

内 容 简 介

本书共十五章，包含三部分内容。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、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、核磁共振谱、质谱与有机化合物结构的关系。章节次序基本上以官能团系统编排。

本书的深广度基本上符合面向 21 世纪课程教材有机化学教学研讨会所拟定的教学大纲的要求。内容上注意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。本书除可作为高等农业院校有机化学教学用书外，也可供高等林业院校及生物类有关专业教学参考。

面向 21 世纪课程教材

有 机 化 学

叶孟兆 主编

中 国 农 业 出 版 社

主 编 叶孟兆 (浙江大学)
编 者 叶孟兆 (浙江大学)
司宗兴 (中国农业大学)
孙景琦 (内蒙古农业大学)
徐伟亮 (浙江大学)
何庭玉 (华南农业大学)
主 审 张永敏

前 言

本书是农业部中华科教基金资助项目中的农业部重点教材，也是经全国高等农业院校教学指导委员会审定出版的“九五”规划教材。

该书是在施亚夫教授主编的全国高等农业院校教材《有机化学》(1990年，农业出版社)的基础上重新编写的。在内容和结构上作了较大的变动，主要的变动是：把绪言并入结构和性质这一章；把旋光异构现象提到卤代烃之前，把反应过程中的立体化学分散在各有关章节中讲述；书后不附习题答案。

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的研究成果，以及近年来有机化学学科的新发展编写而成的。在编写中，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，也就是紧紧抓住结构和性能关系的这个纲，把有机化学的基本理论知识系统地阐述清楚、讲深、讲透。并较好地解决了基础有机化学与后续课程的衔接问题。全书共十五章，包含三部分内容。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、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、核磁共振谱、质谱与有机化合物结构的关系。

在本次编写中，编写组的成员有较大的变动。由浙江大学叶孟兆教授担任主编(编写1~4、15共5章及全书的统稿)，编者有：中国农业大学司宗兴教授(编写10、11、14章)，内蒙古农业大学孙景琦副教授(编写7、8、9章)，浙江大学徐伟亮副教授

(编写 5、6 章)，华南农业大学何庭玉副教授（编写 12、13 章）。此外浙江大学的傅春玲副教授参加了习题的收集与整理工作。

在本次编写过程中，我们尽了自己的最大努力，但限于水平，书中一定还会有错误或不当之处。我们恳切希望使用本书的同行和读者们提出批评和指正。

在编写过程中，承蒙有关兄弟院校和有机化学教研室的老师们的大力支持。特别是浙江大学的张永敏教授仔细审校了全稿，谨在此表示衷心的感谢！

编 者

1999 年 5 月

目 录

前言

第一章 结构与性质	1
第一节 有机化学	1
一、有机化合物和有机化学	1
二、有机化学与农业科学	2
三、有机化合物的特性	2
四、有机化学的研究方法	3
第二节 有机化合物的结构	5
一、共价键	5
二、有机化合物中的共价键	8
三、有机分子的构造和构型	13
四、有机化合物的分类	15
第三节 有机化合物的性质	16
一、物理性质	17
二、化学性质	21
三、有机化学中的酸碱概念	23
习题	25
第二章 饱和脂肪烃	28
第一节 烷烃	28
一、烷烃的结构	28
二、烷烃的命名	29
三、烷烃的构象	31
四、烷烃的物理性质	33
五、烷烃的化学性质	34
六、自由基取代反应	36
七、天然烷烃	38
第二节 环烷烃	39
一、环烷烃的分类和命名	39
二、环烷烃的物理性质	41

三、环烷烃的化学性质	42
四、环烷烃的张力和稳定性	43
五、环烷烃的构象	45
六、构象分析	47
习题	48
第三章 不饱和脂肪烃	51
第一节 单烯烃	51
一、烯烃的结构和命名	51
二、顺反异构现象	52
三、烯烃的物理性质	55
四、烯烃的化学性质	55
五、亲电加成反应机理	60
六、诱导效应	61
七、重要的烯烃——乙烯、丙烯和丁烯	63
第二节 炔烃	63
一、炔烃的结构和命名	63
二、炔烃的性质	64
三、乙炔	66
第三节 二烯烃	67
一、二烯烃的分类	67
二、共轭体系和共轭效应	67
三、共轭二烯烃的化学性质	72
第四节 萜烯和萜类化合物	74
一、异戊二烯和萜	74
二、萜类化合物选述	74
三、橡胶	77
习题	78
第四章 芳香烃	82
第一节 单环芳烃	82
一、苯的结构	82
二、单环芳烃的异构和命名	87
三、单环芳烃的物理性质	88
四、单环芳烃的化学性质	88
五、芳烃的亲电取代反应	91
六、芳烃的亲电取代反应的取代基效应	93
七、苯、甲苯、二甲苯	97

第二节 其他芳烃	98
一、稠环芳烃	98
二、非苯芳烃	101
习题	103
第五章 旋光异构	107
第一节 旋光性和比旋光度	107
第二节 手性分子和旋光异构体	108
一、对称性和手性	108
二、对映体	109
三、手性分子和手性因素	109
第三节 构型的确定和构型的表示方法	111
一、费雪尔 (Fisher) 投影式	111
二、相对构型和 D、L 表示法	111
三、绝对构型和 R、S 表示法	112
四、构型和旋光性的关系	113
第四节 旋光异构体的数目和内消旋体	114
一、含两个不同手性碳原子的化合物的旋光异构体	114
二、含两个相同手性碳原子的化合物的旋光异构体	114
第五节 外消旋体的拆分	115
第六节 烯烃亲电加成反应的立体化学	116
习题	118
第六章 卤代烃	121
第一节 卤代烷	121
一、卤代烷结构和命名	121
二、卤代烷的物理性质	122
三、卤代烷的化学性质	123
四、亲核取代反应	125
五、消除反应	127
六、亲核取代反应中的立体化学	129
七、消除反应中的立体化学	130
第二节 卤代烯烃和卤代芳烃	132
一、卤代烯烃和卤代芳烃的分类	132
二、乙烯基型和芳基型卤代烃	132
三、烯丙基型和苄基型卤代烃	133
四、个别重要化合物举例	133
习题	134

第七章 醇、酚、醚	137
第一节 醇	137
一、醇的结构和命名	137
二、醇的物理性质	138
三、醇的化学性质	139
四、重要化合物	143
第二节 酚	145
一、酚的结构和命名	145
二、酚的物理性质	146
三、酚的化学性质	146
四、重要化合物	149
第三节 醚	150
一、醚的结构和命名	150
二、醚的物理性质	151
三、醚的化学性质	151
四、环醚和冠醚	152
第四节 含硫化合物	154
一、硫醇和硫酚	154
二、硫醚	156
习题	156
第八章 醛、酮、醌	159
第一节 醛和酮	159
一、醛、酮的结构和命名	159
二、醛、酮的物理性质	160
三、醛、酮的化学性质	161
四、亲核加成反应	167
五、重要化合物	170
第二节 醌	172
一、醌的结构和命名	172
二、醌的物理性质	172
三、醌的化学性质	173
四、重要化合物	174
习题	175
第九章 羧酸及其衍生物和取代酸	177
第一节 羧酸	177
一、羧酸的结构和命名	177

二、羧酸的物理性质	178
三、羧酸的化学性质	179
四、重要化合物	183
第二节 羧酸衍生物	185
一、羧酸衍生物的结构和命名	185
二、羧酸衍生物的物理性质	186
三、羧酸衍生物的化学性质	187
四、酯化和酯水解的反应历程	189
五、重要化合物	191
第三节 取代酸	193
一、羟基酸	193
二、重要羟基酸	195
三、羧基酸	198
四、重要羧基酸	199
五、互变异构现象	200
习题	201
第十章 含氮和含磷化合物	204
第一节 胺	204
一、胺的结构、分类和命名	204
二、胺的物理性质	205
三、胺的化学性质	207
四、重要化合物	210
第二节 酰胺	210
一、酰胺的结构和命名	210
二、酰胺的物理性质	211
三、酰胺的化学性质	212
四、碳酸酰胺	212
五、苯磺酰胺和苯磺酰脲	213
第三节 其他含氮化合物	214
一、硝基化合物	214
二、重氮盐和偶氮化合物	215
三、腈和异腈	216
第四节 含磷有机化合物	217
一、磷酸和磷酸酯	217
二、磷酸酯及硫代磷酸酯	218
习题	220

第十一章 杂环化合物和生物碱	222
第一节 杂环化合物	222
一、杂环化合物的分类和命名	222
二、杂环化合物的结构	223
三、杂环化合物的性质	224
四、重要杂环化合物	225
第二节 生物碱	230
一、生物碱概述	230
二、生物碱选述	230
习题	232
第十二章 油脂和类脂	234
第一节 油脂	234
一、油脂的组成和结构	234
二、油脂的性质	236
三、肥皂和表面活性剂	239
第二节 类脂	242
一、蜡	242
二、磷脂	243
三、甾体化合物	245
习题	248
第十三章 碳水化合物	250
第一节 单糖	251
一、单糖的结构	251
二、单糖的性质	257
三、重要的单糖及其衍生物	265
第二节 低聚糖	267
一、还原性二糖	267
二、非还原性二糖	269
三、环糊精	270
第三节 多糖	271
一、淀粉	271
二、糖原	273
三、纤维素	274
四、其他多糖	275
习题	278
第十四章 氨基酸、蛋白质和核酸	281

第一节 氨基酸	281
一、组成蛋白质的氨基酸	281
二、氨基酸的物理性质	283
三、氨基酸的化学性质	284
第二节 蛋白质	287
一、蛋白质的结构	287
二、蛋白质的性质	290
三、蛋白质的分类	291
第三节 核酸	292
一、核酸的组成	292
二、核酸的结构	294
习题	297
第十五章 波谱基础	298
第一节 分子结构和光的吸收	298
第二节 紫外—可见光谱 (UV)	300
一、紫外光谱基本原理	300
二、有机化合物的紫外光谱与分子结构的关系	302
三、紫外光谱的应用	303
第三节 红外光谱 (IR)	304
一、基本原理	304
二、特征吸收峰	306
三、红外光谱的应用	307
第四节 核磁共振谱	310
一、基本原理	310
二、化学位移	312
三、质子的计算	314
四、自旋——自旋偶合和自旋裂分	315
第五节 质谱	316
习题	319
参考资料	321

第一章

结构与性质

第一节 有机化学

一、有机化合物和有机化学

有机化学是化学的一个分支，是研究有机化合物的化学。

“有机”这个名称来源于化合物的分类，18世纪末，人们把化合物分为无机物和有机物两类。无机物是从矿物中得到的化合物；有机物是从动植物，亦即生物体所产生的物质中得到的化合物。直到19世纪初，许多化学家还认为有机物只能在生物体中，于“生命力”的存在下制造得到，而不可能由无机物合成。

1828年德国化学家武勒（F. Wöhler）首先发现：可由公认的无机物氰酸铵（ NH_4OCN ）在实验室中制得原来只能从人体排泄物尿中取得的有机化合物尿素（ H_2NCONH_2 ）。以后许多化学家在实验室中用简单的无机物为原料，合成了许多其他有机化合物。从此，化学家们摒弃了不科学的生命力学说的束缚，加强了有机化合物的人工合成研究，促进了有机化学学科的发展。有机化合物的数目也迅速增加，已知由合成或分离方法获得、并已确定结构的有机化合物在400万种以上，且每年又有数以千计的新有机化合物出现。

有机化合物的主要特征是它们都含有碳元素，即都是碳的化合物。绝大多数的有机化合物除含碳外，一般都含有氢，还含有氧、氮、卤素、硫、磷等少数元素。从结构上看，有机化合物可以看成是碳氢化合物以及由碳氢化合物衍生出来的化合物，即有机化合物是碳氢化合物及其衍生物。有机化学就是研究碳氢化合物及其衍生物的化学。这个提法体现了所有有机化合物在结构上的相互联系，是较为科学的定义。从历史遗留下来的“有机”这个名称，现在虽仍在采用，但它的含义已经发生了变化。

二、有机化学与农业科学

有机化合物遍布自然界，人们的衣、食、住、行都和有机化合物密切相关。人体及一切生物体中存在的蛋白质、核酸等都是有机物。有机化学的发展历史也是人类认识自然、征服自然的历史。从由生物体中分离有机物开始，到今天可以合成许多极为复杂的有机物，都是随着人们对有机物分子结构的逐步深入了解和有机化学学科的发展而实现的。

农业科学研究的对象是生物。在农业生产中，为了使动、植物朝着人们所期望的方向发展，就必须掌握动植物生长发育规律，了解各种有机物在生物体内的合成、转化、分解等过程。只有在对有机物的一些典型结构、性质和变化规律有了认识之后，才能深入了解生物体中的这些生理生化过程，掌握和控制动植物的生长发育动向。在农业科学研究和农产品的综合利用中，人们经常要对生物体内的某些有机物进行提取、分离和检测。如果不知道这些有机物的基本结构和性质，就不能很好地理解和掌握分离、检测技术，更不可能创造新的分离、检测方法和某些农副产品的新用途。

有机合成产品正越来越广泛地应用于农业生产。合成的有机杀虫剂、杀菌剂、除草剂和植物生长调节剂在农业生产中发挥了不小的作用，其他如兽用药物、医疗器材、饲料中的各种添加剂，还有农用塑料薄膜、塑料农具、燃料和润滑油等农用化学品的广泛应用。只有了解这些化学品的组成、结构、理化性质和生理功能等，人们才能安全、合理、有效地使用它们。

展望未来，世界农业发展趋势是由传统农业向现代农业转变，农业科学技术将向深度和广度发展，现代生物技术将在农业生产中占主导地位，这就要求农业科学工作者要有更为扎实的基础理论知识。

因此，在学习农业科学知识之前，先掌握和熟悉一些有机化学基本原理、基本技能和一些典型有机化合物的结构和性质是十分必要的。有机化学是农业科学的重要基础课程之一。

三、有机化合物的特性

有机化学之所以从化学中分出来，成为一门独立的学科，除了数目和种类繁多外，主要是由于有机化合物在结构和性质上具有与无机化合物不同的特点。

有机化合物是碳氢化合物及其衍生物。它们都含有碳原子。碳处于周期

表第Ⅳ族，原子半径较小，价电子比较多，碳原子之间的结合能力比其他元素的原子要强得多。碳原子之间可以单键、双键或叁键互相结合成链状的、环状的、有分支的等各种各样从简单到复杂的结构，而且结构稍有不同，即使组成不变，也是具有不同性质的另一化合物。这就是有机化合物中普遍存在的同分异构现象。结构复杂，同分异构现象普遍存在是有机化合物数目和种类繁多的重要原因之一。

碳原子有4个价电子，要失去4个电子或得到4个电子使之形成惰性气体的稳定电子构型（八偶体），在通常情况下是不可能的。因此，在有机分子中，碳原子与碳原子之间、碳原子与其他元素的原子之间只能通过电子的共享即以共价键相结合。有机化合物基本上是共价化合物。

有机化合物原子间以共价键结合，结构比较复杂，同分异构现象普遍，这些结构上的特点就使有机化合物既与无机化合物遵循同样的物理和化学规律，又表现出有机化合物的特有性质。与无机化合物，特别是与无机盐类相比，有机化合物具有如下的特性：

(1) 有机化合物是共价化合物，分子间主要靠以色散力为主的分子间力相联系，分子间的作用力较小。因此，许多有机化合物在常温条件下是气体、液体，常温下是固体的有机物，它们的熔点也较低，熔点超过300℃的有机物很少。

(2) 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而易溶于有机溶剂。

(3) 大多数有机物能燃烧，生成水和二氧化碳，燃烧后没有或极少有留下灰分。

(4) 一般有机化合物热稳定性较差，受热易分解，许多有机化合物在200~300℃时即逐渐分解。

(5) 有机化合物的化学反应多数不是离子反应，因而反应速度较慢。往往须用光照、加热或使用催化剂以加速反应。

有机化合物结构比较复杂，反应往往不是单一的，反应物间常可同时发生不同反应，得到几种产物。一般把在某一特定条件下主要进行的反应叫主反应，其他反应叫副反应。选择合适的条件，减少副反应，提高主反应产物的产量是有机化学家的一项重要任务。

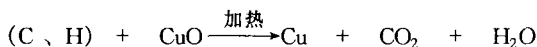
四、有机化学的研究方法

有机化合物的性质取决于有机化合物的结构。研究有机化合物（不管是

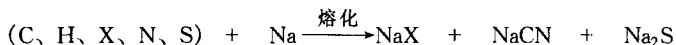
来自生物体的天然有机物还是人工合成的有机物), 首先必须研究它的结构。一般从下列几点着手研究:

(一) **提取、分离和纯化** 研究某一有机物, 首先必须把它从样本(生物材料或反应混合物)中提取出来。最常用的方法是用适当的溶剂提取。这样得到的化合物是不纯的, 需进行分离、纯化。分离纯化的方法很多, 如蒸馏、重结晶、萃取、升华、吸附、透析等, 可根据研究对象选择合适的方法。但是必须保证在操作过程中目的化合物不受破坏或发生变化。色谱法是现代广泛应用的分离纯化手段, 它具有快速、简便、灵敏、可靠等优点, 并可用于微量物质的分离。分离纯化后的物质, 通过测定沸点、熔点等物理常数, 可以鉴定物质的纯度。

(二) **元素定性分析** 化合物中碳和氢的存在可由燃烧法检定: 让化合物与氧化铜一起加热, 使碳转变为二氧化碳, 氢转变为水。



以共价键结合的卤、氮、硫等元素, 用钠熔法把它们转变为无机离子再作分析。



化合物中的氧没有简单的化学检定法, 它的存在与否, 将由定量分析确定。

(三) **元素定量分析** 碳、氢是通过燃烧法来定量的, 将一定量的有机物样品通过一系列燃烧管: 先是装有氧化铜的管子, 加热到 600~800℃, 其后是装有干燥剂(通常是高氯酸镁)的管子和装有强碱(通常是碱石棉, 即附着在石棉上的氢氧化钠)的管子, 生成的水被干燥剂吸收, 二氧化碳被碱吸收。从每根管子重量的增加便可知道碳、氢的含量。如同定性分析一样, 在定量分析中, 必须把通过共价键结合的卤素、氮、硫等元素转变为无机离子后再定量。氧的百分含量常用 100% 减去其他所有元素的百分含量求得。

(四) **分子量的测定** 化合物的分子量可用经典的冰点下降法、沸点上升法等测定。但现在几乎都用质谱法测定, 它能给出正确的数值。测出元素的百分含量和分子量, 便容易求得分子式了。

知道了分子式和一些准确的物理常数后, 通常先从有关文献查找它可能是哪一种已知化合物, 并用适当方法予以确证。如果化合物是未知的, 那么就必须进一步试验它的许多化学性质, 进行官能团的定性定量分析, 以确定它的结构。简单有机物结构常常可以根据它的化学性质和结构理论作出大致的估计, 再用合成法确证。复杂的有机物结构的测定是非常麻烦的, 在现代

物理技术发明之前，常常要成年累月地耗费劳动。例如吗啡，1803年就分离出纯品，但直到1925年才确定其结构，1952年才完成它的合成，共经历了150年。现代波谱技术和其他新的物理技术的应用，使有机物结构的研究工作大为简化。

第二节 有机化合物的结构

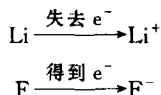
一、共价键

研究化合物的结构必须从化学键开始，化学键是分子中将原子结合在一起的力。

1916年，提出了两种化学键：柯塞尔（Kossel）的离子键和路易斯（Lewis）的共价键。他们都是基于如下的原子概念提出来的。

在一个带正电荷的原子核周围，围拢着排列在各个同心壳层即不同能级的电子。每一壳层能容纳的电子数目有一个最大值：第一层2个、第二层8个、第三层8或18个等。当外层填满时，就像惰性气体那样，原子最稳定。离子键和共价键都是由于原子要达到这个稳定的电子构型而形成的。

离子键是通过电子转移而形成的。例如氟化锂的形成，一个锂原子在它的内层有2个电子，外层（价电子层）有1个电子。失去1个电子就使锂具有一个2个电子的饱和外层。一个氟原子在它的内层有2个电子，在价电子层上有7个电子，得到1个电子就使氟具有一个8个电子的饱和外层。氟化锂是通过锂转移1个电子给氟而形成的。电子转移的结果，使锂带1个正电荷，氟带1个负电荷。带相反电荷的离子间的静电吸引力称为离子键。



共价键是通过电子的共享而形成的。例如氢分子的生成，每个氢原子各有1个电子，通过共享1对电子，两个氢原子都能完成它们的2个电子的电子层。两个氟原子的价电子层都是7个电子，通过共享1对电子就可完成它们的八偶体结构。我们可以按同样方式设想 CH_4 、 CCl_4 的形成，这里的键合力同样也是静电吸引力，但这里是指共享的电子对及其之间吸引力。

