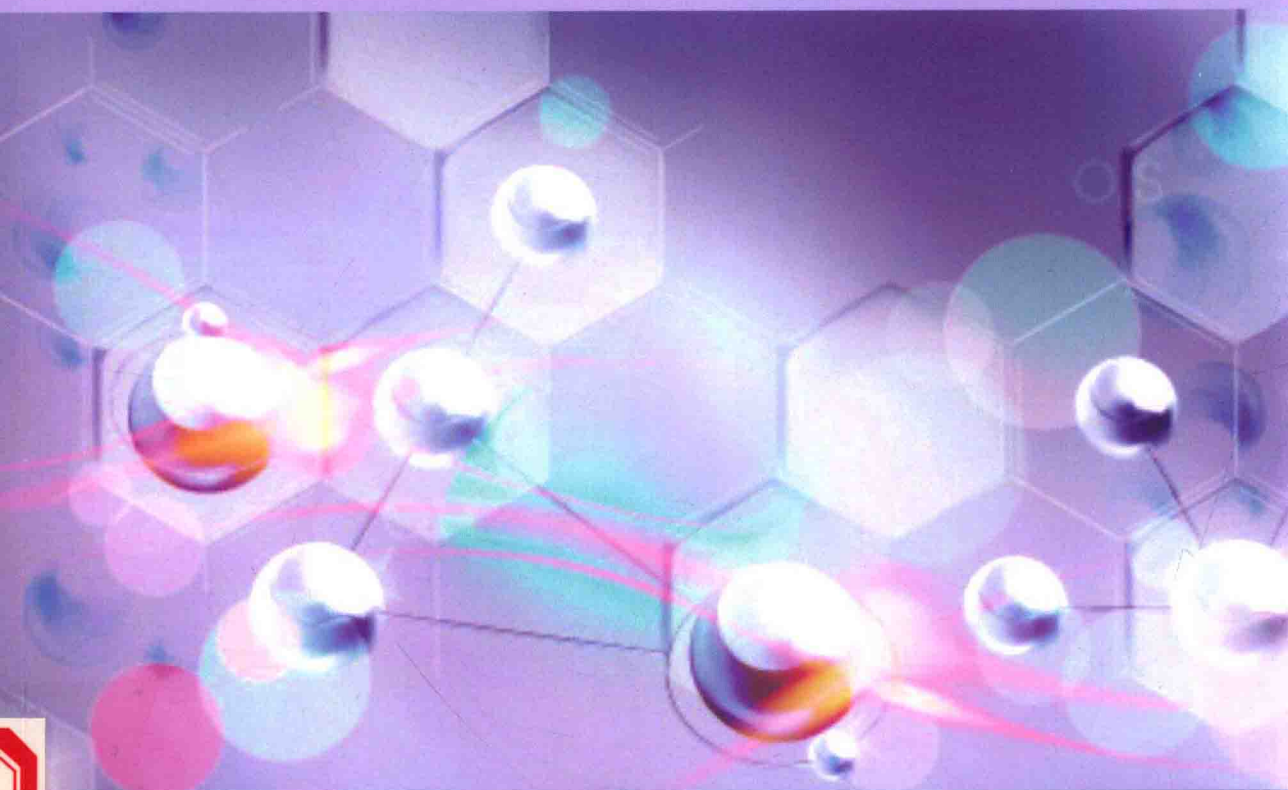




Application of Molecular Biology  
and Omics Technology in Food Safety

# 现代分子生物学及组学技术 在食品安全检测中的应用

主 编 © 谭贵良 赖心田



中山大學出版社  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS



Application of Molecular Biology  
and Omics Technology in Food Safety

# 现代分子生物学及组学技术 在食品安全检测中的应用

主 编 © 谭贵良 赖心田

第一版 2011年11月  
第二版 2012年11月  
第三版 2013年11月  
第四版 2014年11月  
第五版 2015年11月  
第六版 2016年11月  
第七版 2017年11月  
第八版 2018年11月  
第九版 2019年11月  
第十版 2020年11月



中山大学出版社  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRESS

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

现代分子生物学及组学技术在食品安全检测中的应用 / 谭贵良, 赖心田主编. — 广州: 中山大学出版社, 2014. 6

ISBN 978 - 7 - 306 - 04887 - 5

I. ①现… II. ①谭…②赖… III. ①分子生物学—应用—食品安全—食品检验—研究 ②基因组—应用—食品安全—食品检验—研究 IV. ①TS207

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 099320 号



出版人: 徐 劲

策划编辑: 周建华 曹丽云

责任编辑: 曹丽云

封面设计: 曾 斌

责任校对: 周 玢

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

电 话: 编辑部 020 - 84111996, 84113349, 84111997, 84110779

发行部 020 - 84111998, 84111981, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传真: 020 - 84036565

网 址: <http://www.zsup.com.cn> E-mail: [zdcbs@mail.sysu.edu.cn](mailto:zdcbs@mail.sysu.edu.cn)

印 刷 者: 虎彩印艺股份有限公司

规 格: 787mm × 1092mm 1/16 21 印张 520 千字

版次印次: 2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 元

如发现本书因印装质量影响阅读, 请与出版社发行部联系调换

# 本书编委会

主 编：谭贵良 赖心田

副主编：刘 垚 杨国武 王周平 石 磊 吴小禾

编写人员：（按姓氏汉语拼音排序）

陈国培 陈亚波 江迎鸿 赖心田 李向丽

林 霖 刘 垚 石 磊 谭贵良 王周平

吴世嘉 吴小禾 杨国武 张世伟 周 敏

# 内 容 简 介

本书共分10章，系统全面地介绍了当前最流行的近10种现代分子生物学及组学技术在食品安全检测中的应用，内容包括：PCR技术、基因芯片技术、分子印迹技术、DNA条形码技术、LAMP技术、纳米探针技术、ELISA技术、蛋白质组学和代谢组学技术。深入浅出地阐述了各种技术的基本概念、基本原理、操作过程和步骤、注意事项等，并结合应用范围和实际应用示例，达到理论与实际相结合。

本书内容丰富，取材新颖，充分反映了当前食品安全检测领域的新技术和最新研究成果。

本书可供食品安全相关领域的科研人员、检验人员、管理人员及大专院校相关专业的师生阅读和参考。

随着科学技术的进步，与食品科学相关的研究领域如食品安全检测等已上升到了一个更高的阶段。分子生物学以及蛋白质组学、代谢组学技术的兴起和发展，使食品科学的面貌焕然一新，形成了很多新的研究领域，已经并将不断对人类生活产生巨大的影响。毋庸置疑，这些技术已经在食品安全检测领域扮演着越来越重要的作用。

本书共分10章。第1章简要介绍了食品安全的重要性及现状，食品中常见的关键危害物质、分子生物学和组学技术在食品安全检测中的重要性以及研究进展；第2至第8章分别介绍了PCR技术、基因芯片技术、分子印迹技术、DNA条形码技术、LAMP技术、纳米探针技术、ELISA技术等分子生物学技术的基本原理、操作过程和步骤，在食品安全检测中的研究进展以及应用示例；第9至第10章介绍了蛋白质组学和代谢组学技术及其在食品安全检测中的应用。

本书由广东省中山市质量计量监督检测所、深圳市计量质量检测研究院、江南大学、中山火炬职业技术学院共同编写而成，是国家自然科学基金项目“基于功能化金纳米探针的食源性致病细菌快速检测新方法与技术研究”（No. 20625019）、国家“863”计划项目“基于纳米探针技术的真菌毒素快速检测技术研究”（No. 2008AA10Z419）、广东省科技计划项目“基于磁分离富集—上转换荧光纳米探针技术的真菌毒素新型检测器技术研究”（2011B031500025）、广东省质量技术监督局科技项目“基于生物功能化纳米探针技术的食源性致病细菌快速检测技术研究”（2009CZ07）、“DNA扩增技术（LAMP技术）在食用植物油转基因成分检测中的应用研究”（2009ZZ11）、“禽肉及加工产品蛋白质组学检测方法研究”（2009ZZ06）、深圳市食安委课题“深圳市市场鸡群的蛋白质组谱分析与真伪调查”、中山市科技计划项目“水产品加工环节关键致病菌的检测与监控体系研究”（2008A279）等的研究成果之一。

本书各章节的具体编写人可见各章节后，全书由谭贵良负责统稿。

# 前 言

民以食为天。食品是人类赖以生存和发展的最基本的物质条件。随着全球经济的迅猛发展,在解决食物供给的同时,食品安全问题也越来越受到世界各国的高度关注。然而,当前食品安全的形势依然严峻,食品安全事件屡有发生。在食品安全检测方面,食源性致病菌、重金属、生物毒素、农药兽药残留、违禁添加物等食品中危害因子检测以及食品真假鉴别检测一直是国内外食品安全领域致力解决的重要问题,相关的检测研究技术也在不断发展。

从20世纪50年代开始,分子生物学发展迅猛,已成为现代生物学的前沿学科和带头学科。在分子生物学发展的带动下,与食品科学相关的研究如食品安全检测也上升到了一个更高的阶段。分子生物学以及蛋白质组学、代谢组学技术的兴起和发展,使食品科学的面貌焕然一新,形成了很多新的研究领域,已经并将不断对人类生活产生巨大的影响。毋庸置疑,这些技术已经在食品安全检测领域扮演着越来越重要的作用。

本书共分10章。第1章简要介绍了食品安全的重要性及现状、食品中常见的关键有害物质、分子生物学和组学技术在食品安全检测中的重要性以及研究进展;第2至第8章分别介绍了PCR技术、基因芯片技术、分子印迹技术、DNA条形码技术、LAMP技术、纳米探针技术、ELISA技术等分子生物学技术的基本原理、操作过程和步骤、在食品安全检测中的研究进展以及应用示例;第9至第10章介绍了蛋白质组学和代谢组学技术及其在食品安全检测中的应用。

本书由广东省中山市质量计量监督检测所、深圳市计量质量检测研究院、江南大学、中山火炬职业技术学院共同编制而成,是国家自然科学基金项目“基于功能化金纳米探针的食源性致病菌超灵敏快速检测方法与技术研究”(No.20805019),国家“863”计划项目“基于纳米探针技术的真菌毒素快速检测技术研究”(No.2008AA10Z419),广东省科技计划项目“基于磁分离富集—上转换荧光纳米探针技术的真菌毒素新型检测技术研究”(2011B031500025),广东省质量技术监督局科技项目“基于生物功能化纳米探针技术的食源性致病菌新型检测技术研究”(2009CZ07)、“DNA扩增技术(LAMP技术)在食用植物油转基因成分检测中的应用研究”(2009ZZ11)、“燕窝及加工产品蛋白质组学检测方法研究”(2009ZZ06),深圳市食安委课题“深圳市场鸡蛋的蛋白质图谱分析与真伪调查”,中山市科技计划项目“水产品加工环节关键致病菌的检测与监控体系研究”(20083A279)等的研究成果之一。

本书各章节的具体编写人员见各章节后。全书由谭贵良负责统稿。



本书的出版得到了“中山市优秀专家、拔尖人才”专项资金的支持和中山大学出版社的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于本书涉及面广，编写时间仓促，加之编者水平和经验有限，书中遗漏和错误在所难免，恳请各位读者给予批评指正。

编者

2014年4月

的毒害甚至危害。针对现阶段本领域的研究内容主要涉及人类食品、天然食品、

带味持香供前学... 分子生物学... 食品安全... 检测... 应用...

... 食品安全... 检测... 应用... 检测... 应用... 检测... 应用...

# 目 录

第1章 绪论	1
1.1 食品安全的重要性及现状	1
1.2 食品中常见的关键危害物质	2
1.2.1 微生物污染	2
1.2.2 化学污染	2
1.2.3 生物毒素	3
1.2.4 掺假使假	4
1.3 分子生物学及组学技术在食品安全检测中的重要性	5
1.4 分子生物学及组学技术在食品安全检测中的研究进展	5
参考文献	8
第2章 PCR技术及其在食品安全检测中的应用	9
2.1 概述	9
2.2 基本原理	10
2.2.1 常规PCR	10
2.2.2 实时荧光定量PCR	12
2.2.3 多重PCR	15
2.3 操作过程和步骤	16
2.3.1 常规PCR	16
2.3.2 实时荧光定量PCR	21
2.3.3 多重PCR	25
2.4 PCR技术在食品安全检测中的应用	26
2.4.1 在食源性致病菌检测中的应用	26
2.4.2 在转基因食品检测中的应用	29
2.4.3 在真伪鉴别检测中的应用	29
2.5 应用示例	30
2.5.1 常规PCR法检测牛奶中金黄色葡萄球菌	30
2.5.2 荧光定量PCR法检测食品中的沙门氏菌	32
2.5.3 荧光定量PCR法检测转基因大豆	34
2.5.4 多重PCR法检测水产品加工环节中的多种致病菌	36
2.5.5 七重PCR法检测羊肉产品中若干动物源性成分	39
参考文献	41





第3章 基因芯片技术及其在食品安全检测中的应用	43
3.1 发展历程	43
3.2 基本原理	44
3.3 基本流程	45
3.3.1 探针设计	45
3.3.2 芯片的制备和修饰	47
3.3.3 样品DNA的制备和标记	49
3.3.4 杂交反应	50
3.3.5 信号收集和图像分析	50
3.4 基因芯片技术在食品安全检测中的应用	52
3.4.1 在食源性致病菌检测中的应用	52
3.4.2 在食源性病毒检测中的应用	56
3.4.3 在食品真实属性检测中的应用	57
3.4.4 在转基因食品检测中的应用	58
3.4.5 基因芯片的衍生技术及其应用	61
3.5 应用示例	63
3.5.1 基因芯片技术检测3种食源性致病菌	63
3.5.2 可视芯片检测大豆、水稻和玉米中的转基因成分	65
3.5.3 基因芯片技术检测牛、山羊、猪和鸡源性成分	67
3.6 存在的问题及前景展望	70
3.6.1 存在的问题	70
3.6.2 前景展望	71
参考文献	71
第4章 分子印迹技术及其在食品安全检测中的应用	76
4.1 概述	76
4.2 基本原理	77
4.3 操作过程和步骤	79
4.3.1 聚合物的制备	79
4.3.2 聚合方法	82
4.4 分子印迹技术在食品安全检测中的应用	85
4.4.1 在真菌毒素检测中的应用	85
4.4.2 在抗生素检测中的应用	87
4.4.3 在农药残留检测中的应用	88
4.4.4 在兽药残留检测中的应用	89
4.4.5 在防腐剂检测中的应用	89
4.4.6 在违禁添加物检测中的应用	89
4.5 应用示例	91
4.5.1 分子印迹固相萃取-HPLC法测定蜂蜜中3种氟喹诺酮类抗生素残留	91

4.5.2	分子印迹固相萃取-HPLC法检测酱油中的苯甲酸	93
4.5.3	分子印迹固相萃取-GC-MS法测定鸡蛋中的三聚氰胺	95
4.6	存在的不足及展望	98
	参考文献	100
<b>第5章</b>	<b>DNA条形码技术及其在食品安全检测中的应用</b>	<b>102</b>
5.1	概述	102
5.1.1	DNA条形码区域的选择	103
5.1.2	DNA条形码数据库	106
5.2	基本原理	107
5.3	组成模块和操作步骤	107
5.3.1	组成模块	107
5.3.2	操作步骤	108
5.4	DNA条形码技术在食品安全检测中的应用	111
5.4.1	在真假鉴别检测中的应用	112
5.4.2	在食源性病原菌及其载体检测中的应用	121
5.4.3	在过敏原检测中的应用	123
5.5	应用示例	124
5.5.1	应用DNA条形码技术鉴别海参	124
5.5.2	应用DNA条形码技术对鲍属物种进行鉴定	127
5.5.3	市售鲨鱼食品的DNA条形码检测	131
5.6	结论和展望	134
	参考文献	134
<b>第6章</b>	<b>LAMP技术及其在食品安全检测中的应用</b>	<b>138</b>
6.1	概述	138
6.2	基本原理	138
6.2.1	扩增原理	138
6.2.2	检测模式	139
6.2.3	特点	141
6.2.4	技术发展	142
6.3	操作程序与技术要点	144
6.3.1	靶序列选择与引物设计	144
6.3.2	模板制备	145
6.3.3	反应条件确定	145
6.3.4	产物检测	146
6.3.5	注意事项	147
6.4	LAMP技术在食品安全检测中的应用	147
6.4.1	在致病菌检测中的应用	147
6.4.2	在转基因成分检测中的应用	152
6.5	应用示例	154



6.5.1	食品中沙门氏菌的 LAMP 法检测	154
6.5.2	转基因大豆 <i>Cp4 - Epsps</i> 转基因成分的 LAMP 检测	157
6.5.3	转基因大豆加工品的 LAMP 检测	160
6.5.4	LAMP 法检测食用大豆油、菜籽油中的转基因成分 <i>CaMV 35S</i>	166
6.6	展望	169
	参考文献	169
<b>第7章</b>	<b>纳米探针技术及其在食品安全检测中的应用</b>	<b>172</b>
7.1	概述	172
7.2	原理及技术要点	172
7.2.1	磁性纳米探针	172
7.2.2	纳米金探针	174
7.2.3	量子点探针	177
7.2.4	上转换发光纳米探针	179
7.2.5	碳点探针	183
7.2.6	碳纳米管探针	183
7.3	纳米探针技术在食品安全检测中的应用	184
7.3.1	磁性纳米探针技术在食品安全检测中的应用	184
7.3.2	纳米金探针技术在食品安全检测中的应用	185
7.3.3	量子点探针技术在食品安全检测中的应用	187
7.3.4	稀土上转换纳米探针技术在食品安全检测中的应用	189
7.3.5	碳点探针技术在食品安全检测中的应用	190
7.3.6	碳纳米管探针技术在食品安全检测中的应用	191
7.4	应用示例	191
7.4.1	纳米金标记—银染信号放大技术检测福氏志贺氏菌	191
7.4.2	磁分离—发光量子点标记技术检测玉米粉中黄曲霉毒素 B <sub>1</sub>	194
7.4.3	硒化铅纳米粒子 DNA 电化学传感器检测 35S 启动子	198
7.4.4	磁分离—上转换荧光标记同时检测黄曲霉毒素 B <sub>1</sub> 和赭曲霉毒素 A	202
	参考文献	206
<b>第8章</b>	<b>ELISA 技术及其在食品安全检测中的应用</b>	<b>210</b>
8.1	概述	210
8.2	基本原理	211
8.2.1	间接法 ELISA	211
8.2.2	竞争法 ELISA	212
8.2.3	双抗体夹心法 ELISA	213
8.2.4	双位点一步法 ELISA	213
8.2.5	亲和素—生物素 ELISA	214
8.3	技术要点	215
8.3.1	试剂	215

8.3.2	反应条件的选择	220
8.3.3	操作注意事项	220
8.4	ELISA 技术在食品安全检测中的应用	223
8.4.1	在兽药残留检测中的应用	223
8.4.2	在农药残留检测中的应用	227
8.4.3	在生物毒素检测中的应用	230
8.4.4	在转基因检测中的应用	232
8.4.5	在过敏原检测中的应用	232
8.4.6	在重金属检测中的应用	233
8.4.7	在食品添加剂、非法添加物以及活性物质检测中的应用	234
8.4.8	在食品真伪鉴别中的应用	235
8.5	应用示例	235
8.5.1	应用 ELISA 方法检测赭曲霉毒素 A	235
8.5.2	ELISA 法定量检测转基因玉米中 Bt1 蛋白	236
8.5.3	应用 ELISA 方法对市售鸡蛋真伪的鉴别	238
	参考文献	239
第9章	蛋白质组学技术及其在食品安全检测中的应用	241
9.1	概述	241
9.1.1	蛋白质组学技术的产生及发展	241
9.1.2	研究内容	242
9.1.3	核心技术及其划分	242
9.2	基本原理	244
9.2.1	双向凝胶电泳	244
9.2.2	双向荧光差异电泳	244
9.2.3	毛细管电泳	246
9.2.4	高效液相色谱技术	246
9.2.5	基质辅助激光解吸电离—串联飞行时间质谱	247
9.2.6	蛋白质芯片技术	248
9.2.7	表面增强激光解吸离子化—飞行时间质谱技术	249
9.2.8	基于同位素标记的相对和绝对定量技术	249
9.2.9	稳定同位素标记技术	251
9.2.10	蛋白质 N 端测序技术	252
9.2.11	生物信息学分析	253
9.3	研究策略	253
9.3.1	2-DE 结合质谱鉴定技术研究策略	253
9.3.2	多维色谱—质谱联用蛋白质鉴定技术研究策略	255
9.3.3	同位素标记亲和标签法研究策略	257
9.4	蛋白质组学技术在食品安全检测中的应用	258
9.4.1	在鉴别检测中的应用	258



9.4.2	在品质分析中的应用	261
9.4.3	在转基因检测中的应用	263
9.4.4	在过敏原检测中的应用	264
9.4.5	在食源性致病菌及毒素检测中的应用	265
9.4.6	在农药、兽药残留检测中的应用	265
9.5	应用示例	265
9.5.1	鸡蛋的蛋白质图谱分析与鉴伪	265
9.5.2	燕窝的蛋白质图谱分析及鉴伪	268
9.5.3	双向凝胶电泳分离、质谱鉴定生鲜乳及不同热处理后的乳蛋白变化	274
9.6	发展趋势	276
	参考文献	277
<b>第10章 代谢组学技术及其在食品安全检测中的应用</b>		<b>281</b>
10.1	概述	281
10.2	基本原理	285
10.2.1	核磁共振代谢组学技术	285
10.2.2	色谱—质谱代谢组学技术	286
10.2.3	数据处理	288
10.3	操作过程和步骤	298
10.3.1	样品的处理和制备	299
10.3.2	提取	299
10.3.3	衍生化	300
10.3.4	分离和检测	300
10.3.5	数据处理、分析和结果阐释	301
10.4	代谢组学技术在食品安全检测中的应用	303
10.4.1	在食源性致病菌及其毒素检测中的应用	303
10.4.2	在真假鉴别检测中的应用	303
10.4.3	在转基因农产品安全性评价中的应用	304
10.5	应用示例	304
10.5.1	基于GC-MS代谢组学技术检测碎牛肉和鸡肉中的O157:H7和沙门氏菌	304
10.5.2	基于 <sup>1</sup> H-NMR代谢组学技术对精炼橄榄油中掺杂精炼核桃油的鉴伪检测	309
10.5.3	转基因土豆和常规土豆实质等同性的代谢组学研究	313
	参考文献	319

# 第1章 绪论

## 1.1 食品安全的重要性及现状

食品是人类赖以生存和发展的重要物质基础，食品的优劣和安全与否直接关系到人们的身体健康甚至生命安全，同时也关系到食品产业的有序发展和社会的和谐稳定。随着我国城市化进程的加快、食物供给链条的不断延伸，一系列食品安全问题也更加凸显了出来。关于食品安全的定义，1996年，世界卫生组织（World Health Organization, WHO）将食品安全解释为“对食品按其原定用途进行制作、食用时不会使消费者健康受到损害的一种担保”。2009年，我国颁布的《中华人民共和国食品安全法》（以下简称《食品安全法》）中明确阐明：“食品安全，指食品无毒、无害，符合应当有的营养要求，对人体健康不造成任何急性、亚急性或者慢性危害。”

当前，食品工业已经成为我国国民经济的重要支柱产业，2012年，中国食品工业总产值接近9万亿元，相比2011年增长约22%。在食品工业飞速发展的背景下，食品检验合格率由1982年的61.5%，提高到如今的95%以上。客观地说，在各级政府和全社会的共同努力下，我国的食品质量与安全工作较之前已经取得了显著的进步。但近年来食品质量安全形势依然严峻，“三聚氰胺”、“苏丹红”、“瘦肉精”、“孔雀石绿”、“毒豆芽”、“塑化剂”以及“地沟油”等事件不断发生，引起了各级政府与广大人民群众对食品安全问题的高度关注，同时也加深了民众对食品安全问题的普遍担忧。2008年9月爆发的三鹿奶粉“三聚氰胺”事件敲响了我国家食品安全的警钟。据统计，2006—2011年，全国涉及100人以上的食物中毒事件分别为16、11、13、13、7、9起。食品质量与安全可发生在食品生产过程中的原料种植或养殖、食品加工、食品包装、食品流通与销售等方方面面的环节。

面对严峻的食品安全形势，我国相关部门对此已经足够重视，并采取了必要的行动。例如，2009年2月，颁布了《食品安全法》；2010年2月，成立了国务院食品安全委员会；2011年5月，实施了《中华人民共和国刑法修正案（八）》（以下简称《刑法修正案（八）》），关于食品安全方面，修改了原来的第143、第144条，并在第408条后增加了一条；2011年6月，首次建议将食品安全作为“国家安全”的组成部分；2011年10月，成立国家食品安全风险评估中心；2012年7月，国务院出台了《关于加强食品安全工作的决定》，提出3年和5年工作目标。接着，2013年3月，通过了国务院机构改革和职能转变方案，并印发了《国务院办公厅关于印发国家食品药品监督管理总局主要职责内设机构和人员编制规定的通知》；同年5月，在国务院常务会议上，国务院总理李克强表示，在实施4年之际，我国《食品安全法》即将启动修订。



以上种种举措和决定表明了国家领导人对食品安全工作的重视，相信对于缓解我国严峻的食品安全形势、解决食品安全突出问题将具有积极的意义。

## 1.2 食品中常见的关键危害物质

### 1.2.1 微生物污染

食源性致病菌已被全世界公认为是造成食品污染的重要因素之一，甚至可能造成人的死亡。从全球已经发生的食品安全事件来看，致病性细菌污染是最常见、影响面最为广泛的一类污染。食源性疾病的危害远超违法滥用添加剂、农药残留等食品化学性污染，已成为危害食品安全的头号杀手。2012年10月22—23日，在厦门召开的2012年ICMSF（国际食品微生物标准委员会）-中国食品安全国际研讨会上，国内外的专家一致呼吁：食源性疾病是全球食品安全面临的主要挑战，中国应尽早加大对食源性疾病的监测和预防，对于由微生物污染引起的食品安全问题给予高度关注。近年来的研究和风险分析表明，在我国由微生物引起的食源性疾病事件中，沙门氏菌和副溶血性弧菌始终是最常见和最主要的病原因子。人们食用受该菌污染的食物后会引发腹泻、呕吐等，重症患者还会脱水、休克，甚至死亡。我国工程院院士、国家食品安全风险评估中心研究员陈君石就指出，我国食品安全的“三大敌人”依次是微生物引起的食源性疾病、化学性污染（农药残留、兽药残留、重金属污染、天然毒素污染、有机污染物污染等）以及非法使用食品添加剂。因此，食品中致病菌的污染问题和对它的监测不容忽视。

### 1.2.2 化学污染

#### 1.2.2.1 重金属污染

重金属污染是消费者普遍关注且亟待解决的食品质量安全问题之一。重金属容易通过食物链的生物放大作用在人体内蓄积，其半衰期长，能导致急性和慢性毒性反应，严重时可致畸、致癌和致突变。重金属在人体的蓄积途径在过去主要是自然地质原因，重金属通过土壤、水迁移到植物中，经过食物链在生物界迁移转运，层层富集放大，最终进入人体，对人体产生不良作用，导致地方病的发生和流行。这种危害经过我国政府多年来有效的治理和防范，已得到了基本的控制和防治。而现在，重金属污染途径主要来自于环境污染和食品生产加工环节，如工业“三废”、原料、生产设施、食品接触材料和添加剂污染等。研究表明，重金属污染以镉最为严重，其次是汞、铅等。如2013年发生的广州“大米镉污染”事件，再次引起人们对食品安全的关注。此外，重金属在水产品中的超标也已经成为沿海地区水产行业普遍存在的问题。

#### 1.2.2.2 农药、兽药污染

化学农药的残留是影响食品安全的重要因素。由于农药残留对人的潜在危害极大且复杂，各国尤其是欧盟各国都对此非常重视，制定了详细而严格的管理、监测措施和具体规定。我国农业生产中存在着农药用量大、品种结构不合理的现象，杀虫剂约占农药总量的70%，而有机磷杀虫剂又占杀虫剂的70%。这些在自然环境中难以降解

的农药直接造成蔬菜、水果等农药残留超标,会直接危害人体的循环、内分泌和神经系统。农药通过大气和饮用水进入人体的仅占10%,通过食物进入人体的则占90%。这些农药在人体内无法分解时,势必损伤人体的循环、内分泌、血液、神经系统,而首当其冲的是危及少年儿童的生长发育。近年来,各地已有多例关于孕妇食用有毒农药残留超标的蔬菜、水果等导致胎儿致畸致残的报道;农药残留对儿童内分泌系统造成紊乱,使各地性早熟儿童的数量较以前有较大幅度的增长。

### 1.2.2.3 持久性有机污染物污染

持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)是指持久存在于环境中,具有很长的半衰期,且能通过食物链积聚,并对人类健康及环境造成不利影响的有机化学物质。持久性有机污染物的第一个来源是农业生产中所使用的有机氯农药,主要包括艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、DDT、氯丹、毒杀芬、六氯苯、灭蚁灵、七氯等9种;第二个来源是工业化学品,包括多氯联苯(PCBs)和六氯苯(HCB);第三个来源是生产过程中由于不完全燃烧等所产生的副产品二噁英和呋喃。近年来,持久性有机污染物因其具有持久性、生物蓄积性,长期存在于环境中并对人类健康和环境产生严重危害而引起学者和各国政府的高度关注。在每年人类释放到环境中的污染物中,持久性有机污染物是最危险的高毒污染物质,可造成一系列负面影响。特别严重的情况下,可导致动物以及人类患病和畸形儿发生,甚至死亡。最新研究表明,这些污染物可能对儿童有严重的影响,会导致婴儿和儿童的免疫功能下降、被感染概率增大、大脑发育异常、神经功能损坏以及引发癌症和肿瘤的发生等。目前,《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》确定首批禁止使用的12种持久性有机污染物为:艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、DDT、七氯、氯丹、六氯苯、灭蚁灵、毒杀芬、二噁英、呋喃和多氯联苯。

### 1.2.2.4 食品添加剂的超范围、超量使用

食品添加剂是为改善食品品质和色、香、味,以及为防腐和加工工艺而加入食品中的化学合成物质或天然物质。食品添加剂的合理应用使得食品的花色品种、风味外观等日益丰富,使得食品的保质期延长。但如果过量使用或者滥用,就可能对人体健康带来影响或者危害,其表现为:①急、慢性中毒。由于制造添加剂时所用原料不纯而被一些有毒化合物污染,引起人们急、慢性中毒。②致癌。某些人工色素、甜味剂等经试验证实有致癌性,如奶油黄色素可诱发大鼠肝癌,甜味剂甘精和苯脲也能引起动物肿瘤。近年来还发现发色剂亚硝酸钠会与肉、鱼等食品中的胺类发生反应,形成有强致癌作用的亚硝基化合物。经过多年的监测,发现甜味剂、防腐剂容易在果脯、蜜饯等食品中出现超标现象;色素的超标则主要集中在酱卤类制品、休闲肉干制品、灌肠类制品、五彩糖等食品上。

## 1.2.3 生物毒素

生物毒素是由动物、植物和微生物等在一定条件下产生的对其他生物物种有毒害且不可复制的化学物质,是一大类生物活性物质的总称。食品中的生物毒素分为真菌毒素和细菌毒素。其中,真菌毒素(mycotoxins)是由曲霉菌、青霉菌、镰刀菌等真菌产生的次级代谢产物,目前已发现的真菌毒素达300多种,危害较大的主要有黄曲霉





毒素 (aflatoxin, AF)、赭曲霉毒素 (ochratoxin, OT)、伏马菌素 (fumonisins)、玉米赤霉烯酮 (zearalenone, ZEN)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇 (deoxynivalenol, DON)、展青霉素 (patulin) 等。这些真菌毒素已经成为大多数农产品的主要污染物之一, 近年来由于各种真菌毒素污染而导致动物或人类中毒的食品安全事件屡有发生。据联合国粮农组织估算, 全球每年约有 25% 的农产品受到真菌毒素的污染, 2% 的农产品因污染严重而失去营养和经济价值, 造成数百亿美元的经济损失。真菌毒素可以直接或间接进入食物链, 最终导致动植物、食品受到毒素污染, 人畜进食被其污染的粮油食品可导致急、慢性真菌毒素中毒症 (如肝肾毒性、生殖毒性、免疫抑制、中枢神经系统异常、致畸、致癌等)。例如, 黄曲霉毒素 (AFB<sub>1</sub>、AFB<sub>2</sub>、AFG<sub>1</sub>、AFG<sub>3</sub>、AFM<sub>1</sub> 等) 是诱发人类肝癌发病的重要因素, AFB<sub>1</sub> 的毒性最强, 被国际癌症研究机构规定为 I 类致癌物, 其毒性是氰化钾的 10 倍。现在世界各国纷纷制定了农产品及食品中真菌毒素的限量标准, 不断加大对粮油食品的监督检查力度, 玉米、花生、小麦及其制品中真菌毒素含量也已成为各国质检部门检疫检验的重点项目之一。

细菌毒素主要是金黄色葡萄球菌肠毒素 (staphylococcal enterotoxins, SE) 和肉毒毒素。金黄色葡萄球菌产生的数种可引起急性胃肠炎的蛋白质类肠毒素, 以及由 SE 引起的在细菌性食物中毒中占有相当高比例的食物中毒, 是世界性公共卫生问题。由于 SE 具有很强的热稳定性, 经过加热处理后仍然具有致病力, 因此在食品卫生检查中, SE 的检出是确定食物被金黄色葡萄球菌污染的决定因素。一般认为人食入金黄色葡萄球菌肠毒素 A (SEA) 20 ~ 100 ng 即可引起食物中毒。肉毒毒素是厌氧的肉毒梭菌产生的一种外毒素, 属于高分子量蛋白质类神经毒素, 是迄今为止生物毒素 (包括化学物质) 中毒性最强的物质, 它的毒力比氰化钾强 1 万倍, 可以经消化道摄入、呼吸道吸入、伤口或眼睛等吸收而导致人类中毒。此外, 该毒素被一些国际恐怖和极端组织用来制造恐慌。

#### 1.2.4 掺假使假

食品中掺假是指人为地、有目的地向食品中加入一些非固有的成分, 以增加其重量或体积或改变某种品质, 以低劣的色、香、味来迎合消费者贪图便宜的心理的行为。在食品中掺假使假不是最近才有, 国内国外一直时有发生。不法商家为了追求商业利益, 产品以次充好, 挖空心思在食品中或加或减东西, 以假乱真。当前食品掺假的形式多种多样, 掺假活动也日渐猖獗。从 2008 年国内三鹿奶粉“三聚氰胺”事件到 2013 年瑞典等国的“马肉风波”, 食品中掺假使假现象再次敲响了食品安全的警钟。由于蛋白粉和奶粉是孕妇和婴儿特别需要的一类食品, 消费量巨大, 因此有些不法商家为了降低生产成本, 往往会对其进行掺假, 这不仅影响蛋白粉和奶粉的品质, 而且会影响消费者的人身健康。不法商家往往是通过向这些食品中添加三聚氰胺和尿素等非蛋白成分、大豆蛋白等异源蛋白、乳清粉等乳源性蛋白等物质达到掺假的目的。此外, 目前国际上果汁饮料的掺假现象也十分严重。据统计, 国际上有 50% ~ 80% 的果汁在不同程度上被掺假。掺假果汁的大量存在, 严重损害了消费者的利益和健康, 不利于社会的安定与和谐。国内外研究披露的常见掺假食物有橄榄油、牛奶、蜂蜜、咖啡、橙汁、苹果汁、燕窝、淡水鱼和海鲜产品、肉类产品、食用油脂等。