第十二节 氨基酸的化学性质	195
第十三节 重要的氨基酸	198
科学家——桑格	199
习题	199
第 12 章 含氮和含磷化合物	202
第一节 胺的分类及命名	202
第二节 胺的结构	203
第三节 胺的物理性质	204
第四节 胺的化学性质	205
第五节 重要的胺类化合物	211
第六节 酰胺概述	212
第七节 酰胺的物理性质	213
第八节 酰胺的化学性质	214
第九节 碳酸的酰胺	215
第十节 磺酰胺	217
第十一节 其他含氮化合物	218
第十二节 含磷有机化合物概述	219
第十三节 有机磷农药简介	220
科学家——霍夫曼	223
习题	223
第 13 章 杂环化合物	226
第一节 杂环化合物的分类和命名	226
第二节 杂环化合物的结构	228
第三节 杂环化合物的化学性质	229
第四节 重要的五元杂环化合物	232
第五节 重要的六元杂环化合物	234
第六节 重要的稠杂环化合物	236
第七节 生物碱	239
科学家——费希尔	241
习题	242
第 14 章 油脂和类脂化合物	244
第一节 油脂	244
第二节 类脂	250

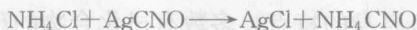
第三节 甾族化合物	253
科学家——温道斯	256
习题	256
第 15 章 碳水化合物	258
第一节 单糖概述与命名	258
第二节 单糖的物理性质	265
第三节 单糖的化学性质	266
第四节 重要的单糖及其衍生物	272
第五节 二糖	274
第六节 多糖	277
科学家——哈沃斯	281
习题	281
第 16 章 蛋白质与核酸	284
第一节 蛋白质概述	284
第二节 蛋白质的结构	284
第三节 蛋白质的性质	286
第四节 核酸概述	289
第五节 核酸的组成	290
第六节 核酸的结构	293
第七节 核酸的理化性质	296
科学家——沃森 克里克	298
习题	299
第 17 章 波谱基础	300
第一节 紫外 (UV) 光谱	300
第二节 红外 (IR) 光谱	303
第三节 核磁共振 (NMR) 谱	305
第四节 质谱 (MS)	308
科学家——恩斯特	311
习题	311
主要参考文献	312

第 1 章 绪 论

第一节 有机化合物和有机化学

世界是物质的。要认识世界和改造世界必须要认识物质及物质之间的变化规律。为了研究上的方便和深入，人们很自然地对所知的物质进行分类。17 世纪中叶，人们根据物质来源将物质分为动物物质、植物物质和矿物物质三大类。18 世纪末，通过化学分析发现，动物物质和植物物质都含有碳、氢、氧等元素；并且有些物质既可以来源于动物，又可以来源于植物。如油脂既存在于动物中，也存在于植物中；蚁酸可以从蒸馏蚂蚁得到，也可以从糖的氧化得到。这使得物质的分类产生了困难。到了 19 世纪初，当时在世界化学界享有极高威望的瑞典化学家柏齐利乌斯（Berzelius J.J.）把动物物质和植物物质合并称为有机化合物，把矿物物质称为无机化合物。于是科学史上首次出现了有机物质的名称。“有机”（organic）一词来源于“有机体”（organism），即有生命的物质。这是由于当时人们对生命现象的本质缺乏认识而赋予有机化合物的神秘色彩，认为它们是不能用人工方法合成的，而是“生命力”所创造的。这种“生命力”学说在一段时期内严重阻碍有机化学的发展。

1828 年，年轻的德国化学家伍勒（Wöhler）在实验室用无机化合物氯化铵和氰酸银一起加热，制得有机化合物尿素：



当时公认尿素是有机化合物，而氰酸铵是无机物。以无机物为原料在没有“生命力”的影响下制得了有机物质，这对于“生命力”学说是有力的打击。此后，以无机物为原料，陆续合成了醋酸、甲烷等一系列有机物，“生命力”学说才彻底被否定，有机物的研究才摆脱了唯心主义的“生命力”学说的束缚，开始得到迅速的发展。

1850 年前后，根据当时对大量有机物成分的分析结果，德国化学家格梅林（Gmelin L.）指出：“一切有机物含有碳”。德国化学家凯库勒（Kekulé P. A.）也指出：“我们把有机化学定为碳化合物的化学”。所以现在认为：有机化合物是指含碳元素的化合物，研究碳化合物的化学叫有机化学。有些简单的碳化合物，如二氧化碳、碳酸盐等，同典型的无机化合物性质相似，一般把它们看做是无机化合物。应当指出，有机化合物不再与“生命力”学说有任何联系。现在保留“有机”二字，只不过是历史的遗留，当然也反映了有机化合物确实与生物体有很密切的联系。

第二节 有机化合物的特点

一、组成简单、数目众多、结构复杂

有机化合物元素组成除碳外，常常还含有氢、氧、氮、硫、磷、卤素等。有机物元素组成虽

然简单,数目却非常之多。到2004年4月,美国《化学文摘》已经收录的从自然界得到的和用人工方法在实验室合成的有机化合物数目已经超过3700万种,且新的有机化合物以每年新增加30万种,平均每天增加1000种的惊人速度问世。而无机化合物虽然由100多种元素组成,但只不过约十余万种,总数远远不及有机化合物。

有机化合物组成简单、数目众多的主要原因就是它的结构复杂。碳位于元素周期表第二周期第四主族,它最外层有4个电子,既不容易得到也不容易失去电子,而易与其他原子靠共价键形成化合物。硅虽然也在第四主族,也有4个价电子,但是因为它的原子半径较大,所形成的共价化合物不如碳的化合物稳定。此外,碳原子间有很强的成键能力,可以形成稳定的共价键;以它们为骨架可以形成链状化合物,也可以形成环状化合物;碳原子间可以形成单键,也可以形成双键或叁键。这种结构的多样化,就使异构现象成为有机化合物中的一种极其普遍的现象。所谓异构现象就是指化学组成相同,但是结构不同,因而形成了不同化合物的现象。如一种从海洋生物中得到的沙海葵毒素的分子式为 $C_{129}H_{221}O_{53}N_3$,这个分子式有可能形成 2×10^{71} 种立体异构体,在如此庞大数目的立体异构体中,仅有一种结构是沙海葵毒素。所以有机化合物一般元素组成比较简单,但结构复杂,使得有机化合物的总数非常多,已远远超过无机化合物的数目。

二、典型有机化合物的理化特性

有机化合物与无机化合物都遵循化学的一般规律,它们之间存在着共性。但是由于有机化合物组成上的特性,其性质上也有自身的特点。多数有机化合物的理化性质有下列特点:

1. 多数有机化合物较易燃烧 有机物一般都含有碳和氢,它完全燃烧后能生成内能较低的 CO_2 和 H_2O ,所以多数有机化合物较易燃烧。

2. 有机化合物的熔点及沸点较低 有机化合物多为共价化合物,分子间只存在范德华力;而无机化合物多为离子化合物,强大的静电力使它们牢固地结合在一起。所以有机物的熔点和沸点都较低。

3. 多数有机化合物易溶于有机溶剂而不易溶于水 有机物是共价化合物,一般极性较弱或无极性,而水是强极性的。因此,有机物一般难溶或不溶于水。

4. 有机化合物反应速度慢,而且常有副反应发生 有机化合物的化学反应,多涉及旧共价键的断裂和新共价键的形成,反应的活化能较高;而且在同一条件下,共价键断裂的部位可能不同,所以与无机物相比,它的反应速度慢,而且往往除主产物以外,还有副产物出现。为此有机反应需要注意选择最佳反应条件,尽量减少副反应。

以上所说的有机物的理化特性,是多数有机物的共性,但是例外还是很多的,不能作为区别有机物与无机物的标准。

第三节 有机化合物的分子结构

物质的组成与结构是认识物质的核心。组成与结构的差异,才构成了不同的事物,赋予物质