



全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教学指导委员会审定

有机化学

李楠 主编



中国农业出版社

全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教学指导委员会审定

有 机 化 学

李 楠 主编

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

有机化学 / 李楠主编. —北京: 中国农业出版社,
2003. 2

全国高等农业院校教材

ISBN 7-109-08085-4

I. 有... II. 李... 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 (2003) 第 000172 号

中国农业出版社出版

京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 郭元建

北京市密云县印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 23.75

字数: 423 千字

定价: 31.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 李 楠

副主编 张曙生

参 编 金淑惠 侯士聪 董燕红 刘吉平

主 审 王道全

前 言

本教材是为农林院校非化学专业学生学习基础化学而编写的。农业院校的大多数专业，例如农学、园艺、植保、动物科学、动物医学、食品科学、环境工程等专业的学生，在学习过普通化学以后，可以使用本教材进行有机化学的课程学习。

编者们在研讨教材结构框架时认为：有了普通化学课程的基础，有机化学的结构理论和立体异构概念可以在课程的早期与学生见面，学生可以接受，这在多年实践中已得到肯定。因此，本教材编写时，在简单的概论之后设了“有机化学分子结构理论”（第二章），该章之后即是“有机化合物的立体异构”（第三章）。这两章内容将有机化合物的三维形象和共价键在化学反应中的变化在课程的开始阶段介绍给学生，便于学生理解后面各章中与分子空间结构有关的内容，也有利于编写者在以后各章中能够充分利用前面已介绍过的结构理论和立体化学概念阐述反应机理和反应过程中的立体化学问题。同时，也有利于编写者运用上述两章的内容阐述某些化合物因空间结构原因形成的物理与化学特性。

本教材在部分章节中增加了阅读内容，段落前标有“*”者即为阅读部分。教师在授课时可酌情介绍，引导学生通过进一步查阅文献和阅读参考书，加深对这些内容的认识和理解。这些内容的编入，在一定范围里使学生增加了基础有机化学的知识，也可提高学生的学习兴趣。

每章后设有重要化合物一节，介绍在日常生活中、工农业生产和人类生命健康中占有重要地位的有机化合物，使读者认识到有机化合物与社会生活的密切关系。

全书主要内容选择基本按照农林院校统一制订的基础有机化学教学大纲的要求，个别章节稍有增减。

参加本教材编写工作的都是有着多年教学工作经验的教师，在编写过程中都注入了热情和大量精力。全书共分十六章，第一、三、十三、十五章由李楠

完成；第二、八、九章由张曙生完成；第四、五、六章由金淑惠完成；第十、十六章由侯士聪完成；第七、十二、十四章由董燕红完成；第十一章由刘吉平完成。全书由王道全教授主审，王先生提出了很多宝贵的意见，按照他的意见修改后，使本教材得以完善。

编者

2002年12月



目 录

前言

第一章 有机化学概述	1
1.1 概述	1
1.2 有机化合物分子的表达式	3
1.3 有机化合物的分类	4
1.3.1 按碳骨架分类	4
1.3.2 按官能团分类	5
习题	6
第二章 有机化合物的分子结构基础	7
2.1 共价键理论与有机物的分子结构	7
2.1.1 有机物分子中的碳原子	7
2.1.2 有机物的分子中的共价键与分子结构	8
2.2 有机化合物的一般特征	17
2.2.1 有机物的分子结构特征	17
2.2.2 有机物的化学反应特征	17
2.3 有机化合物的酸碱概念	19
2.3.1 质子酸碱	19
2.3.2 电子酸碱	19
习题	20
第三章 有机化合物分子的立体异构	22
3.1 分子的构象	22
3.1.1 链状烷烃的构象	22
3.1.2 环状烷烃的构象	24

3.2 分子的构型	26
3.2.1 手征性和手性分子	27
3.2.2 平面偏振光和旋光活性	28
3.2.3 分子的对称性和手征性	30
3.2.4 费歇尔(Fischer)投影式与手性碳原子的构型标记法	31
3.2.5 含有两个不同手性碳原子的化合物	33
3.2.6 含有两个相同于手性碳原子的化合物	34
3.2.7 其他手性分子	35
3.2.8 环状化合物的立体异构	36
* 3.2.9 不对称合成	36
* 3.2.10 外消旋体的拆分	37
习题	38
第四章 饱和脂肪烃	41
4.1 烷烃	41
4.1.1 烷烃的同系列及同分异构现象	41
4.1.2 烷烃的命名	42
4.1.3 烷烃的物理性质	45
4.1.4 烷烃的化学性质	47
* 4.1.5 卤代反应的立体化学	51
4.1.6 自然界的烷烃	53
4.2 环烷烃	54
4.2.1 环烷烃分类和命名	54
4.2.2 环烷烃的物理性质	56
4.2.3 环烷烃的化学性质	57
* 4.2.4 环烷烃的结构和稳定性	58
4.2.5 取代环己烷的结构	60
* 4.2.6 十氢化萘的构型与构象	61
习题	62
第五章 不饱和脂肪烃	65
5.1 烯烃	65
5.1.1 烯烃的异构现象	65
5.1.2 烯烃的命名	66
5.1.3 烯烃的物理性质	68
5.1.4 烯烃的化学性质	69

5.2 炔烃和二烯烃	81
5.2.1 炔烃	81
5.2.2 共轭二烯	86
* 5.2.3 萜类化合物	91
习题	96
第六章 芳香烃	101
6.1 单环芳烃	102
6.1.1 苯的结构	102
6.1.2 单环芳烃的命名	103
6.1.3 单环芳烃的物理性质	104
6.1.4 单环芳烃化学性质	105
6.1.5 取代反应的定位规律及其应用	112
6.2 多环芳烃	117
6.2.1 联苯	117
6.2.2 多苯代脂烃	117
6.2.3 稠环芳烃	118
* 6.3 非苯芳烃	122
6.3.1 环丙烯正离子	123
6.3.2 环戊二烯负离子	123
6.3.3 萘	123
6.3.4 轮烯	124
习题	125
第七章 卤代烃	129
7.1 卤代烃的分类和命名	129
7.1.1 分类	129
7.1.2 系统命名法	130
7.2 卤代烃的性质	130
7.2.1 物理性质	130
7.2.2 化学性质	132
7.2.3 亲核取代反应机理	136
7.2.4 消除反应机理	139
7.3 卤原子的活泼性和卤代烃结构的关系	141
7.4 常见的卤代烃	143
习题	144

第八章 醇、酚、醚	147
8.1 醇	147
8.1.1 醇的分类和命名	147
8.1.2 醇的分子结构特征	148
8.1.3 醇的物理性质	149
8.1.4 醇的化学性质	150
8.1.5 一些重要的醇	156
8.2 酚	159
8.2.1 酚的分类和命名	159
8.2.2 苯酚的分子结构特征	159
8.2.3 酚的物理性质	160
8.2.4 酚的化学性质	161
8.2.5 一些常见的酚	164
8.3 醚	165
8.3.1 醚的分类和命名	165
8.3.2 醚的分子结构特征	165
8.3.3 醚的物理性质	166
8.3.4 醚的化学性质	166
8.3.5 环醚	167
* 8.3.6 冠醚	169
习题	170
第九章 醛、酮、醌	174
9.1 醛和酮	174
9.1.1 醛、酮的分类与命名	174
9.1.2 醛、酮的分子结构特征	176
9.1.3 醛、酮的物理性质	177
9.1.4 醛、酮的化学性质	178
9.1.5 一些重要的醛、酮	192
9.2 醌	193
9.2.1 醌的分子结构特征	193
9.2.2 醌的化学性质	194
9.2.3 一些重要的醌	195
习题	196

第十章 羧酸及其衍生物	201
10.1 羧酸	201
10.1.1 羧酸的分类与命名	202
10.1.2 羧酸的物理性质	202
10.1.3 羧酸的化学性质	204
10.1.4 几种常见的羧酸	210
10.2 羧酸的衍生物	213
10.2.1 羧酸衍生物的命名	213
10.2.2 羧酸衍生物的物理性质	214
10.2.3 羧酸衍生物的化学性质	215
10.3 碳酸衍生物	219
10.3.1 光气	219
10.3.2 尿素	220
* 10.3.3 氨基甲酸酯类化合物	221
10.4 油脂、蜡和磷脂	222
10.4.1 油脂	222
10.4.2 蜡	226
10.4.3 磷脂	227
* 10.5 肥皂及合成表面活性剂	228
10.5.1 肥皂的组成和乳化作用	228
10.5.2 合成表面活性剂举例	229
10.6 取代酸	230
10.6.1 取代酸的命名	230
10.6.2 卤代酸的性质	231
10.6.3 羟基酸的性质	231
10.6.4 羧基酸的性质	234
10.6.5 乙酰乙酸乙酯	235
10.6.6 乙酰乙酸乙酯及丙二酸二乙酯在有机合成上的应用	237
10.6.7 取代酸的重要代表物	239
习题	241
第十一章 含氮化合物	246
11.1 硝基化合物	247
11.1.1 硝基化合物的分类与命名	247
11.1.2 硝基化合物的分子结构	247

11.1.3 硝基化合物的物理性质	248
11.1.4 硝基化合物的化学性质	248
11.2 胺	249
11.2.1 胺的分类与命名	250
11.2.2 胺的分子结构	251
11.2.3 胺的物理性质	252
11.2.4 胺的化学性质	253
11.2.5 胺的代表化合物	258
11.3 重氮盐与偶氮化合物	259
11.3.1 重氮盐的性质及应用	259
11.3.2 偶氮染料	262
习题	263
第十二章 有机硫和有机磷化合物	266
12.1 有机硫化合物	266
12.1.1 有机硫化合物的分类	266
12.1.2 有机硫化合物的命名	267
12.1.3 硫醇和硫酚	268
12.1.4 硫醚和砜	270
12.1.5 磺酸	270
12.1.6 磺胺衍生物	271
12.1.7 常见的有机硫化合物	272
12.2 有机磷化合物	274
12.2.1 有机磷化合物的分类和命名	275
12.2.2 常见的有机磷化合物	276
习题	278
第十三章 杂环化合物与生物碱	279
13.1 杂环化合物	279
13.1.1 杂环化合物的分类与命名	279
13.1.2 五员杂环化合物	280
13.1.3 六员杂环化合物	284
13.2 其他重要杂环化合物	286
13.2.1 吡咯衍生物	286
13.2.2 呋喃衍生物	288
13.2.3 吡啶衍生物	288

13.2.4 嘧啶衍生物	289
13.2.5 嘌呤衍生物	289
13.2.6 苯并吡喃衍生物	290
13.3 生物碱	291
13.3.1 吗啡、可待因碱	291
13.3.2 颠茄生物碱	291
13.3.3 麻黄碱	291
13.3.4 可可碱、茶碱和咖啡碱	292
13.3.5 小蘗碱	292
13.3.6 秋水仙碱	292
习题	293
第十四章 碳水化合物	296
14.1 单糖	297
14.1.1 单糖的结构	297
14.1.2 单糖的性质	303
14.1.3 重要的单糖及其衍生物	309
14.2 寡糖	311
14.2.1 还原性二糖	311
14.2.2 非还原性二糖	313
* 14.2.3 环糊精	314
14.3 多糖	314
14.3.1 淀粉	315
14.3.2 糖原	316
14.3.3 纤维素	317
习题	318
第十五章 蛋白质及核酸	321
15.1 氨基酸	321
15.1.1 氨基酸结构、分类与命名	321
15.1.2 氨基酸的物理性质	324
15.1.3 氨基酸的化学性质	324
15.1.4 个别氨基酸	328
15.2 多肽与蛋白质	328
15.2.1 多肽的结构与命名	328
15.2.2 蛋白质的结构	329

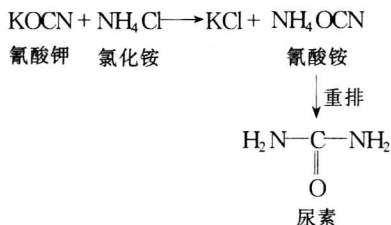
15.2.3 蛋白质的理化性质	332
* 15.3 核酸	333
15.3.1 核酸的组成和分类	333
15.3.2 核酸的结构	334
15.3.3 核酸的生物功能	338
习题	339
第十六章 有机化合物波谱知识简介	342
16.1 红外光谱	343
16.2 紫外光谱	348
16.3 核磁共振谱	351
16.3.1 基本原理	351
16.3.2 化学位移	352
16.3.3 自旋偶合与裂分	354
16.4 质谱	357
习题	360
参考文献	362

第一章

有机化学概述

1.1 概述

在17世纪，法国化学家 Nicolas Lemery 根据物质最初的来源将它们分为动物的、植物的和矿物的三类。这可以看成是通过不同来源将化合物分类的最初尝试。此后，“有机物”这个词被用于描述那些从有生命的物体中得到的化学物质，而从没有生命的物体中得到的物质也就被称为“无机物”。当时普遍认为，有机化合物只能通过生命体中神秘的生命力来进行合成。但是，有些科学家对这一在当时占统治地位的理论抱有怀疑。他们做了大量实验，试图利用无机化合物在实验室中合成有机化合物。最初是在1828年，一个偶然的化学反应制备出实验室中产生的第一个有机化合物。这一实验结果给了“生命力论”致命的打击。德国哥廷根大学的化学教授 Friedrich Wöhler 在实验室中，试图通过加热氰酸钾和氯化铵两种无机盐的混合物，制备氰酸铵。出乎意料的是，他制得的物质是众所周知的有机化合物——尿素。尿素是动物排泄物中的重要成分。



跟随着 Wöhler 的发现，其他许多有机化合物也由无机化合物开始在实验室中被陆续合成出来。到了19世纪中期，人工合成了许多有机化合物。此后，将从生物体中提取获得的和在实验室中人工合成的，在化学结构和物理、化学性质上有着共同特点的这一类物质都称为有机化合物。1850年，“生命力”理论被彻底否定。

随着人类发现的有机化合物越来越多，有机化学成为化学学科的一个重要分支。

有机化学是与人类的生活、生产，与自然界的生命活动有着极密切关系的一门学科。它研究的对象是有机化合物。研究这些化合物在自然界的存在，从自然界获取它们的方法，研究它们在各种不同条件下的形成、变化的过程，研究在实验室制备它们的方法，研究各种有机化合物的元素组成、分子的空间结构、空间形象以及由此形成的各种有机化合物特有的物理、化学性质和生理功能。

所有的有机化合物在元素组成上有着共同的特点。它们全部都含有碳元素(C)，绝大部分含有氢(H)，此外，很多有机物还含有氧(O)、氮(N)、硫(S)、磷(P)、卤素(F、Cl、Br、I)等。碳还可以和某些金属形成金属有机化合物。碳是最基本的元素，由它组成了每个有机化合物的基本骨架。

在有机化合物中，碳是四价的。碳原子可以和碳原子相连形成碳链或碳环，也可以和一些其他元素相连，形成各种不同类型的有机化合物。至今已发现的有机化合物（自然界中得到的和人工合成的）数目已达几千万种，近年每年还以大约近百万的数量在增加。与无机物相比，它的数量要大得多。为什么有机物的数量如此巨大？有两个原因：一是因为碳原子之间的结合能力强，可以一个一个相连形成链状或环状的、或大或小的各种形状分子。其他元素的原子之间不存在如此强的结合能力，因而也就难以形成像碳环、碳链那样的结构。第二个原因是有机化合物具有同分异构现象。相同的分子组成可以形成多种有机化合物。例如 C_5H_{12} 就表示了三种烷烃类化合物（正戊烷、异戊烷、新戊烷）。 C_2H_6O 就可以有 CH_3CH_2OH （乙醇）和 CH_3OCH_3 （甲醚）两种化合物。上述现象称为同分异构。第一个例子称为碳架异构，第二个例子则是官能团异构。同分异构现象在有机化学中极为普遍。所以，有机化学中一个分子式往往可以代表多种结构的有机化合物。有机化合物量大也就不足为怪了。

有机化合物的物理与化学性质有其特殊的、共同的特点，主要可以归纳为下面几条：

- ①绝大多数有机化合物可以燃烧。
- ②有机化合物的熔点、沸点普遍较无机化合物低。
- ③多数有机物难溶或不溶于水，而易溶于有机溶剂。个别小分子极性化合物例外，例如乙醇、丙酮等可以与水以任何比例互溶。
- ④多数有机反应速度较慢，常需要加热或加催化剂促进反应进行。此外，有机化学反应的副产物较多，合成反应后，往往要经过多步分离纯化，才能得

到所需要的纯净的有机化合物。

1.2 有机化合物分子的表达式

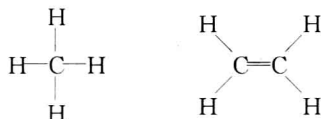
表达有机化合物不仅要表示其化学组成，更重要的是要表示出分子的结构。

有机物是共价分子，在有机物分子的表达中要显示出共价键的存在。在分子结构式中表示共价键有两种基本方式，其一是路易斯式，另一是键线式。

路易斯式是用电子对表示共价键，例如甲烷分子的路易斯式为： $\text{H}:\overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}:\text{H}$

用路易斯式表示分子结构比较麻烦，尤其不适宜表示重键，通常在需要表明电子对共享和说明共价键断裂方式时使用。

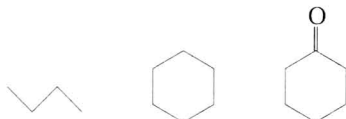
键线式是以短线表示共价键，甲烷分子、乙烯分子键线式分别为：



简化的键线式可以将碳-氢键省略，例如乙烷、乙烯等化合物分子的简化键线式分别为：



更为简化的键线式甚至可以省略氢原子，并将碳原子键线的端以点表示或以键线的交叉点表示，而碳、氢以外的其他元素原子不能省略，必须写出，例如环己烷、环己酮可以表示为：



为了表示饱和碳原子的立体结构，常用实的楔形符号表示指向前方的共价键，用虚的楔形符号表示指向后方的共价键；或者用透视式表示，例如甲烷的立体式和乙烷透视式分别表示为：

