

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

肠道健康与功能性食品

侯俊财 李艾黎 等 著
江连洲 审



科学出版社

(TS-0567.31)

肠道健康与功能性食品

科学出版中心
电 话: 010-6400 1695
E-mail: jiachao@mail.sciencep.com

销售分类建议: 食品科学与工程

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-062663-9



9 787030 626639 >

定价: 98.00元

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

肠道健康与功能性食品

侯俊财 李艾黎 等 著

江连洲 审

科学出版社

北京

内 容 简 介

肠道微生物生态系统的平衡直接影响肠道的健康,自从人类微生物组计划启动,肠道微生物的研究及调节肠道健康的功能性食品的研究与开发越来越受到人们的重视。本书集中展现了肠道微生态与人体健康的相互关系,既包括肠道微生态的形成过程,也包括目前肠道微生态研究所采用的先进的技术手段及取得的研究成果,还对肠道微生态与人体疾病的相关性及调控肠道健康的相关技术进行了阐述,最后论述了肠道微生态制剂和膳食营养对肠道微生态的影响及与肠道健康相关的功能性食品,旨在促进我国肠道健康功能性食品产业的健康发展。

本书适合于胃肠道、临床营养等相关专业的医生和科研人员,以及功能性食品研究开发的科研人员和相关生产企业的管理与生产人员阅读,也可作为高等院校、科研院所食品科学专业研究生及教师的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

肠道健康与功能性食品/侯俊财等著. —北京:科学出版社, 2019.11

(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 978-7-03-062663-9

I. ①肠… II. ①侯… III. ①肠-保健-基本知识 IV. ①R574

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第233537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11月第一版 开本:720×1000 1/16

2020年1月第二次印刷 印张:18

字数:350 000

定价:98.00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 懋 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

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。

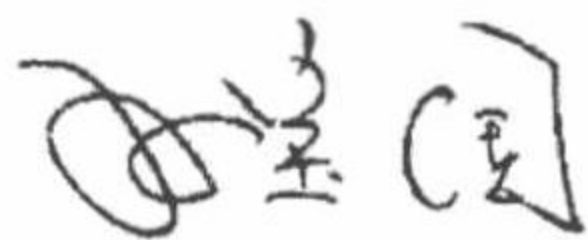
改革开放 30 多年来，我国食品产业总产值以年均 10% 以上的递增速度持续快速发展，已经成为国民经济中十分重要的独立产业体系，成为集农业、制造业、现代物流服务业于一体的增长最快、最具活力的国民经济支柱产业，成为我国国民经济发展极具潜力的、新的经济增长点。2012 年，我国规模以上食品工业企业 33 692 家，占同期全部工业企业的 10.1%，食品工业总产值达到 8.96 万亿元，同比增长 21.7%，占工业总产值的 9.8%。预计 2020 年食品工业总产值将突破 15 万亿元。随着社会经济的发展，食品产业在保持持续上扬势头的同时，仍将有很大的发展潜力。

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，人们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，导致产品在市场中的竞争力弱。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。每一部著作对于大学、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

肠道生态系统的平衡直接影响肠道的健康。肠道微生态系统是人体四大微生态系统中最为主要、最为复杂的，由肠道微生物及其所生活的环境共同构成。肠道微生物是其核心部分，约占人体微生物总量的 78%，约有 1000 多种。这些微生物与人体长期共进化，通过改变微生物菌群的构成、种类与比例实现维护和恢复人体健康的目的。肠道微生物是宿主代谢的重要参与者，具有营养吸收、免疫调节、疾病防御等功能，对人体健康有重要影响，被视为人体最大的免疫“器官”。然而，肠道微生物受多种因素的影响，如膳食、地域、年龄、分娩方式、抗生素等，其中膳食因素是最容易控制或改变的因素。肠道微生物与摄入的食物营养密切互动，不仅有助于降解食物营养素，还能够合成多种营养素供人体利用。研究者逐步认识到人体、微生物菌群和营养存在密切互作关系。因此，解析这一互作网络将为精准营养学的发展带来前所未有的新机遇。

在人类基因组计划完成后，基于人类微生物种群对人体健康潜在的重要性，美国国立卫生研究院 2007 年底启动了人类微生物组计划，也称为人类第二基因组计划。其目的是探明人体鼻腔、口腔、肠道与尿道环境中人类微生物组的特征与组成，分析这些微生物与人类健康和疾病的关系，为预防和治疗由人类微生物组引发的疾病提供理论依据。其中肠道微生态与营养健康食品的相关研究取得了突飞猛进的进展，因此，编写一部系统地归纳总结相关研究成果、介绍最新信息的书籍，让更多的读者了解肠道微生态与健康之间的关系，使更多的科研工作者加入肠道微生态的研究队伍中，同时对肠道微生态与健康相关知识的传播和调节肠道健康营养功能性食品的创制产生积极的推动作用。

本书主要介绍了肠道结构与功能及肠道微生态的形成过程，总结了目前肠道微生态研究所采用的先进的技术手段及取得的研究成果，阐述了肠道微生态与人体疾病的相关性及调控肠道健康的相关技术，最后详细论述了肠道微生态制剂和膳食营养对肠道微生态的影响及与肠道健康相关的营养功能性食品。本书一部分内容是我们在该领域多年的研究成果，另一部分内容则是归纳和总结了国内外相关学者的研究成果，并在每章结尾处列出了主要的参考文献，在此我们对这些参考文献的作者表示衷心感谢。

本书编写分工如下：侯俊财负责编写第1章，李艾黎负责编写第2章，侯俊财和孙长豹负责编写第3章，李艾黎和刘志静负责编写第4章，侯俊财和马佳歌负责编写第5章，李艾黎和顾丽雅负责编写第6章，李艾黎和王惋负责编写第7章，侯俊财负责编写第8章。感谢付永岩、王毅超、高达、姜梦婷、冯雪、刘月、徐聪、于彤、李佳、官梦姝在资料整理过程中付出的辛勤劳动。全书由侯俊财教授和李艾黎副教授负责统稿，江连洲教授负责审稿。

非常感谢“十三五”国家重点研发计划项目“肠道微生态调控技术研究和营养健康食品创制及产业化”（2016YFD0400605）提供的资助。

尽管我们做了最大努力，但因学术水平和编写能力有限，书中难免会有疏漏之处，敬请读者及时给予指正，并请多多谅解。

侯俊财

2019年11月于哈尔滨

目 录

第 1 章 肠道结构与功能	1
1.1 肠道结构	1
1.1.1 肠道组织	1
1.1.2 肠道黏膜	3
1.1.3 肠道菌群	4
1.2 肠道功能	5
1.2.1 肠道的消化吸收功能	5
1.2.2 肠道的免疫功能	7
1.2.3 肠道的生理调节功能	10
1.3 肠道功能紊乱	12
1.3.1 肠道功能紊乱概述	12
1.3.2 肠道功能紊乱影响	13
参考文献	16
第 2 章 肠道微生态	18
2.1 肠道微生态概述	18
2.1.1 肠道菌群分类	18
2.1.2 肠道菌群的作用	25
2.2 肠道微生态的构建	28
2.2.1 发育阶段	29
2.2.2 过渡阶段	29
2.2.3 稳定阶段	30
2.2.4 成年阶段	30
2.2.5 老年阶段	31
2.2.6 总结	32
2.3 宿主环境与肠道微生态的关系	32
2.3.1 分娩方式与肠道菌群的关系	33
2.3.2 喂养方式与肠道微生态的关系	34
2.3.3 饮食与肠道微生态的关系	35
2.3.4 抗生素对肠道微生态的影响	38

2.3.5	补充微生物制剂对肠道微生物生态的影响	38
2.3.6	疾病与肠道微生物生态失调	40
	参考文献	42
第3章	肠道微生物组学	45
3.1	基因组学	46
3.1.1	基因组学概述	46
3.1.2	基因组学研究技术	47
3.1.3	基因组学在肠道微生物生态研究中的应用	50
3.1.4	基因组学研究展望	53
3.2	转录组学	53
3.2.1	转录组学概述	53
3.2.2	转录组学研究技术	54
3.2.3	转录组学在肠道微生物生态研究中的应用	59
3.2.4	转录组学研究展望	61
3.3	蛋白质组学	62
3.3.1	蛋白质组学概述	62
3.3.2	蛋白质组学研究技术	65
3.3.3	蛋白质组学在肠道微生物生态研究中的应用	68
3.3.4	蛋白质组学研究展望	69
3.4	代谢组学	70
3.4.1	代谢组学概述	70
3.4.2	代谢组学研究技术	72
3.4.3	代谢组学在肠道微生物生态研究中的应用	76
3.4.4	代谢组学研究展望	78
3.5	营养基因组学	78
3.5.1	营养基因组学概述	78
3.5.2	营养基因组学研究技术	79
3.5.3	营养基因组学在肠道微生物生态研究中的应用	80
3.5.4	营养基因组学研究展望	82
	参考文献	83
第4章	肠道微生物生态与人体健康	87
4.1	肠道微生物生态与代谢性疾病	87
4.1.1	糖脂代谢疾病概述	87
4.1.2	肠道菌群与糖脂代谢疾病的联系	89
4.1.3	肠道菌群代谢产物对糖脂代谢的影响	92

4.1.4	以肠道菌群为靶点对糖脂代谢疾病的干预	95
4.2	肠道微生态与免疫性疾病	99
4.2.1	炎性肠病	100
4.2.2	1型糖尿病	104
4.2.3	过敏性疾病	105
4.3	肠道微生态与精神性疾病	109
4.3.1	肠道微生态与脑部发育的相关性	109
4.3.2	阿尔茨海默病	111
4.3.3	帕金森病	113
4.3.4	孤独症谱系障碍	114
4.3.5	抑郁症	115
4.3.6	精神性疾病的预防	117
4.4	肠道微生态与癌症	117
4.4.1	结直肠癌	117
4.4.2	肝癌	120
4.4.3	肺癌	123
4.4.4	益生菌对癌症的干预研究	125
	参考文献	126
第5章	微生态制剂	129
5.1	益生菌	129
5.1.1	演变历史和概念	129
5.1.2	益生菌菌株的选育技术	132
5.1.3	益生菌功能的强化	134
5.1.4	作用机制	136
5.1.5	应用	147
5.2	益生元	155
5.2.1	概念	155
5.2.2	作用机制	156
5.2.3	益生元的提取及制备方法	160
5.2.4	应用	161
5.3	合生元	164
5.3.1	概念	164
5.3.2	作用机制	164
5.3.3	应用	165
	参考文献	168

第 6 章	肠道菌群与膳食营养、健康	174
6.1	食物成分对肠道菌群的影响	175
6.1.1	膳食碳水化合物	175
6.1.2	膳食蛋白质	177
6.1.3	膳食脂肪	179
6.1.4	维生素和矿物质	179
6.1.5	多酚类化合物	180
6.2	肠道菌群及其相关代谢产物对健康的影响	180
6.2.1	短链脂肪酸	180
6.2.2	胆酸	182
6.2.3	胆碱代谢物	184
6.2.4	酚类	185
6.2.5	吲哚衍生物	186
6.2.6	维生素	187
6.2.7	多胺类	188
6.2.8	脂类	189
6.2.9	其他代谢物	190
6.3	饮食干预对肠道菌群的影响	191
6.3.1	饮食结构不当对肠道菌群的影响	191
6.3.2	合理饮食对肠道菌群的影响	194
	参考文献	198
第 7 章	肠道健康调控技术	211
7.1	miRNA 对肠道健康的调控作用	211
7.1.1	miRNA 概述	211
7.1.2	miRNA 在肠道疾病中的异常表达	213
7.1.3	miRNA 参与调节肠道功能	214
7.1.4	miRNA 在维持肠道稳态中的作用	217
7.2	Toll 样受体对肠道健康的调控作用	218
7.2.1	TLRs 的组成及分类	219
7.2.2	TLRs 识别的配体及其信号通路	219
7.2.3	TLRs 与常见的肠道疾病	221
7.2.4	TLRs 调节肠道健康的机制	222
7.3	粪菌移植	225
7.3.1	方式及管理	226
7.3.2	适用疾病	228

7.3.3 未来发展及挑战	231
7.4 肠道健康与合理使用抗生素	232
7.4.1 抗生素的种类及作用机制	232
7.4.2 抗生素对肠道菌群的影响	234
7.4.3 抗生素不合理应用产生超级细菌	235
7.4.4 抗生素不合理应用导致疾病	236
7.4.5 合理使用抗生素	237
参考文献	237
第 8 章 肠道健康营养功能性食品	243
8.1 润肠通便类食品	243
8.1.1 膳食纤维的组成	244
8.1.2 膳食纤维润肠通便机理	244
8.1.3 富含膳食纤维的食品	245
8.1.4 膳食纤维的制备	246
8.1.5 润肠通便功能性食品的评价标准	248
8.2 保护肠道黏膜类食品	248
8.2.1 保护肠道黏膜的功能性食品	249
8.2.2 肠道黏膜保护功能性食品的评价标准	251
8.3 调节肠道菌群类食品	252
8.3.1 有益活菌食品	252
8.3.2 益生元食品	255
8.3.3 婴幼儿奶粉与婴幼儿肠道微生物	260
8.3.4 调节肠道菌群类食品的评价标准	262
8.4 肠道健康生活指南	263
8.4.1 肠道健康与平衡膳食	263
8.4.2 肠道健康与良好的心态	266
8.4.3 肠道健康与适当的运动	267
参考文献	270
索引	272

第 1 章 肠道结构与功能

肠道是机体重要的消化器官，也是微生物的主要寄居场所，在维持机体正常生命活动中发挥着重要功能。其表面稳定而具有功能性的黏膜屏障是分隔机体内环境与食物抗原及微生物的生物界面，肠相关淋巴组织及分泌型免疫球蛋白 A (sIgA) 共同组成肠黏膜免疫屏障，保护机体免受外来病原物的侵扰。同时，黏膜免疫系统不仅具有一般性的屏障作用，还参与体液免疫和细胞免疫过程，在机体肠道内环境的调节中起重要作用。肠道菌群是定植于人体最大的微生态系统，在维持内外环境稳态中具有重要作用。肠道菌群紊乱主要体现于共生菌及病原菌的生长失衡，并与疾病的进展密切相关。

本章主要介绍肠道内的相关组织结构，阐述以免疫功能为主具有保护人体健康和抵御外源病原物的肠道功能特性，以及肠道功能紊乱所带来的影响，为肠道相关研究提供理论知识。

1.1 肠道结构

人体消化道分为上消化道和下消化道，是一条很长的肌性管道，包括口腔、咽、食管、胃、小肠和大肠。消化腺包括口腔腺、肝、胰腺及消化管壁上的许多小腺体，其主要功能是分泌消化液。人体的消化系统由消化道和消化腺两大部分共同组成。其最基本的功能为食物的消化吸收，即摄取食物中的营养成分以供人体所需的物质和能量及排泄废物。除维生素、水和无机盐可以被直接吸收利用外，蛋白质、脂肪和糖类等难于溶解的大分子物质均不能被机体直接吸收利用，需在消化道内被分解成结构简单的小分子物质，才能被吸收利用。消化过程包括机械性消化和化学性消化，两种形式可以同时进行，共同完成消化过程。

临床上，以十二指肠为分界线将消化道分为两部分。其中，上消化道是由口腔、咽、食管、胃、小肠中的十二指肠组成；下消化道由小肠中空肠、回肠和大肠（盲肠、阑尾、结肠和直肠）组成。

1.1.1 肠道组织

肠指的是从胃幽门至肛门内最长且功能最重要的一段消化管，哺乳动物的肠

包括小肠和大肠两大段。

成人小肠长 5~7 m，位于腹中，始接幽门，终接盲肠。根据结构和形态不同，分为十二指肠、空肠和回肠三段。小肠是消化、吸收的主要场所，大量的消化反应和几乎全部消化产物的吸收都是在小肠内进行的。

大肠是人体消化系统的重要组成部分，成人大肠全长约 1.5 m，上接回肠，包括盲肠、阑尾、结肠和直肠四部分。大肠在外形上与小肠有明显的不同，一般大肠口径较粗，肠壁较薄。大肠的主要功能是进一步吸收粪便中的水分、电解质和其他物质（如氨、胆汁酸等），形成、储存和排泄粪便，粪便通过直肠经肛门排出。

1. 十二指肠

十二指肠紧贴腹后壁，是小肠中最短、管腔最大的一段，呈“C”字形包绕胰头，长约 25 cm，自胃幽门开始，止于十二指肠空肠曲，分为上部、降部、水平部和升部四部分。其主要功能是分泌黏液，刺激胰消化酶、激胆素和胆汁，为蛋白质的重要消化场所。

2. 空肠

空肠起自十二指肠空肠曲，下连回肠，位于左上腹部，约占小肠全长的 40%，管腔较粗，管壁较厚，颜色较红，环状襞明显，存在孤立淋巴滤泡，是食物消化吸收的主要场所。

3. 回肠

回肠是小肠中十二指肠和空肠后方的部分，其后接续大肠，位于右下腹部，约占小肠全长的 60%，管腔较细，管壁较薄，颜色较淡，环状襞不明显，存在集合淋巴滤泡和孤立淋巴滤泡。空肠和回肠由肠系膜连于腹后壁，又称系膜小肠。空肠和回肠之间并无明显界限，在形态和结构上的变化也是逐渐改变的。

4. 盲肠

长 6~8 cm 的盲肠是大肠的起始部，下端为膨大的盲端，是大肠中最粗、最短、通路最多的一段。前端与回肠末端相连，至回盲瓣水平延伸为升结肠，内向下通阑尾。回肠和盲肠的连通口称为回盲口。在回盲口，由回肠末端突入盲肠而形成的上、下两个半月形的瓣称回盲瓣，其作用是阻止小肠内容物过快流入大肠，使食物在小肠内充分消化吸收，以及防止盲肠内容物逆流到回肠。在回盲瓣的下方约 2 cm 处，有阑尾的开口。

5. 阑尾

阑尾又称为蚓突，是细长弯曲的盲管，在盲肠与回肠之间，上端连通盲肠的后内壁，下端游离，平均长度为 10 cm。阑尾全长都附有阑尾系膜，其活动性较大，可伸向腹腔的任何方位。阑尾是一个淋巴器官，其淋巴液回流方向与静脉血回流方向相一致，可达回结肠淋巴结，具有免疫功能。

6. 结肠

结肠内续于盲肠，全长约 130 cm，围绕空肠和回肠，呈“M”形排列分布，按其所在位置和形态不同，又分为升结肠、横结肠、降结肠和乙状结肠四部分。就结肠的功能而言，不仅包括储存人体新陈代谢后的废物并外排，同时也发挥了部分小肠的功能，即饮食的消化吸收和再吸收。

7. 直肠

直肠为大肠的末段，位于盆腔后部，长度约为 15 cm；上端接续乙状结肠，下端以肛门而终；有两个前后方向的弯曲。直肠周围多脂肪，无纵带，此外还有内、外括约肌围绕，直肠的主要功能是储存粪便、引发便意及排泄。

1.1.2 肠道黏膜

正常情况下，肠道黏膜具有屏障作用，可有效地阻挡肠道内 500 多种、浓度高达 10^{12} CFU/g 的肠道内寄生菌及其毒素向肠腔外组织、器官移位，防止机体受内源性微生物及其毒素的侵害。肠道黏膜是将机体内部环境和肠腔内环境分开的复杂结构，包括机械屏障、化学屏障、生物屏障及免疫屏障，一旦屏障的完整性被破坏，外源性有害物质（细菌、毒素等）可入侵宿主肠道组织，造成炎症和组织损伤。

小肠肠壁是由黏膜、黏膜下层、肌层和浆膜构成的，其结构特点是肠壁具有环形皱襞。黏膜由上皮、固有层和黏膜肌层组成。人体小肠黏膜展开的表面积约为 200 m^2 ，且每平方米小肠内约含有 10^{10} 个浆细胞，而皮肤表面积仅约为 1.8 m^2 。黏膜上皮细胞分泌肠液，润滑肠管，使食物易于向下运动，上皮皱襞很多，有效扩大了小肠的吸收面积，易于食物营养的吸收。黏膜固有层由富含血管、淋巴管和消化腺的结缔组织组成，并含有淋巴组织。肠道黏膜上皮和固有层消化腺内还具有分散分布的内分泌细胞，对肠功能起调节作用。黏膜肌层为黏膜深部的薄层平滑肌组织，收缩时可促进固有层腺体分泌和血液流动，并增强黏膜与食物的接触，有利于食物的消化和吸收。黏膜内还有许多绒毛，绒毛根部的上皮下陷至固有层，形成管状的肠腺，其开口位于绒毛根部之间。绒毛和肠腺与小肠的消化和吸收功能关系密切。一些柱状细胞、杯状细胞、帕内特细胞和未分化细胞也存在