



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废物资源综合利用技术丛书

SHIPIN FAJIAO GONGYE FEIQIWU ZIYUAN ZONGHE LIYONG

食品发酵工业 废弃物资源综合利用

汪 苹 廖永红 臧立华 李宪臻 等编著



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

◆ 废物资源综合利用技术丛书

SHIPIN FAJIAO GONGYE FEIQIWU ZIYUAN ZONGHE LIYONG

食品发酵工业 废弃物资源综合利用

汪 苹 廖永红 臧立华 李宪臻 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从食品发酵工业的原料利用, 废渣、废水、废气产生等方面系统介绍国内外比较成熟的资源综合利用技术, 并介绍了相关的能源综合利用技术, 一方面为食品行业提供了资源综合利用的途径, 另一方面为环境治理领域提供了行业综合利用方法, 并从资源综合利用的角度阐述了现代生物工程、化学工程、分离分析等先进技术在生产实践中的实际应用。

本书具有较强的实用性和学术价值, 可供从事食品发酵生产和环境保护工作的从业人员以及从事食品发酵和环境保护相关的科研人员和管理人员参考, 也可供高等学校环境科学与工程、能源工程、食品工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品发酵工业废弃物资源综合利用/汪苹等编著.
北京: 化学工业出版社, 2018. 1
(废物资源综合利用技术丛书)
ISBN 978-7-122-30713-2

I. ①食… II. ①汪… III. ①食品-发酵-食品工业-
工业废物-废物综合利用 IV. ①X792

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 243683 号

责任编辑: 刘兴春 刘 婧 汲永臻
责任校对: 边 涛

文字编辑: 刘兰妹
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 35³/₄ 字数 899 千字 2018 年 1 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: 138.00 元

版权所有 违者必究

《废弃物资源综合利用技术丛书》

编 委 会

主 任：岑可法

副 主 任：刘明华 陈冠益 汪 苹

编委成员（以汉语拼音排序）：

程洁红	冯旭东	高华林	龚林林	郭利杰	黄建辉
蒋自力	金宜英	梁文俊	廖永红	刘 佳	刘以凡
潘 荔	宋 云	王 纯	王志轩	肖 春	杨 帆
杨小聪	张长森	张殿印	张 辉	赵由才	周连碧
周全法	祝怡斌				

《食品发酵工业废弃物资源综合利用》

编著人员

编著者：汪 苹 廖永红 臧立华 李宪臻 唐文竹 董维芳
俞志敏 王 伟 李肖玲 薛 嵘 曲静然 董黎明

走中国特色新型工业化道路、大力发展循环经济、提高资源利用率,是解决当前我国资源、环境对经济发展制约的必由之路,是我国建设环境友好型、资源节约型社会的重要保障。我国对废物资源综合利用越来越重视,《国家中长期科技发展规划纲要(2006—2020)》中把“综合治污与废弃物循环利用”列为优先主题;“以科学发展为主题,以加快转变经济发展方式为主线”自始至终贯穿于《国民经济和社会发展的第十二个五年规划纲要》,明确了“十二五”时期是以节约资源和保护环境为特征的发展时期。“十二五”重点科技专项中明确指出有效利用大宗工业废物;“十三五”时期经济建设和生态文明建设要协调推进,资源综合利用在其中发挥着必不可少的重要作用;《工业绿色发展规划(2016—2020年)》明确提出加强工业资源综合利用,持续推动循环发展。

食品发酵工业是我国国民经济的支柱产业,不仅与人民生活息息相关,同时也体现对副产品的加工利用技术和资源环境的保护水平,直接影响国民经济发展和社会文明进步。随着工业化、城镇化进程加快,食品方便化、快餐化趋势使我国食品发酵工业发展迅速,每年以2%~8%的速度快速增长。据统计,2015年,食品制造业增加值同比上一年增长5.9%(累计增长6.3%),农副食品加工业增长2.3%(累计增长4.2%),酒、饮料和精制茶制造业增长8.5%(累计增长9.3%),许多技术达国际领先水平。

食品发酵工业是以农副产品为原料的产业,一方面由于耕地减少、自然灾害、人口增长等原因造成粮食紧缺;另一方面资源匮乏、环境保护压力日趋严重,食品发酵工业富含有机质的生产和排放性质决定其技术发展方向必然走向提高原料和资源的综合利用效率、减少废弃物产生和排放的新技术,减少环境污染。目前,我国饮料、乳品、方便食品、啤酒、氨基酸、有机酸等产量居世界第一,食品发酵工业的资源利用及对环境的影响不容忽视。

本书从食品发酵工业的原料利用,废渣、废水、废气产生等方面系统介绍了国内外比较成熟的资源综合利用技术,并介绍了相关的能源综合利用技术,一方面为食品行业提供了资源综合利用的途径;另一方面为环境治理领域提供了行业综合利用方法,在当今节能减排的国民经济发展中具有很强的实用性;同时从资源综合利用的角度阐述了现代生物工程、化学工程、分离分析等先进技术在生产实践中的实际应用,具有较高的学术价值。希望本书的出版能够为从事食品发酵生产和环境保护工作的从业人员以及从事食品发酵和环境保护相关的科研人员提供参考,同时也供高等学校环境科学与工程、能源工程、食品工程及相关专业师生参阅。

本书全书架构由北京工商大学汪苹教授提出,并负责组织人员编著。具体内容主要由以下人员完成:北京工商大学汪苹教授、廖永红教授、董黎明副教授,齐鲁工业大学臧立华教授,大连工业大学李宪臻教授等。其中上篇第1章由唐文竹、李宪臻负责编著,第2章由董

维芳、臧立华负责编著，第3~第5章由廖永红、汪苹负责编著，第6章由俞志敏、李宪臻负责编著，第7章由王伟、李宪臻负责编著；中篇第1章由廖永红负责编著，第2章由廖永红、汪苹负责编著，第3~第5章由李肖玲、薛嵘、曲静然、臧立华负责编著，第6~第8章由董黎明负责编著；下篇由汪苹负责编著。

本书主要参考文献有中国轻工联合会编写的《中国轻工业年鉴》、中国生物发酵产业协会《发酵工业》和相关行业内专家学者的研究成果，在此一并致谢。同时感谢参与本书编著和文献收集工作的相关实验室全体同学。

由于编著者的学识和时间有限，书中难免有疏漏和不足之处，敬请读者和同仁予以指正。

编著者
2017年6月

上篇 废渣综合利用技术

1 推广玉米脱胚提油和小麦提取蛋白

1.1 中国玉米生产情况	002
1.2 玉米加工副产品的综合利用	003
1.3 玉米胚芽制取玉米油	007
1.4 中国小麦生产加工概况	018
1.5 小麦蛋白特性及应用	023
1.6 小麦蛋白的生产	028
参考文献	036

2 推广玉米芯生产木(寡)糖

2.1 木(寡)糖工业概况	038
2.2 玉米芯加工产品概述	044
参考文献	082

3 推广利用酒精糟生产全糟蛋白饲料

3.1 酒精行业概况及资源化现状	086
3.2 酒精行业减排和资源综合利用	093
3.3 玉米酒精糟液制取全干燥蛋白饲料	099
3.4 小麦酒精糟液制取全干燥蛋白饲料	134
参考文献	139

4 推广和推进啤酒企业废酵母利用

4.1 啤酒工业概况	142
4.2 啤酒酵母概述	148
4.3 啤酒废酵母干燥生产饲料酵母技术	151
4.4 废酵母经酶处理制备医药培养基酵母浸膏技术	156
4.5 啤酒废酵母生产制备核苷酸、氨基酸类物质技术	160
参考文献	175

5 啤酒企业麦糟资源化利用

5.1 啤酒麦糟	178
5.2 酶技术从麦糟中提取功能性膳食纤维及蛋白质	181

5.3 多菌种混合固态发酵法利用麦糟 193

参考文献..... 198

6 推广柠檬酸废渣替代天然石膏

6.1 柠檬酸工业概况 200

6.2 柠檬酸废渣的资源化利用 207

6.3 柠檬酸废渣生产石膏技术 213

6.4 柠檬酸废渣石膏的综合利用 220

参考文献..... 230

7 制糖废糖蜜的综合利用

7.1 绪论 231

7.2 废糖蜜的用途 237

7.3 废糖蜜回收制备高活性干酵母 241

7.4 废水治理及综合利用 255

参考文献..... 264

中篇 废水(液)综合利用技术

1 推广发酵剩余资源厌氧发酵生产沼气

1.1 沼气的概念、起源与发展 266

1.2 沼气发酵的基本原理 267

1.3 沼气的发酵工艺 270

1.4 沼气净化 278

1.5 发酵剩余资源制取沼气案例分析 284

1.6 沼气储存 289

1.7 沼气输送 290

1.8 沼气利用 291

参考文献..... 293

2 推广麦汁煮沸二次蒸汽回用

2.1 啤酒行业资源能源消耗及技术现状 294

2.2 麦汁煮沸技术 296

2.3 啤酒生产节能减排技术介绍 312

2.4 麦汁煮沸二次蒸汽回用 320

参考文献..... 338

3 推广味精废母液生产复合肥

3.1 味精工业概况 340

3.2 味精废母液的综合利用 348

3.3 味精废母液喷浆造粒制备固体复合肥技术 363

3.4 味精废母液制备液体复合肥技术 381

3.5 味精废母液喷浆造粒尾气治理技术 385

参考文献..... 389

4 推广玉米浸泡水培养饲用酵母粉

4.1 淀粉工业概况 391

4.2 玉米浸泡水利用概述 403

4.3 玉米浸泡水培养饲用酵母粉 406

参考文献..... 413

5 推广木薯干片干式粉碎和鲜木薯湿法破碎分离

5.1 木薯淀粉行业概况 416

5.2 木薯淀粉废母液利用概述 421

5.3 木薯淀粉废水处理工程实例 431

参考文献..... 444

6 研发采用膜过滤技术(MF)回收菌体制成饲料

6.1 食品发酵工业生产过程的菌体概况 448

6.2 膜技术概况 456

6.3 超滤膜回收蛋白制成饲料技术 461

6.4 组合膜回收蛋白制成饲料技术 463

参考文献..... 464

7 研发薯类淀粉生产高浓度工艺废水回收蛋白

7.1 薯类淀粉生产概况 466

7.2 薯类淀粉高浓度废水回收概况 469

7.3 絮凝气浮回收蛋白技术 474

7.4 膜分离回收蛋白技术 475

参考文献..... 479

8 研发适用于食品行业生产及废水深度处理的膜技术与膜材料

8.1 食品发酵工业生产用膜技术应用概况 481

8.2 食品发酵工业生产用膜材料概况 487

8.3 食品发酵工业生产用膜分离装置概况 492

8.4 食品发酵工业废水深度膜处理技术应用概况 493

参考文献..... 498

下篇 CO₂ 废气综合利用技术

1 发酵生产过程中产生的 CO₂

1.1 酒精生产过程中产生的 CO ₂	502
1.2 啤酒生产过程中产生的 CO ₂	506
1.3 CO ₂ 的理化性质及用途	508
参考文献	510

2 回收 CO₂ 直接利用技术

2.1 CO ₂ 回收工艺	511
2.2 CO ₂ 在食品、医药等行业中的用途	533
2.3 CO ₂ 在其他行业中的应用	543
参考文献	545

3 研发 CO₂ 制备可降解塑料技术

3.1 国外 CO ₂ 制备可降解塑料技术研发现状	547
3.2 我国 CO ₂ 制备可降解塑料技术研发现状	551
3.3 市场前景预测	556
3.4 案例介绍：河南某年产 3 万吨全降解塑料工程	557
参考文献	558

索引



推广玉米脱胚提油和小麦提取蛋白

玉米和小麦在世界粮食生产中一直占有很重要的地位。我国玉米播种面积和总产量仅次于美国，居世界第二位。同时我国也是世界第一小麦生产大国、消费大国和进口大国。然而长期以来我国玉米和小麦的加工转化这一重要的产后环节却相对薄弱，致使其综合效益没有得到充分的发挥。因此，为提高粮食的综合利用率，必须深入开展对玉米和小麦加工产品和副产品的综合利用。

1.1 中国玉米生产情况

1.1.1 中国玉米生产的变化及现状

玉米自 16 世纪中叶传入中国以来，已有 400 多年的种植历史，作为中国三大粮食作物之一，玉米产量约占全国粮食总产量的 1/4。从中国的玉米生产发展历程来看，各个时期的发展速度不同。在 20 世纪 60 年代以前，玉米生产基本稳定在一个较低的水平，增长缓慢；从 20 世纪 70 年代开始，玉米生产迅速发展；90 年代初，玉米生产出现了徘徊局面，此后玉米生产又进入稳步增长阶段。总之，新中国成立以来，玉米生产的增长趋势非常明显，但历程并不平坦。归纳起来有以下 4 大特征^[1]。

(1) 玉米在粮食生产中的地位日益上升

玉米作为中国三大粮食作物之一，其生产在中国具有悠久的历史，并且在中国粮食作物生产中占据了重要地位。新中国成立以来，玉米在中国粮食生产系统中的地位逐步上升，由初期的 10% 左右一直上升到现在接近 30%。

(2) 播种面积、总产量在频繁波动中上升

从播种面积来看，中国玉米生产虽然总的趋势是上升的，但有一定的波动。新中国刚成立时，玉米播种面积有过小幅的下降，但随即迅速上升；改革开放以来，党和国家进一步强化了农业的基础地位，出台了一系列促进农业发展和保护农民利益的政策措施，极大地调动了农民的生产积极性。从总产量来看，中国玉米总产量变化趋势与单产变化趋势较为相似，

可以看出玉米总产量的增加是单产增加和播种面积增加双重作用的结果。

(3) 单产稳步上升

随着农民自有生产资金的增加、化肥等生产资料的投入、农业机械的高效使用以及农民自身素质的提高，玉米的单产日益提高。在这一过程中，虽然经历了小幅的波动，但是总体上增长势头十分明显。

(4) 地区之间分布不平衡

在自然条件和社会条件的共同作用下，经过半个多世纪的调整，中国玉米生产布局发生了显著变化。一方面，全国各地均有种植；另一方面，地区之间分布不平衡状况进一步加剧，逐渐形成了既分散又集中，但以集中为主的生产布局。我国玉米分布区域很广，南到海南岛，北至黑龙江省，东至台湾省，西至新疆，均有玉米种植，但主要产区集中在东北、华北及西南地区，形成一条从东北到西南的斜带，其中黑龙江、吉林、辽宁、河北、北京、天津、山西、山东、河南、陕西、四川、贵州、云南等地区的产量，约占全国的 4/5。

1.1.2 玉米加工利用现状

20 世纪 90 年代初，我国玉米加工企业几乎都以初级产品(商品淀粉)为主。后来，随着玉米深加工产业的快速发展和市场竞争的日益激烈，淀粉生产企业的效益优势已不再突出。淀粉加工企业开始注重开拓新领域，通过调整产品结构，由初加工转向深加工，推进了玉米加工企业逐步由淀粉、酒精等初级产品向发酵、精细化工等高附加值产品的快速发展。目前，我国玉米加工业产品已经有淀粉、变性淀粉、氨基酸、淀粉糖、酒精、化工醇六大系列、300 多个品种，其产品的附加值比玉米原粮增加 3~100 倍^[2]。

“十一五”期间，随着国际市场原油价格大幅度上涨，玉米深加工产品的市场需求日益旺盛，一大批新建和扩建项目立项开工。随着一些在建项目的陆续投产，玉米深加工工业发展进入了高峰期，2006 年产能已达到 4500 万吨，实际消耗玉米 3400 万吨，比 2005 年增长 25%，产能利用率达 75%。“十二五”期间国家提出严格控制玉米深加工过快增长，到 2015 年年末玉米深加工总产能和总消费控制在合理水平。2013 年，中国玉米深加工 6 大类产品加工能力约 5100 万吨，玉米破碎能力 7600 万吨，产量 3100 万吨，实际破碎玉米 4700 万吨，相当于中国玉米产量的 21%。

1.2 玉米加工副产品的综合利用

1.2.1 玉米胚芽的综合利用

玉米胚芽是加工玉米淀粉、玉米粉和玉米渣的副产品。玉米胚芽占玉米质量的 10%~15%，胚芽中脂肪含量为 35%~47%。因为我国每年的玉米产量高达 $(6\sim6.5)\times10^8\text{kg}$ ，可以利用的玉米胚芽数量可观，所以玉米胚芽是我国重要的食用植物油资源。

玉米胚芽生产的玉米油，经氢化生产的食用氢化油，均有较好的营养价值，国际上称为保健油。榨油后的玉米饼，可生产蛋白饲料，是饲料工业的原料。我国玉米产量虽然居世界第二，但是我国的玉米油产量很少，主要是由于我国以玉米为原料的加工工业对分离出的玉米胚的利用较少，因而大量的玉米胚随着下脚料排出厂外，未能得到合理利用。这也是本章要讨论的重点内容之一。

1.2.2 玉米皮的综合利用

玉米皮指的是玉米籽粒的表皮部分，有的称玉米纤维或玉米渣，是玉米加工淀粉的副产物，在湿法加工淀粉时被分筛出来。由于破碎分离过程不可能很完全，所以玉米皮中往往还夹带着不少淀粉，还有附着在玉米皮内侧的未被剥离的淀粉。大型玉米淀粉厂玉米皮含有淀粉25%，中小型玉米淀粉厂玉米皮含有淀粉达到40%。其他为半纤维素38%，纤维素11%，蛋白质11.8%，灰分1.2%以及其他微量成分。所以玉米皮主要成分不仅是纤维素，还含有大量可降解的淀粉、半纤维素、少量蛋白质和脂类。商品玉米皮的总量一般占玉米质量的8%~10%。一些大型玉米淀粉厂的玉米淀粉加工设备，均能将玉米皮干燥，再和浓缩玉米浆混合，制取玉米纤维蛋白饲料，其产品中蛋白质含量达21%~22%。如果将玉米皮用酸水解，可以获得各种糖类，产糖率可达60%~70%，其中葡萄糖20%以上，木糖15%以上，阿拉伯糖11%以上，还有少量半乳糖和甘露糖。

玉米皮利用的主要途径是作饲料，可采用以下几种方式。

① 玉米皮经筛洗后排放到皮渣池，直接销售给当地农民作猪、牛等牲畜的饲料。这种方法浪费大，营养利用不科学，特别是高温容易使其发酵、腐烂。

② 玉米皮经挤压脱水，再经加热干燥，成为干皮渣，其经过粉碎，再按比例与胚芽饼、蛋白粉、玉米浆等其他副产品调成配合饲料。如果按照配方要求再加入适量大豆粉，可成为优质配合饲料，其营养可得到充分利用。

③ 玉米皮含有丰富的糖类，含量达50%以上；且糖类中既有五碳糖也有六碳糖，二者各占总糖的50%左右。如果用玉米皮制取乙醇，只能利用其六碳糖，总糖的利用率较低；而生产饲料酵母，对六碳糖和五碳糖均能利用。饲料酵母对玉米皮水解液中糖类的转化率约为45%，而最终产品中饲料酵母含量高达22.5%。因此，以玉米皮水解液培养饲料酵母是利用玉米皮的有效途径，可得到高蛋白单细胞酵母。饲料酵母营养价值丰富，作为蛋白饲料添加到配合饲料中，具有和鱼粉相同的功效。

④ 玉米皮是分离出的纤维物质，将其中的淀粉、蛋白质、脂肪通过分离手段除去后可以成为膳食纤维。

1.2.3 玉米蛋白粉的综合利用

玉米中淀粉的含量非常丰富，除此之外，还含有少量的蛋白质、脂肪、纤维素等物质。玉米籽粒经工业生产淀粉之后的副产物，经浓缩、脱水、干燥后即为玉米蛋白粉，它含有大量的蛋白质以及少量的类胡萝卜素。由于玉米蛋白粉组成复杂、口感粗糙、水溶性差，目前我国玉米蛋白粉主要用作蛋白饲料或者随废水排掉，并没有得到合理的利用。其中主要成分的提取和应用如下。

1.2.3.1 玉米醇溶蛋白

玉米醇溶蛋白具有独特的溶解性，不溶于水和无水乙醇，可溶于体积分数60%~90%的醇水溶液。生产的工艺流程如下^[3]。

(1) 乙醇提取玉米醇溶蛋白

原料→80~100目过筛→pH值为8，体积分数90%乙醇浸泡萃取→离心→沉淀→pH值为8，体积分数60%乙醇浸泡萃取→离心→提取液→调等电点→盐析→湿产品→干燥→成品

(2) 异丙醇提取玉米醇溶蛋白

原料→体积分数 86% 异丙醇浸泡萃取→离心→提取液→质量分数 50% 碱液处理→冷却过滤→pH 值为 5.6, 体积分数 60% 乙醇浸泡萃取→冷却过滤→干燥→产品

玉米醇溶蛋白具有较强的保水性、保油性以及良好的成膜性、成型性和抗氧化性等特点。可用于食品的保鲜、药片包衣剂、药物缓释剂等,还可用作糖果、硬果、粮食等要求有光泽并保持水分的食品的涂层料使用。因此在薄膜、涂料制造中添加,可使表面具有质地结实、有光泽、抗磨损、抗油脂的特性。另外玉米醇溶蛋白具有可食性,可广泛应用于食品包装纸的表面涂层,特别是油类及冷冻食品的包装纸。

1.2.3.2 玉米黄素

玉米蛋白脂质部分含有玉米黄色素、叶黄素和胡萝卜素,是天然食用黄色素的优质原料。制备时可采用有机溶剂萃取法,经减压蒸馏浓缩后提纯。生产工艺流程如下。

玉米蛋白粉→烘干→粉碎→5 倍质量的体积分数 95% 乙醇(反复提取数次)→浸提液→真空浓缩→喷雾干燥→成品

在食用天然黄色素中,有姜黄、玉米黄、橘皮黄、地黄、红花黄、茶黄等。玉米黄色素具有耐光性、热稳定性、耐碱性、耐氧化性、耐还原性等特点,已广泛应用于食品、医药、日化等领域,可用来替代合成色素。玉米黄色素中的类胡萝卜素在体内能转化为维生素 A,具有保护视力、促进人体生长发育、提高抗病能力的作用。同时,玉米蛋白粉提取玉米黄色素后仍可做饲料,其营养价值不变^[3]。

1.2.3.3 玉米蛋白水解肽

由于玉米蛋白中氨基酸具有不平衡性,因此可以通过酶工程以及蛋白质工程技术,将玉米蛋白水解成分子量很小、水溶性好、易吸收且具有各种生物功能的短肽类分子。工艺流程如下:玉米蛋白→加碱脱脂脱色→离心脱脂脱色→淀粉酶、糖化酶除淀粉→玉米蛋白粉→碱性蛋白酶作用→灭酶→中性蛋白酶→灭酶→离心分离→玉米肽上清液→活性炭脱苦脱色→离子交换脱盐→玉米肽液→喷雾干燥→玉米肽粉成品

玉米蛋白的水解通常有增加营养特性、延缓腐败时间、改善质地、增加乳化性、增强起泡性或凝聚性、增加溶解性、除去异味等目的。通过酶的水解可以控制、改变和提高原蛋白质的功能特性。某些低肽不仅能提供人体生长发育所需的营养物质,而且具有防病、调节人体生理机能的功能,有些还具有原食品蛋白或其组成氨基酸所没有的独特的生理功能。所以许多国家已经开发研制了多种用于病人或特殊生理需要人群的肽类功能性食品^[3]。

1.2.4 玉米浸泡水的利用^[4]

1.2.4.1 蛋白质

玉米浸泡水中含有 2% 左右的蛋白质,因此对于玉米浸泡水中蛋白的利用,主要是将浸泡在水中的蛋白质提取出来,从而制成各类水解蛋白、调味品等。另外,可以采用玉米浸泡水为原料,利用其中的碳、氮以及无机盐(如磷、钾、钙、镁)的含量能满足假丝酵母生长繁殖的需要,仅用一些消泡剂和少量微量元素,而不需添加其他辅料来生产酵母单细胞蛋白,作为饲料酵母,但工艺较复杂,设备要求较高。也可以将这些蛋白回收起来,制成各种生物活性肽,如抗氧化肽,生产功能性食品。

1.2.4.2 植酸

湿法生产玉米淀粉时产生大量的玉米浸泡水，生产 1t 淀粉大约产生 1t 以上的玉米浸泡水，其中含有 1% 左右的植酸。植酸又称为肌醇六磷酸酯，是一种淡黄色或淡褐色浆状液体，含磷 28.16%。植酸易溶于水、乙醇、丙酮，不溶于无水乙醚、苯、己烷、氯仿。植酸作为螯合剂、抗氧化剂、保鲜剂、水的软化剂、发酵促进剂、金属防腐蚀剂等，广泛应用于食品、医药、涂料、日用化工、金属加工、纺织工业、塑料工业及高分子工业等领域。

1.2.4.3 脂多糖

玉米浸泡水中大约含 1% 的脂多糖，脂多糖是类脂和多糖结合在一起的大分子化合物，脂多糖原指覆盖于革兰阴性菌外膜的一种复合多糖。植物脂多糖的研究是从 1992 年日本学者从小麦面粉中提取得到脂多糖开始的，并且发现该来源的脂多糖对糖尿病、胃溃疡、疼痛等疾病有缓解作用，还具有降低血清胆固醇，促进动物、植物生长的功效以及增进鸡胚骨骼生成和提高母鸡产蛋率等作用。

1.2.5 玉米芯的综合利用^[5]

玉米芯是玉米脱去籽粒后的穗轴，一般占玉米穗的 20%~30%。玉米芯中主要成分为纤维素、多聚戊糖、木质素及少量的灰分。玉米芯营养丰富，富含粗蛋白、粗脂肪、粗纤维等，具有较高的利用价值。玉米芯具有多种用途，可制取木糖醇、糠醛、饴糖、葡萄糖，以及用作动物饲料、酿酒、榨油等。

1.2.5.1 木糖醇

玉米芯含有大量的多聚戊糖，从中提取木糖醇的工艺如下：

玉米芯→粉碎→预处理→水解→过滤→中和→过滤→洗涤→脱色→过滤→蒸发→木糖浆
树脂净化→氢化→脱色→浓缩→结晶→分离→成品→包装

木糖醇广泛用于食品、医药、轻工业等方面。在食品工业中，木糖醇作为甜味剂加工成各种食品，例如糖果、巧克力、饮料、果酱、糕点、饼干等，主要为糖尿病患者专用食品。因为木糖醇易被人体吸收，代谢完全，不刺激胰岛素的分泌，不会使人体血糖急剧升高，所以当人体对糖代谢出现异常时，木糖醇仍能正常代谢。因此，木糖醇是糖尿病患者理想的甜味剂和辅助治疗剂。

此外，木糖醇具有防龋齿特性，是防龋齿食品的重要原料之一。当前国内外流行的无糖口香糖，即以木糖醇、山梨醇等糖醇为甜味剂生产。木糖醇还有润肠作用，可用作缓泻剂。另外，木糖醇可以替代甘油作为保湿剂，如在牙膏生产中，木糖醇和甘油混合作用，能增强赋形效果；在纸张中作为增韧剂；在卷烟中作为保湿加香剂。同时，木糖醇和脂肪酸生成的酯类是一种食品工业的油水乳化剂，可用作食品添加剂。

1.2.5.2 糠醛

玉米芯中的聚戊糖也是制备糠醛的重要原料，其生产工艺流程如下：

玉米芯→过筛→粉碎→料库→料库输出→拌硫酸→高压蒸汽水解→气态醛冷凝→加热→蒸馏塔→再冷却→分离醛→毛醛→精制→产品

糠醛是一种重要的有机化工产品，其用途广泛，是制备许多药物和工业产品的原料。由糠醛制得的呋喃经电解还原，还可制成丁二醛，成为生产药物阿托品的原料。同时，糠醛的一些衍生物具有很强的杀菌能力，抑菌谱较宽。例如糠醛经由 5-硝基糠醛，再与盐酸氨基脲缩合得到呋喃西林，是一种消毒防腐药。另外，糠醛是制备呋喃丙烯酸、糠胺反丁烯二酸、

己二酸、糠醇等中间体的原料，广泛用于合成医药、农药、兽药、染料、香料、橡胶助剂、防腐剂等精细化学品中。而消费糠醛最多的领域是作为溶剂和合成树脂的原料。在用于合成树脂方面，可生产呋喃树脂、糠醛树脂和糠酮树脂等。呋喃树脂也叫糠醇树脂，是糠醛在高压下加氢生成糠醇，再将糠醇聚合得到的。这种树脂具有很强的耐碱性，很高的耐热性和耐水性，可用作填缝树脂水泥、防腐衬里、黏结剂。另外，糠醛作为溶剂，可有选择性地从石油、植物油中萃取其中的不饱和组分。

1.2.5.3 木聚糖

玉米芯中的半纤维素主要由以 D-木糖为主链的木聚糖组成，是生产低聚木糖的良好材料。木聚糖的提取工艺如下：

玉米芯→粉碎→木聚糖提取→精制→精制木聚糖液→酶降解→粗产品→精制→浓缩→粗品→精制→产品

木聚糖在食品中可用作乳化剂及膳食纤维，具有促进有丝分裂及免疫调节等功能。此外，木聚糖通过酶解可制备低聚木糖，低聚木糖有促进肠道内有益菌的繁殖、抑制有害菌生长的独特生理功能。

另外，玉米芯中含有的粗蛋白、粗脂肪、可溶性无氮物以及粗纤维，是生产食用菌的良好材料。用粉碎机粉碎后的玉米芯可以直接作为猪饲料。

1.3 玉米胚芽制取玉米油

玉米油(又称玉米胚芽油)是一种高品质的食用植物油，它以玉米胚芽为原料，经离心分离脱胶、脱酸、脱色、脱臭、脱蜡等先进生产工艺过程精制而成。玉米油中含有 86% 的不饱和脂肪酸，其中亚油酸约占 55%、油酸约占 30%，还含有维生素 E、维生素 A、植物甾醇、卵磷脂、辅酶、β-胡萝卜素等营养成分。在制备玉米油的过程中，脱除了玉米胚中的胶质、游离脂肪酸、色素、微量重金属、气味物质等，从而使其富含维生素 E，不含胆固醇，易消化，符合健康饮食消费潮流。同时，玉米油色泽金黄透明，清香扑鼻，口味清淡，没有豆腥味，油而不腻，既可以保持蔬菜和食品的色泽、原有口感与风味，又不损失营养价值，很适合作快速烹炒和煎炸用油。

玉米胚中脂肪一般在 17%~45% 之间，大约占玉米脂肪总含量 80% 以上，是一种很好的资源丰富的制油原料。因而玉米胚芽油的生产在欧美等发达国家已有 100 多年的历史，玉米油现已成为家庭消费的主流油种，例如在美国玉米油消费量仅次于大豆油。另外，玉米油在日本、中东地区也广受消费者的青睐，享有“健康油”“放心油”“长寿油”等美称。近年来，玉米油的产量在世界范围内有较快的增长，已成为主要食用植物油品种之一。而在我国，玉米油的开发利用还比较有限。但是近年来，很多人油脂摄入量过高，造成油脂和胆固醇在体内的堆积，使我国心血管病人逐年增多，而玉米油易被人体消化吸收，吸收率可高达 98% 以上，且不存在脂肪和胆固醇在体内大量堆积的副作用，它的营养保健功能正迎合了人们追求健康的营养目标。因此对于大多数人，特别是老年人，也包括消化系统有病变的人来说都是一种理想的食用保健油。因此，玉米油资源的开发是非常必要的，并且在中国发展玉米油加工企业前景十分广阔。