

吸附分离树脂 在医药工业中的应用



吸附与吸附剂概述

吸附树脂

离子交换树脂

吸附树脂性能

吸附分离原理

吸附分离方法

中药天然产物有效成分的提取分离

氨基酸、多肽及蛋白质的提取分离

糖及多糖的提取分离

抗生素与维生素的提取分离

固定化酶

吸附树脂在医疗方面的应用

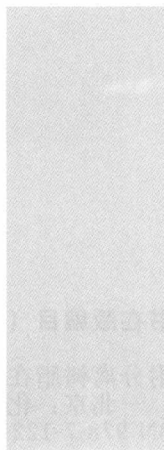
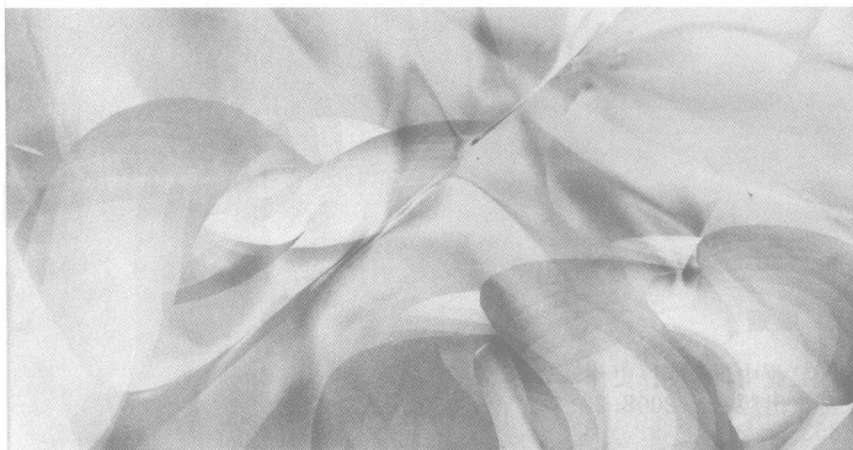
史作清 施荣富 主编



化学工业出版社
生物·医药出版分社

XIFU FENLI SHUZHIZAI YIYAO GONGYE ZHONG DE YINGYONG

吸附分离树脂 在医药工业中的应用



史作清 施荣富 主编



化学工业出版社
生物·医药出版分社

· 北 京 ·

吸附分离树脂是离子交换技术领域的重要发展之一,目前主要应用于医药工业中提取分离、废水处理、医学临床鉴定等领域。本书介绍了吸附分离树脂的基本原理及其在抗生素、维生素、天然产物、生化药物等的分离与纯化。全书分为原理篇和应用篇。原理篇包括吸附与吸附剂概述、吸附树脂、离子交换树脂、吸附树脂的性能、吸附分离原理、吸附分离方法。应用篇包括中药天然产物有效成分的提取分离,氨基酸、多肽及蛋白质的提取分离,糖及多糖的分离,抗生素与维生素的提取分离,固定化酶,吸附树脂在医疗方面的应用。

本书适用于药学、高分子材料、食品工业的研发和生产人员参考阅读,也可作为相关专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

吸附分离树脂在医药工业中的应用/史作清,施荣富
主编. —北京:化学工业出版社,2008.2
ISBN 978-7-122-01853-3

I. 吸… II. ①史…②施… III. 吸附剂-合成树脂-应用-制药工业 IV. TQ424.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第009469号

责任编辑:陈燕杰 孙小芳
责任校对:郑捷

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社 生物·医药出版分社
(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张25¼ 字数576千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:65.00元

版权所有 违者必究

本书编写人员

主 编 史作清 南开大学化学学院高分子化学研究所
 施荣富 南开大学化学学院高分子化学研究所

编写人员 (按姓氏笔画排序)

王春红 南开大学化学学院高分子化学研究所
王瑞芳 集美大学生物工程学院
史作清 南开大学化学学院高分子化学研究所
范云鸽 南开大学化学学院高分子化学研究所
欧来良 南开大学生命科学学院分子生物所
施荣富 南开大学化学学院高分子化学研究所

前 言

近年来功能高分子材料得到了快速的发展，不仅有大量的研究论文发表，相关的多本专著也相继问世。这些专著涵盖了物理功能、化学功能、生物功能等各个方面的高分子材料研究与生产、应用情况。可以看出，功能高分子材料是高分子科学技术中发展最快的领域之一，其在科学和生产中的重要作用日益明显。在这一领域中，具有吸附分离功能的树脂更是最重要的一个分支，一方面是此类树脂的品种繁多，应用广泛；另一方面是研究开发较早，生产和应用技术成熟，已形成了年产量逾10万吨的产业，产品广泛地应用到化工、冶金、电子、电力、军工、食品、医药等各个行业，对其他产业的发展起着支持、推动作用。

本书中将吸附树脂和离子交换树脂对天然产物的提取分离统称为吸附分离。本书上篇为原理篇，主要介绍吸附分离树脂的性能及应用方法。对使用者来说，了解这些树脂的基本结构与性能是必要的、有益的。如树脂的吸附性能、洗脱性能、热力学性能、动力学性能等都是进行分离的重要依据。生产者与使用者也应通过这些性能参数进行沟通、改进、提高。下篇为应用篇，主要是介绍吸附分离技术的应用研究成果，其中包括一些在实际生产中使用的提取分离方法。由于本书的内容主要集中在医药领域，而在篇幅上又以天然药用成分的吸附分离最多，因此所选用的资料以国内为主。

本书的许多内容仍属于研究报道，距实际应用还有距离。因此，在编写时尽量包含在同一课题中不同研究成果的特色方面，期望能从相似的研究中找到今后改进、提高的方向。对于尚不十分成熟的一些吸附分离方法，编者还试图从所用树脂性能的角度予以评价，希望对读者有所启发。

由于吸附分离树脂的应用面很广，跨越了多个不同的学科，对编者来说，要全面地、准确地表述这一领域的技术成果会有很大的困难，书中的不足之处在所难免，希望读者能批评、指正。

编者

2008年7月

目 录

上篇 原 理 篇

1 吸附与吸附剂概述	2
1.1 制药过程中的分离材料	2
1.1.1 制药工艺过程中的脱色和纯化材料	3
1.1.2 用于中草药有效成分提取分离的吸附树脂	3
1.1.3 多肽类药物的固相合成载体	3
1.1.4 组合化学固相载体	4
1.1.5 液相合成中的固相清除树脂	4
1.1.6 固定化酶载体	4
1.1.7 中药提纯分离膜	4
1.2 吸附现象	5
1.3 吸附剂	6
参考文献	7
2 吸附树脂	8
2.1 吸附树脂的形态结构	9
2.1.1 孔的形态结构	9
2.1.2 吸附树脂的比表面积	11
2.1.3 吸附树脂的孔径分布	11
2.1.4 孔体积	13
2.2 吸附树脂的合成	14
2.2.1 悬浮聚合法	15
2.2.2 非极性吸附树脂的合成	15
2.2.3 极性吸附树脂的合成	18
参考文献	19
3 离子交换树脂	20
3.1 离子交换树脂简介	20
3.2 离子交换树脂的性能	21
3.3 离子交换树脂的合成	23

3.3.1	强酸性离子交换树脂的合成	23
3.3.2	弱酸性离子交换树脂的合成	25
3.3.3	阴离子交换树脂的合成	25
	参考文献	26
4	吸附树脂的性能	27
4.1	吸附平衡	27
4.1.1	吸附等温线	27
4.1.2	等温吸附公式	28
4.1.3	分配系数	30
4.2	吸附动力学	30
4.2.1	粒内扩散控制	31
4.2.2	膜扩散控制	31
	参考文献	33
5	吸附分离原理	34
5.1	吸附树脂的表面吸附	34
5.2	吸附树脂的基团吸附	37
5.3	吸附树脂色谱分离	41
5.3.1	色谱分离原理	42
5.3.2	高分子色谱填料	44
5.3.3	制备色谱与工业色谱	47
	参考文献	48
6	吸附分离方法	49
6.1	吸附树脂的预处理	49
6.2	吸附分离装置	49
6.2.1	静态吸附装置	49
6.2.2	固定床吸附装置	49
6.2.3	色谱分离装置	50
6.3	吸附分离的方式举例	50
6.3.1	水中有机物的分离	51
6.3.2	疏水性和亲水性有机物的分离	52
6.3.3	工业吸附色谱分离	52
6.3.4	萃淋树脂分离法	55
	参考文献	55

下篇 应 用 篇

7	中药天然产物有效成分的提取分离	59
7.1	黄酮类成分的提取	59
7.1.1	银杏叶黄酮苷和萜内酯的提取	61

7.1.2	沙棘叶黄酮苷的提取	68
7.1.3	葛根异黄酮苷的提取	70
7.1.4	大豆异黄酮的提取	74
7.1.5	山楂黄酮苷的提取	81
7.1.6	黄芩苷及黄芩黄酮的提取	83
7.1.7	淫羊藿黄酮的提取	85
7.1.8	甜茶黄酮的提取	86
7.1.9	柚皮苷的提取	86
7.1.10	独一味黄酮的提取	88
7.1.11	桑叶黄酮的提取	89
7.1.12	侧柏黄酮的提取	90
7.1.13	红车轴草黄酮的提取	91
参考文献		93
7.2	皂苷类药物的提取	94
7.2.1	甜菊苷的提取	95
7.2.2	绞股蓝皂苷的提取	100
7.2.3	酸枣仁皂苷的提取	102
7.2.4	黄芪皂苷的提取	103
7.2.5	菝葜皂苷的提取	104
7.2.6	桔梗皂苷的提取	105
7.2.7	薯蓣皂苷的提取	106
7.2.8	柴胡皂苷的提取	107
7.2.9	刺楸皂苷的提取	110
7.2.10	威灵仙皂苷的提取	111
7.2.11	人参皂苷的提取	112
7.2.12	三七皂苷的提取	113
7.2.13	罗汉果皂苷的提取	117
7.2.14	甜茶苷的提取	120
参考文献		121
7.3	生物碱的提取	122
7.3.1	喜树碱的提取	122
7.3.2	小檗碱的提取	127
7.3.3	长春碱的提取	128
7.3.4	麻黄碱的提取	129
7.3.5	乌头碱的提取	131
7.3.6	白芥子碱的提取	133
7.3.7	荷叶碱的提取	134
7.3.8	延胡索生物碱的提取	135

7.3.9	苦豆子生物碱的提取	136
7.3.10	博落回生物碱的提取	137
7.3.11	防己碱的提取	140
7.3.12	利血平的提取	141
7.3.13	三小叶翠雀花生物碱的分离	143
7.3.14	马钱子碱的分离	143
7.3.15	苦参碱的分离	144
7.3.16	紫杉醇的提取及其与三尖杉宁碱的分离	146
7.3.17	川芎嗪的提取	148
7.3.18	辛弗林的提取	149
参考文献		152
7.4	蒽醌类成分的提取	152
7.4.1	大黄的提取	152
7.4.2	芦荟的提取	153
7.4.3	金丝桃素的提取	155
参考文献		156
7.5	儿茶素类和多酚类成分的提取	156
7.5.1	茶多酚概述	156
7.5.2	原花青素	164
7.5.3	白藜芦醇	167
参考文献		169
7.6	酸性中药成分的提取	169
7.6.1	绿原酸的提取	169
7.6.2	甘草酸的提取	173
7.6.3	植酸的提取	176
7.6.4	阿魏酸的提取	179
7.6.5	丹参酚酸的提取	180
参考文献		181
7.7	其他中药成分的提取	182
7.7.1	穿心莲内酯的提取	182
7.7.2	香豆素的提取	183
7.7.3	栀子黄素的提取	185
7.7.4	番茄红素的提取	186
7.7.5	叶绿素的提取	188
7.7.6	雷公藤内酯醇的提取	191
7.7.7	木脂素类的提取	192
7.7.8	二苯乙烯苷的提取	196
7.7.9	芍药苷的提取	197

7.7.10	龙胆苦苷的提取	199
7.7.11	桃叶珊瑚苷的提取	201
7.7.12	苦杏仁苷的提取	203
7.7.13	栀子苷的提取	203
7.7.14	花色苷的提取	206
7.7.15	红景天苷的提取	208
参考文献		209
7.8	复方中药	210
7.8.1	复方柴胡汤	210
7.8.2	六味地黄丸	211
参考文献		212
8	氨基酸、多肽及蛋白质的提取分离	213
8.1	氨基酸的提取分离	213
8.1.1	发酵工艺体系中氨基酸的分离	213
8.1.2	水解工艺体系中氨基酸的分离	215
8.1.3	合成氨基酸的分离	222
8.1.4	氨基酸的层析分离	223
参考文献		238
8.2	多肽的分离	239
8.2.1	胸腺五肽 (TP5) 的纯化	239
8.2.2	胸腺素 α_1 的分离	240
8.2.3	猫棒束孢菌抗真菌多肽的分离	241
8.2.4	HSP70 多肽复合物的分离	242
8.2.5	槲寄生中多肽 B ₆ 的分离	244
8.2.6	蛇毒去整合素的分离	245
8.2.7	苦瓜多肽-P 的分离	246
8.2.8	牛乳酪蛋白源降血压肽的分离	247
8.2.9	合成多肽的分离	248
参考文献		250
8.3	蛋白质的分离	250
8.3.1	分离树脂	251
8.3.2	蛋白质的色谱分离	256
参考文献		278
9	糖及多糖的提取分离	280
9.1	糖的分离	280
9.1.1	木糖醇的分离	280
9.1.2	果糖和葡萄糖的分离	284
9.1.3	麦芽糖的分离	286

9.1.4	1,6-二磷酸果糖钙	287
9.2	多糖的分离	288
9.2.1	黑木耳多糖的分离	289
9.2.2	火棘水溶性多糖的分离	289
9.2.3	香菇多糖的分离	290
9.2.4	黄芪多糖的分离	292
9.2.5	山药多糖的分离	292
9.2.6	天然富硒多糖的分离	293
9.2.7	羊肚菌多糖的分离	294
9.2.8	螺旋藻多糖的分离	295
9.2.9	桑叶多糖的分离	295
9.2.10	龙须菜多糖的分离	297
9.2.11	大蒜多糖的分离	297
	参考文献	298
10	抗生素与维生素的提取分离	300
10.1	抗生素的结构分类	300
10.2	大孔树脂在抗生素分离中的使用方法	301
10.3	抗生素的分离纯化	303
10.3.1	青霉素的吸附	303
10.3.2	糖肽类抗生素的分离	304
10.3.3	头孢菌素 C 的吸附分离	306
10.3.4	链霉素的提取纯化	309
10.3.5	先锋霉素的提取	310
10.3.6	林可霉素的提取	310
10.3.7	卡那霉素的分离	311
10.3.8	庆大霉素的提取	313
10.3.9	麦迪霉素的提取	314
10.3.10	赤霉素的提取	316
10.3.11	吉他霉素的精制	318
10.3.12	红霉素的提取	319
10.3.13	四环素的提取	320
10.3.14	其他抗生素的吸附提纯和精制	321
10.3.15	维生素的分离	324
	参考文献	331
11	固定化酶	333
11.1	酶的固定化方法及固定化酶载体	333
11.1.1	吸附法	334
11.1.2	键合法	334

11.1.3	固定化酶载体	336
11.1.4	酶的固定化方法	343
11.1.5	固定化酶的稳定性	345
11.2	固定化酶在医药方面的应用	347
11.2.1	在抗生素方面的应用	347
11.2.2	固定化酶在其他方面的应用	356
	参考文献	358
12	吸附树脂在医疗方面的应用	360
12.1	血液净化概述	360
12.2	血液灌流	361
12.3	血液净化吸附剂	361
12.4	吸附树脂在血液灌流中的应用	363
12.4.1	小分子毒物及药物吸附剂	363
12.4.2	高胆红素血症血液灌流清除胆红素	365
12.4.3	胆酸的吸附	367
12.4.4	内毒素的吸附	368
12.4.5	尿毒症毒素的吸附	369
12.4.6	类风湿因子的吸附	370
12.4.7	系统性红斑狼疮吸附剂	371
12.4.8	低密度脂蛋白吸附剂	372
	参考文献	374
	附录 吸附分离树脂型号介绍	377

上篇

原理篇

1 吸附与吸附剂概述

分离科学已经成为自然科学和应用科学中十分重要的分支，在科学发展和工业生产中起着非常重要的作用。分离科学与化学的关系最为密切，化学自身的发展需要分离技术的配合，如各个元素原子量的精确测定、放射性同位素的提取及核裂变产物的分离、有机合成中原料的纯化及产物的分离、分析化学及化合物结构鉴定中样品的纯化、天然产物及药物的提取和分离等，分离技术都起到了关键的作用。分离技术的进步促进了化学学科的发展，反过来，化学的发展也推动了分离科学技术的进步，为繁多的化合物分离鉴定提供了许多新且有效的纯化方法，使分离科学在理论上与技术上越来越成熟，越来越丰富，成为一个重要的科学分支。

分离科学技术在工业中的重要作用日益突出。尤其是在化工、医药等工业中分离科学技术的水平至关重要，它直接影响到产品的质量、生产成本及在国际市场上的竞争能力，因而也会进一步影响到整个国民经济的发展速度。分离科学技术对于其他事业与工业行业也是非常重要的。如军事与宇宙航行中的空气净化、半导体器件的制造、工业锅炉用水和饮用水的净化、人体血液的解毒、食品添加剂的提纯等，都要用到多种多样的分离方法。可以说，分离科学技术已经渗透到国民经济的各个部门及人们的日常生活中，其作用日益重要，人们对分离技术的依赖性越来越大，对分离技术水平的要求越来越高。

分离科学技术的内容，从方法上可以分为物理分离法和化学分离法两类。

(1) 物理分离法 物理分离法包括离心分离法、电磁分离法、过滤分离法。

(2) 化学分离法 化学分离法包括沉淀与共沉淀法、结晶法、溶剂萃取法、电化学分离法、吸附分离法、色谱分离法、蒸馏法、膜分离法、超临界 CO_2 萃取法。

制药工业是一个品种繁多，工艺复杂，对产品质量要求非常严格，涉及化工、生化、农、林等多个领域的行业，所应用的技术和材料也很多。其中包括多种功能高分子材料，如分离膜、离子交换树脂、吸附树脂、固定化酶载体等。也包括活性炭、氧化铝、分子筛、硅藻土等无机材料。这些材料的应用大都与对产品的分离、催化有关。医药这种特殊产品的纯度是一个非常关键的指标，有时微量杂质的存在会在医疗中造成严重的后果。因此，分离纯化技术在医药生产中显得尤为重要。

在实际的医药生产中，可能需要多种分离纯化方法联合使用。树脂吸附法的特点是吸附树脂品种较多、适应范围较宽、分离工艺简单、效率较高，在许多场合已成为一种重要的、不可缺少的分离方法。

1.1 制药过程中的分离材料

在制药过程中应用的分离纯化材料很多，按其用途大致有以下几类。

1.1.1 制药工艺过程中的脱色和纯化材料

在药物的合成过程中产生的有色物质的去除,除蒸馏、结晶等常规提纯方法外,用活性炭吸附脱色是应用较早、范围广泛、规模较大的一种方法。如维生素 B 的合成、发酵产品的纯化等。许多抗生素、维生素是用发酵法生产的,一般来说,发酵体系的成分十分复杂,除必要的原料之外,所加入的液体酶又有包括培养基在内的许多有机成分、无机成分,以及酶反应的副产物,并且产物的浓度往往很低,这就需要高效的提取分离技术和高性能的分离材料。如链霉素的生产,链霉胍、二链胺就是难以去除的杂质,使得使用链霉素的病人常发生耳鸣、头痛、嘴麻等病症。应用 D390 弱碱性离子交换树脂对链霉素进行分离纯化,大大降低了这两种杂质的含量,基本上消除了链霉素的不良反应。吸附树脂在制药行业受到广泛的关注,曾用于大多数抗生素、维生素的提取分离研究,并已在部分品种的生产中得到实际应用。

1.1.2 用于中草药有效成分提取分离的吸附树脂

中药现代化已成为今后中医药发展的方向。中药有效成分的提取分离是中药现代化的关键技术之一。从原理上讲,中药有效成分的分离有溶剂萃取法、树脂吸附分离法、超临界 CO₂ 萃取法等。研究与实践表明,树脂吸附分离法是提取中药有效成分最为有效的分离技术、最具竞争力的分离方法。这不仅表现在工艺和设备简单、药材利用率高、生产成本低,而且技术适应面广、产品质量高。以往生产量最大的甜菊苷和银杏叶提取物的生产,曾尝试过多种方法,但最终采用的都是树脂吸附分离法。中药有效成分的提取有两个特殊的方向,一是中药单体成分的分离,希望得到高纯度的单体;二是中药有效部位的提取,目的是得到具有适当含量的、包括所有有效成分的混合物。因此需要有广谱性吸附树脂、针对特定成分的选择性吸附树脂、脱色树脂、能够去除农药残留或重金属残留的树脂和具有色谱分离功能的吸附树脂。现在这些树脂都已有相应的产品,在中药现代化生产中将会发挥重要作用。另一方面,各类中药成分的提取分离也都有广泛的研究,包括黄酮类、皂苷类、生物碱类和一些其他类别的中药成分,为吸附分离法在中药有效成分的提取分离中的应用打下基础。

1.1.3 多肽类药物的固相合成载体

多肽虽然早已存在于自然界,但分离困难,来源有限。自从 Robert Bruce Merrifield 教授于 1963 年发明了固相多肽合成法之后,在生物活性多肽和蛋白质功能的研究、多肽药物的研究及生产等方面得到了广泛的发展。因此 Robert Bruce Merrifield 教授获得 1984 年度的诺贝尔化学奖。多肽的固相合成是将多个氨基酸按照既定的序列一个一个地接到特制的高分子载体上,然后再用化学法把合成的肽链“切割”下来,经进一步纯化得到高纯度的多肽。固相合成法有非常突出的优点,如中间过程的分离提纯简单(只需过滤、洗涤),副产物较少,可以自动化连续合成等。如一个含有 25 个氨基酸的多肽,一周的时间即可在多肽合成仪上自动完成。若用传统的液相合成法至少需要半年的时间,而且要耗费大量的化学试剂。抗艾滋病的多肽药 T-20 已在国外投产,是迄今

产量最大的多肽药物，也对固相合成载体提出了最大的需求。最近基因组工程已完成，生命科学中的下一重点将是蛋白质组工程。在蛋白质组工程中，固相多肽合成技术将会发挥很大的作用。

1.1.4 组合化学固相载体

20 世纪 80 年代末至 90 年代初出现的以固相合成法为原理的组合化学是新药研究和开发的一个里程碑，是固相合成法的又一重大贡献。化学药物（西药）的开发是一项十分艰巨的工作，往往要耗费大量的人力、资金（几亿美元）和时间（5~10 年），合成上万个新化合物才有可能发现一个有药理活性的化学药物。

组合化学是一种快速、高效地合成化合物库的固相合成法。使用固相合成载体，可在短时间内合成上万个化合物，其效率比传统的液相合成法提高上百倍。有人说如果中国不掌握组合化学就无法参与西药的世界竞争，此说法并不为过。

1.1.5 液相合成中的固相清除树脂

在有机合成中，液相反应仍是主要的合成方法。多步液相合成中的一个问题是中间体和最终产物的分离纯化。近年来出现的一项新技术是用固体高分子试剂清除液相合成过程中过剩的原料和副产物（见第 3 章）。这种高分子试剂称为“清除剂”，现已有多种专用的清除剂（见第 3 章）可以方便地清除溶液中的“杂质”，这种方法即所谓“液相合成，固相纯化”。

1.1.6 固定化酶载体

将生物酶固载在高分子载体上，可进行酶催化合成、分解等反应，制备用化学方法难以得到的产物。与自由酶相比，固定化酶反应有许多优点，如可连续化、自动化，可长期反复使用，而且不引入任何杂质，使产物易于纯化、减少污染、降低成本。例如用固定化葡萄糖异构酶将葡萄糖转化为果糖，只要配制一定浓度的葡萄糖溶液，通入保持一定温度的负载了葡萄糖异构酶的树脂柱即可。由于不需要引入任何物质，流出液只含转化来的果糖和未转化的葡萄糖，可直接食用，也可以进一步分离，得到高果糖浆或结晶果糖。以发酵法生产的抗生素、维生素已大量使用固定化酶，这将是今后酶法生产的一大趋势。

1.1.7 中药提纯分离膜

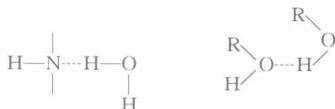
膜分离技术是用人工合成或天然的、具有选择性透过性能的微孔膜，对混合组分进行分离或富集的一种新技术。其主要的分离原理是选用孔径适当的滤膜，对分子量不同的组分进行分离。如选用截留相对分子质量为 6000~20000 的超滤膜，对黄芩苷粗品进行纯化，可显著提高收率；用于麻黄碱的提纯可提高产品质量。用截留相对分子质量为 10000 的超滤膜纯化绿原酸，可去除其中的多糖、蛋白质等大分子杂质，提高收率。用截留相对分子质量为 10000 的磺化聚砜膜处理黄芪注射液，结合活性炭脱色，可去除细菌和热原。用截留相对分子质量为 7000 的超滤膜对中药口服液进行超滤，可去除鞣质，提高澄明度和储存稳定性。

1.2 吸附现象

吸附分离材料是指通过其选择性的吸附作用来实现物质分离的材料。这就是说此类材料既要有吸附能力，又要有吸附选择性。当其与混合物接触时能够吸附其中的某些物质而不吸附另一些物质，或者对不同的物质具有不同的吸附力，这样就可以以适当的方法将混合物分离。

从物质分离的角度来说，对吸附材料有其特殊的要求。首先，要分离的混合物一般是气体或溶液，要求材料为适当大小的颗粒，最好是具有适当粒径的球体，这样可以有较大的表面积与混合物接触，增大吸附的速度，也可以装入柱中，进行柱式操作。其次，要求吸附材料有较好的机械强度，能够反复使用，降低分离成本。另外还要求吸附材料有良好的化学稳定性，防止吸附材料中的残留物质或降解物质进入混合体系，污染被分离的物质。

吸附是一种界面现象。固体或液体中的分子或原子都是处在其他分子或原子的包围之中，分子或原子之间的相互作用是均等的。但在表面上却不同，分子或原子有一面没有受到包围，存在着吸引其他分子的剩余力，吸附就是由这种剩余力所引起的^[1]。吸附力可以是静电力，即表面分子带正（或负）电荷的部分与其他分子带负（或正）电荷的部分互相吸引。吸附也可以是氢键吸附，连于氧、氮等原子上的氢原子，因其电子被电负性较强的 O、N 吸引，H 带正电荷，因而易与其他分子中的氧、氮、硫等原子互相吸引而形成氢键：



即使是表面上的非极性分子，在某些因素的扰动下也会产生瞬时偶极矩，从而引起互相吸引：



以上的分子间作用力较弱，所引起的吸附统称为物理吸附。物理吸附的优点是容易脱附，被吸附的物质可以被全部洗脱下来。在一些情况下（如酰氯与羟基、醛基和 $-\text{NH}_2$ 等之间的结合），形成化学键的吸附称为化学吸附，一般说来化学吸附比较牢固，不易脱附。

当固体（或液体）处于气体或液体中时，其界面处就可能发生吸附作用，使气体或液体中的某些成分在固体（或液体）的表面浓集（被吸附），但被吸附的物质并不进入固体（或液体）的内部，这就是通常所说的“吸附”。如果物质能均匀地渗入固体（或液体）的内部则被称为“吸收”。当吸附与吸收两种作用同时存在时就称为“吸着”。吸附、吸收、吸着示意图见图 1-1^[1]。

吸附（adsorption）一词的明确定义和用法尚有些混乱，有的书只在吸附部分介绍物理吸附的内容（包括由氢键作用和水合作用所引起的吸附），有的书中把离子交换也称为吸附，但也有的书中把吸附与离子交换共存时的现象称为吸着。为简单起见，在本