



普通高等教育“十三五”规划教材

# 食品安全检测技术

王 硕 王俊平 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 食品安全检测技术

王 硕 王俊平 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了食品安全检测操作规范、实验设计和数据处理、食品样品净化等基础知识,重点是食品中残留有害物质、食品中有害元素、食品添加剂、食品中天然毒素物质、食品中持久有机污染物、食品加工过程产生的有害物质、食品接触材料可迁移有害物质、食源性致病微生物、转基因食品 and 食品掺伪物质的检测技术,不同检测对象相关检测技术的原理、操作过程及结果分析方法,以及不同检测技术的优劣与适用范围。

本书适合作为高等学校食品质量与安全专业教材,也可以作为食品检测机构、食品企业及有关科技人员的参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

食品安全检测技术/王硕, 王俊平主编. —北京: 化学工业出版社, 2016. 6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-26862-4

I. ①食… II. ①王…②王… III. ①食品安全-食品检验-高等学校-教材 IV. ①TS207

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 082330 号

---

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 周 侗

责任校对: 王素芹

装帧设计: 史利平

---

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: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{2}$  字数 400 千字 2016 年 8 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: 40.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

FOREWORD

食品安全既关系到消费者的身体健康，也关系到食品产业的可持续发展，因此受到广大消费者、生产企业和政府部门的高度关注。现代农业的发展造成的农业生产环境恶化，食品生产加工和流通消费过程中不恰当操作带来的不安全因素，从源头到餐桌威胁着食品安全。检测技术是食品安全监管的重要技术手段，学习和掌握食品安全检测技术对于食品安全检测工作者具有重要意义。

当前，为满足我国对于食品安全技术人才的需求，不少高等院校都相继建立了食品质量与安全专业，食品安全检测技术是食品质量与安全专业的必修课。但是，目前能够满足该专业培养目标需求的检测技术教材不多，给该课程的开设和学生的学习造成了很大困难。

针对食品质量与安全专业的培养目标和食品安全检测技术课程的教学重点，我们组织相关院校一线教师编写了这本教材。编写过程中，在充分参考国内外现有教材、结合国内外食品安全检测技术的发展动态和学科前沿的基础上，以检测技术的基本原理和经典方法为教材的讲述重点，对于相关检测技术进行了较为详尽的阐述与评价，使学生通过学习可以很好地了解每种方法的优缺点及适用范围，具备基本的食品安全检测技术的理论基础。

教材共分 13 章，编写分工如下：第 1 章由天津科技大学钱坤编写；第 2 章、第 11 章由山东师范大学张鸿雁编写；第 3 章、第 8 章和第 12 章由渤海大学汤轶伟编写；第 4 章由天津科技大学钱坤、王硕编写；第 5 章、第 6 章和第 7 章由齐鲁工业大学何金兴编写；第 9 章和第 13 章由天津师范大学宋洋编写；第 10 章由天津科技大学王俊平编写；全书由王硕、王俊平统稿。教材得以顺利出版，是全体编写人员共同努力的成果，同时也是化学工业出版社编辑辛勤工作的结果，在此表示衷心感谢！

本书适合作为高等学校食品质量与安全专业教材，同时也可以作为食品检测机构、食品企业及有关科技人员的参考书。

虽然参加本书编写的人员均为多年从事食品质量检测的教学与科研的专业技术人员，但由于检测技术飞速发展，食品安全检测技术内容非常广泛，加之编者水平有限，书中难免存在疏漏与不足，敬请广大读者批评指正。

编者

2016 年 3 月

# 目录

CONTENTS

## 1 绪论

1.1 食品检测技术的重要性 .....	1
1.2 食品安全检测技术概况 .....	2
1.2.1 食品安全危害因子 .....	2
1.2.2 主要检测技术 .....	4
1.3 研究进展 .....	5
1.3.1 现代高新技术在食品安全检测中的发展应用 .....	5
1.3.2 食品安全领域重要有害物质技术分析进展 .....	6
1.4 食品安全检测技术中的标准物质要求 .....	8
1.4.1 标准物质的范畴及溯源性 .....	9
1.4.2 标准物质的应用发展 .....	10

## 2 食品安全检测基础知识

2.1 实验室类型与操作规范 .....	11
2.1.1 实验室类型 .....	11
2.1.2 实验室要求与管理 .....	11
2.1.3 实验室认可与认证 .....	12
2.2 样品的采集与保存 .....	13
2.2.1 样品的采集 .....	13
2.2.2 样品运送与保存 .....	14
2.3 样品的制备和预处理 .....	15
2.3.1 理化检验样品的制备和预处理 .....	16
2.3.2 微生物检验的样品处理 .....	17
2.4 分析方法的种类及选用原则 .....	17
2.4.1 分析方法的种类 .....	17
2.4.2 分析方法的选用原则 .....	18
2.5 实验设计和数据处理 .....	18
2.5.1 食品检验的实验设计 .....	18

2.5.2	数据处理	19
2.5.3	检测结果的评价	19
2.6	常用仪器分析技术简介	20
2.6.1	原子吸收光谱和原子发射光谱法	20
2.6.2	气相色谱法	21
2.6.3	高效液相色谱法	22
2.6.4	质谱联机	23
2.6.5	光度分析	23
	参考文献	24

### 3

## 样品前处理技术

3.1	概述	25
3.2	液液分配法	25
3.2.1	基本原理	25
3.2.2	萃取溶剂的选择	26
3.2.3	在食品安全检测中的实例分析	26
3.3	固相萃取法	26
3.3.1	基本原理	26
3.3.2	固相萃取装置	27
3.3.3	操作步骤	27
3.3.4	在食品安全检测中的应用	28
3.4	固相微萃取技术	28
3.4.1	基本原理	28
3.4.2	固相微萃取装置和萃取方式	29
3.4.3	固相微萃取操作步骤	29
3.4.4	在食品安全检测中的应用	30
3.5	凝胶渗透色谱技术	30
3.5.1	基本原理	30
3.5.2	凝胶渗透色谱仪	30
3.5.3	在食品安全检测中的应用	30
3.6	膜萃取	32
3.6.1	基本原理	32
3.6.2	在食品安全检测中的应用	32
3.7	低温冷冻	33
3.8	免疫亲和色谱技术	33
3.8.1	基本原理	33
3.8.2	在食品安全检测中的应用	33
3.9	分子印迹技术	34
3.9.1	基本原理	34
3.9.2	在食品安全检测中的应用	35

## 4 食品中残留有害物质检测技术

4.1	概述 .....	37
4.2	食品中农药残留的检测技术 .....	37
4.2.1	食品中有机磷农药残留检测技术 .....	37
4.2.2	食品中持久性有机氯农药残留检测技术 .....	39
4.2.3	食品中有机菊酯类农药残留检测技术 .....	40
4.2.4	食品中氨基甲酸酯类农药残留检测技术 .....	41
4.3	食品中兽药残留的检测技术 .....	43
4.3.1	食品中抗生素残留的检测技术 .....	43
4.3.2	食品中重要激素残留的检测技术 .....	49
4.4	非法添加物的检测 .....	50
4.4.1	孔雀石绿的检测 .....	50
4.4.2	苏丹红的检测 .....	51
4.4.3	三聚氰胺的检测 .....	51
	参考文献 .....	52

## 5 食品中有害元素检测技术

5.1	概述 .....	53
5.2	食品中汞的检测技术 .....	54
5.2.1	食品中总汞的原子荧光光谱法检测技术 .....	55
5.2.2	食品中汞的冷原子吸收光谱法检测技术 .....	56
5.2.3	鱼肉中甲基汞的气相色谱法检测技术 .....	58
5.3	食品中无机砷及有机砷化合物的检测技术 .....	60
5.3.1	砷的形态分析 .....	60
5.3.2	食品中总砷的原子荧光光谱法检测技术 .....	61
5.3.3	食品中总砷的银盐法检测技术 .....	62
5.3.4	食品中的砷化物离子色谱-原子荧光光谱法检测技术 .....	64
5.3.5	食品中砷化物的高效液相色谱-等离子发射光谱检测技术 .....	65
5.4	食品中铅及有机铅化合物的检测技术 .....	65
5.4.1	铅的形态及毒性 .....	65
5.4.2	食品中总铅的原子吸收光谱法检测技术 .....	66
5.4.3	食品中总铅的原子荧光光谱法检测技术 .....	68
5.5	食品中镉及有机镉化合物的检测技术 .....	69
5.5.1	镉的来源与危害 .....	69
5.5.2	食品中总镉的原子吸收光谱法检测技术 .....	70
5.5.3	食品中总镉的原子荧光光谱法检测技术 .....	71

5.6	食品中硒及有机硒化合物的检测技术	73
5.6.1	硒的形态分析及作用	73
5.6.2	食品中硒的原子荧光光谱法检测技术	73
5.6.3	食品中硒的荧光光度法检测技术	75
5.7	食品中锡及有机锡化合物的检测技术	77
5.7.1	锡的形态分析及危害	77
5.7.2	食品中总锡的分光光度法检测技术	77
5.7.3	食品中锡的原子荧光光谱法检测技术	78
5.8	食品中铝及有机铝化合物的检测技术	80
5.8.1	铝的形态分析	80
5.8.2	食品中铝的分光光度法检测技术	80
	参考文献	81

## 6

### 食品添加剂检测技术

6.1	概述	83
6.2	食品中主要防腐剂的检测技术	84
6.2.1	食品中的主要防腐剂	84
6.2.2	气相色谱法检测食品中9种食品防腐剂	85
6.3	食品中主要抗氧化剂的检测技术	87
6.3.1	食品中丁基羟基茴香醚与2,6-二叔丁基对甲酚的检测技术	87
6.3.2	食品中D-异抗坏血酸钠含量的检测技术	91
6.4	食品中主要甜味剂的检测技术	92
6.4.1	食品中糖精钠的检测技术	92
6.4.2	食品中环己基氨基磺酸钠(甜蜜素)的检测技术	94
6.4.3	食品中乙酰磺胺酸钾的检测技术	98
6.5	食品中主要乳化剂和稳定剂的检测技术	100
6.5.1	食品中甘油脂肪酸酯的检测技术	100
6.5.2	薄层扫描定量法测定食品中蔗糖脂肪酸酯的检测技术	101
	参考文献	104

## 7

### 食品中天然毒素物质检测技术

7.1	概述	105
7.2	食品中真菌毒素的检测技术	106
7.2.1	真菌毒素的主要检测技术	106
7.2.2	食品中黄曲霉毒素的检测技术	109
7.2.3	食品中展青霉素的检测技术	113
7.2.4	食品中伏马毒素的检测技术	117



7.3	食品中细菌毒素的检测技术 .....	120
7.3.1	细菌毒素的特征及危害评价 .....	120
7.3.2	食品中肉毒毒素的检测技术 .....	121
7.4	食品中其他天然毒素的检测技术 .....	123
7.4.1	食品中河豚毒素的检测技术 .....	123
7.4.2	食品中龙葵素的检测技术 .....	130
7.4.3	食品中皂苷的检测技术 .....	131
7.4.4	食品中胰蛋白酶抑制物的检测技术 .....	132
7.4.5	食品中生物胺类的检测技术 .....	133
	参考文献 .....	136

## 8

### 食品中持久性有机污染物检测技术

8.1	概述 .....	137
8.2	食品中多氯联苯类/二噁英的检测技术 .....	138
8.2.1	食品中多氯联苯类的检测技术 .....	138
8.2.2	食品中二噁英的检测技术 .....	142
8.3	食品中多溴联苯醚的检测技术 .....	152
8.3.1	食品中的多溴联苯醚 .....	152
8.3.2	食品中多溴联苯醚检测方法 .....	152
8.4	食品中烷基酚的检测技术 .....	154
8.4.1	食品中的烷基酚 .....	154
8.4.2	食品中烷基酚的检测方法 .....	154
	附录 .....	156
	参考文献 .....	165

## 9

### 食品加工过程产生的有害物质检测技术

9.1	概述 .....	166
9.2	食品中 N-亚硝基化合物的检测技术 .....	166
9.2.1	N-亚硝基化合物的分类 .....	166
9.2.2	N-亚硝基化合物的来源 .....	167
9.2.3	气相色谱-质谱法测定 N-亚硝胺类化合物含量 .....	167
9.3	食品中苯并 [a] 芘的检测技术 .....	169
9.3.1	苯并 [a] 芘的特征及危害评价 .....	169
9.3.2	高效液相色谱法测熟肉中苯并 [a] 芘的含量 .....	170
9.3.3	荧光分光光度法测定食品中苯并 [a] 芘的含量 .....	171
9.4	食品中杂环胺类的检测技术 .....	174
9.4.1	杂环胺类的特征 .....	174
9.4.2	杂环胺的种类 .....	174

9.4.3	食品中杂环胺类的检测	176
9.5	食品中氯丙醇的检测技术	177
9.5.1	氯丙醇的特征	177
9.5.2	食品中氯丙醇的气相色谱-质谱法检测技术	178
9.6	食品中丙烯酰胺的检测技术	180
9.6.1	丙烯酰胺的特征	180
9.6.2	气相色谱-质谱法测定食品中丙烯酰胺	181
9.7	食品中甲醛的检测技术	183
9.7.1	甲醛的特征	183
9.7.2	甲醛的来源	183
9.7.3	食品中甲醛的检测	184
	参考文献	188

## 10

### 食品接触材料检测技术

10.1	概述	189
10.2	食品包装材质及容器	190
10.2.1	食品包装材质	190
10.2.2	检测技术发展趋势	190
10.3	食品包装材料检测技术	191
10.3.1	食品包装材料蒸发残渣分析	191
10.3.2	食品包装材料脱色试验分析	192
10.3.3	食品包装材料重金属分析	192
10.3.4	食品包装材料可溶出有机物质分析	193
10.3.5	食品包装材料中丙烯腈残留气相色谱法检测技术	195
10.4	食品接触材料评价技术	197
10.4.1	食品接触材料的总迁移量分析	198
10.4.2	食品接触材料中铅、镉、铬(VI)迁移量检测技术	201
10.4.3	食品接触材料聚乙烯检测技术	204
10.4.4	食品接触材料聚丙烯检测技术	206
10.4.5	食品接触材料聚酯树脂中金属元素检测技术	206
10.4.6	食品接触材料聚酰胺检测技术	210
	参考文献	211

## 11

### 食源性致病微生物分子生物学检测技术

11.1	概述	212
11.2	食品中有害微生物的 PCR 检测技术	212
11.2.1	PCR 技术概述	212
11.2.2	PCR 技术基本原理	214

11.2.3	PCR 引物设计的原则 .....	214
11.2.4	PCR 技术要点 .....	215
11.3	实时 PCR 方法在食品致病菌检测中的应用 .....	216
11.3.1	方法提要 .....	216
11.3.2	设备和材料 .....	216
11.3.3	试剂 .....	217
11.3.4	检测步骤 .....	217
11.3.5	结果及判断 .....	218
11.3.6	测定低限 .....	218
11.3.7	废弃物处理和防止污染的措施 .....	218
11.3.8	生物安全措施 .....	218
11.4	多重 PCR 方法在食品多种致病菌检测中的应用 .....	218
11.4.1	方法提要 .....	218
11.4.2	仪器和设备 .....	219
11.4.3	试剂和材料 .....	219
11.4.4	检测程序 .....	220
11.4.5	操作步骤 .....	221
11.4.6	PCR 扩增产物的电泳检测 .....	222
11.4.7	结果判定和报告 .....	222
11.5	PCR-DHPLC 方法在食品常见致病菌检测中的应用 .....	222
11.5.1	方法原理 .....	222
11.5.2	主要仪器和设备 .....	223
11.5.3	试剂和材料 .....	223
11.5.4	检测程序 .....	223
11.5.5	操作步骤 .....	224
11.5.6	结果判定和报告 .....	225
11.6	环介导恒温扩增 (LAMP) 法在食品致病菌检测中的应用 .....	225
11.6.1	基本原理 .....	225
11.6.2	仪器和设备 .....	225
11.6.3	试剂和材料 .....	225
11.6.4	检测程序 .....	226
11.6.5	操作步骤 .....	227
11.6.6	结果判定和报告 .....	227
11.7	基因芯片法在肉及肉制品中常见致病菌检测中的应用 .....	228
11.7.1	方法提要 .....	228
11.7.2	设备和材料 .....	228
11.7.3	培养基和试剂 .....	228
11.7.4	检测程序 .....	229
11.7.5	操作步骤 .....	229
11.7.6	结果报告 .....	231

参考文献 .....	232
------------	-----

## 12 转基因食品检测技术

12.1 概述 .....	233
12.2 转基因食品的检测 .....	234
12.2.1 外源蛋白质测定 .....	234
12.2.2 外源 DNA 的测定 .....	236
12.3 转基因食品安全检测应用实例 .....	237
参考文献 .....	241

## 13 食品掺伪鉴别技术

13.1 概述 .....	242
13.2 食品掺伪鉴别检验的方法 .....	244
13.2.1 感官评定法 .....	244
13.2.2 物化分析法 .....	245
13.2.3 仪器检测法 .....	245
13.2.4 分子生物鉴别技术 .....	245
13.3 动物源食品掺伪的鉴别检验 .....	246
13.3.1 感官检验 .....	246
13.3.2 理化检验 .....	246
13.3.3 肉质鉴别技术 .....	247
13.4 植物源食品掺伪的鉴别检验 .....	248
13.4.1 感官检验 .....	248
13.4.2 理化检验 .....	249
参考文献 .....	250

# 1

## 绪 论

### 1.1 食品检测技术的重要性

食品是人类赖以生存和发展的物质基础，食品安全关系到国计民生。1996年世界卫生组织对食品安全的定义是：对食品按其原用途进行制作、食用时不会使消费者健康受到损害的一种担保。基于国际社会的共识，食品安全的概念可以表述为：食品（食物）的种植、养殖、加工、包装、贮藏、运输、销售、消费等活动符合国家强制标准和要求，不存在可能损害或威胁人体健康的有毒有害物质。食品应当无毒、无害，符合应有的营养要求，对人体健康不造成任何急性、亚急性或者慢性危害。

近年来，随着我国国民经济的持续快速增长，食品供应和消费也与日俱增，食品安全问题日益受到重视。食品安全是保障人们身心健康、提高食品在国内外市场上竞争力的需要，同时还是保护和恢复生态环境，实现可持续发展的需要。人类社会的发展和科学技术的进步，正在使人类的食物生产与消费活动经历巨大的变化，一方面是现代饮食水平与健康水平普遍提高，反映了食品的安全性状况有较大的甚至质的改善；另一方面则是人类食物链环节增多和食物结构复杂化，这又增添了新的饮食安全风险和不确定因素。社会的发展提出了在达到温饱以后如何解决吃得好、吃得安全的要求，食品安全性问题正是在这种背景下被提出，而且它所涉及的内容与方面也越来越广，并因国家、地区和人群的不同而有不同的侧重。今日，食品安全的责任也不单是政府在立法和执法方面的责任，而是每位参与食物供应链的人员的责任。由此看来，食品安全问题是个系统工程，需要全社会各方面积极参与才能得到全面解决。

解决食品安全问题最好的方法就是尽早发现问题，将其消灭在萌芽状态。要达到这一目的，能在现场快速准确测定食品中有害物质含量的技术、方法和仪器就是必不可少的。随着科学技术的发展，大量新技术、新原料和新产品被应用于农业和食品工业中，食品污染的因素也日趋复杂化，要保障食品安全就必须对食品及其原料在生产流通的每个环节都进行监督检测。

首先，食品安全的提出不能离开“检测技术”而空谈，食品安全控制的重要手段就体现在检测技术上，缺乏必要的检测技术手段很难探明是哪种危害因素。同时，检测和监测的过程也是对目前食品安全标准的校验。通过检测、监测，可以检验当前的食品安全标准是否能最大限度地保证食品安全，是否适应食品安全市场管理需求，真正起到监管作用。随着科技

和经济水平的发展，食品安全标准是需要不断做出修改的。如旧的标准中对啤酒中甲醛的含量并没有做出限定，而新标准的实施中，对甲醛的含量就有明确的限定。

其次，要关注食品安全内在问题。食品安全问题多源于农药、兽药残留中毒和致病菌对人的侵害。应认识到农药、兽药残留的潜在危害性，可使人体产生耐药性；在人们生产使用添加剂原料不当和生活对废弃物处理不当，会造成二噁英、多氯联苯等（被称为“持久性有机污染物”）污染原料（饲料）和食品，有致癌、破坏内分泌系统和破坏人体免疫能力的可能；应了解有毒有害元素的价态不同、毒性差异很大；应重视硝酸盐、高氯酸盐等污染物通过空气和水等进入食物链造成的危害，甚至警示烧烤、油炸食品中可含有较高的苯并芘及丙烯酰胺成分，可能致癌等。人们对食品安全的认识和对自身健康的关注是无止境的，所以对有毒有害残留物、污染物检测方法的要求也将日新月异。

再次，食品安全的检测是要在十分复杂的动植物产品和加工产品的样品中，检测几种甚至几十种有毒有害残留物或污染物的组分，其含量又极低（微克级、纳克级），而且有一些污染物如呋喃有 135 种同分异构体，毒性差异很大，很难分离、萃取和分析。据统计，测试领域对仪器和方法的检出限平均每 5 年下降一个数量级。对食品安全检测而言形势紧迫，既出于对食品安全的重视，也出于发达国家采取技术性贸易壁垒。近几年来，国外对有关食品安全标准进行了重大、快速修订，为了与世界接轨和应对挑战，我国也不断修订标准，对有害物质限量标准、样品前处理、分析检测技术和仪器都提出越来越高的要求。

20 世纪 80 年代末以来，一系列食品原料的化学污染、畜牧业中抗生素的应用、基因工程技术的应用，使食品污染导致的食源性疾病呈上升趋势。在发达国家，每年大约 30% 的人患食源性疾病，而食品安全问题已成为公共卫生领域的突出问题。一方面，食源性疾病频频暴发；另一方面，食品生产及加工工艺创新同时也带来了新的危害，由此引起的食品贸易纠纷不断发生。这些都是制约食品产业提升国际竞争力、影响食品出口的主要因素。食品安全检测技术及预警体系的建立，已成为当前各国加强食品安全保障体系的重要内容。

要从根本上解决食品安全问题，就必须对食品的生产、加工、流通和销售等各环节实施全程管理和监控，就需要大量能够满足这些要求的快速、灵敏、准确、方便的食物安全分析检测技术。由此可见，将现代检测技术引入食品安全监测体系，积极开展食品有害残留的检测和控制研究，对保证食品安全、维护公共卫生安全、保护人民群众身体健康意义重大。

## 1.2 食品安全检测技术概况

### 1.2.1 食品安全危害因子

国际食品法典委员会（CAC，1997）将危害定义为会对食品产生潜在的健康危害的生物、化学或物理因素或状态。国际食品微生物规范委员会（ICMSF）在危害的定义里将安全性和质量都包括在内。食品中的危害从来源上可分为自源性和外源性。自源性危害是原料本身所固有的危害，如原料自身的腐败、天然毒素及其生长环境中受到污染等。外源性危害是指在加工过程中引入食品中的危害，包括从原料采购、运输、加工直至储存、销售过程中引入食品中的危害。主要的危害因子包括：生物危害、物理危害和化学危害。

#### 1.2.1.1 生物危害

主要包括：有害的细菌、真菌、病毒、寄生虫及由它们所产生的毒素（有的教科书将毒

素归为化学危害)。食品中的生物危害既有可能来自于原料也有可能来自于食品的加工过程。

微生物种类繁多、分布广泛。食品中重要的微生物包括：酵母、霉菌、细菌、病毒和原生动物。某些有害微生物在食品中存活时可以通过活菌的摄入引起人体感染或预先在食品中产生的毒素导致人类中毒。前者称为食品感染，后者称为食品中毒。由于微生物是活的生命体，需要营养、水、温度以及空气条件（需氧、厌氧或兼性），因此通过控制这些因素就能有效地抑制、杀灭致病菌，从而把微生物危害预防、消除或减少到可接受水平，符合规定的卫生标准，例如，控制温度和时间是常用且可行的预防措施，低温可抑制微生物生长，高温可以杀灭微生物。

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。只有约20%的寄生虫能在食物或水中发现，所知的通过食品感染人类的不到100种。通过食物或水感染人类的寄生虫有线虫、绦虫、吸虫和原生动物。多数寄生虫对人类无害但是可能让人感到不舒服，少数寄生虫对人类有严重危害。寄生虫感染通常与生的或未煮熟的食品有关，因为彻底加热食品可以杀死食品所带的寄生虫。在特定情况下冷冻可以被用来杀死食品中的寄生虫。然而消费者生吃含有感染性寄生虫的食品会造成危害。

误食有毒动植物或将有毒动植物当作原料加工食品也是常见的食品生物危害。总之生物危害是危及食品安全的第一杀手。

### 1.2.1.2 物理危害

主要包括：食物中存在的可能使人致病或致伤的任何非正常的物理材料都称为食品的物理危害，通常是指食品生产过程中外来的物体或异物。物理危害是最常见的消费者投诉的问题，因为伤害立即发生或吃后不久发生，并且伤害的来源是容易确认的。食品中物理性质危害物种类繁多多样，常见的物理危害有玻璃、金属、沙石、木屑、塑料、头发、饰物、昆虫残体和骨头等，尤其是金属，最为常见。物理危害的污染途径主要来自以下几个方面：①原料外来物质污染食品；②包装材料中的携带物质；③加工过程操作失误、污染或由员工带来的外来物质。物理危害预防的关键在于防止外来物质进入食品加工过程，主要应从以下几个方面加强控制：对植物原料着重于害虫的控制，防止夹杂物质进入原料；检查包装材料的处理和制造步骤，对玻璃包装物的检查尤为引起注意；严格规章制度，强化员工培训，做好清洁卫生；加强加工过程的监督与管理及设备维护；除此之外还可通过对产品采用金属探测装置或经常检查可能损坏的设备部分予以控制。

### 1.2.1.3 化学危害

① 重金属危害：食品中的重金属残留主要来源于被污染的环境，通过饲料添加剂进入动物体内或通过食品添加剂进入加工对象。重金属元素可以引发人的急性毒性，一旦进入人体，很难被彻底清除，会导致蓄积性的慢性中毒，造成人的神经、造血、免疫等多个系统的损伤和功能异常，引起中毒性脑炎、贫血、腹痛、内分泌紊乱等。

② 农药、兽药残留：我国是农药生产和使用的大国，由于滥用和违规使用，有毒或剧毒农药的污染和残留已严重威胁到人类健康、破坏生态环境。农药通过大气和饮用水进入人体的量仅占10%，通过食物进入人体占90%。此外，兽用抗生素、激素和其他有害物质残留于禽、畜、水产品体内，这些都给食品安全和人体健康构成了很大的威胁。

③ 食品中添加剂的超范围、超剂量使用。为了有助于加工、包装、运输、贮藏过程中保持食品的营养特性、感官特性，适当使用一些食品添加剂是必要的，但用量一定要严格控制在最低有效量的水平，否则会给食品带来毒性，影响食品的安全性，危害人体健康。一些

不法商家为了使产品的外观和品质达到很好的效果，往往超范围、超剂量地使用食品添加剂，更有甚者将非食品加工用的化学物质添加到食品中。

④ 食品加工、贮藏和包装过程中产生的有害物质。食品加工过程中化学危害有由高温产生的多环芳烃、杂环胺等，都是毒性极强的致癌物。食品加工及贮藏过程中使用的机械管道及包装材料也有可能将毒性物质带入食品中，如单体苯乙烯可从聚苯乙烯塑料进入食品；用荧光增白剂处理的纸包装食品，纸上残留的有毒胺类物质易污染食品。即使使用无污染的食品原料，加工出来的食品也不一定都是安全的，因为很多动植物体内存在天然毒素。另外食品贮藏过程中产生的过氧化物、龙葵素和酮类物质等，也给食品带来了很多的安全性问题。

⑤ 持久性有机污染物 (POPs)：是指能够在各种环境介质（大气、水、生物体、土壤和沉淀物）中长期存在，并能通过环境介质（特别是大气、水和生物体）远距离迁移以及通过食物链富集，进而对人类健康和生态环境产生严重危害的天然或人工合成的有机污染物。

## 1.2.2 主要检测技术

### 1.2.2.1 仪器分析方法

色谱法是仪器分析的主要方法，广泛应用于物质的分离和检测，尤其以高效液相色谱 (HPLC) 技术的适用范围最广，目前已成为食品检测中的常用方法。检测时将样品注入色谱柱中，根据固定相与流动相之间的物理、化学作用实现对多种组分的分离。常用于食品添加剂、农药残留和生物毒素的分析检测。20 世纪 80 年代后期，固相微型萃取柱的出现，引起了一场萃取技术性的革命。它具有高效、简便、快速、安全、重复性好、便于前处理及操作自动化的优点，可大大提升液相色谱技术的检测灵敏度。

### 1.2.2.2 酶联免疫吸附技术 (ELISA)

酶联免疫吸附技术 (ELISA) 采用抗原与抗体的特异反应将待测物与酶连接，然后通过酶与底物产生颜色反应，用于定量测定。在测定时，把受检标本（测定其中的抗体或抗原）和酶标抗原或抗体按不同的步骤与固相载体表面的抗原或抗体起反应。用洗涤的方法使固相载体上形成的抗原抗体复合物与其他物质分开，最后结合在固相载体上的酶量与标本中受检物质的量成一定的比例。加入酶反应的底物后，底物被酶催化变为有色产物，产物的量与标本中受检物质的量直接相关，故可根据颜色反应的深浅进行定性或定量分析。由于酶的催化频率很高，故可极大地放大反应效果，从而使测定方法达到很高的敏感度。在食品检测中，ELISA 作为一种重要的检测手段可用于食品农兽药残留、食品微生物、食品毒素以及转基因食品的检测。具体方法主要分为：竞争法、间接法测抗体、双抗夹心法、双位点一步法和捕获法测 Ig M 抗体等。

### 1.2.2.3 现代分子生物学方法

主要分为核酸探针检测和基因芯片检测两种。

(1) 核酸探针技术 是目前分子生物学中应用最为广泛的技术之一。该技术是以研究和诊断为目的，用来检测特定序列核酸的 DNA 或 RNA 片段。作为探针的核酸探针片段可以较短 (20bp)，也可以较长 (5kb)。核酸探针具有特定的序列，能够与具有相应核酸碱基互补序列的核酸片段结合，因此可用于样品中特定基因片段的检测。而每一种病原体都有其独特的核酸片段，通过分离和标记这些片段即可制备出探针，用于食品安全检测研究。核酸探



针检测的优势是具有特异性且灵敏度较高,且兼具组织化学染色的定位性和可视性。近年来,DNA杂交探针技术研究取得了重要进展,在实际应用过程中,核酸探针检测技术主要应用于致病病原菌的检测,可用于检测食品中的金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌、沙门氏菌、大肠杆菌、李斯特氏菌等。但此法也有其局限性,如操作复杂、实验费用较高、同位素标记的核酸探针半衰期较短等。

(2) 基因芯片检测技术 基因芯片属于生物芯片的一种,是物理学、微电子学、化学和生物学等高新技术的综合运用。将大量基因探针或片段按照特定的排列方式固定在载体(硅片、尼龙膜、玻璃、塑料等)上,形成致密而有序的DNA分子点阵。基因芯片技术作为一种新技术,具有高通量、快速、灵敏的优点,可以同时平行检测大量样本,因此其在食品安全检测中的应用越来越多,主要适用于食品中有害微生物和转基因成分分析。

## 1.3 研究进展

### 1.3.1 现代高新技术在食品安全检测中的发展应用

现代高新技术的迅猛发展,随之带来的是分析仪器的更新和分析技术的进步。其中,分析仪器的更新主要包含两个方面:一是硬件的更新,即仪器本身更新;二是软件的升级,即计算机技术在分析仪器中的应用。近年来,分析仪器在食品安全领域的发展趋势有以下特点。

① 大量采用高新技术,不断改善仪器性能,不断涌现新技术和新方法。如在色谱分析样品前处理过程中采用固相微萃取技术,并辅助光纤流动池、芯片技术、纳米技术及液相色谱的激发光散色检测器用于多聚物检测,为食品安全领域中鉴别分析特殊复杂化合物提供更加快速、便捷、有效的检测手段。

② 仪器的自动化、微型化和智能化发展。采用集成度高的计算机自动化技术,开发特殊智能软件技术提高仪器性能,使仪器趋于小型化,价格成本低廉化,如便携式气相色谱仪、芯片实验室装置、微型质谱仪等产品的涌现。

③ 对仪器检测的灵敏度要求越来越高。近年来随着超分子化学识别理论的深入普及,仪器分析方法的精准度已由经典意义拓展至手性水平。灵敏度的提高主要包括化学和物理两种途径。

④ 分析仪器中仿生技术的发展。20世纪分析科学的发展可以概括为50年代仪器化、60年代电子化、70年代计算机化、80年代智能化、90年代信息化。21世纪将是仿生技术进一步智能发展阶段。其核心是信号传感及灵敏度的提升。化学传感器逐渐趋于小型化,具有仿生特征,如生物芯片、化学和物理芯片、嗅觉、味觉、鲜度和食品检测传感器等。目前生物传感器主要包括:组织传感器、酶传感器、免疫传感器、微生物传感器、场效应生物传感器等。其作用元件探头主要由两部分组成:一是对被测物质(底物)具有高选择性的分子识别能力的膜所构成的“感受器”;二是能把生物反应中消耗或生产的化学物质或产生的光和热转变为电信号的“换能器”,所得的信号经电子技术处理后可在仪器上显示和记录下来。

⑤ 多维硬件技术及多维软件数据采集处理技术的发展。仪器的维数是指仪器的各个系统都可配有不同组件,这些组件之间可以串联或并联,并联时可以任意选择。