

功能性食品及其加工技术丛书

改善胃肠道功能食品

马 莺 陈历俊 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书为《功能性食品及其加工技术丛书》中的一册。

本书主要介绍了改善胃肠道功能的膳食纤维、低聚糖、活性多糖和益生菌等功能性物质，并对它们的生理生化性质、提取分离技术、检测方法、相应产品的开发应用以及安全性评价方法进行了较详细的说明，对读者有较大参考价值。

本书可供相关食品生产企业技术人员、管理人员使用，也可作为相关专业人员和关心胃肠道功能的普通大众的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

改善胃肠道功能食品/马莺, 陈历俊编著. —北京: 化学工业出版社, 2006. 12

(功能性食品及其加工技术丛书)

ISBN 978-7-5025-9797-9

I. 改… II. ①马…②陈… III. 胃肠病-疗效食品-基本知识

IV. TS218

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 161390 号

责任编辑: 彭爱铭 王蔚霞

责任校对: 周梦华

封面设计: 郑小红

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: 北京云浩印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 7¼ 字数 190 千字 2007 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: 19.90 元

版权所有 违者必究

前 言

随着人们生活水平的提高，食品消费需求已经由温饱向便捷、营养、保健的方向发展，这就给食品企业带来更大的商机，同时消费者也希望了解和掌握一些关于食品营养和特性方面的知识。食品中某些成分具有调节机体功能、减少疾病增进健康的效果，这些观点已经得到食品化学、生理学、细胞生物学、流行病学等方面强有力的支持。功能性食品是具有特种保健功能的食品，即适宜于特定人群食用，具有调节机体功能，不以治疗疾病为目的的食品。同时突出了功能性食品的三个主要特征：食品性、功能性和非药物性。所谓的特种功能性食品着眼于某些特殊消费群的身体状况，强调食品在预防疾病和促进康复方面的调节功能。改善胃肠道功能的食品是具有促进消化吸收、调节肠道菌群、保护胃黏膜、预防便秘或者腹泻等功效的特种功能性食品。

鉴于此我们编撰了本书，希望对食品生产企业和消费者正确认识功能性食品具有一定的帮助和指导作用。全书共分为6章，主要介绍了能够促进营养素的消化吸收、润肠通便、改善肠道菌群和保护胃黏膜功能的功能性成分，涉及膳食纤维、低聚糖、活性多糖、益生菌的生理生化性质、提取方法和生物制造技术、功能性成分的检测方法及其相应产品的开发和应用特点，以及改善胃肠道功能性食品的安全性评价方法。

本书由马莺和陈历俊编著，参加编写的还有张雪、董晶莹、王鹏、张莉、那海涛、李贺书。在此感谢为本书编撰辛勤工作的合作者们，感谢华中农业大学吴谋成教授对全书进行审定并提出了宝贵

的意见，感谢有关同志在编审过程中为本书付出辛勤的劳动。由于作者水平和能力有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2006年9月

序

食品的功能第一是营养功能：它提供人体所需要的基础营养素，以满足人体生存的需要。第二是感官功能：它必须满足人们对色、香、味、形嗜好的要求，增强人们对食品的食欲。然而，随着社会的进步，生活水平的提高，人们对自身健康的重视和对长寿的追求越来越关注。另一方面，社会的发展，科技的进步也给人们的生存环境中的空气、水源、食品等等带来严重的污染，从而导致各种疾病发病率的不断上升。在这种情况下，人们寻求一种既能满足营养和感官功能，又能增强机体免疫能力，调节人体生理节律，预防疾病或促进康复的具有特殊用途的食品，即既具有营养和感官功能又具有第三功能的食品。这种被称为具有特殊功能的功能食品（亦称健康食品）是食品营养与功能研究的热门课题，是当今研究的前沿与方向。

功能食品的第三功能在于功能食品中的活性成分对人体生理节律的调节。功能活性成分和功能食品的研究与生理学、生物化学、营养学及中医药等多种学科的基本理论相关。目前，国内外研究工作者应用多学科的知识、采用现代科学仪器和实验手段，以体内试验和体外试验相结合，从分子、细胞、器官等分子生物学水平上对功能食品进行了深入的研究，开发出一系列具有不同功效的功能食品。因此功能食品应是多学科交叉、融合的结晶。如果将各自的研究结晶向研究和开发功能食品的科技人员介绍，共同深入探讨，共同切磋，将有利于功能食品产业的飞跃和健康发展；特别是深入浅出、通俗易懂地将功能食品介绍给广大人民群众，为人民群众所理解和接受，得到人们的喜爱，对提高人们生活质量和健康水平的重要意义是不可低估的。

然而，目前我国认真地、系列地介绍具有不同功效的功能食品书

籍还很缺乏。化学工业出版社组织编著和不断推出的功能食品丛书，填补了这一缺陷。此丛书由我国研究功能食品的有关专家教授亲自编写而成。他们在积累了相当丰富文献资料的基础上，结合各自的研究成果，撰写出内容丰富，兼具科学性与实用性的丛书。该丛书既可供大众阅读，又可供研究功能食品的科技人员、开发生产功能食品的生产管理人员借鉴和参考。它的出版，对提高人们的健康水平、生活质量，对我国功能食品的开发和产业的发展，将起到较大的推动作用。在此丛书不断问世之际，特向读者推荐，并作此序。

吴谋成 教授

2004年12月于武汉狮子山

目 录

第一章 发展及现状	1
第二章 作用机理	5
一、肠道菌群简介	5
二、肠道菌群与健康	7
三、功能性食品对调节胃肠道的作用	10
第三章 膳食纤维类功能性食品	15
第一节 膳食纤维	15
一、简介	15
二、组成	16
三、物化特性	24
四、生理功能	27
第二节 来源及制品	32
一、谷物纤维	33
二、豆类纤维	37
三、果蔬纤维	39
四、其他天然纤维	47
第三节 生产工艺	48
一、膳食纤维的生产	48
二、提取和加工工艺对膳食纤维的影响及改性处理	55
第四章 功能性低聚糖	65
第一节 低聚糖	65
一、低聚糖简介	65
二、低聚糖的理化性质	70
三、低聚糖的生理功能	72
第二节 大豆低聚糖	78
一、大豆低聚糖概述	78
二、大豆低聚糖生产	81
三、大豆低聚糖在食品工业中的应用	90

第三节	低聚果糖	91
一、	低聚果糖概述	91
二、	低聚果糖的生物合成	92
三、	低聚果糖生产	97
四、	低聚果糖在食品工业中的应用	110
第四节	低聚异麦芽糖	111
一、	低聚异麦芽糖的组成	111
二、	低聚异麦芽糖生产	112
三、	低聚异麦芽糖在食品工业中的应用	117
第五章	多糖类功能性食品	119
第一节	菊粉功能性食品加工技术	119
一、	菊粉的性质	119
二、	菊粉的生产	122
三、	菊粉的应用	123
第二节	难消化糊精功能性食品加工技术	124
一、	难消化糊精的性质	124
二、	难消化糊精的生产	126
三、	难消化糊精的应用	127
第三节	甲壳素和壳聚糖功能性食品加工技术	127
一、	甲壳素和壳聚糖的性质	128
二、	甲壳素和壳聚糖的生产	131
三、	壳聚糖的应用	135
第四节	茁霉多糖功能性食品加工技术	136
一、	茁霉多糖的性质	136
二、	茁霉多糖的生产	138
三、	茁霉多糖的应用	141
第六章	益生菌	142
第一节	益生菌的生理功能	142
一、	益生菌概述	142
二、	益生菌的分离与保藏	149
三、	益生菌的生理功能	159
第二节	益生菌产品	171
一、	益生菌产品的发展历史	171
二、	益生菌产品分类	172

三、酸奶和发酵乳饮料	173
四、益生干酪	175
五、冷冻乳制品	177
六、非乳产品	178
第三节 双歧杆菌	180
一、简介	180
二、双歧杆菌的分类	182
三、双歧杆菌的分离、培养、鉴定与保藏	182
四、双歧杆菌的应用	185
五、双歧杆菌的应用举例	187
第四节 嗜酸乳杆菌	191
一、简介	191
二、嗜酸乳杆菌分离、筛选、鉴定与保藏	191
三、嗜酸乳杆菌工业发酵剂的制作	193
四、嗜酸乳杆菌的应用	194
五、嗜酸乳杆菌在食品工业上的应用举例	196
第五节 鼠李糖乳杆菌 GG 和植物乳杆菌	200
一、鼠李糖乳杆菌 GG (LGG)	200
二、植物乳杆菌	203
第六节 益生性丙酸菌	206
一、引言	206
二、代谢	207
三、用作乳品发酵剂的丙酸菌	208
四、丙酸菌的抗菌特性	208
五、益生性丙酸菌	210
六、安全性	212
第七节 肠球菌	213
一、引言	213
二、肠球菌产生的肠道菌素在生物保鲜方面的应用	213
三、肠球菌作为干酪发酵剂的其他技术特性	214
四、用作益生菌的肠球菌	215
五、肠球菌用作益生菌发酵剂的安全性	216
参考文献	217

第一章

发展及现状

随着医疗知识的普及，人们保健意识的增强，人们已经认识到许多疾病与饮食习惯有关，加上医疗保险制度的改革，医疗费用逐年增加，使越来越多的人认识到治病不如防病，由重治疗转向重预防，开始寻找营养保健的食品和中草药等预防疗法。

胃肠道疾病的发生是一个综合复杂的过程，其主要原因有如下三个方面。

(1) 随着社会的不断发展，人们的生活水平在不断提高，各种高蛋白、高脂肪、高酸辣食品日益丰富，如果经常无节制地摄入这些食品，将会增加胃肠道的消化压力；而随着各种社交应酬的增加，抽烟喝酒自然增加，这将直接刺激胃肠道黏膜，从而影响胃肠道发挥正常功能。

(2) 随着社会竞争的日益激烈，工作压力愈来愈大，思想负担愈来愈重，从而影响人的心理和生理机能，其中影响最大的是胃肠道机能。特别是各业务代表、司机、护士及经常出差人士，因工作的需要往往造成睡眠不足，饮食无规律，时饱时饥，加上思想压力过大等综合因素，是胃肠道疾病的高发人群。

(3) 随着年龄的增大，身体器官机能逐步衰退，影响了胃肠道消化、吸收和转化功能，往往造成上年纪的人经常出现一些胃肠道疾病。

因此，胃肠道疾病已经成为现代的流行病。目前需要开发的胃肠道功能性食品，主要包括具有促进消化吸收、调节肠道菌群、保护胃黏膜、预防便秘或者腹泻等功效的功能性食品。

据世界卫生组织统计，全球有 70% 左右的人患有不同程度的

各种胃肠道疾病，如胃溃疡、十二指肠溃疡、胃炎、胃痛、胃胀、胃酸过多、消化不良、脾胃虚寒等。这些疾病困扰着人们的正常工作和生活，因为胃肠道是人体的主要器官之一，主要负责食物的消化吸收和转化，机体每日所需营养成分基本上都是通过胃肠道吸收、转化后提供给人体其他组织器官使用。如果胃肠道出现病变，将会影响各种食物消化和营养成分的正常吸收，使其他组织器官无法正常运作，从而导致身体机能出现紊乱并使部分组织器官出现各种慢性病变，直接危害身体健康。这些都为改善胃肠道功能性食品的发展提供了契机。

如图 1-1 所示，功能性成分对胃肠道的改善作用主要通过益生菌改善肠道菌群及调节微生物的平衡、低聚糖促进肠道菌群增殖和整肠作用、多糖改善便秘和保护胃黏膜以及膳食纤维对便秘和腹泻的调节作用等来实现。(a) 益生菌抑制不同部位的病原菌；(b) 多种物质改变营养素的吸收速率和吸收程度；(c) 功能性成分的存在形式和活性影响胃肠道对营养素和抗营养因子的吸收；(d) 益生菌改善胃肠道上皮细胞的屏障作用；(e) 维生素、矿物质和益生菌相互作用改善胃肠道的免疫系统功能；(f) 益生菌改善了肠道菌群

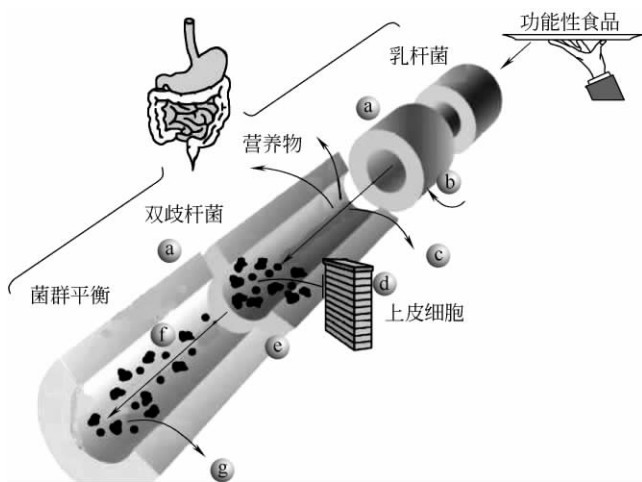


图 1-1 功能性食物成分对胃肠道的作用

的生态环境；(g) 肠道菌群发酵纤维、不可消化的寡糖，提高了菌群细胞的差异性、成熟性。

21 世纪改善胃肠道功能性食品的发展趋势有以下几个方面。

(1) 第三代功能性食品前景看好 在美国，要求在被认为是“健康食品”的标签上列出作用的活性成分及其含量，对于即使是已有几十年食用历史证实有益于人体健康的第二代、第三代功能性食品，若无法提出科学的依据（确认起作用的活性成分），也不能在标签或使用说明书上宣称其对人体健康的有益作用。第三代功能性食品与第二代功能性食品的根本区别就在于前者的功能因子清楚，结构明确，含量确定，而后者则往往未能搞清产品中起作用的成分与含量。我国目前已批准的功能性食品中，大多数属于第二代产品，属于第三代产品的很少。在现代功能性食品应用的基础上，开发出第三代改善胃肠道功能性食品，与国际接轨，参与国际竞争。

(2) 加强高新技术在改善胃肠道功能性食品生产中的应用 采用现代高新技术，如膜分离技术、微胶囊技术、超临界萃取技术、生物技术、超微粉碎技术、分子蒸馏技术、无菌包装技术、现代分析检测技术、干燥技术（冷冻干燥、喷雾干燥）等，从原料中提取有效成分，剔除有害成分。再以各种有效成分为原料，根据不同的科学配方和产品要求，确定合理的加工工艺，进行科学配制、重组、调味等加工处理，生产出一系列改善胃肠道功能性食品。

(3) 开发出药食同源改善胃肠道功能性食品 食疗与药疗紧密结合是我国传统中医的特色，以食品特有的性能预防和治疗疾病是中医治疗学的组成部分之一。功能性食品与我国传统的饮食疗法在内涵上是一致的。一些药用保健植物、动物食品因在调节人体肠道功能方面作用较强，防治胃肠道疾病疗效较显著，应突出其特色。

(4) 运用多学科知识，开发新型改善胃肠道功能性食品 改善胃肠道功能性产品的功能在于本身的活性成分对人体胃肠道的调节作用，因此，其研究与生理学、生物学、生物化学、营养学、中医药等多种学科的基础理论相关，其应用基础研究应该是多学科的交

叉。采用现代科学仪器和实验手段，从分子、细胞、器官等水平上研究改善胃肠道功能性食品的功效及功能因子的稳定性，开发出新型的改善胃肠道功能性食品。随着科学技术的发展和方法上的改进，今后会有更多食物的成分和功能被人们认识和应用到改善胃肠道功能性食品当中。

(5) 加大对天然功能性食品基料的研究 由于从天然资源中提取的功能材料的安全性，因而以天然材料为原料生产的功能性食品深受喜爱而赢得了大量的消费人群。进一步研究开发出新的改善胃肠道功能性食品原料，特别是一些具有中国特色的原料，对功能性食品原料进行全面的基础性研究，不仅研究其中的功能性营养因子的活性，还应该研究稳定性的工艺技术，确保其在人体的吸收。

(6) 软胶囊、口服液成为产品包装趋势 国际市场流行的包装是以大个儿的软胶囊或一次性的口服液为主，既便于携带又卫生。我国目前所用的包装，也不乏胶囊与口服液，但无论从外形还是包装质量上，与国际市场都存在着差距。尤其是在视觉冲击力方面不能引起人们的购买欲或食欲。随着其进一步的发展与完善，必将更加具有竞争力。

(7) 消费者认知度不断加大 目前，我国功能性食品宣传力度不大，市场和人们的认知能力都有限，并且存在法规、功能性定义不清、健康资讯过分复杂、产品的实效以及消费者持怀疑态度等困难，但因其无比的优越性，发展趋势是锐不可当的。

(8) “个性化生产”和“个性化服务”是未来的发展动向 在功能性食品领域内“个性化生产”和“个性化服务”是企业成功的策略之一。在功能性食品领域内采用个性化包装、个性化零售服务及专家面对面的咨询和售后服务必将赢得成功。另外，“个性化生产”也是一种成功的策略，消费者可自行根据需求和喜好将它加入休闲食品、牛奶等食品中或者采用其他的食用方法。

第二章

作用机理

一、肠道菌群简介

肠道是人体最大的菌库。在全长 8.1m 的消化道内生存着三四百种数量 10 万亿个以上的各种微生物（主要是细菌）。如果把肠道内的微生物一个个地首尾连接起来，可以绕地球两圈半。在肠道的自然菌群中，既有对人体有致病作用的细菌（有害菌），约占 10%，也有对健康有好处的有益菌（益生菌），约占 90%。如果按质量计算，人体内和体表的各种微生物，总质量约 1.5~2.0kg，其中肠道内的微生物约 1.0kg 左右，皮肤 200g，呼吸道 20g，口腔 20g，阴道 20g，鼻孔 10g，眼睛 1.0g。这么多微生物和人体之间通过能量交换、物质交换，信息传递、沟通和交流，形成了微生物与人体的共生、共栖、致病等各种关系。人体与菌群之间形成一个相互影响、相互作用的生态系。

刚出生的婴儿由于在子宫内是处于无菌的环境，所以肠道内是无菌的，出生后，细菌迅速从口及肛门侵入，2h 后，其肠道内很快有肠球菌、链球菌和葡萄球菌等需氧菌植入，以后随着饮食增加，肠道内就有了更多的不同菌群进驻，3d 后细菌数量接近高峰。而一个健康成人胃肠道细菌大概有 10^{14} 个，由 30 个属、500 个种组成，包括需氧菌、兼性厌氧菌和厌氧菌。从来源上看，有常住菌和过路菌两种，前者并非由口摄入，在肠道内保持稳定的群体；而后者则由口摄入并经胃肠道排出。常住菌是使过路菌不能定植的一个因素。

在婴幼儿断奶过程中，体内双歧杆菌的数量会减少到原来的 10% 左右，肠道菌群的组成开始从“婴儿型”转化为“成人型”，

拟杆菌、真细菌、消化链球菌和梭状芽孢杆菌等开始出现。儿童的粪便菌群已经接近成人的粪便菌群，其梭状芽孢杆菌数量通常会超过双歧杆菌数量，且拟杆菌、真细菌和消化链球菌数量占总菌群的5%~10%，拟杆菌数量降至 10^8 个/g以下，乳杆菌、巨型球菌和韦永球菌经常见到，通常数量不超过 10^7 个/g。成人的肠道菌群比儿童更为复杂。成人的大肠内有较低的氧化还原电势，并呈中性或者偏碱性，粪便具有典型的气味和色泽，且含有多量的腐败产物，诸如氨、胺和苯酚等。在老年人体内，双歧杆菌降低，梭状芽孢杆菌（包括产气荚膜梭状芽孢杆菌）显著增高，乳杆菌、链球菌和肠杆菌的数量也有提高。

人体胃肠道各个部位定植的细菌数量和种类不同：胃内酸度高，含有大量的消化酶，不适合细菌生长，所以胃内菌数量很少，总菌数 $0\sim 10^3$ 个，主要是一些需氧抗酸性细菌，如链球菌、乳杆菌等。而小肠是个过渡区，虽然pH值稍偏碱，但是含有消化酶，蠕动强烈，肠液流量大，足以将细菌在繁殖前冲洗到远端回肠和结肠，所以，小肠菌量在胃和结肠之间逐渐增多；空肠菌数 10^5 个，仍以需氧菌为主；回肠菌较多，总菌数 $10^3\sim 10^7$ 个，以厌氧菌为主，如拟杆菌、双歧杆菌等；结肠内菌数多达 $10^{11}\sim 10^{12}$ 个，厌氧菌占绝对优势，占98%以上，菌数也达300多种，干大便的近1/3是由细菌组成。

同一肠道，不同类菌的空间分布也不相同，总的来说，人体肠道菌群在肠腔内形成3个生物层：深层的紧贴黏膜表面并与黏膜上皮细胞粘连形成细菌生物膜的菌群称为膜菌群，主要是由双歧杆菌和乳酸杆菌组成，这两类菌是肠共生菌，是肠道菌中最具生理意义的两种细菌，对机体有益无害；中层为粪球菌、消化链球菌、韦荣球菌和优杆菌等厌氧菌；表层的细菌可以游动称为腔球菌，主要是大肠杆菌、肠球菌等好氧和兼性好氧菌。

肠道菌群的种类和数量只是相对稳定的，它们受饮食、生活习惯、地理环境、年龄及卫生条件的影响而变动。正常情况下，肠道菌群、宿主和外部环境建立起一个动态的生态平衡，对人体的健康

起着重要的作用。

肠道菌群是一个敏感的系统，反应迅速，受宿主的生理、肠道菌的相互作用、食品、药品和气候等因素的影响。

二、肠道菌群与健康

(一) 代谢作用

肠道菌群的代谢作用主要是指上皮产生的内源性黏液及食物经过消化吸收后所剩残余到达结肠进行发酵的过程。结肠中碳水化合物的发酵是能量的主要来源，不能被消化吸收的碳水化合物 [包括大量的多糖 (抗性淀粉、纤维素、半纤维素、果胶和胶类)，不被消化的寡糖] 的代谢终点是产生短链脂肪酸。

肽类和蛋白质的厌氧代谢产生短链脂肪酸的同时，也产生诸如氨、胺、苯酚、硫醇和吲哚等有毒的代谢产物。弹性蛋白、胶原蛋白、胰酶和脱落的上皮细胞分解的微生物都是可以利用的蛋白。成人的肠道每天产生 20~60g 碳水化合物和 5~20g 蛋白质。盲肠和右侧结肠的发酵产生大量的短链脂肪酸，pH 呈酸性 (5~6)，能够促进微生物的快速生长；而左侧远结肠利用的底物较少，pH 接近中性，腐败过程占主导，菌群的数量接近静态。如图 2-1 所示。

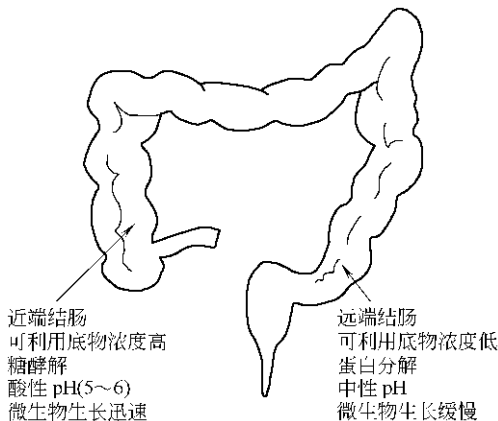


图 2-1 结肠发酵

肠道菌群在维生素的合成，钙、镁、铁的吸收方面均发挥着重要作用。盲肠中离子的吸收随着碳水化合物的发酵和短链脂肪酸的产生（尤其是乙酸、丙酸和丁酸）而增强。丁酸几乎完全被结肠上皮细胞所吸收，是结肠细胞的主要能量来源；乙酸和丙酸主要存在于门脉血中，最终被肝脏（丙酸）或者外周组织，主要是肌肉（乙酸）所代谢吸收，乙酸和丙酸同时也是葡萄糖代谢的调节剂，但是也有研究表明碳水化合物的结肠发酵与胰岛素的抗性无关。

（二）营养作用

1. 上皮细胞的生长与差异

短链脂肪酸对小肠上皮细胞具有营养作用。与有菌鼠相比，无菌鼠小囊细胞的产生速率下降，细胞数减少，由此表明腔内细菌影响结肠中细胞的繁殖。上皮细胞受肠道菌群的影响很大，三种主要的短链脂肪酸刺激体内的上皮细胞的繁殖与异化。丁酸抑制细胞繁殖，刺激体外瘤源上皮细胞向非瘤表型的转变。短链脂肪酸对于预防结肠炎和癌症的作用已经被认可，但是还缺乏足够的证据。

2. 肠道菌群与宿主免疫

小肠黏液是免疫系统与外部环境的主要界面。因此，淋巴系统含有大量的免疫竞争细胞也就不足为奇了。宿主与肠道菌群的黏液界面在竞争性免疫系统方面发挥着重要的作用。无菌鼠的肠道黏液的淋巴细胞数较少，特异性的滤泡结构小，免疫球蛋白低。肠道菌群与淋巴组织息息相关，腔内的微生物一旦释放，表层内的淋巴细胞膨胀，生发中心产生的免疫球蛋白迅速在滤泡和固有层中增加。小鼠和大鼠的非致病性和非培养性的细菌分裂为丝状细菌，优先与派尔斑上皮结合而刺激黏液免疫的构建与功能。微生物、上皮以及与肠道有关的淋巴组织相互作用参与系统免疫的记忆功能，例如，肠道菌群与口服的耐受性有关。体系对特异性的应答在遇到同样的抗原时消失，这种效应在有菌鼠中可以持续几个月，而无菌鼠只持续几天。口服卵白蛋白后，无菌鼠维持 Th2 免疫应答，对卵白蛋