




全国高等农林院校“十一五”规划教材

有机化学

孙景琦 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

孙景琦 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

有机化学/孙景琦主编. —北京: 中国农业出版社,
2007. 7

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-11693-1

I. 有… II. 孙… 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 083087 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

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 820 mm×1080 mm 1/16 印张: 18.75

字数: 442 千字

定价: 26.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材。

全书共分16章，主要包括烃类化合物、烃的衍生物、天然有机化合物和有机化合物的波谱知识等内容。着重介绍了有机化学的基本知识、基本反应和基本理论，突出了各类官能团的结构和性质的关系，系统阐述了各类有机化合物的分类、命名、结构、理化性质及应用。本教材注重与农业科学及相关学科的关系，反映了本学科的新内容、新成果和新技术。每章后附有习题。本教材另配有有机化学实验教学用书。

本教材可作为高等农林院校各相关专业的有机化学教材，也可作为农业科技工作者及广大考研者的参考用书。

主 编 孙景琦
副主编 田孟魁
参 编 邓月娥 刘红英
李蜀眉 高晓丽

前 言

本教材是全国高等农林院校“十一五”规划教材，是根据全国高等农业院校有机化学教学研讨会（杭州）上制定的有机化学教学大纲，借鉴国内外同类教材的优点，结合我们多年的教学经验编写的。可作为高等农林院校各相关专业的有机化学教材，也可作为农业科技工作者的参考用书。

本教材在编写过程中从农业院校的实际出发，精选内容，加强基础，注重与普通化学的衔接以及与后续课程的联系，反映了本学科发展的新内容、新成果和新技术。编写中力求文字简练、说理清楚、由浅入深、通俗易懂，便于教师的课堂教学和学生的课后复习及自学。

全书共 16 章，章节次序基本上按官能团系统编排，包括烃类化合物、烃的衍生物及天然有机化合物等主要内容。立体化学和波谱知识占有适当的篇幅，有一定的深度和广度。全书重点阐述了有机化学的基本知识、基本反应和基本理论，突出了各类官能团的结构和性质的关系，主要有机反应历程及立体化学内容穿插在有关章节介绍以便分散难点。各章中以日常生活、工农业生产及生物体内存在的重要有机化合物为例，介绍了这些化合物的结构和性质，使读者了解有机化合物与生产、生活的密切关系。

参加本教材编写的有：内蒙古农业大学孙景琦（第一、二、三、十三章）、李蜀眉（第九、十、十一、十二章）、河南科技学院田孟魁（第四、十六章）、邓月娥（第六、七章）、河北农业大学刘红英（第八、十四章）、高晓丽（第五、十五章）。

本教材在编写过程中得到有关兄弟院校和中国农业出版社各级领导和有关教师的关心和大力支持，在此谨向他们表示衷心感谢。

本教材虽经多次修改，但由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请同行和读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、有机化合物和有机化学	1
二、有机化学与生命科学的关系	1
三、有机化合物的特点和特性	2
四、有机化合物中的共价键	3
五、有机化学中的酸碱概念	8
六、有机化合物的一般研究方法	10
七、有机化合物的分类	11
习题	12
第二章 烷烃和环烷烃	13
第一节 烷烃	13
一、烷烃的同系列和异构现象	13
二、烷烃的命名	14
三、烷烃的结构	15
四、烷烃的物理性质	18
五、烷烃的化学性质	19
六、烷烃的卤代反应历程	20
七、烷烃的来源和用途	22
第二节 环烷烃	23
一、环烷烃的分类和命名	23
二、环烷烃的物理性质	24
三、环烷烃的化学性质	24
四、环烷烃的结构与稳定性	25
五、环己烷的构象	26
习题	28
第三章 烯烃、炔烃和二烯烃	30
第一节 单烯烃	30
一、烯烃的结构	30
二、烯烃的异构现象及命名	31

三、烯烃的物理性质	33
四、烯烃的化学性质	34
五、亲电加成反应历程	37
六、诱导效应	38
七、重要化合物	39
第二节 炔烃	39
一、炔烃的结构	39
二、炔烃的异构现象和命名	40
三、炔烃的物理性质	40
四、炔烃的化学性质	41
五、重要化合物	42
第三节 二烯烃	43
一、二烯烃的分类和命名	43
二、1,3-丁二烯的结构	43
三、共轭效应	44
四、共轭二烯烃的化学性质	45
第四节 萜类化合物	47
一、萜类化合物的结构和分类	47
二、萜类化合物举例	48
习题	50
第四章 芳香烃	52
第一节 单环芳烃	52
一、苯的结构	52
二、单环芳烃的命名	55
三、单环芳烃的物理性质	56
四、单环芳烃的化学性质	56
五、亲电取代反应的历程	59
六、苯环上取代反应的定位规律	61
第二节 多环芳烃	64
一、多苯代脂烃	64
二、联苯烃	64
三、稠环芳烃	65
第三节 非苯芳烃	67
一、休克尔规则	67
二、非苯芳烃	67
习题	68
第五章 旋光异构	71
一、物质的旋光性	71

二、旋光性与分子结构的关系	72
三、含一个手性碳原子化合物的旋光异构	73
四、含两个手性碳原子化合物的旋光异构	76
五、环状化合物的旋光异构	78
六、不含手性碳原子化合物的旋光异构	79
七、外消旋体的拆分	79
习题	80
第六章 卤代烃	82
第一节 卤代烷	82
一、卤代烃的分类、命名和异构	82
二、卤代烷的物理性质	84
三、卤代烷的化学性质	84
四、亲核取代反应历程	88
五、消除反应历程	90
第二节 卤代烯烃和卤代芳烃	93
一、卤代烯烃和卤代芳烃的分类	93
二、乙烯基型和芳基型卤代烃	93
三、烯丙基型和苄基型卤代烃	94
四、不同卤代烃化学活性的比较	95
五、重要化合物	95
习题	97
第七章 醇、酚、醚	99
第一节 醇	99
一、醇的结构、分类和命名	99
二、醇的物理性质	100
三、醇的化学性质	102
四、重要化合物	107
第二节 酚	108
一、酚的结构、分类和命名	108
二、酚的物理性质	109
三、酚的化学性质	110
四、重要化合物	113
第三节 醚	114
一、醚的结构、分类和命名	114
二、醚的物理性质	115
三、醚的化学性质	116
四、环醚和冠醚	117

习题	119
第八章 醛、酮、醌	122
第一节 醛和酮	122
一、醛、酮的结构、命名及同分异构	122
二、醛和酮的物理性质	124
三、醛和酮的化学性质	124
四、亲核加成反应历程	134
五、重要化合物	136
第二节 醌	137
一、醌的结构和命名	137
二、醌的物理性质	137
三、醌的化学性质	138
四、重要化合物	139
习题	140
第九章 羧酸及其衍生物和取代酸	144
第一节 羧酸	144
一、羧酸的结构、分类和命名	144
二、羧酸的物理性质	145
三、羧酸的化学性质	146
四、重要化合物	149
第二节 羧酸衍生物	151
一、羧酸衍生物的结构和命名	151
二、羧酸衍生物的物理性质	152
三、羧酸衍生物的化学性质	152
四、酯化和酯水解的反应历程	154
五、重要化合物	155
第三节 取代酸	157
一、羧基酸	157
二、羧基酸	161
三、互变异构现象	163
习题	164
第十章 含氮有机化合物	166
第一节 胺	166
一、胺的结构、分类和命名	166
二、胺的物理性质	168
三、胺的化学性质	169

四、重要化合物	172
第二节 酰胺	173
一、酰胺的结构和命名	173
二、酰胺的物理性质	174
三、酰胺的化学性质	175
四、碳酸酰胺	176
第三节 重氮化合物和偶氮化合物	177
一、重氮化合物	177
二、偶氮化合物	179
第四节 其他含氮化合物	180
一、硝基化合物	180
二、腈和异腈	181
习题	182
第十一章 含硫和含磷有机化合物	184
第一节 含硫有机化合物	184
一、分类和命名	184
二、硫醇、硫酚、硫醚	185
三、磺酸	187
四、苯磺酰胺	188
五、其他含硫有机化合物	189
第二节 含磷有机化合物	190
一、分类与命名	190
二、磷酸和磷酸酯	191
三、磷酸酯和硫代磷酸酯类化合物	192
习题	193
第十二章 杂环化合物和生物碱	195
第一节 杂环化合物	195
一、杂环化合物的分类和命名	195
二、杂环化合物的结构与芳香性	196
三、杂环化合物的化学性质	197
四、重要的五元杂环化合物及其衍生物	200
五、重要的六元杂环化合物及其衍生物	203
六、重要的稠杂环化合物及其衍生物	205
第二节 生物碱	207
一、生物碱概述	207
二、重要生物碱	208
习题	210

第十三章 油脂和类脂	212
第一节 油脂	212
一、油脂的组成、结构及命名	212
二、油脂的物理性质	213
三、油质的化学性质	214
四、肥皂和表面活性剂	215
第二节 类脂	217
一、蜡	217
二、磷脂	218
第三节 甾体化合物	220
一、甾体化合物的结构	220
二、重要的甾族化合物	221
习题	223
第十四章 碳水化合物	224
第一节 单糖	224
一、单糖的结构	225
二、单糖的物理性质	231
三、单糖的化学性质	232
四、重要的单糖和糖苷	236
第二节 低聚糖	237
一、还原性双糖	238
二、非还原性双糖	239
第三节 多糖	240
一、淀粉	241
二、糖原	243
三、纤维素	243
四、其他多糖化合物	245
习题	247
第十五章 氨基酸、蛋白质和核酸	249
第一节 氨基酸	249
一、氨基酸的结构、分类和命名	249
二、氨基酸的性质	251
第二节 蛋白质	254
一、蛋白质的结构	254
二、蛋白质的性质	258
三、蛋白质的分类	260

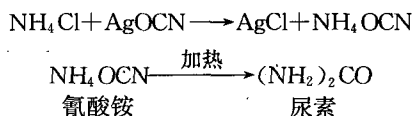
第三节 核酸	261
一、核酸的组成	261
二、核酸的结构	264
习题	266
第十六章 有机化合物波谱知识	268
第一节 电磁波谱的一般概念	268
第二节 紫外和可见吸收光谱	269
一、紫外光谱的基本原理	269
二、紫外吸收光谱与分子结构的关系	269
三、紫外光谱图	270
四、紫外光谱的应用	271
第三节 红外光谱	271
一、基本原理	271
二、红外光谱图	272
三、几类化合物的特征基团频率	273
第四节 核磁共振谱	277
一、基本原理	277
二、化学位移	278
三、自旋偶合与自旋裂分	280
四、谱图解析	280
第五节 质谱	281
一、基本原理	281
二、质谱图	281
三、质谱中离子的主要类型	281
四、谱图解析	282
习题	283
主要参考文献	285

第一章 绪 论

一、有机化合物和有机化学

有机化学的研究对象是有机化合物。事实证明，人类对有机化合物的认识随着生产实践的发展和科学技术的进步而不断地提高。早在古代，人们就知道加工和利用各种天然有机物，如酿酒、制醋、制糖、造纸和天然药物、染料的利用等。但限于当时的科技水平，尚无法对物质进行合理的分类，直到17世纪后期，才根据其来源将物质分为动物、植物和矿物物质三大类。后来又将动物和植物两类从生物体内分离出来的物质合并称为有机物质，将矿物物质称为无机物。瑞典化学家柏齐利乌斯（J. J. Berzelius）于1806年首次提出“有机化学”这个名词，他认为无机物不能人为地转变成有机物，有机物质只能在活细胞的“生命力”的作用下才能形成。有机化学是研究在生命力影响下所形成物质的化学，这就是当时流行的“生命力”学说的核心。

1828年德国化学家伍勒（F. Wöhler）在实验室用氯化铵和氰酸银制得氰酸铵，进一步加热得到了尿素。



以无机物为原料在没有“生命力”的影响下得到了有机物质，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乙酸、酒石酸、柠檬酸等一系列有机物质，“生命力”学说彻底被否定，有机化学得到迅速发展。

随着有机分析技术的发展，发现有机物中只含有为数有限的几种元素，所有的有机化合物都含有碳。于是，凯库勒（A. Kekulé）认为碳是有机化合物的基本元素，把碳化合物称为有机化合物，把有机化学定义为碳化合物的化学。后来，在此基础上进一步研究证明有机化学上所说的碳化合物绝大多数都是碳氢化合物及其衍生物。因此，在1874年德国化学家肖莱马（K. Schorlemmer）则把碳氢化合物及其衍生物称为有机物，把有机化学定义为“研究碳氢化合物及其衍生物的化学”。目前，这个定义普遍为人们所接受。

二、有机化学与生命科学的关系

近代自然科学的发展趋势之一就是各学科之间的相互渗透。有机化学作为一门基础课，在生命科学等领域的发展进程中所起的作用正在日益增长。

生物体的组成物质绝大多数是有机化合物，例如，蛋白质、核酸、多糖等生物大分子和激素、神经递质、细胞因子等生物小分子，它们是构成生命的基本物质，在生物体中有着各种不同

的作用。生物体在生长过程中，包含着许多合成和分解的过程，正是这些化学变化构成了生命现象。为了深入探讨和掌握生物体内的各种有机物的结构、性质以及这些有机物在生物体内的合成、分解及转化规律，就需要学习和运用有机化学的知识。

近年来生物学已经发展到从分子水平探索生命现象的本质，将生命现象归结为分子的形成、运用和变化的过程。而这些分子主要是有机分子。生命科学的很多问题已经成为包括有机化学和生物学在内的多学科共同研究的对象。

农业科学研究的对象主要是有生命的动物、植物、微生物等生物体。在现代农业生产中，不仅要不断提高产品的产量和改善产品的品质，而且还要把初级农产品向生物化工、医药、能源、环保等多种产品方向拓展，传统农业的概念和内涵正在改变。因此，为使农业生产朝着人们所期望的方向发展，就必须掌握生物体的生长、发育、繁殖规律，就需要知道组成生物体的各种典型有机化合物的结构、性质及变化规律。农业生产中的种植业、养殖业以及加工业，都离不开有机化学知识。

在农产品的综合利用及农副产品新用途的研究中，往往要对某些有机物进行提取、分离和检测。例如，从辣椒中提取辣椒红素，从香菇中提取多糖等，因此就需要知道这些有机物的结构和性质，掌握和运用有机化学的基本操作技术，此外还要涉及有机分析技术，例如红外吸收光谱、紫外吸收光谱、核磁共振及质谱等。这些近代分析技术的原理和方法在第十六章介绍。

有机合成产品在农业生产上应用非常普遍。例如，植物生长调节剂、农药、化肥、信息素、塑料薄膜及饲料添加剂等，为了更有效地掌握和使用这些产品，必须掌握好有机化学的基本知识和技能。

总之，有机化学与生命科学有着密切的联系。学习有机化学不仅是学习生命科学的必要基础，也将有助于提高生命科学研究水平。

三、有机化合物的特点和特性

有机化合物在其组成、结构和性质上与无机物不同，具有如下特点。

1. 有机化合物的组成和结构上的特点 组成有机化合物的元素种类不多，碳和氢是主要的元素，此外尚有氧、氮、硫、磷和卤素等。据目前有人统计，无机物有几万种，而有机物则达千万种以上。组成有机物的元素种类并不多，但为什么有机物的数目这样多呢？其原因主要与碳原子的特性有关。碳原子处于周期表第二周期的中间，有四个价电子，碳原子半径较小，它与其他原子结合时一般形成共价化合物。此外，碳原子具有很强的相同原子成键的能力。碳与碳之间通过共价键既可连成长链，又可形成分支或环状结构；既可形成单键，又可形成双键和叁键。因而使有机化合物具有结构复杂、数目众多和同分异构现象普遍的特征。

总之，有机化合物是以碳原子为基础的共价化合物，有机化合物的特征主要由其共价键所决定。

2. 有机化合物的特性 大多数有机物与无机物比较除上述组成和结构上有所区别外，在其性质上还有如下不同点：

(1) 有机物熔点及沸点较低 有机物是共价化合物，它们的晶体排列主要靠范德华力

(Van der Waals force) 来维持, 而无机物则靠正负离子间的静电引力来维持。故有机化合物熔化时, 破坏晶格所需要的能量比无机化合物小得多, 因而有机物熔点低。同样, 由于有机物的分子间作用力不大, 所以它们的沸点也较低。

(2) 有机物难溶于水, 易溶于有机溶剂 水是极性分子, 它对极性较强的无机物易溶解, 对极性较小或极性弱的有机物难溶解。有机物易溶于极性较小的有机溶剂中, 符合“相似相溶”的经验规律。

(3) 有机化合物的反应速度慢, 常伴有副反应的发生 无机化合物间的反应为离子间的反应, 反应速度快。有机物间的反应则涉及共价键的断裂和新的共价键形成的过程, 反应速度慢, 有些反应常常需要几小时甚至几天才能达到平衡。所以有机反应常采用加热或加入催化剂来加速反应的进行。还应强调的是有机分子与另一试剂反应, 常常分子中受试剂进攻的部位不限于某一点, 就使得反应不是单一的, 也就是说反应同时还伴随着副反应的发生。

(4) 有机化合物易燃烧 这是因为组成有机物的碳和氢容易与氧结合而形成能量较低的二氧化碳和水的缘故。例如, 酒精、汽油、苯都易燃烧, 而无机物不易燃烧。

必须指出, 上述有机化合物的特性是指大多数有机化合物来说的, 并非每一化合物都如此。如四氯化碳不但不易燃烧而且可作灭火剂。

四、有机化合物中的共价键

1. 原子轨道 电子不仅具有波动性, 而且具有粒子性。1926年薛定谔给原子核外电子的运动建立了著名的波动方程, 称薛定谔方程。原子中的电子运动规律服从薛定谔方程。

薛定谔方程是包含三个自变量 x 、 y 、 z 的二阶偏微分方程, 它的解是一个包含空间坐标 x 、 y 、 z 的函数式, 叫做波函数, 用 φ 表示。波函数 φ 是量子力学中用来描述核外电子运动状态的数学表示式。由于 φ 是空间坐标 x 、 y 、 z 的函数式, 就可以粗略地把 φ 看作是 x 、 y 、 z 三维空间里找到该运动电子的一个区域, 我们把这个区域叫做原子轨道。图 1-1 表示 1s 和 2p 原子轨道示意图。

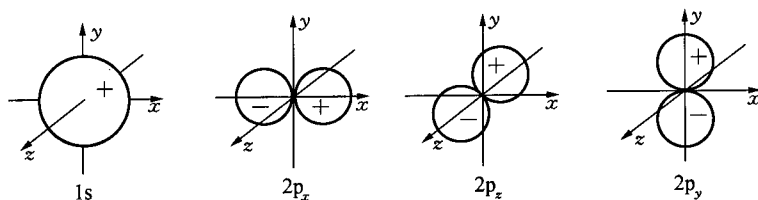


图 1-1 1s 和 2p 原子轨道示意图

根据量子力学原理, 我们不可能同时准确地测定出电子在某一瞬间的位置和能量, 也无法绘出电子围绕原子核运动的精确轨道, 我们只能知道电子在某一区域出现的概率, 在概率高的区域找到电子的机会就多, 反之就少。如果将核外电子出现概率的大小用小黑点的密疏表示, 得到的图形很像一团带有负电荷的“云雾”, 这样的图形我们叫做电子云。波函数的平方 φ^2 代表在原子核周围电子云出现的概率, 电子在原子核外出现的概率与 φ^2 成正比, 电子出现概率大的地方电子云密度就大。图 1-2 表示 1s 和 2p 的电子云示意图。

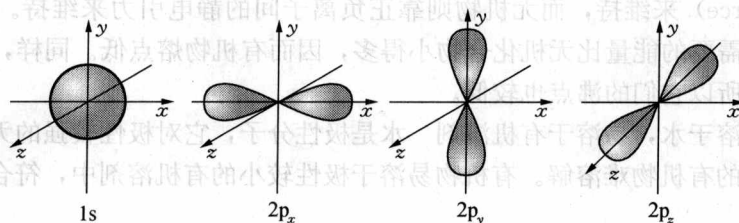


图 1-2 1s 和 2p 的电子云示意图

电子云没有正负号，而原子轨道有正负号，它表示波函数的不同位相。

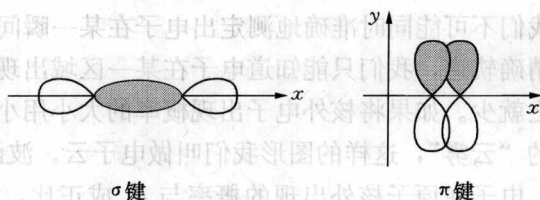
原子轨道有 s、p、d、f 等不同类型，它们的能量、形状大小各不相同，在有机化学中最常用到的是 s 轨道和 p 轨道。s 轨道是以原子核为中心的球体，1s 轨道能量最低，2s 轨道能量比 1s 高。2p 轨道呈哑铃形，3 个能量相同的 2p 轨道分别在 x、y、z 轴上，彼此互相垂直，分别用 $2p_x$ 、 $2p_y$ 、 $2p_z$ 表示。

2. 共价键的形成 原子结合成分子主要是通过化学键。在有机化合物中原子之间主要是通过共价键相结合的。共价键是研究有机化学最重要的化学键。

根据价键理论，共价键是原子间通过电子的共享（配对）而形成的。如果两个原子接近时，各含有自旋方向相反的未成对的电子，则两个原子轨道就可以重叠，两个自旋方向相反的电子互相配对，配对的电子在两原子核间运动，在两核间出现的概率高，即两核间的电子云密度大，从而增加了两个核对负电区域的吸引，减少了两核间的正电排斥，降低了体系能量，形成了稳定的共价键。

价键理论认为共价键具有饱和性和方向性。成键电子的原子轨道重叠越多，其电子云密度也越大，所形成的共价键也越牢固，因此共价键的形成尽可能采取电子云密度最大的方向，这是共价键的方向性。另外，如果一个原子的未成对电子已经和另一个原子的未成对电子配对，它就不能与第三个电子配对，这是共价键的饱和性。

按照原子轨道重叠的方式不同，共价键的基本类型有 σ 键和 π 键两种。两个原子轨道沿着键轴（两原子核间的连线）的方向，以“头碰头”的方式发生重叠，这样形成的共价键叫 σ 键。如果两个相互平行的 p 轨道从侧面以“肩并肩”的方式相互重叠，这样形成的共价键叫 π 键，如图 1-3 所示。通常 σ 键的重叠程度大于 π 键，所以 σ 键比较稳定而 π 键比较活泼。而且 π 键电子的能量较高，易活动，容易发生化学反应，如烯烃、炔烃中的 π 键易于断裂发生加成反应。如果两原子间以共价单键结合，此键必为 σ 键；若以共价多重键结合，其中必有一个 σ 键，如双键中有一个 σ 键和一个 π 键，叁键中有一个 σ 键，两个 π 键。

图 1-3 σ 键和 π 键形成示意图