



食品加工过程安全控制丛书
Safety Control in Food Processing Series



食品安全 快速检测与预警

Rapid Detection and Alert System for Food Safety

孙远明 等编著



化学工业出版社



“十三五”
国家重点图书

食品加工过程安全控制丛书
Safety Control in Food Processing Series



食品安全 快速检测与预警

Rapid Detection and Alert System for Food Safety

孙远明 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书是国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“食品加工过程安全控制理论与技术的基础研究”的成果之一,主要介绍食品安全快速检测技术理论与方法、食品安全追溯原理与应用等内容,具有较强的理论性和实用性。

本书可作为食品科学与工程、食品质量与安全、分析化学等相关专业研究生、本科生的学习用书,也适合从事食品检验、卫生检验、食品工程等相关工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

食品安全快速检测与预警/孙远明等编著. —北京:化学工业出版社, 2016. 10
国家出版基金项目
“十三五”国家重点图书
(食品加工过程安全控制丛书)
ISBN 978-7-122-28239-2

I. ①食… II. ①孙… III. ①食品安全-食品检验
IV. ①TS207

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第236951号

责任编辑:赵玉清

文字编辑:焦欣渝

责任校对:宋玮

装帧设计:尹琳琳

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市胜利装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张25½ 字数453千字 2017年3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: 88.00 元

版权所有 违者必究



《食品加工过程安全控制丛书》 编委会名单

主任委员：陈 坚

副主任委员：谢明勇 李 琳 胡小松 孙远明 孙秀兰

王 硕 孙大文

编委会委员：（按汉语拼音排序）

陈 芳 陈 坚 陈 奕 陈 颖 邓启良

邓婷婷 方 芳 胡松青 胡小松 雷红涛

李 冰 李 昌 李 琳 李晓薇 李 耘

刘英菊 聂少平 皮付伟 尚晓虹 申明月

石吉勇 苏健裕 孙大文 孙秀兰 孙远明

王俊平 王 盼 王鹏璞 王 婷 王 硕

王周平 吴 青 吴世嘉 肖治理 谢明勇

辛志宏 熊振海 徐 丹 徐小艳 徐振波

徐振林 杨艺超 袁 媛 张银志 张 英

张继冉 钟青萍 周景文 邹小波



食品加工过程安全控制丛书

Safety Control in Food Processing Series

本书编写人员名单

(按汉语拼音排序)

- | | |
|-----|-------------|
| 陈颖 | 中国检验检疫科学研究院 |
| 邓启良 | 天津科技大学 |
| 邓婷婷 | 中国检验检疫科学研究院 |
| 雷红涛 | 华南农业大学 |
| 刘英菊 | 华南农业大学 |
| 石吉勇 | 江苏大学 |
| 孙大文 | 华南理工大学 |
| 孙远明 | 华南农业大学 |
| 王俊平 | 天津科技大学 |
| 王娉 | 中国检验检疫科学研究院 |
| 王硕 | 天津科技大学 |
| 王周平 | 江南大学 |
| 吴青 | 华南农业大学 |
| 吴世嘉 | 江南大学 |
| 肖治理 | 华南农业大学 |
| 熊振海 | 上海海洋大学 |
| 徐小艳 | 华南农业大学 |
| 徐振林 | 华南农业大学 |
| 杨艺超 | 广州医科大学 |
| 叶华 | 江南大学 |
| 钟青萍 | 华南农业大学 |
| 邹小波 | 江苏大学 |

食品安全检测是防止有毒有害食品上市的重要手段,是保障消费者身心健康的重要环节。我国农业生产和食品加工具有量大、面广、规模小和经营分散等特点,对农产品和食品的检测把关十分困难。实践证明,发展以快速检测技术为筛查手段结合大型仪器辅助确证的检测模式适合我国国情,具有广阔的应用推广前景。食品安全预警是在残留监控技术研究以及数据采集、数据库建立、数据挖掘等基础上,对食品安全状态的分析与预测,是食品安全控制的重要决策依据。

本书是国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“食品加工过程安全控制理论与技术的基础研究”的成果之一,主要介绍食品安全快速检测技术理论与方法、食品安全追溯原理与应用等内容,具有较强的理论性和实用性。本书可作为食品科学与工程、食品质量与安全、分析化学等相关专业研究生、本科生的学习用书,也适合作为从事食品检验、卫生检验、食品工程等相关工作人员的参考书。

本书编写人员均为食品安全检验与控制领域的研究者,在食品安全检测与预警方面具有丰富的研究和教学经验。各章节编写分工如下:第一章由徐振林、孙远明编写;第二章由吴青编写;第三章由雷红涛、肖治理编写;第四章由徐小艳编写;第五章由王周平、叶华、吴世嘉编写;第六章由刘英菊编写;第七章由邓婷婷、王娉、陈颖编写;第八章由钟青萍编写;第九章由邹小波、石吉勇编写;第十章由邓启良、王硕、王俊平编写;第十一章由孙大文、杨艺超编写;第十二、十三章由熊振海编写。

限于编写人员的学识和写作水平,加之时间仓促,书中难免存在不足之处,恳请广大读者提出宝贵意见和建议,以便我们今后改正和进一步完善。

编者

2016年5月于广州

1 绪论

1.1 食品主要危害因子	2
1.1.1 生物性危害因子	2
1.1.2 化学性危害因子	3
1.1.3 物理性危害因子	4
1.2 国内外食品安全现状	5
1.2.1 食品安全问题的影响	5
1.2.2 发达国家食品安全现状	6
1.2.3 我国食品安全现状	6
1.3 开展食品安全快速检测与预警的意义	9
1.3.1 食品安全快速检测技术	9
1.3.2 食品安全预警技术	14
1.4 本书的主要内容	16
参考文献	16

2 酶抑制法快速检测技术

2.1 酶抑制法快速检测技术的原理	20
2.2 酶抑制法快速检测技术的特点	21
2.2.1 酶抑制法快速检测技术的优点	21
2.2.2 酶抑制法快速检测技术的缺点	21
2.3 酶抑制法快速检测技术的构建	22
2.3.1 酶制剂的种类和制备	22
2.3.2 酶法速测卡(纸片法)	25
2.3.3 酶抑制分光光度法(比色法)	26
2.3.4 酶抑制传感器	28
2.4 酶抑制法快速检测技术的应用现状	32
参考文献	32

3 免疫学快速检测技术

3.1 抗原与抗体	38
-----------------	----

3.1.1 抗原	38
3.1.2 抗体	42
3.2 抗体的制备方法	43
3.2.1 多克隆抗体的制备	43
3.2.2 单克隆抗体的制备	45
3.2.3 重组抗体	46
3.3 免疫检测原理	49
3.3.1 抗原-抗体反应	49
3.3.2 免疫检测方法	50
3.4 免疫检测技术在食品安全中的应用	58
参考文献	60

4 分子印迹快速检测技术

4.1 分子印迹技术的原理及其分类	62
4.1.1 分子印迹技术的原理	62
4.1.2 分子印迹技术的分类	62
4.2 分子印迹快速检测方法的构建	65
4.2.1 影响分子印迹快速检测方法的因素	65
4.2.2 分子印迹聚合物的制备方法	69
4.2.3 分子模拟在分子印迹聚合物制备中的应用	71
4.3 分子印迹聚合物的表征方法	73
4.4 分子印迹技术的应用现状	73
4.4.1 固相萃取	74
4.4.2 色谱分离	74
4.4.3 仿生传感器	75
4.4.4 膜分离	76
4.4.5 模拟酶催化	76
4.5 分子印迹技术的发展趋势	77
参考文献	78

5 基于核酸适配体快速检测技术

5.1 核酸适配体概述	84
--------------------------	-----------

5.1.1	核酸适配体的起源	84
5.1.2	核酸适配体的特点	84
5.2	核酸适配体筛选技术	86
5.2.1	核酸适配体筛选技术的基本原理及流程	86
5.2.2	核酸适配体筛选技术的发展	89
5.3	核酸适配体在食品安全中的应用	95
5.3.1	食源性致病菌检测	95
5.3.2	生物毒素检测	96
5.3.3	重金属离子检测	97
5.3.4	药物残留检测	98
5.3.5	食品中转基因蛋白、过敏原的检测	98
5.4	发展趋势	98
	参考文献	99

6 生物传感器快速检测技术

6.1	生物传感器的原理	106
6.1.1	生物传感器的原理	106
6.1.2	生物传感器的分类	106
6.2	生物传感器快速检测技术的构建	115
6.2.1	生物传感器元件的制备	115
6.2.2	生物传感器固定化技术	117
6.2.3	影响生物传感器方法的因素	127
6.3	生物传感器快速检测技术的应用现状	128
6.3.1	水产品新鲜度的检测	129
6.3.2	食品中农药残留分析	129
6.3.3	食品中抗生素残留的分析	131
6.3.4	毒素分析	132
6.3.5	食品中重金属的测定	133
6.3.6	食品中糖类的测定	134
6.3.7	食品中氨基酸和蛋白质的测定	134
6.3.8	食品中发酵产物的测定	135
6.4	生物传感器的发展趋势	136
	参考文献	136

7.1 PCR 技术概述	144
7.1.1 PCR 技术发展简史	144
7.1.2 PCR 技术原理	145
7.1.3 PCR 技术的特点	145
7.1.4 PCR 技术的反应要素	146
7.1.5 PCR 过程中的污染及防治措施	148
7.2 PCR 技术的类别、原理及技术要点	149
7.2.1 常规 PCR 技术	149
7.2.2 实时荧光 PCR 技术	164
7.2.3 数字 PCR 技术	168
7.3 PCR 技术在快速检测领域的应用现状	170
7.3.1 普通 PCR 技术在快速检测领域的应用	170
7.3.2 实时荧光 PCR 技术在快速检测领域的应用现状	175
7.3.3 数字 PCR 技术在快速检测领域的应用现状	180
参考文献	183

8.1 环介导等温扩增法的引物及扩增原理	194
8.1.1 引物	194
8.1.2 扩增原理	195
8.2 环介导等温扩增法的构建	197
8.2.1 引物设计的原则及关键点	197
8.2.2 LAMP 反应体系与操作	198
8.2.3 结果判断	198
8.2.4 影响 LAMP 技术的因素	201
8.3 环介导等温扩增技术的特点	203
8.4 LAMP 技术的改进与发展	204
8.4.1 RT-LAMP	204
8.4.2 原位 LAMP	204
8.4.3 多重 LAMP	205
8.4.4 与核酸染料 EMA、PMA 结合的 LAMP 技术	206

8.4.5	分离单链 DNA	206
8.4.6	LAMP 产物检测的新方法	207
8.4.7	微流控 LAMP 芯片	208
8.5	环介导等温扩增技术的应用现状	208
8.5.1	对细菌的检测	208
8.5.2	对病毒的检测	213
8.5.3	真菌的检测	215
8.5.4	对寄生虫的检测	217
8.5.5	对产海洋毒素的藻类的检测	218
8.5.6	对转基因食品的检测	218
	参考文献	220

9

近红外光谱无损快速检测技术

9.1	近红外光谱检测技术及其原理	224
9.1.1	近红外光谱分析技术的发展	224
9.1.2	近红外光谱的产生	225
9.1.3	近红外光谱测定的基本原理	226
9.1.4	近红外光谱技术的特点	229
9.1.5	近红外光谱分析技术存在的难点	229
9.2	近红外光谱无损快速检测方法的构建	229
9.2.1	样品近红外光谱信息采集	230
9.2.2	近红外光谱数据的预处理	231
9.2.3	近红外光谱模型的建立	232
9.2.4	近红外光谱特征光谱区间的选择	242
9.2.5	近红外光谱检测技术的误差来源	249
9.2.6	近红外光谱检测仪器	250
9.2.7	近红外光谱检测软件	253
9.3	近红外光谱无损检测技术的应用现状	259
9.3.1	近红外光谱分析技术在作物品质检测中的应用	259
9.3.2	近红外光谱分析技术在牛奶和乳制品中的应用	260
9.3.3	近红外光谱分析技术在果蔬加工和贮藏中的应用	262
9.3.4	近红外光谱分析技术在肉制品及加工和贮藏中的应用	262
9.3.5	近红外光谱分析技术在食品生产线上的应用	263

9.3.6 近红外光谱分析技术在食品其他方面的应用	263
参考文献	264

10 激光拉曼光谱无损检测技术

10.1 拉曼光谱基本原理	268
10.2 共振拉曼散射	271
10.3 表面增强拉曼光谱技术	273
10.3.1 SERS 的增强机理	274
10.3.2 表面增强基底的制备	276
10.4 表面增强拉曼光谱在食品检测中应用	279
10.4.1 食品中农兽药残留的 SERS 分析	279
10.4.2 表面增强拉曼光谱在非法添加剂检测中的应用	282
参考文献	283

11 高光谱成像快速无损检测技术

11.1 高光谱成像检测技术及其原理	290
11.1.1 光谱成像技术的发展	290
11.1.2 高光谱成像的特点	291
11.1.3 高光谱成像检测的基本原理	291
11.1.4 高光谱成像检测仪器	293
11.1.5 高光谱图像的采集方式	299
11.1.6 高光谱成像检测技术存在的难点	302
11.2 高光谱成像无损快速检测方法的构建	302
11.2.1 样品高光谱图像的采集与黑白校正	303
11.2.2 高光谱数据的提取及预处理	303
11.2.3 高光谱图像的本征维数分析及数据挖掘	305
11.2.4 高光谱定性定量模型的构建	306
11.2.5 高光谱模型的验证与评价	315
11.2.6 高光谱对样品品质指标的可视化表达	315
11.3 高光谱成像无损检测技术在食品领域的应用现状	316
11.3.1 高光谱成像技术在果蔬品质检测中的应用	316
11.3.2 高光谱成像技术在肉制品及加工和贮藏中的应用	317

11.3.3	高光谱成像技术在水产品及加工和贮藏中的应用	318
11.3.4	高光谱成像技术在谷物品质检测中的应用	319
	参考文献	319

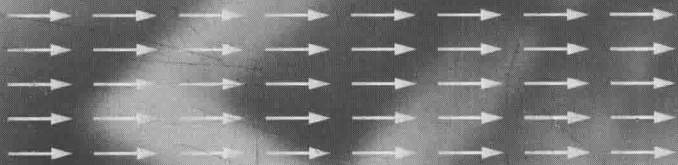
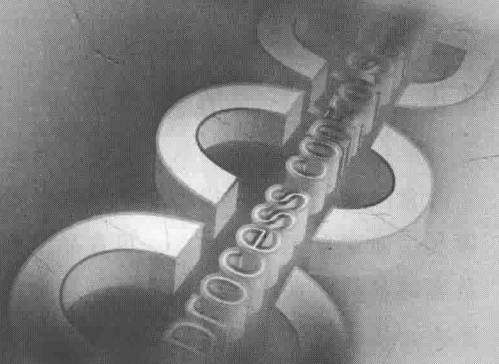
12 食品安全预警理论与方法

12.1	食品安全预警的理论	326
12.1.1	逻辑预警理论	326
12.1.2	系统预警理论	329
12.1.3	风险分析预警理论	332
12.1.4	信号预警理论	334
12.2	预警分析的方法	336
12.2.1	基于层次分析的预警方法	337
12.2.2	基于模糊数学的预警方法	349
12.2.3	基于神经网络的预警方法	354
12.2.4	基于回归的预警方法	359
12.2.5	基于风险分析的预警方法	362
12.2.6	信号预警方法	366
	参考文献	370

13 食品安全预警系统的构建与应用

13.1	食品安全预警系统的构建	374
13.1.1	食品安全预警系统的设计思路	374
13.1.2	食品安全预警系统的基本框架	375
13.1.3	食品安全预警系统管理流程	382
13.2	食品安全预警系统的应用现状	383
13.2.1	国外食品安全监测预警体系现状	383
13.2.2	国内食品安全检测预警体系现状	385
13.2.3	存在的问题	387
13.2.4	国外食品安全预警系统对我国的启示	390
13.2.5	对策	390
	参考文献	392

索引	393
----------	-----



1

绪 论

1.1 食品主要危害因子

食品安全危害是指潜在损坏或危及食品安全和质量的因子或因素，对人体健康和生命安全造成威胁。一旦食品受到这些危害因子的污染，就会成为具有潜在危害的食品。食品安全危害可以发生在食物链的各个环节，通常分为生物性危害因子、化学性危害因子和物理性危害因子三种类型。

1.1.1 生物性危害因子

在食品的整体生产、流通和消费过程中，都可能因工艺、操作不当或管理不善而使病原菌、寄生虫等生物性危害因子进入食物链中。常见的生物性危害因子主要包括细菌、病毒、霉菌及寄生虫等（表 1-1）。

表 1-1 常见生物性危害因子类型

类型	常见种类
细菌	金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、变形杆菌、副溶血性弧菌、致病性大肠杆菌、蜡样芽孢杆菌、肉毒梭状芽孢杆菌等
病毒	甲型肝炎病毒、诺沃克病毒、疯牛病病毒、口蹄疫病毒等
霉菌	黄曲霉、杂色曲霉、赭曲霉、橘青霉、禾谷镰刀菌等
寄生虫	囊尾蚴、旋毛虫、肝片形吸虫、弓形虫、华枝睾吸虫、阔节裂头线虫、猫后睾吸虫、姜片虫等

(1) 细菌 细菌是食品中最常见的生物性危害因子，是最主要的食品卫生问题污染源。引起食品污染的细菌有很多种，主要分为两类：一类为致病菌和条件致病菌，它们在一定的条件下可以以食品为媒介引起人类感染性疾病或者食物中毒；另一类虽非致病菌，但它们可以在食品中生长繁殖，使食品的色、香、味、形发生改变，甚至导致食品腐败变质。

(2) 病毒 目前，已经发现污染食品的病毒有 150 多种。病毒自身不能繁殖，个体小，用光学显微镜也看不见。病毒外膜为蛋白质，内部为核酸。病毒感染剂量低，在环境中易存活，与表征性细菌的相关性不明显。虽然多数病毒不耐热，但也存在一些非常耐热、不易被破坏的病毒。致病性病毒直接或间接污染食品及水源，人经口感染可导致肠道传染病的发生或导致家畜传染病的流行。

(3) 霉菌 霉菌可以使食品发生霉变而变质，造成食品的营养价值与食用价值降低，甚至完全丧失；有的产生毒素，具有很强的致病作用，易造成严重的食品安全问题。

(4) 寄生虫 寄生虫是需要有寄主才能存活的生物,生活在寄主体表或其体内。世界上存在几千种寄生虫,约 20% 的寄生虫能在食物或水中生存,目前所知的通过食品感染人类的寄生虫接近 100 种。寄生虫及其虫卵直接污染食品或通过病人、病畜的粪便污染水体或土壤后,再污染食品。

1.1.2 化学性危害因子

目前,我们已知的化学物质多达 1000 万种以上,在全世界广泛使用的约有几十万种,其中部分化学物质对人体有潜在毒性,尤其是对人体的长期毒性作用我们并没有完全了解。化学污染可能发生在从食品原料生产、加工、贮藏、运输到消费的任何一个阶段。

化学性污染类型一般有农药、兽药、非法添加物、重金属、有机污染物、生物毒素、加工新生有害物、包装材料迁移物等,部分化学性危害因子见表 1-2。

表 1-2 常见化学性危害因子类型

类型	污染途径	代表种类
农药	①农田施用农药对作物直接污染 ②土壤中沉积农药污染食用作物 ③生物富集作用 ④通过气流扩散大气层污染 ⑤其他,如含农药工业废水未经处理排放、事故性污染等	①有机氯农药(六六六、DDT、麦杀芬等) ②有机磷杀虫剂(甲胺磷、乐果、敌敌畏、对硫磷等) ③氨基甲酸酯类农药 ④拟除虫菊酯类农药 ⑤有机砷、有机汞等类农药
兽药	①人为滥用 ②不遵守休药期	①抗生素类 ②生长促进剂类 ③镇定剂类 ④ β -肾上腺素能受体阻断剂 ⑤抗原虫药/驱肠虫药类
非法添加剂	①人为滥用 ②误用	①工业原料(苏丹红、孔雀石绿等) ②违禁药物(硝基呋喃类、盐酸克伦特罗等)
重金属	①自然环境中的金属被食用动植物吸收、吸附 ②工业三废和农药化肥使用造成的污染 ③加工过程和包装材料的污染	无机 Hg、Cd、Pb、As 等及其有机物
有机污染物	①工业废料导致水源及土壤污染 ②加工过程和保障材料的污染	①多氯二苯并二噁英(75 种) ②呋喃(135 种) ③多氯联苯(209 种) ④稀环化合物(如联苯) ⑤稠环化合物(如萘、苯并芘)
生物毒素	①生产过程中的污染 ②储存及运输过程中的污染 ③食物自身携带	①植物毒素(如秋水仙素) ②动物毒素(如河豚毒素) ③微生物毒素(如黄曲霉毒素)

续表

类型	污染途径	代表种类
加工新生有害物	①高温油炸 ②微生物发酵 ③化学反应	①N-亚硝胺(如二甲基亚硝胺)、N-亚硝酰胺(如甲基亚硝基脒) ②氨基咪唑氮杂芳烃类(喹啉类、喹噁啉、吡啶类) ③氨基咪唑类(α -咪唑、 γ -咪唑) ④丙烯酰胺 ⑤反式脂肪酸
包装迁移物	在储存和包装食品过程中,其某些有害成分可移行到食品中	①热塑性塑料(PE、PP、PS、PVC、PET等)和热固性塑料(三聚氰胺甲醛、脲醛树脂等) ②橡胶材料(丁腈橡胶、丁苯橡胶等) ③陶瓷、搪瓷上的釉彩(硫镉、氧化铬等无机金属颜料)

1.1.3 物理性危害因子

物理性危害包括任何在食品中发现的不正常的、有潜在危害的外来物。与化学性危害和生物性危害相比,消费者往往更易发现物理性危害,因而,其也是消费者经常表示不满和投诉的事由。物理性危害包括碎骨头、碎石头、铁屑、木屑、头发、蟑螂等昆虫的残体、碎玻璃以及其他可见的异物。物理性危害不仅对食品造成污染,而且也时常损及消费者的健康(表1-3)。

(1) 金属 金属物造成食品的危害是物理性安全危害中比较常见的一种,食品中的金属物一般来源于各种机械、电线等,它的产生可归因于多种原因。消费者最终食入这些食物中的金属物,可能会对人体造成不同程度的损伤,如口腔的割伤,咽部的划伤等,一些进入体内的金属物如不能及时排出,只能通过外科手术取出,这些都给消费者造成巨大的身心痛苦和折磨,严重的还会危及消费者的生命。

(2) 玻璃 玻璃物造成食品的危害也是物理危害中比较常见的一种,它产生的原因和金属物危害产生的原因相似。玻璃物也会对人体造成不同程度的损伤,如划伤、割伤,一些进入人体的玻璃物也需要通过外科手术取出。

(3) 其他异物 如石头、骨头、塑料、鸟粪、小昆虫等,如果不加以控制,都会对人体造成一定程度的伤害。

表1-3列出了在食品中能引起物理危害的材料及来源。

表1-3 食品中能引起物理危害的材料及来源

材料	来源
金属	机器、农田、大号铅弹、鸟枪子弹、电线、订书钉、建筑物、员工
玻璃	瓶子、罐、灯罩、温度计、仪表表盘
其他	掺伪、形状大小等