

现代食品深加工技术丛书
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

功能肽的加工技术与活性评价

汪少芸 主编



科学出版社

现代食品深加工技术丛书

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

功能肽的加工技术与活性评价

汪少芸 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地总结了各类功能肽（抗冻多肽、抗氧化肽、抗菌肽、金属离子螯合肽、免疫活性肽、血管紧张素转化酶抑制肽、风味肽等）的研究进展，着重阐述了这些功能肽的来源、分离纯化、活性评价与实际应用等，并在此基础上归纳总结了功能肽研究与开发的新技术及未来的研究方向和重点。

本书全面细致，具有实用性、实践性和可操作性的特点，以及较好的学术价值，适合从事食品科学、农业科学、食品生物技术的管理人员阅读，也可作为高等院校食品科学、农业科学、生物工程、医药技术专业研究生及教师的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

功能肽的加工技术与活性评价/汪少芸主编. —北京：科学出版社，2019.7

（现代食品深加工技术丛书）

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-03-061740-8

I. ①功… II. ①汪… III. ①生物活性-肽-食品加工 IV. ①TS205

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第122630号

责任编辑：贾超 侯亚薇 / 责任校对：杜子昂

责任印制：吴兆东 / 封面设计：东方人华

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年7月第一版 开本：720×1000 1/16

2019年7月第一次印刷 印张：22 1/2

字数：440 000

定价：128.00元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

丛书编委会

总 主 编：孙宝国

副总主编：金征宇 罗云波 马美湖 王 强

编 委（以姓名汉语拼音为序）：

毕金峰 曹雁平 邓尚贵 高彦祥 郭明若

哈益明 何东平 江连洲 孔保华 励建荣

林 洪 林亲录 刘宝林 刘新旗 陆启玉

孟祥晨 木泰华 单 杨 申铨日 王 硕

王凤忠 王友升 谢明勇 徐 岩 杨贞耐

叶兴乾 张 敏 张 慤 张 偲 张春晖

张丽萍 张名位 赵谋明 周光宏 周素梅

秘 书：贾 超

联系方式

电话：010-64001695

邮箱：jiachao@mail.sciencep.com

本书编委会

主 编：汪少芸

副 主 编：田永奇 蔡茜茜

编 委（以姓名汉语拼音为序）：

陈 旭 陈惠敏 陈声漾 丁 岚

方 菲 何庆燕 胡冬一 李 灵

林舒婷 林炎兰 刘 源 吕 靓

邱文静 翁青霞 武红伟 谢晓丽

徐梁棕 颜阿娜 杨 倩 叶倩雯

张凌拓 赵立娜

丛 书 序

食品加工是指直接以农、林、牧、渔业产品为原料进行的谷物磨制、食用油提取、制糖、屠宰及肉类加工、水产品加工、蔬菜加工、水果加工、坚果加工等。食品深加工其实就是食品原料进一步加工，改变了食材的初始状态，例如，把肉做成罐头等。现在我国有机农业尚处于初级阶段，产品单调、初级产品多；而在发达国家，80%都是加工产品和精深加工产品。所以，这也是未来一个很好的发展方向。随着人民生活水平的提高、科学技术的不断进步，功能性的深加工食品将成为我国居民消费的热点，其需求量大、市场前景广阔。

改革开放 30 多年来，我国食品产业总产值以年均 10% 以上的递增速度持续快速发展，已经成为国民经济中十分重要的独立产业体系，成为集农业、制造业、现代物流服务业于一体的增长最快、最具活力的国民经济支柱产业，成为我国国民经济发展极具潜力的、新的经济增长点。2012 年，我国规模以上食品工业企业 33 692 家，占同期全部工业企业的 10.1%，食品工业总产值达到 8.96 万亿元，同比增长 21.7%，占工业总产值的 9.8%。预计 2020 年食品工业总产值将突破 15 万亿元。随着社会经济的发展，食品产业在保持持续上扬势头的同时，仍将有很大的发展潜力。

民以食为天。食品产业是关系到国民营养与健康的民生产业。随着国民经济的发展和人民生活水平的提高，人民对食品工业提出了更高的要求，食品加工的范围和深度不断扩展，所利用的科学技术也越来越先进。现代食品已朝着方便、营养、健康、美味、实惠的方向发展，传统食品现代化、普通食品功能化是食品工业发展的大趋势。新型食品产业又是高技术产业。近些年，具有高技术、高附加值特点的食品精深加工发展尤为迅猛。国内食品加工中小企业多、技术相对落后，导致产品在市场上的竞争力弱。有鉴于此，我们组织国内外食品加工领域的专家、教授，编著了“现代食品深加工技术丛书”。

本套丛书由多部专著组成。不仅包括传统的肉品深加工、稻谷深加工、水产品深加工、禽蛋深加工、乳品深加工、水果深加工、蔬菜深加工，还包含了新型食材及其副产品的深加工、功能性成分的分离提取，以及现代食品综合加工利用新技术等。

各部专著的作者由工作在食品加工、研究开发第一线的专家担任。所有作者都根据市场的需求，详细论述食品工程中最前沿的相关技术与理念。不求面面俱到，但求精深、透彻，将国际上前沿、先进的理论与技术实践呈现给读者，同时还附有便于读者进一步查阅信息的参考文献。每一部对于大学、科研机构的学生或研究者来说，都是重要的参考。希望能拓宽食品加工领域科研人员和企业技术人员的思路，推进食品技术创新和产品质量提升，提高我国食品的市场竞争力。

中国工程院院士



2014年3月

前 言

食品产业是国民经济的支柱产业和保障民生的基础性产业，具有举足轻重的战略地位和作用。随着我国经济的快速发展、民众消费观念的转变，社会公众更多地关注如何“吃得安全、吃得健康”，健康管理的内涵也逐渐由“药养”转变为“食养”。基于食品及保健品行业的市场需求，将功能因子加入到饮料、面制品等食品中加工的功能性食品、膳食补充剂等，将在一定程度上起到改善体质、预防疾病的作用。

多肽是一种介于氨基酸和蛋白质之间，由 2 个或 2 个以上的 α -氨基酸通过肽键连接在一起而形成的化合物的总称。近年来的科学研究发现，小分子肽作为蛋白质中的功能活性片段，能提供人体生长、发育所需要的营养物质，而且其相对于蛋白质还具备独特的生理活性。功能肽尤其是食源性的功能肽已在近些年的研究中被广泛关注。功能肽显示出多种生物活性，如抗高血压、抗氧化、抗癌、抗炎、免疫调节和降胆固醇等，被认为是增强人类健康的潜在治疗剂，它们作为食品中潜在的功能成分具有很好的应用前景，对改善人民的生活质量有重要意义。

本书基于笔者 10 余年来的研究与生产实践，结合国内外最新的相关研究成果，围绕功能肽的加工技术和活性评价方法展开论述。第 1 章和第 2 章论述了功能肽的基本概念、生理功能、吸收机制及制备方法等；第 3 章至第 10 章分别论述了抗冻多肽、抗氧化肽、抗菌肽、金属离子螯合肽、免疫活性肽、血管紧张素转化酶抑制肽、风味肽、降血脂肽、抗血栓肽、高 F 值寡肽的来源、活性评价方法及应用等；第 11 章论述了功能肽研究的新技术及应用展望。

本书由福建省食品与海洋生物资源基础与应用研究创新团队带头人汪少芸教授主编。创新团队的田永奇、蔡茜茜、杨倩、陈旭、何庆燕、

陈惠敏等参与了部分内容的编写，上海交通大学刘源教授撰写了本书的第9章“风味肽”。

本书由科技部国家重点研发计划专项（2016YFD0400202）资助出版，在编写的过程中得到了多位编者的大力支持。在此，笔者谨向支持本书编写和出版的单位及个人表示衷心的感谢！

由于笔者水平有限，本书难免存在不足之处，恳请读者批评指正。



2019年6月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 功能肽简介	1
1.2 功能肽的来源	2
1.3 功能肽的生理功能	3
1.3.1 血管紧张素转化酶抑制活性	3
1.3.2 抗氧化活性	4
1.3.3 抗菌活性	5
1.3.4 免疫调节活性	5
1.3.5 抗炎活性	6
1.3.6 抗冻作用	7
1.3.7 螯合金属离子作用	7
1.3.8 阿片活性	8
1.3.9 其他活性	9
1.4 功能肽的吸收机制	9
1.4.1 PepT1 的分布及结构特点	9
1.4.2 PepT1 转运机制	12
1.4.3 PepT1 底物特异性	13
参考文献	14
第 2 章 多肽的制备方法及分离纯化	19
2.1 多肽的制备方法	19
2.1.1 蛋白质分解法	19
2.1.2 生物提取法	23
2.1.3 人工合成法	24
2.1.4 基因工程合成法	24
2.1.5 化学改性法	26
2.2 多肽的分离纯化	27
2.2.1 超滤	28
2.2.2 离子交换层析	28
2.2.3 凝胶过滤层析	28

2.2.4	反相高效液相色谱	29
2.2.5	毛细管电泳	29
2.2.6	固定化金属亲和色谱	29
	参考文献	30
第3章	抗冻多肽	33
3.1	抗冻多肽概述	33
3.1.1	抗冻蛋白的来源	33
3.1.2	抗冻蛋白的分类	35
3.1.3	抗冻蛋白的特性	37
3.1.4	抗冻蛋白的作用机理	39
3.2	抗冻多肽活性检测和评价方法	43
3.2.1	毛细管单晶生长法	43
3.2.2	纳升渗透压法	43
3.2.3	冷台-偏振光法	44
3.2.4	差示扫描量热法	45
3.2.5	低场核磁共振法	45
3.2.6	生物体低温保护法	46
3.2.7	其他方法	46
3.3	抗冻多肽的研究实例及应用	46
3.3.1	抗冻多肽在食品中的应用	46
3.3.2	抗冻多肽在农业中的应用	52
3.3.3	抗冻多肽在医学中的应用	53
3.3.4	抗冻多肽在仿生抗冻蛋白高分子防冰材料中的应用	53
3.4	抗冻多肽基因及基因工程研究	55
3.4.1	抗冻多肽的基因研究	56
3.4.2	鱼类抗冻蛋白基因工程研究	56
3.4.3	昆虫抗冻蛋白基因工程研究	57
3.4.4	植物抗冻蛋白基因工程研究	57
	参考文献	58
第4章	抗氧化肽	65
4.1	抗氧化肽的概述	65
4.1.1	抗氧化肽与健康	66
4.1.2	抗氧化肽的抗氧化机理及影响因素	71
4.2	抗氧化肽的体内外活性评价方法	73
4.2.1	体外抗氧化活性	74

4.2.2 体内抗氧化活性	80
4.3 抗氧化肽的研究实例及应用	83
4.3.1 抗氧化肽在食品体系中的应用	83
4.3.2 抗氧化肽在护肤品工业中的应用	85
4.3.3 抗氧化肽在医药工业中的应用	88
参考文献	92
第5章 抗菌肽	101
5.1 抗菌肽概述	101
5.1.1 抗菌肽的来源	103
5.1.2 抗菌肽的二级结构分类	105
5.1.3 抗菌肽活性	106
5.1.4 抗菌机制	108
5.2 抗菌肽的活性测定和评价方法	112
5.2.1 体外抗细菌活性	112
5.2.2 体外抗真菌活性	116
5.2.3 细胞毒性(溶血活性)	116
5.2.4 抗菌肽在体内抗菌活性和毒性评价方法	116
5.3 抗菌肽的研究实例及应用	119
5.3.1 抗菌肽在食品行业中的应用	119
5.3.2 抗菌肽在农业和畜牧业中的应用	123
5.3.3 抗菌肽在医疗行业中的应用	124
5.3.4 抗菌肽在化妆品中的应用	124
参考文献	125
第6章 金属离子螯合肽	131
6.1 金属离子螯合肽概述	131
6.1.1 金属离子螯合肽的研究背景	131
6.1.2 金属离子螯合肽的螯合模式	133
6.1.3 金属离子螯合肽的制备	134
6.1.4 金属离子螯合肽的来源	135
6.1.5 金属离子螯合肽的螯合能力测定	139
6.2 金属离子螯合肽的结构特征	142
6.2.1 分子大小	143
6.2.2 氨基酸组成和序列	144
6.2.3 金属离子螯合肽的结构解析	145
6.3 金属离子螯合肽的生理活性	148

6.3.1	促进矿物质吸收	148
6.3.2	抗氧化活性	152
6.3.3	抑菌活性	153
6.3.4	其他活性	155
6.4	金属离子螯合肽研究实例及应用	156
6.4.1	矿物质补充剂	156
6.4.2	农业中的应用	158
6.4.3	畜牧业中的应用	159
6.4.4	抗菌添加剂	160
	参考文献	161
第7章	免疫活性肽	167
7.1	免疫活性肽概述	167
7.1.1	免疫学基础	167
7.1.2	免疫活性肽的研究进展	170
7.2	免疫活性肽的来源及序列	175
7.2.1	动物来源的免疫活性肽	176
7.2.2	植物来源的免疫活性肽	180
7.2.3	微生物来源的免疫活性肽	182
7.3	免疫活性肽的活性检测和评价方法	183
7.3.1	淋巴细胞增殖试验	183
7.3.2	巨噬细胞吞噬率和吞噬活性试验	184
7.3.3	NO 释放量试验	185
7.3.4	NK 细胞活性试验	185
7.3.5	脏器系数测定	186
7.3.6	抗体生成细胞检测	186
7.4	免疫活性肽的研究实例及应用	187
7.4.1	免疫活性肽的生理功能	189
7.4.2	神经免疫调节肽	189
7.4.3	富含脯氨酸多肽	190
7.4.4	心房钠尿肽的免疫调节和细胞保护功能	190
7.4.5	髓源性防御素	191
7.4.6	大肠杆菌热不稳定肠毒素	191
7.4.7	生长抑素	191
7.4.8	血管活性肠肽	192
7.4.9	胸腺素 α	192

7.4.10 乳蛋白来源的免疫活性肽	193
7.4.11 胎盘免疫调节因子	193
参考文献	194
第 8 章 血管紧张素转化酶抑制肽	202
8.1 ACE 抑制肽概述	202
8.1.1 ACE 概述	202
8.1.2 ACE 与高血压	202
8.1.3 ACE 抑制肽	204
8.1.4 ACE 抑制肽的来源	204
8.1.5 ACE 抑制肽的作用机制	211
8.1.6 ACE 抑制肽的结构与活性之间的关系	212
8.1.7 ACE 抑制肽的动力学研究	217
8.2 ACE 抑制肽的活性测定和评价方法	220
8.2.1 体外测定 ACE 抑制活性	220
8.2.2 体内测定 ACE 抑制活性	221
8.2.3 ACE 抑制肽的消化、吸收	222
8.2.4 ACE 抑制肽的生物利用度	223
8.2.5 ACE 抑制肽的临床意义	224
8.3 ACE 抑制肽的研究实例及应用	225
8.3.1 动物源 ACE 抑制肽的制备、分离纯化和鉴定实例	225
8.3.2 植物源 ACE 抑制肽的制备、分离纯化和鉴定实例	232
8.3.3 真菌源 ACE 抑制肽的制备、分离纯化和鉴定实例	239
参考文献	242
第 9 章 风味肽	245
9.1 风味肽概述	245
9.1.1 鲜味肽	246
9.1.2 苦味肽	246
9.1.3 咸味肽	247
9.1.4 酸味肽	247
9.1.5 甜味肽	247
9.1.6 浓厚感肽	248
9.2 风味肽活性的评价方法	248
9.2.1 人工感官	248
9.2.2 电子舌	249
9.2.3 生物传感器	249

9.3 风味肽的研究实例及应用	250
9.3.1 美拉德肽的应用	251
9.3.2 牛肉风味肽的应用	251
参考文献	252
第 10 章 其他功能多肽	256
10.1 降血脂肽	256
10.1.1 高血脂的危害	256
10.1.2 降血脂途径	257
10.1.3 植物源降血脂肽	260
10.1.4 动物源降血脂肽	262
10.2 抗血栓肽	264
10.2.1 血栓形成机制	264
10.2.2 乳蛋白来源的抗血栓肽	266
10.2.3 胶原蛋白来源的抗血栓肽	270
10.2.4 植物来源的抗血栓肽	274
10.3 高 F 值寡肽	275
10.3.1 高 F 值寡肽的概念	275
10.3.2 高 F 值寡肽的制备原料	275
10.3.3 高 F 值寡肽的功效	277
参考文献	280
第 11 章 功能肽研究的新技术及应用展望	286
11.1 肽图谱技术	286
11.1.1 电泳技术	287
11.1.2 色谱技术	289
11.1.3 质谱技术	292
11.1.4 其他肽图谱技术	293
11.2 肽组学技术	295
11.2.1 概述	296
11.2.2 食源性功能肽的发现	297
11.2.3 生物利用度	300
11.2.4 多肽组学用于生物活性肽的监测	305
11.3 生物信息学预测技术	307
11.3.1 概述	307
11.3.2 食品生物信息学:迄今的故事	308

11.3.3 数据库和计算机工具用于生物信息学驱动的食物源生物 活性肽的发现	312
11.4 应用展望	315
参考文献	317
附录 中英文缩略词	332
索引	338

第1章 绪 论

1.1 功能肽简介

众所周知，蛋白质是细胞结构中最重要有机物质之一，是构成机体组织器官的支架和主要物质，在人体生命活动中起着重要的作用。可以说，蛋白质是生命的物质基础，没有蛋白质就没有生命。氨基酸是蛋白质的基本组成单位。自然界中，从简到繁的各种生物体都是由20种氨基酸组成的蛋白质所构成的。各种蛋白质的区别在于其氨基酸的组成、数目、排列顺序和肽链的空间结构的不同。现代生物学在研究蛋白质时发现了一种介于氨基酸和蛋白质之间的生化物质，将其称为肽，它的分子质量比蛋白质小，而比氨基酸大，是蛋白质分子中的一个片段。

小分子肽作为蛋白质中的功能活性片段，能提供人体生长、发育所需要的营养物质，而且其相对于蛋白质还具备独特的生理活性特征：①小分子肽易被人体吸收利用，具有低抗原性或无抗原性。研究发现，小分子肽能以完整的形式被吸收进入人体循环系统，不需要再次消化，也不需要耗费能量。小分子肽的吸收、转化及利用是高效和完全的。小分子肽在体内停留的时间较蛋白质短，很少有机会与产生抗体的细胞接触，刺激机体产生免疫反应。②小分子肽生物活性很高，作用范围广。往往分子质量很小的肽就能引起很大的作用，此外，从细胞到组织器官，都能发现小分子肽的作用。③小分子肽结构易于修饰改造，重新合成。④小分子肽不会引起营养过剩，能有效调节人体营养平衡。

生物体内存在的天然肽类分子维持着机体的正常生命活动，这些参与机体生理活动的肽类分子称为生物活性肽或功能肽。功能肽是由氨基酸以不同的排列组合方式构成的，是2个或2个以上的 α -氨基酸通过肽键连接在一起而形成的化合物的总称。氨基酸作为肽的基本结构单位，其数目、种类与排列顺序的不同决定了肽纷繁复杂的生物结构与功能。一般来说，依据肽类化合物的不同来源，其又可分为内源性肽和外源性肽。

食物蛋白质作为功能肽的来源已在近些年的研究中被广泛描述。功能肽显示出各种活性，如抗高血压、抗氧化、抗癌、抗炎、免疫调节和降胆固醇等。这些功能肽被认为是增强人类健康的潜在治疗剂，它们作为食品工业中的潜在功能成分具有很好的应用前景，对改善消费者的生活质量有重要意义。