



教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材

TIANRANCHANWU TIQU GONGYIXUE

JIAOYUBU GAODENG XUEXIAO QINGGONG
YU SHIPIN XUEKE JIAOXUE ZHIDAO
WEIYUANHUI TUIJIAN JIAOCAI

天然产物 提取工艺学

主 编 徐怀德



中国轻工业出版社

ZHONGGUO QINGONGYE CHUBANSHE

教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材

天然产物提取工艺学

主 编 徐怀德

副主编 罗安伟 师俊玲 朱靖博 刘 伟

参编者 (以姓氏笔画为序)

任亚梅 于修焯 高锦明 史清华

图书在版编目 (CIP) 数据

天然产物提取工艺学/徐怀德主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2006. 6

教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材

ISBN 7-5019-5356-2

I. 天... II. 徐... III. 天然有机化合物-提取-工艺学-高等学校-教材 IV. TQ28

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 030538 号

责任编辑: 白洁 责任终审: 滕炎福 封面设计: 宋琳媛
版式设计: 马金路 责任校对: 李靖 责任监印: 胡兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 利森达印务有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 28.5

字数: 630 千字

书号: ISBN 7-5019-5356-2/TS·3123 定价: 45.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010—65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010—85119817 65128898 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

60420J4X101ZBW

2001~2005 年教育部食品科学与工程教学指导分委员会委员

主任委员：陶文沂 江南大学

副主任委员：殷涌光 吉林大学

张水华 华南理工大学

委员：赵 征 天津科技大学

陈 辉 河北科技大学

朱蓓薇 大连轻工业学院

李云飞 上海交通大学

夏文水 江南大学

何国庆 浙江大学

管华诗 中国海洋大学

张 鑫 郑州轻工业学院

何东平 武汉工业学院

吴士业 四川轻化工学院

董文宾 陕西科技大学

李开雄 石河子大学

郑明光 中国人民解放军军需大学

秘书：夏文水（兼）

联络员：周传红 高等教育出版社

序

食品科学与工程作为中国高等教育的一个本科专业，在目前中国的经济建设社会发展中发挥着重要的作用。在民族复兴伟业中如何使中华民族更兴旺、人民体质更健康，食品的营养和安全是大家所关心的；在全面建设小康社会宏图中，如何使农业、农村和农民问题早日解决，使农民富裕起来，农产品加工和附加值提高是很重要的手段。食品科学与工程专业就肩负着培养这方面人才的光荣任务。本届教学指导委员会与全国具有本专业高校的教师们积极思考、努力筹划，在分析学科发展广度和深度的基础上，抓住知识模块的构建，志在培训一流的人才，适应食品广阔领域发展的要求，并承担着全面改革教学内容和课程体系、积极推动教材建设、加强师资队伍建设和其他各项任务。

目前食品科学与工程专业在国内高校中分布较广，现有 200 多所高校设有这个专业，分布在综合、工科、农科、商贸、医学、师范、民族等院校中。为了提高食品科学与工程专业的教学质量及发挥各学校的特色，培养不同风格的专业人才，本届教指委不仅研究确定和组织教育部“十五”国家级规划教材的编写，还对本专业具有影响和特色的教材进行了全面系统的评介推荐工作。“十五”期间确定推荐的特色教材共有 16 种，它们是（排序无先后）：

- 《功能性食品》
- 《食品物性学》
- 《食品物流学》
- 《微生物油脂学》
- 《食品感官鉴评》
- 《谷物加工工程》
- 《大豆制品工艺学》
- 《调味食品工艺学》
- 《食品免疫学导论》
- 《食品工业生态学》
- 《水产品加工与利用》
- 《食品原料与资源学》
- 《天然产物提取工艺学》
- 《油脂精炼与加工工艺学》
- 《食品工厂设计与环境保护》
- 《食品无菌加工技术与设备》

本届教指委希望通过若干年的努力，给食品科学与工程专业的教学提供优秀的教材，形成特色和品牌，为提高教学质量提供基础保证，同时，也为相关专业的教师们提供可选择的教学参考书。本届教指委衷心希望本专业同仁和相关专业的教师们对我们的工作提出宝贵意见。

感谢出版社为本届教指委教材建设的大力支持及做出的贡献。

2001~2005 年教育部食品科学与工程教学指导分委员会
2005 年 8 月

前 言

资源、环境与持续发展战略问题已成为人类社会所面临的全球性热点问题，要求精细、高效利用生物资源。我国生物资源丰富，每种生物又由多种物质组成，它们都属于动物、植物、昆虫、海洋生物及微生物主代谢和次生代谢的化学物质，也叫天然产物，这就构成了丰富多样的天然产物资源。

世界是由物质组成的，物质的存在是有其功能性的，随着科学技术的进步，人类能够认识这些物质、利用这些物质。天然产物结构新颖、疗效高、副作用小，长期以来，寻找活性天然产物成为各国生命科学、药学、食品科学、化学等科学工作者的共同愿望，一批又一批科学家从植物、动物、微生物、海洋生物中提取活性天然产物，还可以通过改变化学成分的结构以提高其活性。

保健食品也是以天然产物为物质基础的，不仅需要经过人体及动物试验证明该产品具有某种保健功能，而且需要知道保健功能的功能因子以及该因子的结构、含量、作用机制和在食品中的稳定性和安全性，以开发不同形态和功能的保健食品。农产品的加工也进入了以天然产物的物质分离、结构修饰及再加工的发展方向。近 20 年来，美、欧、日等发达国家和地区对天然产物的开发利用给予了前所未有的重视，加大了科研力度。

随着科学的发展，新技术的应用促使科学家们发明了许多精密、准确的分离方法，各种层析分离方法先后应用于天然产物的分离研究，由常规的柱层析发展到应用低压的快速层析、逆流液滴分配层析、高效液相层析、离心层析、色谱-质谱联用仪等等，应用的载体有氧化铝，正相与反相层析用的是各种硅胶，用于分离大分子的是各种凝胶，用于分离水溶性成分的各种离子交换树脂、大孔树脂吸附等，以及各种膜分离技术、超临界提取技术等等。这些分离与提取技术使研究人员可以分离含量极微的成分，如美登木中的高活性抗癌成分美登素类化合物含量在千万分之二以下。对昆虫和许多信息物质的研究使人们揭示了许多生命奥秘，人们开始了解到使蚂蚁群居与集体行动的信息物质与它们的化学结构，昆虫雌雄相引的性信息素，从而可以用于虫情预测和诱杀昆虫。而对动物与人体内源性化学物质的研究导致发现大量的各种甾体激素、前列腺素以及各种多肽等等。现代天然产物产品很多，发展潜力很大，是方兴未艾的高技术产业。

生物体中化学物质的研究和深加工利用具有重要的社会经济价值。天然产物提取工艺学就是运用化学工程原理和方法对生物组成的化学物质进行提取、分离纯化的过程。

本书在查阅大量文献资料的基础上，结合生产实践系统地阐述了天然产物提取分离方法的原理、特点及应用，以及各类天然产物的提取分离工艺特性。本书编写的结构体系和选材也不很完善，加上作者水平有限，因此错误和不足在所难免，恳请广大读者和同行专家提出宝贵意见。

本书在编写过程中参阅了大量同行专家新的科研成果和资料，并给予标注，每章后附了参考文献，但疏漏或误解之处仍恐难免，在此除表示衷心感谢，还敬请批评指正。

本书是教育部轻工与食品学科的特色教材，该教材的出版得到教育部轻工与食品学科教学指导委员会、中国轻工业出版社、西北农林科技大学的支持，在此深表谢意。本书可供食品科学与工程、制药工程、药学、生物工程、生物技术、生物化工专业本科生、研究生用作教材，也可供相关专业的科技人员、生产管理人员参考。

徐怀德

于西北农林科技大学食品科学与工程学院

目 录

第一章 绪论	1
一、天然产物提取工艺学的特点	1
二、天然产物开发利用概况	2
三、天然产物分离工艺设计策略和技术进展	7
四、天然产物提取过程的选择	9
五、天然产物提取利用建议	13
第二章 天然产物提取方法和技术	16
第一节 天然产物开发利用方案确定	16
一、研究对象的确定	16
二、查阅文献资料和收集信息	17
三、天然产物提取实验设计和工艺流程的选择	18
四、天然产物提取中试设计	21
第二节 原料细胞结构与提取工艺特性	22
一、原料与天然产物提取工艺特性	22
二、生物细胞的结构与天然产物成分的浸出	26
三、破坏细胞膜和壁的方法	28
四、原料的质量控制	30
五、原料的前处理	33
六、提取时对有生理活性物质的保护措施	34
第三节 天然产物传统分离纯化方法	35
一、提取法	35
二、萃取法	43
三、微波提取	48
四、超声波提取	51
五、过滤	54
六、蒸发浓缩	55
七、沉淀法	58
八、结晶	62
九、干燥	68
第三章 新型分离技术在天然产物提取中的应用	75
第一节 树脂吸附分离技术	75
一、基本原理	75
二、吸附树脂	76
三、树脂吸附法在天然产物提取分离中的应用	94
第二节 膜分离技术	89
一、膜的分类	89
二、膜性能	91
三、膜材料	95

四、膜组件	96
五、膜分离技术及其应用	102
第三节 分子蒸馏技术	108
一、概述	108
二、分子蒸馏技术原理及特点	110
三、分子蒸馏分离流程及设备	119
四、分子蒸馏技术的工业化应用	127
第四节 超临界流体萃取技术	135
一、概述	135
二、超临界流体萃取的基本原理和方法	137
三、超临界萃取技术在天然产物提取中的应用	147
第五节 色谱分离技术	151
一、色谱分离技术的基本概念与理论	152
二、吸附层析法	156
三、分配层析法	165
四、离子交换层析	168
五、凝胶层析	175
六、亲和层析	178
七、其他常用的层析法	180
八、工业制备层析分离技术	181
第六节 其他分离技术	188
一、双水相萃取	188
二、反胶束萃取	196
三、液膜分离	204
第四章 糖类提取工艺	216
第一节 概述	216
第二节 糖类提取工艺特性	218
一、糖类的溶解性与性质鉴定	218
二、糖类的提取方法	218
三、糖类的分离	220
四、多糖的纯度检验和结构分析	225
第三节 糖类提取实例	226
一、单糖的提取实例	226
二、低聚糖的提取实例	229
三、植物多糖的提取实例	231
四、螺旋藻多糖的提取实例	239
五、真菌多糖的提取实例	239
六、动物多糖的提取实例	242
第五章 氨基酸和蛋白质提取工艺	249
第一节 概述	249
一、蛋白质的理化性质	249
二、蛋白质、氨基酸的分类	251
三、氨基酸、蛋白质的生理功能	252

第二节 氨基酸和蛋白质提取工艺特性	253
一、氨基酸的提取工艺特性	253
二、蛋白质的提取工艺特性	253
第三节 氨基酸、蛋白质提取实例	257
一、胱氨酸的提取	257
二、酪氨酸的提取	258
三、谷氨酸的提取	259
四、大豆蛋白的提取	260
五、胰岛素的提取	262
六、胰酶的提取	264
七、胃蛋白酶的提取	266
八、溶菌酶的提取	267
第六章 精油提取工艺	272
第一节 概述	272
一、精油的定义	272
二、精油的种类	272
三、精油的功能	272
四、精油的性质	273
五、植物与精油	275
第二节 精油的提取工艺特性	277
一、精油生产的特点	277
二、精油生产中的注意事项	278
三、精油的提取工艺	278
四、精油的净化与分离	287
第三节 精油提取实例	291
一、玫瑰油的提取	291
二、薄荷油的提取	292
三、细辛精油的提取	293
四、大茴香醛的提取	294
五、苯甲醛的提取	294
六、丁香酚的提取	295
七、香辛料精油的提取实例	295
第七章 生物碱提取工艺	300
第一节 生物碱的分类及其结构	301
一、有机胺类生物碱	301
二、吡咯类生物碱	302
三、吡啶类生物碱	303
四、异喹啉类生物碱	304
五、吲哚类生物碱	307
六、莨菪烷类生物碱	309
七、喹啉类生物碱	309
八、喹唑酮类生物碱	310
九、嘌呤类生物碱	311

十、甾体类生物碱	311
十一、萜类生物碱	312
十二、大环类生物碱	313
第二节 生物碱的理化性质	314
一、性状	314
二、颜色	314
三、旋光性	315
四、溶解度	315
五、碱性	317
六、沉淀反应	319
七、显色反应	319
第三节 生物碱的提取工艺特性	320
一、总生物碱的提取	320
二、生物碱的分离	323
第四节 生物碱提取分离实例	325
一、麻黄碱	325
二、长春碱与长春新碱	326
三、喜树生物碱	329
四、三颗针生物碱	330
五、苦参生物碱	331
六、马钱子生物碱	334
第八章 黄酮类化合物提取工艺	338
第一节 黄酮类化合物的结构类型及其分布	340
一、结构类型及其分布	340
二、主要黄酮类化合物	342
第二节 黄酮化合物的理化性质	344
一、性状	344
二、溶解度	345
三、酸碱性	345
四、显色反应	346
第三节 黄酮类化合物的提取工艺特性	348
一、黄酮类化合物的提取	348
二、黄酮类化合物的分离	350
第四节 黄酮类化合物提取实例	353
一、黄芩中黄芩苷的提取	353
二、芸香苷的提取	353
三、大豆异黄酮的提取	355
四、橙皮苷的提取	356
五、水飞蓟黄酮的提取	357
第九章 皂苷提取工艺	360
第一节 皂苷的结构类型	362
一、甾体皂苷	362
二、三萜皂苷	367

第二节 皂苷的理化性质及鉴定	371
一、物理性质	371
二、化学性质	373
三、皂苷的鉴定	374
第三节 皂苷的提取工艺特性	375
一、皂苷的提取	375
二、总皂苷的精制和分离	376
第四节 皂苷提取分离实例	378
一、穿山龙薯蓣皂苷	378
二、人参皂苷	379
三、甘草皂苷	380
四、绞股蓝皂苷	382
五、西洋参皂苷	383
第十章 油脂类化合物提取工艺	386
第一节 油脂类化合物的理化性质	386
一、油脂类化合物的组成	386
二、油脂及类脂化合物的特性与功能	387
第二节 油脂类化合物的提取工艺	389
一、微生物油脂的提取工艺	390
二、动物油脂的提取工艺	392
三、植物油脂的提取工艺	392
四、植物磷脂的提取工艺	405
第三节 油脂类化合物的提取实例	408
一、微生物源脂质的提取	408
二、动物油脂类化合物的提取	408
三、植物中油脂类化合物的提取	413
四、藻类中类脂的提取	418
第十一章 天然产物提取分离实例	422
一、紫杉醇及其类似物	422
二、紫杉醇需求	423
三、紫杉醇和多烯紫杉醇的研究领域	426
四、紫杉醇分离纯化工艺	426
五、正相色谱过程为核心的紫杉醇分离纯化工艺	430
六、反相色谱过程为核心的紫杉醇分离纯化工艺	435
七、紫杉烷类物质结构对色谱过程的影响	437

第一章 绪 论

一、天然产物提取工艺学的特点

资源、环境与持续发展战略问题已成为人类社会所面临的全球性热点问题，要求精细、高效利用生物资源。我国生物资源丰富，每种生物又由多种物质组成，它们都属于动物、植物、昆虫、海洋生物及微生物主代谢和次生代谢的化学物质，也叫天然产物，这就构成了丰富多样的天然产物资源。

世界是由物质组成的，物质的存在是有其功能性的，随着科学技术的进步，人类能够认识这些物质、利用这些物质。

天然产物化学是研究动物、植物、昆虫、海洋生物及微生物代谢产物化学成分的学科，甚至包括人体许多内源性成分的化学研究，它是在分子水平上揭示生命奥秘的重要科学。

天然产物提取工艺是运用化学工程原理和方法对组成生物的化学物质进行提取、分离纯化的过程。它具有以下特点。

1. 多学科性

天然产物提取涉及的学科有生物化学、分子生物学、植物学、动物学、细胞学、微生物学等生物学科；有有机化学、植物化学、天然药物化学、天然产物化学等化学学科；有化学工程、机械工程、化工原理等工程学科；以及其他应用学科。

天然产物提取也是生物技术的一个重要领域。生物技术是目前最重要的高技术领域之一，它是生命科学（植物学、动物学、微生物学等）为基础，利用生物体（包括生物器官、组织、细胞）或其组分（如遗传物质、酶、次生代谢产物或其他生理活性物质）的特征和功能，设计和构建具有预期性状的新物种和新品系以及利用与工程原理相结合的方法进行加工生产，为社会提供商品和服务的一个综合性技术体系。它应包括的主要技术范畴是：发酵工程、酶工程、生化工程、基因工程、细胞工程、生物代谢调控工程、生物活性物质的提取及应用等。

2. 多层次、多方位性

天然产物提取包括以发展优质高产原料为主要目标的一级开发、以发展原料加工为目的的二级开发、以深度开发原料的单体化学成分及其应用为目的的三级开发。生物和天然产物的多层次研究开发是相辅相成的。它们之间既互相促进，又互相制约。天然产物提取产业是生物技术与化学化工技术相互交叉而成的一个产业，它包括以动物、植物、微生物为加工原料，用化学化工技术及手段，通过提取、分离纯化、合成、半合成得到天然产物，还包括用现代生物技术如微生物发酵、酶工程、细胞工程、基因工程等对传统化学化工技术进行创新改造，获得天然等同物的天然产物。

3. 复杂性

(1) 生物材料组成复杂 生物材料种类繁多，一个生物材料常包括数百种甚至数千种化合物，各种化合物的形状、大小、相对分子质量和理化性质都不同，其中有不少化合物迄今还是未知物质，而且这些化合物提取分离时仍不断发生化学结构和功能活性的变化。

有些化合物在材料中含量极微。例如从脑垂体组织提取的某些激素的释放因子，从蚕体

中提取的某些信息激素，从竹笋中提取的竹笋素等，都是用几吨或几十吨的原料才提取到几个毫克的目的物。

(2) 天然产物具不稳定性 许多具有生理活性的化合物一旦离开机体，很易变性、破坏，因此，在生产过程中要小心地保护这些化合物的生理活性，这是生化产品生产最困难的地方。故生产这类具有生理活性的物质常选择温和的条件，并尽可能在较低温度和洁静环境下进行。

天然产物产品的制备几乎都在溶液中进行，各种参数对溶液中各组分的综合影响常无法固定，以致许多生产工艺设计理论性不强，结果有很大的经验成分。

为了保护所提取物质的生理活性及结构上的完整，生产方法多采用温和的“多阶式”，一个生物分子的分离制备常常少至几个步骤，多至十几个步骤，并不断变换各种分离方法，才能达到纯化目的。因此，操作时间长，手续烦琐，常会给生产带来许多影响。

生物体中存在的天然产物含量较低，而且生物体是由上千种有机物组成，这就决定必须使用现代高新技术，提取分离天然产物加以精制使之达到最后产品的要求。其有关方法包括：

① 物理方法：研磨、高压匀浆、超声波、过滤、离心、干燥等。

② 物理化学方法：冻溶（用于细胞破碎）、透析、超滤反渗析、絮凝、萃取、吸附、层析（吸附层析法、分配层析法、凝胶层析法）、蒸馏、电泳、等电点沉淀、盐析、结晶等。

③ 化学方法：离子交换、化学沉淀、化学亲和、天然产物的结构修饰和化学合成等。

④ 生物方法：生物亲和层析、免疫层析等。

⑤ 近年发展的新技术：微波、超声波萃取、树脂吸附分离、微滤、超滤、纳滤、亲和膜分离、泡沫分离、超临界流体萃取、分子蒸馏、双水相分离、反胶束萃取等。

⑥ 现代生物技术：天然产物次生代谢物的调控和生产技术，微生物工程和生物细胞组织培养工程技术生产某些珍贵次生代谢产物，酶工程技术，基因工程技术的应用等。

二、天然产物开发利用概况

自从有了人类社会，人们就开始利用天然产物，当然，利用仅是简单的原料利用。至18世纪末，随着科学技术水平的提高，由动植物制得一系列较纯的有机物，如1773年，首次由尿中取得纯尿素。1769年制得有机酸，如从葡萄汁中取得酒石酸，柠檬汁中取得柠檬酸，尿内取得尿酸，从酸牛奶中得到乳酸。到1805年才由鸦片内提得第一个生物碱——吗啡。这些工作吸引了成千上万有机化学家艰苦卓绝的努力得以阐明这些成分的化学性质、结构、功能、生物体代谢等，并通过合成加以证明。天然产物化学的研究使化学家发现了许多新的化学反应与方法，从而大大丰富了有机化学，促进了有机化学的发展。

随着科学技术的发展，新技术的应用促使科学家们发明了许多精密、准确的分离方法，各种层析分离方法先后应用于天然产物的分离研究，由常规的柱层析发展到应用低压的快速层析、逆流液滴层析、高效液相层析、离心层析、气相层析等等，应用的载体有氧化铝，正相与反相层析用的是各种硅胶，用于分离大分子的是各种凝胶，用于分离水溶性成分的是各种离子交换树脂、大孔树脂等，以及各种膜分离技术、超临界提取技术等等，从而使研究人员不仅可以分离到含量极微的成分，如美登木中的高活性抗癌成分美登素类化合物含量在千万分之二以下，而且可以分离过去无法分离的许多水溶性的微量成分。

新技术在天然产物化学研究领域的应用，使从事天然产物的研究与利用的研究人员的研

究领域可涉及各种生物的微量成分化学。对昆虫和许多信息物质的研究使人们揭示了许多生物奥秘，人们开始了解到使蚂蚁群居与集体行动的信息物质与它们的化学结构，昆虫雌雄相引的性信息素，用于虫情预测和诱杀昆虫。而对动物与人体内源性化学物质的研究导致发现大量的各种甾体激素、前列腺素以及各种多肽等等。

由于天然产物提取涉及面广、涉及的行业多，所以从事天然产物提取的企业较多。据报道，20世纪90年代中期，美国的天然产物提取企业有1000多家，西欧有580多家，日本有300多家。近年来，虽然由于行业竞争日趋激烈，企业大幅度减少，但天然产物提取行业依然火热，既有像诺华、捷利康等从事生命科学的世界性大公司，也有像DSM、诺和诺德等大型的精细化工公司，当然也有在某方面有专长的小公司如Altus等。

传统的天然产物提取行业主要是指抗生素（如青霉素等）、制药、食品（如酒精、味精等）等行业，而在目前，它已几乎渗透到人民生活的各方面，如医药、保健、农业、环境、能源、材料等。同时，天然产物提取产品也得到了极大的拓展：医药方面有各种新型抗生素、干扰素、胰岛素、生长激素、各种生长因子、疫苗等；氨基酸和多肽方面有赖氨酸、天冬氨酸、丙氨酸、苏氨酸、脯氨酸等以及各种多肽；酶制剂有160多种，主要有糖化酶、淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶、纤维素酶、青霉素酶、过氧化氢酶等；生物农药有苦皮藤、苦生素等；有机酸有柠檬酸、乳酸、苹果酸、衣康酸、延胡索酸、己二酸、脂肪酸、酮戊二酸、亚麻酸、透明质酸等。

目前，全球天然产物提取年销售额在400亿美元左右，每年以7%~8%的速率增长。从产品结构来看，天然产物提取领域生产规模范围极广，市场年需求量仅为千克级的干扰素、促红细胞生长素等昂贵产品（价格可达数万美元/g）与年需求量逾万吨的抗生素、酶、食品与饲料添加剂、日用与农业生化制品等低价位产品几乎平分秋色。高价位的产品市场份额在50%~60%，低价位的产品市场份额在40%~50%。而且，根据近年来天然产物提取的发展趋势及人们对医药卫生的重视来看，高价位产品的发展速率高于低价位产品。

1. 天然产物在医药业的开发利用概况

天然产物化学的研究成果已广泛应用于医药业，为保障人类健康提供了许多天然药物，由于天然产物化学研究所提供的活性物质结构新颖、疗效高、副作用小，所以它们始终是制药工业中新药研究的主要源泉之一，它们所显示的结构乃是新药设计的主要模型，此外，天然产物化学研究成果也广泛应用于农业与工业：如除虫菊酯类系列化合物农药乃是公害较少的农药，昆虫保幼激素已用于蚕业增产。早在20世纪50年代末我国科学家就巧妙地运用各种氧化降解方法完成了对莲子芯碱与南瓜子氨基酸的化学结构的研究，并经全合成证明。以后又先后完成了对一叶秋碱、清风藤碱、山莨菪碱、樟柳碱、秦艽甲乙素、补骨脂甲乙素与使君子氨酸等一批新化合物的结构研究。20世纪70年代以来随着质谱与核磁共振仪的普及运用以及X射线单晶衍射仪的运用，各种层析方法的普及，发现的新结构愈来愈多。近年更以每年发现近200个新化合物的速度增长着，发现了一批有生物活性的新型结构，其中许多有应用前景。我国天然产物化学研究已逐步转向对微量的、有生物活性的与有应用前景化合物的研究，许多研究工作的水平已达到或接近世界先进水平。

目前国际上常用的分离难度较大的一些植物药，如治高血压的利血平，抗癌药长春新碱，子宫收缩药麦角新碱，治小儿麻痹后遗症的加兰他敏，强心药西地兰与狄戈辛等，已批量生产。我国首先研制成新药并用于临床的抗癌药羟基喜树碱、抗白血病药高三尖杉酯碱亦已生产。近年国际上研究甚多的抗癌新药——紫杉醇，我国也有产品生产。我国科学家通过

对中草药的研究阐明了许多中草药的有效成分，创制了一批我国特有的新药，如黄连素已成为常用的治疗胃肠道炎症的良药，中药延胡索的有效成分延胡索乙素（即四氢巴马汀）已成为止疼镇静药物。古代用作麻醉药的麻沸汤，它含有对大脑有显著镇静作用的东莨菪碱而可用作麻醉前用药。从栝楼根新鲜汁水中分离到的结晶天花粉蛋白已用于中期孕妇引产，与前列腺素等合用可用于抗早孕。从民间引产药芫花根中分离到有效成分芫花甲酯。棉酚是我国科学家发现的新型男性不育化合物。而新型抗疟疾新药青蒿素及其类似物则已引起国际重视。其他如治冠心病常用中药丹参的有效成分之一为丹参酮，将它转化成磺酸钠即成水溶性较强的药物，已制成针剂用于治疗心绞痛，改善心电图。治疗慢性迁延性肝炎的是垂盆草苷、五味子素等等。我国从动物体中提取的天然产物产品也较多，如各种蛋白酶类药品和一些激素药品已大量生产，为人类的生存和健康作出了重大贡献。

天然产物是有效治疗药的一个重要来源，在 2000 年销路最好的 20 个非蛋白质药物中，有 9 个是从天然来源产物衍生或通过开发而获得的产物。这些药物在这一年的合并销售额超过 160 亿美元。它们不仅是药物的重要来源，而且被广泛地用作药物开发的分子骨架。例如，1995 年的 244 个原形化学结构中，有 83% 出自动物、植物、微生物和矿物来源，仅 17% 是来自化合物的意外生物作用或来自化学合成。此外天然产物研究成果也广泛应用于农业与工业，如昆虫保幼激素已用于蚕业增产。

2. 天然产物在食品行业的发展概况

近年兴起的保健食品也是以天然产物为物质基础，不仅需要经过人体及动物试验证明该产品具有某种生理功能，而且需要查清具有该项保健功能的功能因子以及该因子的结构、含量、作用机制和在食品中的稳定性，以开发不同形态和功能的保健食品。

许多农产品的加工就是以天然产物为物质基础的产品，如美国玉米加工产品已有 3500 多个品种，美国玉米加工的淀粉糖包括山梨醇、木糖醇、甘露糖醇、淀粉水解产物氢化和麦芽糖醇等。在过去的 15 年里开发出多种发酵工艺用于经济地生产赖氨酸、苏氨酸和色氨酸作为饲料添加剂。精炼玉米油国际市场价每吨 700 美元，是玉米原粮价格的 7 倍。环糊精产品可做香味胶囊。玉米深加工所得的聚乳酸作为可降解的环保塑料被推广。目前正在研究和小范围使用的耐久淀粉和玉米纤维市场前景也很看好。玉米生产的酒精也是近年新兴的清洁生物能源，有人将玉米称为“黄色石油”。

近年来，我国食品天然产物提取产品的生产得到了大力发展，有机酸中柠檬酸的产量居世界前列，工艺和技术都位于世界先进水平，乳酸、苹果酸的新工艺也已开发成功；氨基酸中赖氨酸和谷氨酸的生产工艺和产品在世界上都有一定优势；微生物法生产丙烯酰胺已成功地实现了工业化生产，已建成了万吨级的工业化生产装置，且总体水平达到国际领先水平；黄原胶生产在发酵设备、分离及成本等产业化方面也取得了突破性的进展；酶制剂、单细胞蛋白、纤维素酶、胡萝卜素等产品的生产开发也日益成熟，取得了阶段性的成果。由于化学致癌因素地发现使食品工业转向应用天然色素与香料，甜叶菊中的甜叶菊苷及其他天然甜味剂已开始逐步替代糖精。

据预测，到 2020 年我国食品工业产值将突破 3 万亿元，成为名副其实的全国第一大产业。食品工业的特异性必然拉动天然产物的发展。为适应食品工业的发展，我国天然产物的生产将向改善膳食结构、实现营养均衡与口感好、食用方便方向发展。

3. 天然产物提取的技术发展

随着生物工程技术的进步以及化学工业结构和产品结构的调整，越来越多的生物技术产

品极大地依赖天然产物提取技术才能实现规模化生产，而且许多化学品的生产工艺由生物法取代，并显示了很大的优势。传统的低价位产品受到冷落，而高价位产品如生化药物、保健品、生物催化剂等备受青睐。

天然产物提取经过 20 世纪 80 年代以后的蓬勃发展，不仅整个行业技术水平有大幅度提高，而且许多新技术也得到广泛应用。

首先，发酵工程技术已见成效。据估计，全球发酵产品的市场有 120~130 亿美元，其中抗生素占 46%，氨基酸占 16.3%，有机酸占 13.2%，酶占 10%，其他占 14.5%。发酵产品市场的增大与发酵技术的进步分不开，发酵工业的收率和纯度都比过去有了极大的提高。

其次，分离与纯化技术也有了很大进步。分离与纯化过程通常占生产成本的 50%~70%，有的甚至高达 90%。分离步骤多、耗时长，往往成为制约生产的“瓶颈”。寻求经济适用的分离纯化技术，已成为天然产物提取领域的热点。已大规模应用的分离纯化技术有：双水相萃取、层析分离、大规模制备色谱、膜分离、超临界 CO₂ 提取、微胶束萃取等。在分离纯化方面，亲和层析受到广泛重视，并有人研制了一种综合专家系统软件包，可在几分钟内告知对方被分离物系的分离方法和顺序，以便根据产品所需进行取舍。

上游技术和下游生产的结合。利用基因工程技术，不但成倍地提高了酶的活力，而且还可以将生物酶基因克隆到微生物中，构建基因菌产生酶。利用基因工程使淀粉酶、蛋白酶、纤维素酶、氨基酸合成途径的关键酶得到改造、克隆，使酶的催化活性、稳定性得到提高，氨基酸合成的代谢流得以拓宽，产量提高。随着基因重组技术的发展，被称为第二代基因工程的蛋白质工程发展迅速，显示出巨大潜力和光辉前景。利用蛋白质工程，将可以生产具有特定氨基酸顺序、高级结构、理化性质和生理功能的新型蛋白质，可以定向改造酶的性能，从而生产出新型生化产品。

动植物细胞的大规模培养、细胞和酶的固定化和提取分离技术结合。在生化反应器方面利用计算机技术对整个生化反应过程进行数字化处理，从而优化反应过程。在天然产物提取过程的在线检测和控制方面利用生物传感器和计算机监控。

不断提高菌株活力、发酵水平、生化反应过程、分离纯化水平，依然是天然产物提取面临的课题。

4. 部分天然产物成分及功能

部分天然产物成分及功能如表 1-1 所示。

表 1-1 部分天然产物成分及功能

	天然产物化学成分	功能	来源
氨基酸类	L-半胱氨酸	解毒、防止肝坏死、升高白血球	毛发
	胱氨酸	精细生化产品、作试剂、制药中间体、培养基	毛发、角蹄
	盐酸赖氨酸	补充营养、食品添加剂、代血浆、抗休克药物	毛发、水解酪蛋白等
蛋白质类	人血丙种球蛋白	预防麻疹、病毒肝炎、丙种球蛋白缺乏症	健康人血浆
	人血白蛋白	治疗失血性休克、肾炎、肝硬化、流产	健康人血浆
	人胎盘血丙种球蛋白	同人血丙种球蛋白	健康人胎盘血
	人胎盘白蛋白	同人血白蛋白	健康人胎盘血
	鱼精蛋白	用于因注射肝素过量而引起的出血、抗菌	鱼类新鲜精子
	角蛋白	液体化妆品	动物角、蹄
	细胞色素 C	组织缺氧急救药、皮肤营养剂	牛、猪心
	胰岛素	糖尿病药物	牛、羊、猪胰脏
	胃膜素	胃、十二指肠溃疡	猪胃黏膜

续表

	天然产物化学成分	功 能	来 源
酶 类	胃蛋白酶	助消化药物	猪胃黏膜
	胰酶	消化药物	猪、牛、羊胰脏
	凝血酶	局部止血	牛血浆
	透明质酸酶	脑积水、消肿、药物扩散剂、减肥剂	牛、羊睾丸
	碱性磷酸酶	促进皮肤再生和新陈代谢	动物、微生物
	胰蛋白酶	溃疡、创伤性损伤、血肿、蛇伤、支气管炎	牛、羊胰脏
	α -糜蛋白酶	创伤或术后愈合, 抗炎, 治疗中耳炎、咽喉炎等	牛胰
	弹性蛋白酶	使血液凝固、扩张毛细血管、降压等	胰脏
	激肽释放酶	舒展毛细血管和小动脉血管作用	尿、胰腺
	尿激酶	抗凝血作用	尿
	溶菌酶	抗炎作用	唾液、泪、蛋清
	淀粉酶	发酵、食品、纺织工业、化妆品添加剂	大麦、细菌
	木瓜蛋白酶	饮料澄清、化妆品添加剂	木瓜
	过氧化氢酶	化妆品原料、化学试剂	牛血
多糖类	几丁质	人造皮肤、防龋齿、防上呼吸道感染	蟹、贝壳
	肝素	抗凝血、血栓、动脉硬化, 防冷疮	猪小肠黏膜
	硫酸软骨素	预防和治疗因链霉素引起的听觉障碍、偏头痛、神经痛、风湿痛、肝炎	猪喉软骨
	冠心舒	消除心绞痛、心悸、胸闷、气短	猪十二指肠
激素类	绒毛膜促性腺激素	促性腺作用, 用于性功能障碍、习惯性流产等	孕妇尿
	胰高血糖素	治疗低血糖症、心源性休克	猪胰
	促肾上腺皮质激素	治疗风湿性关节炎、气喘药物	猪、牛、羊脑
	催产素	催产或引产	猪垂体后叶
	加压素	尿崩症	猪垂体后叶
	促皮质素	治疗风湿性关节炎、哮喘	猪垂体后叶
苷类	人参皂苷	补元气、强身健体	人参
	薯蓣皂苷元	合成甾体激素	薯蓣
黄酮	葛根异黄酮	抗衰老、抗氧化、治疗心血管疾病	葛根
	银杏黄酮	预防老年性痴呆病、保健食品	银杏
	芦丁	治疗高血压、抗氧化、保健食品	槐花
萜类	类胡萝卜素	阻止癌细胞生长的抗氧化剂, 减轻动脉硬化	胡萝卜、南瓜、红薯
	类柠檬苦素	促进保护酶	柑橘类水果
	番茄红素	有助于抗癌的抗氧化剂、治疗前列腺炎	番茄、红葡萄柚
	单萜	防癌的抗氧化剂、阻止胆固醇的生成	胡萝卜、黄瓜、南瓜、薄荷、柑橘类水果
	植物固醇	抑制胆固醇的吸收	山药、南瓜、番茄、茄子、大豆、全谷
	三萜类化合物	防龋齿、抗溃疡、与雌激素结合、通过抑制酶活力来防癌	柑橘类水果、甘草根提取物、大豆产品