

农产品现代加工技术丛书

稻米深加工

姚惠源 主编



化学工业出版社

农产品现代加工技术丛书

稻米深加工

姚惠源 主编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

稻米深加工/姚惠源主编. —北京: 化学工业出版社,
2004. 3
(农产品现代加工技术丛书)
ISBN 7-5025-5392-4

I. 稻… II. 姚… III. 稻-粮食加工 IV. TS212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 033579 号

农产品现代加工技术丛书

稻米深加工

姚惠源 主编

责任编辑: 王秀鸾

文字编辑: 李 瑾

责任校对: 陈 静 周梦华

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印装

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 11½ 字数 307 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5392-4/TS·166

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

《稻米深加工》是一本全面介绍稻米资源深度开发利用的技术专著。本书编录了由江南大学食品学院承担的国家“十五”科技攻关计划项目“稻米深加工技术与开发”课题及教育部、原国家计委有关稻米深加工重大科研项目的主要研究成果，专著中还收录了江南大学八位博士、博士后有关稻米深加工博士论文的研究成果及国内外稻米深加工的最新研究进展。本书编写过程中，在仔细比较深入研究国内外稻米深加工技术的基础上，力求使本书体现综合性、科学性、前瞻性和实用性，成为本学科具有创新精神和时代气息的技术专著，满足从事稻米深加工和副产品综合利用的科技人员和相关专业的本科生、研究生学习参考。

本书共分八章，详细介绍了稻米深加工国内外发展现状与趋势、稻米的结构形态和理化性质、稻米的加工特性与深加工层次、米制食品加工技术、稻米深加工全利用技术、稻米功能活性物质的提取分离与纯化、米糠油及其衍生物制品的深加工技术，充分反映了国内外稻米深加工的科研成果和最新动态。

本书由江南大学食品学院姚惠源教授主编，编写第1章，第5章第3、第4、第7节，第7章第1、第3、第4节；金增辉工程师副主编，编写第2、第3章及第4章第4~8节，第6章第6~8节；陈正行教授编写第6章第1节和第8章；王兴国教授编写第7章第2、第5、第6、第7节；马晓军副教授编写第4章第1、第2、第3

节；张晖副教授编写第4章第9~11节和第6章第3节；姚卫蓉副教授编写第5章第5节；王章成副教授编写第5章第1、第2节；姜元荣博士编写第6章第2节；陈季旺博士编写第6章第4、第5节；王立博士编写第6章第9节；姚怀芝硕士编写第5章第6节。本书编写过程中参考引用了有关教材和论文中的若干资料，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2004年2月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 稻米深加工在国民经济中的地位和作用	1
1.2 稻米深加工国内外发展现状与趋势	3
1.2.1 稻米深加工国外发展现状与趋势	3
1.2.2 我国稻米深加工的现状和发展趋势	8
1.3 稻米深加工与现代高新技术	9
第 2 章 稻米的结构形态和理化性质	11
2.1 稻米的结构形态	11
2.1.1 稻谷的籽粒结构	11
2.1.2 稻米籽粒各组成部分的厚度和质量百分数	14
2.1.3 稻谷的生物学结构及其不同加工层次的制品品系	14
2.2 稻米的物理性质	14
2.2.1 谷粒的色泽和气味	15
2.2.2 谷粒的粒形、粒度及其均匀性	15
2.2.3 容重、千粒重和密度	15
2.2.4 粒质	16
2.2.5 裂纹粒	16
2.2.6 谷壳率	17
2.2.7 米粒强度	17
2.3 稻米的化学成分和营养品质	17
2.3.1 稻谷籽粒各部分的化学成分	17
2.3.2 糙米粒各部分的化学成分	18
第 3 章 稻米的加工特性和深加工层次	19
3.1 稻米的产后加工	19
3.1.1 稻米的加工层次	19
3.1.2 稻米深加工产品体系与开发技术途径	20
3.2 稻米类功能性食品基料	21
3.2.1 概述	21
3.2.2 米胚	22

3.2.3	米糠	22
3.2.4	精白米糠-高蛋白米粉	25
3.2.5	食用糙米(含有色糙米,天然糙米,巨胚糙米)	26
3.2.6	糙米芽的种类	29
第4章	米制食品加工技术	30
4.1	米粉	30
4.1.1	概述	30
4.1.2	米粉的加工工艺	31
4.2	速煮米饭	38
4.2.1	概述	38
4.2.2	速煮米饭工艺	39
4.2.3	速煮米饭加工工艺进展	42
4.3	保鲜米饭	45
4.3.1	概述	45
4.3.2	高温杀菌米饭	46
4.3.3	无菌包装米饭	49
4.3.4	冷冻米饭	50
4.4	米糕的生产技术	52
4.4.1	水磨年糕	52
4.4.2	糯米年糕	53
4.4.3	糙米年糕	53
4.5	糙米面条的生产技术	55
4.5.1	概述	55
4.5.2	挤压成型生产的糙米面条	55
4.5.3	压延切条生产的糙米面条	57
4.6	稻米营养饮料	58
4.6.1	概述	58
4.6.2	稻米发酵饮料	58
4.7	米制休闲食品的生产技术	65
4.7.1	美式膨化米饼	65
4.7.2	稻米纸片食品	66
4.7.3	米制挤压小吃食品的生产方法	68
4.7.4	夹芯膨化米果	71
4.7.5	大米面包	72
4.7.6	色米粉丝	78

4.7.7 速食通心粉	80
4.7.8 方便酒酿	81
4.8 发芽糙米的生产技术	83
4.8.1 概述	83
4.8.2 主要原材料	83
4.8.3 生产原理	84
4.8.4 工艺过程	85
4.8.5 操作要点	85
4.8.6 制品特点和用途	87
4.9 米胚和米乳饮料的生产技术	88
4.9.1 米胚芽饮料	88
4.9.2 米乳饮料	92
4.10 婴儿食品生产技术	95
4.10.1 概述	95
4.10.2 高蛋白婴儿营养米粉	95
4.10.3 婴儿断乳期营养米糊的开发	99
4.11 米糠健康食品	100
4.11.1 概述	100
4.11.2 米糠作为健康食品原料的品质要求	101
4.11.3 米糠健康食品	104
第5章 稻米深加工全利用技术	124
5.1 米淀粉的生产技术	124
5.1.1 主要原材料	124
5.1.2 生产原理	124
5.1.3 工艺过程	124
5.1.4 技术要点	124
5.1.5 制品特点与用途	125
5.2 大米淀粉糖生产技术	126
5.2.1 概述	126
5.2.2 淀粉糖的种类和用途	126
5.2.3 淀粉糖生产工艺	128
5.2.4 淀粉糖生产中常用的酶类	134
5.3 大米蛋白生产技术	137
5.3.1 概述	137
5.3.2 大米蛋白的分布、结构组成及氨基酸含量	137

5.3.3	大米蛋白的提取工艺	140
5.3.4	大米蛋白的应用	143
5.4	米糠蛋白生产技术	144
5.4.1	概述	144
5.4.2	米糠蛋白提取工艺	145
5.4.3	米糠蛋白产品的性质	148
5.5	多孔淀粉的生产及其应用技术	152
5.5.1	概述	152
5.5.2	多孔淀粉的生产	153
5.5.3	多孔淀粉的应用	155
5.6	米淀粉基质脂肪模拟品的生产技术	165
5.6.1	概述	165
5.6.2	淀粉基质脂肪模拟品的生产工艺	166
5.6.3	淀粉基质脂肪模拟品的特性及用途	169
5.7	抗性淀粉的生产技术	170
5.7.1	概述	170
5.7.2	抗性淀粉的制备	171
第6章	稻米功能性物质的提取、分离与纯化	180
6.1	米糠脂多糖的制备技术	180
6.1.1	概述	180
6.1.2	脂多糖的化学结构特征	180
6.1.3	植物脂多糖的研究历史和现状	181
6.1.4	脂多糖对免疫系统的生物学活性	182
6.1.5	植物脂多糖与细菌脂多糖在临床应用方面的区别	183
6.1.6	免疫系统与免疫功能	183
6.1.7	米糠脂多糖的制备技术	186
6.2	米糠多糖的制备技术	189
6.2.1	概述	189
6.2.2	米糠多糖的分离、提取	189
6.2.3	米糠多糖的基本组成分析	190
6.2.4	米糠多糖的生物学活性	191
6.2.5	米糠多糖的构效关系	195
6.3	富含 γ -氨基丁酸的米胚芽	195
6.3.1	概述	195
6.3.2	富集 GABA 的工艺	196

6.3.3	富含 GABA 米胚芽的主要营养成分	200
6.3.4	富含 GABA 米胚芽食品的功能性	200
6.3.5	富含 GABA 米胚芽在食品中的利用	202
6.4	米糠蛋白降血压肽的制备技术	203
6.4.1	降血压肽的作用	203
6.4.2	降血压肽作用的机制	204
6.4.3	米糠蛋白降血压肽的制备	205
6.5	米糠蛋白类吗啡拮抗肽的制备技术	208
6.5.1	类阿片拮抗肽的作用	208
6.5.2	类阿片拮抗肽作用的生化机制	210
6.5.3	米糠蛋白类阿片拮抗肽的制备	211
6.6	红曲米和红曲色素的生产方法	215
6.6.1	概述	215
6.6.2	主要原材料	218
6.6.3	生产原理	219
6.6.4	工艺过程与操作要点	219
6.6.5	红曲米与红曲色素的质量要求	223
6.6.6	制品特点与用途	223
6.7	黑米及黑米色素的加工与利用	226
6.7.1	概况	226
6.7.2	黑米色素的含量测定及提取	227
6.7.3	黑米色素的结构与化学性质	229
6.7.4	黑米色素的稳定性	231
6.7.5	黑米色素的生物合成及药理作用	232
6.7.6	黑米食品加工工艺举例及存在问题	233
第 7 章	米糠油及其衍生物制品加工技术	236
7.1	米糠挤压稳定化技术	236
7.1.1	概述	236
7.1.2	米糠的不稳定机理	237
7.1.3	米糠脱酶稳定化技术	238
7.2	米糠油生产技术	242
7.2.1	概述	242
7.2.2	米糠油的制取	243
7.2.3	米糠油的精炼	248
7.3	植酸及植酸钙生产技术	254

7.3.1	概述	254
7.3.2	植酸钙的提取	256
7.3.3	植酸钙的理化性质及用途	261
7.4	肌醇生产技术	261
7.4.1	概述	261
7.4.2	肌醇的理化性质及用途	262
7.4.3	肌醇的生产工艺	264
7.4.4	影响肌醇得率和质量的因素	267
7.4.5	肌醇生产的经济指标和质量指标	270
7.4.6	肌醇的检验方法	271
7.4.7	用途	273
7.5	谷维素生产技术	273
7.5.1	概述	273
7.5.2	谷维素的组成与分布	274
7.5.3	谷维素的加工工艺	275
7.5.4	谷维素的理化性质及用途	281
7.6	甾醇和维生素 E 生产技术	284
7.6.1	甾醇和维生素 E 结构、组成及分布	284
7.6.2	甾醇、维生素 E 加工工艺	288
7.6.3	甾醇和维生素 E 性质和用途	288
7.7	二十八烷醇生产技术	293
7.7.1	概况	293
7.7.2	二十八烷醇的物理化学性质	293
7.7.3	二十八烷醇的生产技术	296
7.7.4	二十八烷醇的生理功能及应用	298
第 8 章	稻壳的深加工技术	307
8.1	稻壳发电技术	307
8.1.1	概述	307
8.1.2	稻壳燃料的基本特性	309
8.1.3	稻壳发电方案	310
8.1.4	稻壳发电的厂房布局	310
8.1.5	稻壳发电的装置要求	310
8.1.6	经济评估	315
8.1.7	稻壳发电的二次污染问题	317
8.1.8	稻壳气化发电技术的发展前景	317

8.2 稻壳吸附剂生产技术	318
8.2.1 概述	318
8.2.2 稻壳生产吸附剂	318
8.2.3 稻壳灰生产吸附剂	326
8.3 稻壳硅的综合利用	329
8.3.1 概述	329
8.3.2 生产高模数水玻璃	329
8.3.3 制备白炭黑	330
8.3.4 生产稻壳硅胶	335
8.3.5 生产稻壳水泥	336
8.3.6 生产高纯硅	337
8.4 糠醛生产技术	338
8.4.1 概述	338
8.4.2 糠醛的理化性质	338
8.4.3 糠醛的主要用途	339
8.4.4 糠醛制取	342
8.5 干馏法制取化工产品	347
8.5.1 概述	347
8.5.2 醋液层的处理	347
8.5.3 焦油层的处理	348
8.5.4 糠碳利用	348
参考文献	350

第 1 章 绪 论

1.1 稻米深加工在国民经济中的地位和作用

稻米是地球上最主要的粮食作物之一，是世界上约 1/2 人口的主要食粮。人类的食物热量有 23% 来自稻米。亚洲是世界上水稻主要生产区，稻谷产量占世界稻谷产量的 90%。其次是南美洲占 3.2%，非洲占 2.9%，北美洲占 1.4%，中美洲、欧洲和大洋洲合计占 2.5%。中国、南亚和东南亚是亚洲水稻三个主要产区，中国稻谷的产量占亚洲的 38%，南亚占 29%，东南亚占 25%，其他地区占 8%。中国是世界上 100 多个水稻生产国中的“稻米王国”，稻谷年产量占世界稻谷年总产量的 34% 左右，居世界首位。

世界水稻生产在 20 世纪 80 年代中期以前，以大于 3% 的年平均增长速度增长，然而在 20 世纪 80 年代中期以来，由于各国政府对农业投资的增长速度减缓及水稻生产成本的上升，使稻谷生产的年平均增长率下降到 1.6%。而我国建国 50 多年来，特别是改革开放 20 多年来，水稻种植面积增加了 23.56%，稻谷单产增长 234.34%，稻谷年总产量由建国初期的 486.45 亿千克提高到 1999 年的 2007.37 亿千克，增长了 412.66%。在近半个世纪中，我国水稻年播种面积约占粮食种植面积的 30%，而年稻谷产量占粮食总产量的 44% 左右。尤其，世界矮秆稻谷育种的“绿色革命”源于中国，举世闻名的水稻杂交优势利用也在中国首先应用于生产。最近我国科学家初步揭开了水稻基因组的奥秘，惊奇地发现水稻基因总数竟然是人类基因组数目的约两倍。通过对水稻基因组序列框架图的详尽分析，估计水稻基因组中基因总数在 46022~55615 个之间，并基本确定了其中 1 万多个基因的功能，这一研究成果已在

美国《科学》杂志上发表，这是我国对世界水稻种植业发展的又一重大贡献。在 20 世纪下半叶，我国稻米生产以其辉煌的成就解决了占世界 1/5 人口的吃饭问题，做出了历史性贡献，对世界粮食安全也做出了重大贡献，所以中国稻米在世界粮食生产中具有十分重要的地位。同时稻米加工业对国民经济的持续快速发展也具有重要的推进作用。

2002 年全球的大米消费达到 4.059 亿吨，我国大米消费量为 1.3968 亿吨，占世界年大米消费量的 33.4%。其中，口粮消费为 11754 万吨，占总消费量的 84.1%，比上年增长 0.33%；种子消费 160 万吨，占总消费量的 1.1% 左右，比上年增长 2.56%；饲料消费 897 万吨，比上年增长 13%，占总消费量的 6.4% 左右；随着食品工业的发展，工业用稻米略有增加，为 205 万吨，比上年增长 13.89%，占总消费量的 1.5%；损耗及其他消费 703 万吨，占总消费量的 5.0%；出口消费（市场年度）比上年增长，为 250 万吨，占总消费量的 1.8%。

随着我国粮食生产稳健发展，稻米的相对富余，食品工业用消费只占 1.5%，出口只占 1.8%。我国稻米除了口粮外，出口和深加工转化率低，由于稻米加工处于初加工或粗加工水平，对稻米的深加工不论在观念上或技术水平上与发达国家均有较大的差距。因此就出现了卖稻米难、稻米低价运营和大量压库，影响了农业经济的持续发展和农民增收，成为国民经济发展中不可忽视的重要问题。这些问题与我国稻米深加工工业相对落后，与稻米有效加工、转化率低密切相关。世界发达国家稻米的深加工、高效转化已成为稻米增值、增效的重要途径。根据世界发达国家稻米进行有效的深加工全利用，可使稻谷加工前后的产值比由粗加工的 1:1.2 提高到 1:3，增值近 3 倍。实施稻米深加工高效增值全利用产业化技术，可使我国从稻米生产大国向稻米生产强国转变，低效农业向高效农业转变，发展农村经济和增加农民收入，是促进农业持续发展的有效举措，必将成为我国农业经济和农村发展新的增长点，在国民经济发展中占有重要的地位和作用。

1.2 稻米深加工国内外发展现状与趋势

由于大米的生产工艺已经基本定型，所以国外一些技术力量雄厚的公司开始把工艺研究的重点放在了稻米的深加工和综合利用上。稻米的深加工和综合利用主要是对稻米加工的主副产品进行进一步的充分利用，使稻米资源得到有效的利用和极大的增值。世界发达国家稻米的深加工主要分米制食品和稻米深加工转化，使之成为多品种、专用化、系列化为食品、保健、医药、化工等工业生产需要的各种产品。

1.2.1 稻米深加工国外发展现状与趋势

国外米制食品品种繁多，包括米酒、米饼、米粉、米糕、速煮米、方便米饭、冷冻米饭、冷冻餐盒、调味品等。日本成功地开发出经酶处理的米粉制作的面包，米粉面包口感湿润，营养价值得到了优化，因为米粉的氨基酸含量高于强力小麦粉。日本生产的夹心面包卷、咖喱面包、黄油面包卷、夹馅面包、调理面包等米粉面包，受到顾客欢迎。

用大米和碎米加工而成的大米粉和高蛋白米粉，焙烤食品、早餐谷物、休闲食品、肉制品等，在美国、爱尔兰等西方国家和地区也有用米粉制成的面包，松软可口。大米粉用淀粉酶处理，可得到蛋白质含量达 25% 以上的高蛋白米粉，用于婴儿食品，大米比大豆和小麦等谷物更适合作为婴儿食品的原料，因为大米更易消化，大米蛋白的生物效价高于其他谷物，且过敏性最低。

淀粉是大米的主要成分，含量达 90% 以上。虽然淀粉工业的三大原料是玉米、小麦和马铃薯，米淀粉只占 13%，不到玉米的一半，但是米淀粉却因其独特的性能和用途，具有很好的市场前景。目前国际市场上对蛋白质含量低于 5% 的高纯度米淀粉需求量较大。米淀粉颗粒非常小，在 $30\sim 8\mu\text{m}$ 之间，且粒度均匀。糊化的米淀粉吸水快，质构非常柔滑似奶油，具有脂肪的口感，且容易涂抹。蜡质米淀粉除了有类似脂肪的性质外，还具有极好的冷冻-解冻稳定性，可防止冷冻过程中的脱水收缩，所以世界发达国家应

用生物技术把米淀粉转化为无油脂脂肪的高新技术。新脂肪替代物十分适合加工酸奶和部分替代奶油的乳制品，它具有奶油的外观及口感，通过不同含量的调配，可加工成供人造奶油生产的加氢油脂。此外，还可作为沙司和烹调用增稠剂、冷冻甜点和冷冻正餐的肉汁、糖果的糖衣和药片的赋形剂、衣服上浆剂、纸和照相纸的粉末。

目前美国和欧洲兴起了淀粉研究开发的热潮。应用现代生物技术可以将大米包括碎米淀粉改性后，转化为抗性淀粉、多孔淀粉、缓慢消化淀粉。美国农业部南部研究中心研究开发的改进米淀粉新产品“Ricemic”，是以大米粉为原料，先分离蛋白质，再经加热和酶处理工艺加工成100%延缓消化、50%加快消化和50%延迟消化的改性米淀粉制品。这类改性米淀粉经临床应用证明，可有效改善糖负荷，将成为糖尿病患者的新食品。这种产品也可作为运动员，尤其是马拉松等长跑运动员的碳水化合物补充剂，因为这种缓慢消化的淀粉能够使运动员在运动过程中获得稳定持久的能量，从而保持其耐力。

美国路易斯安那州南部研究中心（SRRC）已经发明了一种以大米为基质的抗性淀粉产品。抗性淀粉在消化道中不被消化，适合于肥胖和糖尿病患者食用。它不像一般纤维成分会吸收大量水分，当添加于低水分产品时不影响其口感，也不改变食物风味，可作为低热量的食物添加剂。

多孔淀粉是将天然淀粉经过酶解处理后，形成的一种蜂窝状多孔性载体。由于其表面具有很多伸向淀粉中心的小孔，因而具有良好的性能，可用作药剂、香料、色素、活性物质的吸附载体，广泛应用于医药、化工和食品等工业。目前国外已经有此类商业产品出现。

比利时 A&B Ingredients 公司生产的一种微粒子米淀粉，其特征是具有清爽的味道、奶油样的组织结构、低过敏性以及较高的热稳定性。它们是以由蜡质种和非蜡质种两个品种大米加工成的改性米和预凝胶化米为原料，制成的改性米淀粉。

目前国外大米蛋白的产品很多，有不同的蛋白质含量、性能和用途。米淀粉加工的副产品米渣是提取大米蛋白质的最好原料，运用不同的提取手段可以得到不同蛋白质含量和不同性能的产品，一般作为营养补充剂用于食品，蛋白质含量较低的一般用于宠物饲料、小牛饮用乳等。此外，大米蛋白还可应用于日化行业中，如用于洗发水，作为天然发泡剂和增稠剂。

日本研究开发成功世界首创的发芽糙米，糙米发芽后约 0.5~1mm 长，使糙米活性化，其营养价值为原糙米的数倍，使人体原不能消化的糙米营养成分也能被有效消化吸收；特别是 γ -氨基丁酸含量是白米的 5 倍，较糙米高出 3 倍多。富含 γ -氨基丁酸的发芽糙米具有改善脑血流通，调整血压，镇静神经，减少中性脂肪等作用。而且，发芽糙米还含有能抑制脯氨酰内肽酶产生的与脑功能有关的神经传递物质，分解亢进的新有效成分，从而能预防神经细胞性痴呆症。发芽糙米将成为 21 世纪新的粮食资源。

米糠约占稻谷重量的 5%~7%。米糠除含有糖类、脂肪、蛋白质和维生素外，还含有近 100 种具有各种功能的生物活性因子。因此，国内外对于米糠的研究开发相当广泛和深入。据不完全统计，迄今为止，有关米糠深加工的专利有 50 多件，以米糠为原料开发出来的产品更是有上百种之多，产品主要集中在食品、日化和医药三大行业中。

米糠油中不仅含有 80% 以上的亚油酸等不饱和脂肪酸，而且还含有丰富的谷维素、维生素、磷脂和植物甾醇。因此，米糠油是一种保健性食用油，其营养价值超过豆油、菜籽油等。美国心脏学会在专项报告中指出：“米糠油能确实有效地缓解心脏和脑疾患，其有效性表现为可降低血中低密度胆固醇的浓度，使高密度胆固醇有所上升。”研究表明，食用米糠油一周后人体血清胆固醇可下降 17%。近年来，米糠油畅销欧美市场，其售价在花生油、豆油等传统植物油之上，颇受消费者青睐。稻米生产大国泰国有 40% 以上的米糠用来制取米糠油，作为烹调用油。在日本，脱脂米糠的价格高于全脂米糠，这样的市场机制非常有利于米糠制油工业的发展。