



“十二五” 高职高专院校规划教材（食品类）

YOUJI HUAXUE

有机化学

YOUJI HUAXUE

王岳鸿 主 编



中国质检出版社
中国标准出版社



“十二五”高职高专院校规划教材

You Ji Hua Xue

有机化学

王岳鸿 主编

中国质检出版社
中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

有机化学/王岳鸿主编. —北京:中国质检出版社,2013.7

“十二五”高职高专院校规划教材(食品类)

ISBN 978 - 7 - 5026 - 3735 - 4

I. ①有… II. ①王… III. ①有机化学—高等学校—教材 IV. ①062

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 290934 号

内 容 提 要

本教材以官能团顺序分类介绍有机化合物的基本理论和基本知识,阐述了各类有机化合物结构和性质之间的关系,强化实验技能的训练,目的是培养学生的实践能力和创新能力。理论部分内容包括绪论,饱和烃,烯烃、炔烃和二烯烃,芳香烃,旋光异构,卤代烃,醇、酚、醚,羰基化合物,羧酸、羧酸衍生物及取代酸,含氮有机化合物,含硫和含磷有机化合物,杂环化合物和生物碱,脂类,碳水化合物、蛋白质和核酸十五章,各章后除课后习题外,还编有“知识拓展”内容,以便学生自主学习。本教材设置十个实验项目,涉及实验基础操作、有机化合物合成、天然有机化合物的提取与分离等内容,从多方面、多角度培养学生的实践技能。

本教材可供高职高专食品类、农林类、生物制药、生物技术等相关专业学生使用,也可供其他相关专业学生以及相关技术人员参考选用。

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 64275323 发行中心: (010) 51780235

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 16 字数 371 千字

2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月第一次印刷

*

定价: 35.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

— 审 定 委 员 会 —

贡汉坤 (江苏食品职业技术学院)

朱维军 (河南农业职业学院)

夏 红 (苏州农业职业技术学院)

冯玉珠 (河北师范大学)

贾 君 (江苏农林职业技术学院)

杨昌鹏 (广西农业职业技术学院)

刘 靖 (江苏畜牧兽医职业技术学院)

钱志伟 (河南农业职业学院)

黄卫萍 (广西农业职业技术学院)

彭亚锋 (上海市质量监督检验技术研究院)

曹德玉 (河南周口职业技术学院)

— 本 书 编 委 会 —

主 编 王岳鸿 (河北农业大学)

副主编 杨 巍 (苏州农业职业技术学院)

侯 威 (内蒙古工业大学)

钟尉方 (河北农业大学)

李进京 (佳木斯大学)

参 编 黄洁琼 (苏州农业职业技术学院)

李 彧 (山东药品食品职业学院)

朱光怡 (黑龙江八一农垦大学)

序 言

伴随着经济的空前发展和人民生活水平的不断提高，人们对食品安全的关注度日益增强，食品行业已成为支撑国民经济的重要产业和社会的敏感领域。近年来，食品安全问题层出不穷，对整个社会的发展造成了一定的不利影响。为了保障食品安全，规范食品产业的有序发展，近期国家对食品安全的监管和整治力度不断加强。经过各相关主管部门的不懈努力，我国已基本形成并明确了卫生与农业部门实施食品原材料监管、质监部门承担食品生产环节监管、工商部门从事食品流通环节监管的制度完善的食品安全监管体系。

在整个食品行业快速发展的同时，行业自身的结构性调整也在不断深化，这种调整使其对本行业的技术水平、知识结构和人才特点提出了更高的要求，而与此相关的职业教育正是在食品科学与工程各项理论的实际应用层面培养专业人才的重要渠道，因此，近年来教育部对食品类各专业的职业教育发展日益重视，并连年加大投入以提高教育质量，以期向社会提供更加适应经济发展的应用型技术人才。为此，教育部对高职高专院校食品类各专业的具体设置和教材目录也多次进行了相应的调整，使高职高专教育逐步从普通本科的教育模式中脱离出来，使其真正成为为国家培养生产一线的高级技术应用型人才的职业教育，“十二五”期间，这种转化将加速推进并最终得以完善。为适应这一特点，编写高职高专院校食品类专业所需的教材势在必行。

针对以上变化与调整，由中国质检出版社牵头组织了“十二五”高职高专院校规划教材（食品类）的编写与出版工作，该套教材主要适用于高职高专院校的食品类各相关专业。由于该领域各专业的技术应用性强、知识结构更新快，因此，我们有针对性地组织了江苏食品职业技术学院、河南农业职业学院、苏州农业职业技术学院、江苏农林职业技术学院、江苏畜牧兽医职业技术学院、吉林农业科技学院、广东环境保护工程职业学院、广西农业职业技术学院、河北师范大学以及上海农林职业技术学院等 40 多所相关高校、职业院校、科研院

所以及企业中兼具丰富工程实践和教学经验的专家学者担当各教材的主编与主审，从而为我们成功推出该套框架好、内容新、适应面广的高质量教材提供了必要的保障，以此来满足食品类各专业普通高等教育和职业教育的不断发展和当前全社会对建立食品安全体系的迫切需要；这也对培养素质全面、适应性强、有创新能力的应用型技术人才，进一步提高食品类各专业高等教育和职业教育教材的编写水平起到了积极的推动作用。

针对应用型人才培养院校食品类各专业的实际教学需要，本系列教材的编写尤其注重了理论与实践的深度融合，不仅将食品科学与工程领域科技发展的新理论合理融入教材中，使读者通过对教材的学习，可以深入把握食品行业发展的全貌，而且也将食品行业的新知识、新技术、新工艺、新材料编入教材中，使读者掌握最先进的知识和技能，这对我国新世纪应用型人才的培养大有裨益。相信该套教材的成功推出，必将会推动我国食品类高等教育和职业教育教材体系建设的逐步完善和不断发展，从而对国家的新世纪人才培养战略起到积极的促进作用。

教材审定委员会

2012 年 10 月

前言

• FOREWORD •

我国的高等职业教育蓬勃发展,各专业的课程体系也不断地改革完善。本教材是根据“十二五”高职高专院校规划教材编写要求,在认真研讨高职高专院校食品专业、农林专业、生物技术专业相关专业人才培养特征的基础上编写的。当前,在注重加强学生实验技能训练、理论课时缩短的情况下,迫切需要适应目前高职高专院校教学实际并符合教学大纲的教材。在选材上,本书注重理论联系实际,以学生能力培养为本,满足高职高专教学改革的需要和人才培养的要求。在理论上,对复杂的反应机理简化处理,在举例中选择典型的有机反应,力求学生能掌握有机化学的基本理论知识,为后续的专业课学习打下良好的基础。

本教材以官能团顺序分类,全书共分十六章,章节内容包括基础知识、习题、阅读材料。本教材还设置十个实验项目,涉及实验基础操作、有机化合物合成、天然有机化合物的提取与分离等内容,从多方面、多角度培养学生的实践技能。阅读材料中选录内容有:学生深入学习的反应机理;反应有机化学及相关学科发展的新知识等。

参加本教材编写的有:河北农业大学王岳鸿(第一章、第二章、第三章、第十三章),苏州农业职业技术学院杨巍(第十章、第十一章、第十二章),河北农业大学钟尉方(前言、第四章、第六章),佳木斯大

学李进京（第九章、第十四章、第十五章），苏州农业职业技术学院黄洁琼（第七章、第八章），山东药品食品职业学院李彧（第五章），黑龙江八一农垦大学朱光怡（第十六章）。

在《有机化学》编写过程中曾得到许多同行的热心帮助和指导，在此深表谢意。此外，由于编写人员业务水平有限，书中内容难免有不妥之处，敬请读者批评指正，更希望与我们进行探讨与交流。本书可作为农林、轻工、水产及综合院校食品营养与检测、食品加工、生物制药技术、生物技术等专业高职高专学生的教材或参考用书。

编 者

2012 年 8 月 15 日

目 录

• CONTENTS •

第一章 绪论	(1)
第一节 有机化学与有机化合物	(1)
第二节 有机化合物的结构	(3)
第三节 有机化合物的分类	(8)
第四节 有机化学中的酸碱理论	(11)
第五节 有机化合物的研究方法	(14)
习题	(14)
第二章 饱和烃	(16)
第一节 烷烃	(16)
第二节 环烷烃	(24)
习题	(30)
知识拓展 天然气水合物——封存在海底的潜在能源	(31)
第三章 烯烃、炔烃和二烯烃	(33)
第一节 单烯烃	(33)
第二节 炔烃	(41)
第三节 二烯烃	(46)
第四节 萜类化合物	(50)
习题	(53)
知识拓展 亲电加成反应机理	(54)

第四章 芳香烃	(57)
第一节 单环芳香烃	(57)
第二节 多环芳烃	(66)
第三节 非苯芳烃	(70)
习题	(71)
知识拓展 多环芳烃——可致癌的有机物	(72)
第五章 旋光异构	(74)
第一节 物质的旋光性	(74)
第二节 含手性碳原子化合物的旋光异构	(77)
第三节 外消旋体的拆分	(83)
习题	(84)
知识拓展 手性化合物	(86)
第六章 卤代烃	(87)
第一节 卤代烷	(87)
第二节 卤代烯烃和卤代芳烃	(97)
习题	(101)
知识拓展 塑料王——聚四氟乙烯	(103)
第七章 醇、酚、醚	(105)
第一节 醇	(105)
第二节 酚	(111)
第三节 醚	(114)
习题	(117)
知识拓展 植物多酚——天然的抗氧化剂	(118)
第八章 羰基化合物	(119)
第一节 醛和酮	(119)
第二节 醌	(125)
习题	(127)
知识拓展 绿色化学	(128)

第九章 羧酸、羧酸衍生物及取代酸	(130)
第一节 羧酸	(130)
第二节 羧酸衍生物	(135)
第三节 取代羧酸	(139)
习题	(141)
知识拓展 反式脂肪酸——可致癌的有机物	(142)
第十章 含氮有机化合物	(144)
第一节 胺	(144)
第二节 重氮化合物和偶氮化合物	(153)
第三节 其他含氮化合物	(155)
习题	(159)
知识拓展 褪黑激素	(161)
第十一章 含硫和含磷有机化合物	(162)
第一节 含硫有机化合物	(162)
第二节 含磷有机化合物	(165)
习题	(168)
知识拓展 牛磺酸	(168)
第十二章 杂环化合物和生物碱	(169)
第一节 杂环化合物	(169)
第二节 五元杂环化合物	(171)
第三节 六元杂环化合物	(173)
第四节 生物碱	(174)
习题	(177)
知识拓展 三聚氰胺	(178)
第十三章 脂类	(180)
第一节 油脂	(180)
第二节 类脂	(183)
第三节 甾体化合物	(185)

习题	(190)
知识拓展 表面活性剂	(191)
第十四章 碳水化合物	(194)
第一节 单糖	(194)
第二节 二糖	(199)
第三节 多糖	(200)
习题	(202)
知识拓展 壳聚糖	(202)
第十五章 蛋白质和核酸	(204)
第一节 氨基酸	(204)
第二节 蛋白质	(205)
第三节 核酸	(207)
习题	(209)
知识拓展 螺旋藻	(209)
第十六章 有机化学实验	(212)
实验一 重结晶与过滤	(212)
实验二 熔点的测定	(216)
实验三 溶剂的蒸馏和分馏实验	(218)
实验四 水蒸气蒸馏	(222)
实验五 折光率的测定	(225)
实验六 乙酸乙酯的制备	(228)
实验七 乙酰苯胺的制备	(230)
实验八 正溴丁烷的制备	(233)
实验九 从茶叶中提取咖啡因	(236)
实验十 菠菜色素的提取和分离	(238)
参考文献	(241)

第一章 绪 论

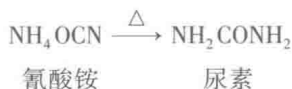
第一节 有机化学与有机化合物

一、有机化学和有机化合物的定义

人类对有机化合物(organic compound)的认识,最初主要基于实用的目的。例如,用谷物酿酒和食醋;从植物中提取染料、香料和药物等。到 18 世纪末,人们已经得到了一系列纯的化合物,例如酒石酸、柠檬酸、乳酸、苹果酸等。这些从动植物中得到的化合物具有许多共同的性质,但与当时源于矿物的化合物相比,则有明显的区别。由于受到生产力水平的限制,在 18 世纪末到 19 世纪初,人们曾认为这些化合物是受动植物有机体内的“生命力”影响而形成的,故其有别于从没有生命的矿物中得到的化合物。人们将前者称为有机化合物,后者称为无机化合物。

“生命力”学说曾一度阻碍了有机化学的发展,尤其是减缓了有机合成的前进步伐。

对“生命力”学说给予第一次沉重打击的是,1828 年德国年轻的化学家乌勒(Friedrich Wöhler, 1800 ~ 1882)首次用无机化合物氰酸铵合成了有机化合物尿素,这也是有机合成的开端。



尿素的人工合成,突破了无机化合物与有机化合物之间的绝对界限,不仅动摇了“生命力”学说的基础,开创了有机合成的道路,而且启迪了人们的哲学思想,有助于生命科学的发展。

德国化学家拜尔(Adolf von Baeyer, 1835 ~ 1917)与他人合作,于 1870 年首次合成了靛蓝。他由于对靛蓝及其衍生物的深入研究而荣获 1905 年诺贝尔化学奖。与此同时,人们又合成了大量的有机化合物。至此,“生命力”学说彻底破灭了。

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,而且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(C. Schorlemmer)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、有机化合物的特点

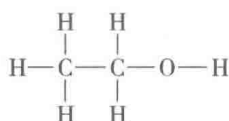
有机化合物在元素组成、结构及性质上与无机化合物有明显的不同,与无机化合物比较,有机化合物有如下特点。



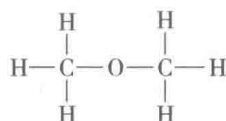
(一) 有机化合物的组成和结构上的特点

组成有机化合物的元素种类不多,碳和氢是主要的元素,此外还有氧、氮、硫、磷、卤素等。由于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,它与其他原子以共价键结合。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,又可形成双键和三键。因而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。

同分异构体:指具有相同分子式而结构不同的化合物。例如:乙醇和二甲醚的化学式都是 C_2H_6O 。在通常条件下,乙醇是液体,沸点(简写作 bp)为 $78.6^{\circ}C$;而二甲醚是气体,沸点为 $-23^{\circ}C$ 。显然,二者是不同的物质,乙醇和二甲醚互为同分异构体,这种现象称为同分异构现象(isomerism)。



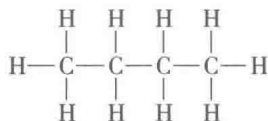
乙醇



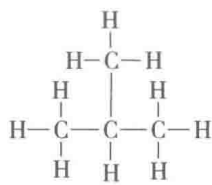
二甲醚

在有机化学中,将化合物分子中的原子相互连接的顺序和方式称**构造**,因此,乙醇和二甲醚的分子式相同,只是构造不同,人们将这种异构称为**构造异构**。构造异构是同分异构的一种,以后还会介绍其他类型的同分异构。

又如正丁烷(bp $-0.5^{\circ}C$)和异丁烷(bp $-11.7^{\circ}C$)的化学式均为 C_4H_{10} ,它们互为构造异构体,但是不同的物质。



正丁烷



异丁烷

显然,碳化合物含有的碳原子数和原子种类愈多,分子中原子间的可能排列方式也愈多,其同分异构体数目也愈多。例如,化学式为 $C_{10}H_{22}$ 的同分异构体数可达 75 个。

同分异构现象是造成有机化合物数量众多的原因之一,而同分异构现象在无机化合物中并不多见。

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。

(二) 有机化合物的特性

除上述组成和结构上有所区别外,大多数有机物与无机物在其性质上还有如下不同点:

1. 熔点、沸点低

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,有机

化合物熔化时,破坏晶格所需要的能量小,因而有机物熔点低,固体有机物的熔点一般在 400°C 以下。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. 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,符合于“相似相溶”的经验规律。

3. 易燃烧

绝大多数有机化合物可以燃烧,并碳化变黑,最终生成二氧化碳和水。例如,酒精、汽油、苯都易燃烧。但也有少数有机化合物难以燃烧。如四氯化碳不但不易燃烧而且可作灭火剂。

4. 反应速度慢,常伴有副反应的发生

有机物间的反应涉及共价键的断裂和新的共价键形成的过程,反应速度慢,常需采用加热、搅拌甚至催化剂等措施来加速反应。此外,由于大多数有机分子较复杂,在发生化学反应时,常常不是局限在某一特定部位,这就使反应结果较复杂。往往在主要反应的同时还伴随着一些副反应,使副产物较多,收率较低。因此,有机反应后常需采用蒸馏、重结晶等操作进行分离提纯。

第二节 有机化合物的结构

一、共价键的形成

在有机化合物分子中,原子与原子之间一般是以共价键的形式连接起来的。现代共价键理论包括价键理论(valence bond theory)和分子轨道理论(molecular orbital theory),下面主要介绍价键法。

(一) 价键法(价键理论)

价键法把键的形成看作是原子轨道的重叠或电子配对的结果。原子在未化合前所含的未成对电子如果自旋反平行,则可两两偶合构成电子对,每一对电子的偶合就生成一个共价键,所以价键法又称电子配对法。

(二) 共价键的主要特性

(1) 形成共价键的两个电子必须自旋反平行($\uparrow\downarrow$)。

(2) 共价键有饱和性:元素原子的共价键数等于该原子的未成对电子数。如果一个原子的未成对电子已经配对,它就不能再与其他原子的未成对电子配对。例如,氢原子的 $1s$ 电子与一个氯原子的 $3p$ 电子配对形成 HCl 分子后,就不能再与第二个氯原子结合成 HCl_2 。

(3) 共价键有方向性:原子轨道重叠成键时,轨道重叠越多,形成的键越强,即最大重叠原理。因此,成键的两个原子轨道必须按一定方向重叠,以满足两个轨道最大程度的重叠,形成稳定的共价键。例如:在形成 $\text{H}-\text{Cl}$ 时,只有氢原子的 $1s$ 轨道沿着氯原子的 $3p$ 轨道对称轴的方向重叠,才能达到最大重叠而形成稳定的键,如图 1-1 所示。这就是共价键的方向性。

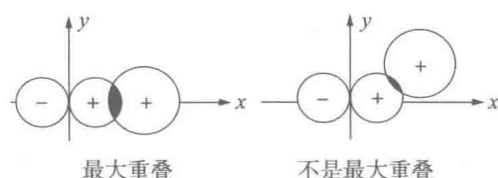


图 1-1 s 轨道和 p 轨道的重叠

二、共价键参数

有机化合物中最常见的是共价键,下面就共价键的一些基本特性(如键长、键角、键能等)作一些介绍。这些特性对进一步了解有机化合物的结构和各种性质是很有益的。

(一) 键长

以共价键相结合的两个原子核间的距离称为**键长(bond length)**。相同的共价键在不同的分子中,其键长会稍有不同。因为成键的两个原子在分子中不是孤立的,它们要受到分子中其他原子的影响。

化学键的键长是考察化学键的稳定性的指标之一。一般来说,键长越长,越容易受到外界的影响而发生极化。

现在已可应用 X 射线衍射法、电子衍射法等物理方法测定各种键的键长。表 1-1 列出了一些常见共价键的键长。

表 1-1 一些常见共价键的键长

键	键长/nm	键	键长/nm
H—H	0.074	N—H	0.104
N—N	0.145	O—H	0.096
C—C	0.154	H—Cl	0.126
C—H	0.109	C=C	0.133
C—F	0.140	N=N	0.123
C—Cl	0.177	C=N	0.128
C—Br	0.191	C=O	0.120
C—I	0.212	C≡C	0.121
C—N	0.147	C≡N	0.116
C—O	0.143	N≡N	0.110

(二) 键角

当一个两价或两价以上的原子与其他原子形成共价键时,每两个共价键之间的夹角称为**键角(bond angle)**。例如,前面提到的甲烷分子中,每两个 C—H 键之间的夹角为 $109^{\circ}28'$ 。乙