

陈福生 高志贤 王建华 主编

# 食品安全检测 与现代生物技术



**Chemical Industry Press**

7



化学工业出版社  
现代生物技术与医药科技出版中心

# 食品安全检测与现代生物技术

陈福生 高志贤 王建华 主编



化学工业出版社  
现代生物技术与医药科技出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

食品安全检测与现代生物技术/陈福生, 高志贤, 王建华主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7

ISBN 7-5025-5621-4

I. 食… II. ①陈… ②高… ③王… III. 生物技术-应用-食品卫生-食品检验 IV. TS207. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 051605 号

---

**食品安全检测与现代生物技术**

陈福生 高志贤 王建华 主编

责任编辑: 郎红旗

责任校对: 郑捷

封面设计: 关飞

\*

化学工业出版社 出版发行  
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$  字数 459 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5621-4/Q·102

定价: 40.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

食品安全是当今世界人们所关注的焦点问题之一，每年食源性疾病——因食用不安全的食品而致病——导致数亿人患病，很多人甚至因此而死亡。因而，食品安全已成为全球公众健康优先考虑的问题之一。2000年，世界卫生大会通过了《食品安全决议》，制定了全球食品安全战略，将食品安全列为公共卫生的优先领域，并要求成员国制定相应的行动计划，最大程度地减少食源性疾病对公众健康的威胁。

我国是一个食品生产和消费大国，控制食品污染，减少食源性疾病，保障消费者健康，是食品安全工作者的首要任务之一。随着市场经济的快速发展和生活水平的不断提高，特别是我国加入WTO后，消费者对食品安全更加关注，食品安全与食品贸易的关系更为密切，为了促进经济和贸易发展，提高我国食品安全的检测水平显得越来越迫切。

目前，为了解决食品短缺、提高食品品质和延长食品保质期，各种新技术和新方法广泛地应用于食品生产和加工中，一些新的食品资源也得以开发，这就可能使食品中出现一些新的生物性和化学性污染物，从而对人类健康形成潜在威胁。另外，犯罪分子也企图利用食品的安全性问题进行犯罪或恐怖活动，国内外均已出现这方面的犯罪案例。这些新出现的问题迫切需要我们研究和采用一些新技术、新方法，加强对食品安全的检测，以确保消费者的安全和健康。随着生物技术的迅速发展，现代生物检测技术正成为食品安全检测中非常重要的检测手段之一，也是当今食品安全检测技术的主要发展方向之一。关于现代生物技术食品安全检测中的应用，在报纸、杂志、书刊和互联网等的相关章节和内容中都有报道，但是编者还未见有比较系统的相关专著出版。为此，编者尝试着将相关食品安全生物检测的新技术内容整合编写在一起，成为此书，期望能为食品安全检测事业尽微薄之力。

本书在编写过程中，坚持“创新和实用”的原则，注重理论和实践相结合。全书共分七章，第一章、第四章和第七章，由高志贤、严守雷、张蕾编写；第二章、第三章由陈福生、袁梦仙、邢淑婕编写；第五章、第六章由王建华、滕达、杨雅麟编写；前言由高志贤执笔。在编写过程中参阅了国内外有关专家学者的论著，在此表示衷心感谢。由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请广大同行和读者批评指正。

编者

2004年4月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
一、食品安全问题的历史.....	1
二、现代食品安全面临的新挑战.....	2
三、食品安全检测技术的现状和发展趋势.....	3
主要参考文献.....	9
<b>第二章 免疫学技术在食品安全检测中的应用</b> .....	10
<b>第一节 抗原与抗体</b> .....	10
一、抗原.....	10
二、抗体.....	12
<b>第二节 抗原的准备</b> .....	15
一、天然抗原的制备.....	15
二、半抗原的改造.....	26
三、合成抗原.....	31
四、超级抗原及其免疫机理.....	32
<b>第三节 抗体的制备</b> .....	32
一、抗体的发展简史.....	32
二、多克隆抗体的制备.....	34
三、单克隆抗体的制备.....	44
四、生物工程抗体简介.....	50
五、各种抗体的性质比较.....	52
<b>第四节 常用的免疫学技术</b> .....	52
一、抗原-抗体反应.....	52
二、免疫学技术的分类.....	54
三、常用的免疫学技术.....	55
<b>第五节 食品中农药残留的免疫学检测</b> .....	69
一、抗原抗体的准备及常用的免疫学方法.....	69
二、样品的处理.....	70
三、农药残留的免疫学分析.....	70
四、农药残留免疫检测技术的发展趋势.....	73
<b>第六节 食品中抗生素残留的检测</b> .....	74
一、抗生素的定义、杀菌机理和分类.....	74
二、抗生素残留的危害.....	76
三、抗生素残留常用的检测方法.....	77
<b>第七节 食源性病原菌的免疫学检测</b> .....	80

一、常见的食源性病原菌 .....	80
二、食源性病原菌的快速检测方法 .....	84
第八节 食品中污染的真菌及其毒素的免疫学分析 .....	90
一、免疫学技术在真菌分类中的应用 .....	91
二、免疫学技术在植物病原真菌研究中的应用 .....	92
三、真菌离体抗原在医学病原真菌快速检测中的应用 .....	93
四、食源性真菌的免疫检测 .....	93
五、食品中污染真菌毒素的免疫学检测 .....	96
第九节 食品中其他有毒有害成分的免疫学检测 .....	99
一、食品中过敏成分的免疫学分析 .....	99
二、食品掺假的免疫学识别 .....	101
三、生长激素的免疫学检测 .....	101
四、其他有毒有害成分的免疫学检测 .....	102
主要参考文献 .....	103
<b>第三章 食品安全检测的分子生物学技术</b> .....	105
第一节 分子生物学基础 .....	105
一、核酸的组成、结构和性质 .....	105
二、DNA 的复制 .....	109
三、核酸的提取 .....	110
四、分子生物学中常用的工具酶 .....	112
第二节 核酸分子杂交 .....	117
一、核酸分子杂交的定义与原理 .....	117
二、核酸分子杂交中的探针 .....	117
三、核酸分子的杂交方法 .....	122
第三节 PCR 技术 .....	129
一、PCR 的原理 .....	130
二、PCR 的操作过程 .....	131
三、PCR 的特点 .....	136
四、PCR 中的假阳性和假阴性问题 .....	137
五、PCR 的类型 .....	138
六、DNA 的其他链扩增技术 .....	145
第四节 食源性细菌的分子生物学检测 .....	146
一、样品的前处理 .....	146
二、食品中常见病原细菌的特异性靶基因 .....	150
三、食品中常见病原细菌的分子生物学检测 .....	151
第五节 分子生物学技术用于食品中其他污染微生物的检测 .....	152
一、食源性病毒的分子生物学检测 .....	152
二、食源性真菌的分子生物学检测 .....	154
三、食源性寄生虫的分子生物学检测 .....	155
第六节 食源性病原菌的实时监测 .....	155

一、实时检测监督体系必须考虑的几个问题·····	156
二、新兴的技术和方法·····	157
主要参考文献·····	159
<b>第四章 生物传感器与食品分析</b> ·····	162
第一节 生物传感器概述·····	162
一、生物传感器的概念·····	162
二、生物传感器的发展史·····	162
三、生物传感器的特点·····	163
第二节 生物传感器的分类、工作原理及活性物质的固定化·····	164
一、生物传感器的分类·····	164
二、生物传感器的工作原理·····	165
三、生物传感器活性物质的固定化·····	166
第三节 生物传感器在食品分析中的应用·····	168
一、酶生物传感器·····	168
二、免疫传感器·····	173
三、微生物传感器·····	177
四、组织传感器·····	179
五、DNA 杂交传感器·····	180
六、细胞器传感器·····	182
七、仿生型生物传感器·····	182
八、分子印迹生物传感器·····	182
主要参考文献·····	184
<b>第五章 转基因食品</b> ·····	187
第一节 转基因食品的产生、分类与功能·····	187
一、基因工程的发展和转基因食品的诞生·····	187
二、转基因食品的种类与功能·····	188
三、转基因食品的展望·····	191
第二节 国内外转基因食品的研究发展概况·····	192
一、转基因植物源食品概述及其发展状况·····	192
二、转基因动物源食品概述及其发展状况·····	195
三、转基因食品的经济效益与社会效益·····	197
第三节 主要转基因食品简介·····	201
一、基础性食品原料·····	202
二、转基因相关发酵食品·····	214
三、转基因相关功能性保健食品·····	215
四、转基因免疫食品·····	215
五、转基因功能性食品添加剂·····	216
主要参考文献·····	219
<b>第六章 转基因食物的安全性评价与检测</b> ·····	222
第一节 转基因食物的安全性问题·····	222

一、什么是转基因技术、转基因产品和转基因食品 .....	222
二、转基因食品的安全性问题与争论 .....	223
三、关于转基因食品安全性评价的必要性 .....	231
第二节 转基因食品的安全性评价与管理 .....	232
一、转基因食品的安全性评价 .....	232
二、转基因食品的安全性管理要求 .....	237
三、部分国家和地区的转基因食品安全评价与管理标准 .....	238
第三节 转基因食品及食品成分的检测方法 .....	242
一、转基因食品的检测方法 .....	243
二、主要转基因食品(作物)检测的实验室操作程序 .....	250
主要参考文献 .....	259
<b>第七章 生物芯片与食品安全</b> .....	<b>261</b>
第一节 基因芯片 .....	261
一、基因芯片的制作原理 .....	262
第二节 蛋白质芯片 .....	270
一、蛋白质芯片的概念 .....	270
二、蛋白质芯片的类型 .....	270
三、蛋白质芯片的制作 .....	273
第三节 组织芯片 .....	277
第四节 芯片实验室 .....	279
第五节 生物芯片技术在食品安全检测和品质控制中的应用 .....	282
一、食品毒理学 .....	282
二、食品卫生检验 .....	283
三、分子水平上阐释食品营养机理 .....	285
四、转基因食品的检测 .....	285
五、在环境科学领域中的应用 .....	286
主要参考文献 .....	286



# 第一章 绪 论

“民以食为天”，饮食是人类社会生存发展的第一需要。“病从口入”，饮食不卫生不安全，又会成为百病之源。自然界中存在的生物、物理、化学等有害物质，以及人类社会发展过程中产生的各种有毒有害物质，时刻都有可能混入食品，导致摄入该食物的人产生一系列病理变化，甚至危及生命安全。在工业化及全球化高度发展的今天，随着食品生产和人们生活的现代化，人们对食品的消费方式逐渐向社会化转变，由原来主要由家庭烹饪转向以专业企业加工生产为主，因此，食品安全事件的影响范围急剧扩大，对人类的危害更加严重。一起食品安全事件不再仅仅影响一个家庭，而是影响到一个社区，一个城市，一个国家，甚至是许多国家。人们还记忆犹新的近年来发生的英国的“疯牛病事件”、比利时的“二噁英事件”、日本的“大肠杆菌 O157 暴发流行事件”、口蹄疫事件，以及 2003 年的 SARS 事件和 2004 年波及多个国家和地区的“禽流感事件”等全球性的食品安全事件都说明了这一点。

在我国食品安全问题也相当突出。据卫生部统计，80% 的传染病为肠道传染病，偶有发生的伤寒、痢疾、霍乱等地方性暴发流行事件，大多与污染的食品和饮用水等有关。每年由于农药、兽药等使用不当而导致的急性食物中毒事件也屡见不鲜。城乡食品市场上还常常出现销售掺杂掺假、过期变质和有毒有害的食品，坑害消费者。例如，河南的“毒大米事件”、吉林长春的假冒伪劣“鸭血”事件、河南漯河的非法生产“蜂蜜”事件、上海超保质期食品的再加工事件等，屡禁不止，已成公害。另外，近年来随着转基因作物的大面积种植，转基因食品大量涌入市场，但是对转基因食品的安全问题仍存在着很大的争议。

以上这些都说明，随着我国经济的发展与人民生活水平的提高，食品的数量与种类日益丰富，食品的安全问题也日益突出。另外，我国加入 WTO 以来，食品的安全问题已成为我国开展农产品和食品对外贸易，获得国际市场准入的重要制约因素。所以，如何提高我国的食品安全性是非常迫切的问题。要从根本上解决我国的食品安全问题，就必须对食品生产、加工、流通和销售等各环节实施全程管理和实时监控，这就需要大量能够满足这一要求的快速、方便、准确、灵敏的食品安全分析检测技术，因此，近年来这类技术发展很快，尤其以现代生物技术为基础的食品安全检测技术发展最快，食品安全检测技术呈现出一些新的发展趋势。在此，为了便于对食品安全检测技术的现状和发展趋势有更好的认识和理解，首先将对食品安全问题的历史和当今面临的挑战进行简要的回顾和概述。

## 一、食品安全问题的历史

人类对食品安全的认识有一个历史发展过程。在人类文明早期，不同地区和民族的人们在长期生活实践中，形成了一系列有关饮食卫生与安全的禁忌和禁规。在中国，2500 年前的孔子就曾对他的学生讲授过著名的“五不食”原则，即“食饕而餲，鱼馁而败，不食；色恶，不食；臭恶，不食；失饪，不食；不时，不食。”这是文献中有关饮食安全的最早记述与警句。在西方文化中，产生于公元前 1 世纪的《圣经》也有许多关于饮食安全与禁忌的内容，其中著名的有摩西饮食规则，即规定凡非来自反刍偶蹄类动物的肉不得食用，据认为这

是出于食品安全的考虑。当时人类社会对食品安全的认识，大多与食品腐败和疫病传播等问题有关。

随着生产力发展，出现了社会产业分工、商品交换、阶级矛盾以及利欲与道德的对立，食品安全保障也出现了新的变化。在古罗马帝国时代，食品交易中的制伪、掺假、掺毒和欺诈等现象已相当严重，虽然当时的罗马民法对防止食品的假冒、制伪和污染等做过广泛的规定，违法者可判处流放或劳役，但是由于缺乏灵敏有效的检测和分析手段，食品的制伪掺假现象仍层出不穷。19世纪中后期的美国，食品安全与卫生问题也非常严重，牛奶掺水、咖啡掺碳等对当时纽约的老百姓来说是司空见惯的事。

进入20世纪以后，由于各种食品添加剂广泛应用于食品中，农药、兽药在农牧业生产中的使用量日益上升，以及工矿、交通、城镇“三废”对环境及食品的污染不断加重，农产品和食品中有毒化合物的污染问题越来越突出。另一方面，随着社会的发展，工业化和社会化程度不断提高，交通和运输条件不断改善，农产品及其加工产品出现了跨地区、跨国家和跨区域流通，且流通速度迅速加快，这些都对食品安全问题提出了新的要求。食品安全问题的焦点逐渐从以食品不卫生、传播流行性疾病和掺杂制伪为主，转向关注某些化学品对食品的污染，以及污染物对消费者健康潜在的威胁等方面，突出的表现是农药和抗生素残毒等对食品的污染。

20世纪末叶特别是进入世纪之交的90年代以来，一方面，新的致病微生物引起的食物中毒，畜牧业中滥用兽药、抗生素、激素类物质的副作用，食品的放射性污染，以及疯牛病等食品安全事件不断发生，影响面日益扩大，食品安全问题日趋突出；另一方面，随着人类对全球生态环境变化及其与自身生存发展关系认识的逐渐深化，人们的生态环境意识不断增强，这就使得食品安全再次作为人类面临的重大生活和生存问题而从多个侧面被提上社会议程。首先，随着工业化和全球化程度的不断提高，食品生产、加工、保存以及食品的品种、消费方式均发生了变化，从而使暴发和流行的食源性疾病的种类有所变化。例如，食品在低温、冷冻条件下被李斯特菌、耶尔森菌等病原菌污染，从而导致对妇幼群体的危害呈增多势头。大规模的食品生产、加工、销售中，由于卫生管理不善导致的交叉感染的机会增多，危害加重。例如，由于大肠杆菌O157:H7的交叉感染，曾导致在世界范围内先后多次出现由该菌引起的传染性疾病的暴发流行，并曾一度引起全球性的食品恐慌。其次，兽药使用不当或滥用，饲料中过量使用抗生素及激素对食品安全的影响也日益突出。另外，近年来世界范围的核试验、核事故和局部的战争也已构成了对食品安全的新威胁，转基因食品的安全问题也存在争议。

综上所述，食品安全问题发展到今天，已经远远超出了传统的食品卫生或食品污染的范畴，而成为人类赖以生存和健康发展的整个食物链的管理与保护问题。

## 二、现代食品安全面临的新挑战

在以上关于食品安全问题的历史回顾中，已经谈到了现代食品安全面临的一些问题和新挑战，下面将概要地说一说其具体表现。

### (一) 食源性病原菌呈现新旧交替和旧病复发两种趋势

据世界卫生组织公布的资料，在过去的20多年间，新出现并确认的传染病有30余种，如丙型、丁型、戊型肝炎，新型霍乱，克雅氏病的新变种等，这其中有很多是可以通过食品传播的。另外，某些曾经被认为已经得到根治或控制的传染性疾病又有复发的趋势，例如，由于饮用水和环境卫生恶化霍乱又开始出现。由此看出，食源性病原菌仍然是危害公众健康

的最重要因素之一。

#### (二) 食品中新的化学污染物对人类健康潜在的威胁有扩大和加重的趋势

化学物质的广泛应用,对现代工农业生产和社会生活起着巨大的推动作用,但同时也污染了环境和食物链,给人类带来了很大危害。有毒有害化学物质引起人类癌症发病率升高,已成为人们的共识。这些物质,例如农药和抗生素残留等,通常是通过食物链危害人类健康和安全的。

#### (三) 食品新技术和新资源的应用给食品安全带来新挑战

随着现代生物技术和食品加工技术的发展,新型的食品不断涌现,这一方面增加了食品种类,丰富了食物资源,但同时也存在着不安全、不确定的因素。转基因食品就是其中一例。有些转基因食品,例如含有抗生素基因的玉米,除了直接危害食用者的安全外,还有可能扩散到周围的环境中甚至人畜体内,造成环境污染和健康危害。

#### (四) 防范犯罪分子利用食品进行犯罪或恐怖活动的重要性越来越突出

当前国际上局部战事不断,恐怖活动时时有发生,尤其是美国“9.11事件”之后,发生生物恐怖事件的可能性已引起世人的高度重视。为此,世界各国政府不得不制订相应的应对措施。例如,2003年美国食品和药物管理局(FDA)制订了食品反恐的决策性建议,其中有4项是有关食品反恐的措施,分别就食品生产和运输的登记、进口食品的预先通报、食品公司档案的建立和保留,以及对可疑食品的控制等方面制订了严格的规定。我国政府在制订《食品安全行动计划》时,也将防范犯罪分子利用食品进行犯罪或恐怖活动列为一项重要内容。

总之,随着社会生产力的发展和人类社会的不断进步,在一些传统的食品安全问题得到了较好控制的同时,食品安全又出现了一些新的问题,面临新的挑战。

### 三、食品安全检测技术的现状和发展趋势

面对食品安全中出现的新问题和新挑战,各国和各地区政府以及相关的国际机构都出台了一系列的应对措施,出现了很多关于食品安全管理和控制的新观点、新模式(例如HACCP和GMP等)。为了满足这些新观点和新模式的要求,出现了很多与之相适应的食品安全检测的新技术和新方法,食品安全检测技术表现出一些新的发展趋势。在此,首先简要地介绍一些常用的食品安全检测技术的种类和应用情况,然后就食品安全检测技术的发展趋势进行展望。

#### (一) 食品安全检测技术的种类及其应用现状

食品安全检测技术的种类很多,概括起来主要包括感官检测、物理检测(如比重法、折光法和旋光法等)和化学检测(定性和定量)、色谱法、光谱法、免疫法、分子生物学方法、生物传感器和生物芯片等。下面将对这些方法的优缺点以及它们的应用情况进行简要的概述。

##### 1. 感官和理化检测

所谓感官检测,是以人的眼、耳、鼻、舌等感觉器官来对食品质量和安全性进行检测和评价的方法。它具有快速和无需专门的仪器设备等特点,但是存在一定的主观性,同时对难挥发的有毒有害物质不易察觉。感官检测的结果通常是判断是否需要进一步检测的基础。例如,如果食品明显腐败变质,就没有进一步检测的必要。

理化检测是当前主要的食品安全检测方法之一,种类多,应用广。例如针对液体食品,

比重法可以反映食品的浓度和纯度，因此广泛用于判断牛奶、酒和酱油是否掺水，以及植物油是否掺杂的检测中。比重法具有快速、简单、无需使用其他试剂、对食品样品无污染和无损伤、所需仪器简单等优点，但是比重法只反映了待检食品的密度这一物理性质，所以通常必须与感官检测和其他的理化检测结果相结合才能更准确地判断食品是否安全。

## 2. 色谱法

色谱法包括柱色谱、纸色谱、薄层色谱、气相色谱、高效液相色谱和超临界流体色谱等，以及它们与质谱的联用技术。

柱色谱和纸色谱技术发展较早，虽然它们在食品组分分离研究中仍发挥着重要作用，但是在食品安全检测中已应用得不多。

薄层色谱法，是在柱色谱和纸色谱的基础上发展起来的分离分析方法。它的设备简单、操作容易、对混合组分的分离效果好，所以广泛应用于食品中农药残留、生物毒素和食品添加剂等的检测和分析中。其基本过程包括制板、点样、展开、显色和定性定量分析等步骤。薄层色谱法存在的主要不足是重现性不好，需要标准品作为对照。薄层色谱扫描仪的应用，提高了薄层色谱的仪器化和自动化程度，使分析结果更为客观和可靠。

气相色谱法，是以气体为流动相对混合组分进行分离分析的方法。根据固定相的不同可分为气-固相色谱和气-液相色谱。前者的固定相是固体，其分离机制是根据吸附剂（固定相）对组分吸附能力的不同，从而实现组分分离；后者的固定相是液体，其分离机理是根据不同组分在固定相液体中的溶解度不同而实现分离。气相色谱法具有灵敏度高、稳定性好等优点，但是需要昂贵的仪器，样品需要经过复杂的前处理过程，操作人员需要经过严格的培训。尽管如此，气相色谱法仍然是当今农产品和食品中农药残留等的主要分析方法之一。

高效液相色谱法，是在经典的液相色谱法和气相色谱法的基础上发展起来的分离分析方法，它以液体为流动相，其分离分析原理和气相色谱类似，也是根据固定相对不同组分的吸附能力不同来实现分离的。和气相色谱法相比，它特别适用于高沸点、不能气化或热稳定性差的有机物的分离分析。在食品检测中常用于食品添加剂、农药残留和生物毒素等的分析和检测。与气相色谱一样，其不足之处是仪器昂贵，样品需要前处理，操作人员需要进行严格的培训。

超临界流体色谱法，可以看作是气相色谱和液相色谱的杂交，它弥补了气相色谱法和液相色谱法的不足，适合于分离分析遇热不稳定且应用高效液相色谱又不宜分析的物质。另外，超临界流体色谱法还具有实验参数选择方便、检测器更灵敏和更通用等优点，并可以实现样品提取、净化和测定一步完成。但是，目前由于制造技术等原因，超临界流体色谱仪本身还有很多问题需要解决。

总之，色谱法具有分析时间短、灵敏度高、污染少、溶剂用量少等优点，特别是近年来随着色谱柱填料和检测器的改进，色谱的分离能力和检测限均有很大幅度的提高。另外，色谱分离技术与高分辨率的质谱、二级质谱联用，可使检测限大大提高，达到 pg 级。正因为色谱方法具有这些优点，所以它是当今检测食品中有毒有害污染物的主要方法之一，在检测食品中的农药和抗生素残留、生物毒素以及其他环境污染物中发挥着非常重要的作用。

## 3. 光谱法

光谱法是根据待检测物质的光学特性（例如对光的吸收和发射等特性），并借助相应的检测仪器来实现分析的方法。常用的光谱分析方法包括紫外可见分光光度法、原子吸收光谱

法、荧光分析法和红外光谱法等。

紫外可见分光光度法是根据待检测成分对紫外光和可见光的吸收特征和吸收强度的不同,来进行定性和定量分析的方法。它是最常用的光谱法之一,和其他光谱法相比,具有操作简便、仪器设备相对简单和便宜、易于普及等优点,在食品安全检测中应用广泛。

原子吸收光谱法是1958年由澳大利亚物理学家Walsh提出的,在测定金属元素方面应用很多。它具有灵敏度高、干扰较少、结果准确可靠、操作简便快速等优点。常用来检测食品中铅、汞、砷等重金属元素。

荧光分析法的原理是某些物质的分子吸收一定的能量后能发射出特定的荧光,根据荧光的光谱和强弱,可以对待检测的物质进行定性和定量分析。该法具有灵敏度高、选择性强、样品用量少等优点。它的检测下限通常比紫外可见分光光度法低2~4个数量级。但是,由于能发荧光的物质不多,所以其应用范围受到一定的限制。目前主要用于食品中苯并[a]芘、黄曲霉毒素以及其他能发荧光的污染物的检测。

红外光谱法多用于对食品的内在品质进行检测控制。例如,对肉类中挥发性氨基态氮,食品的蛋白质、脂肪、淀粉、氨基酸等组分进行无损检测和分析。此外,也可以对农产品中的有害成分进行分析和检测,例如菜籽油中的硫苷和芥酸,以及烟叶中的焦油等。

X射线通常用于人体疾病的检测,也可以用于食品安全检测。采用该方法可以检测食品中的金属、碎骨片和沙石等杂物。在食品加工生产过程中时常发生异物混入的现象,如不及时发现会造成一些人身安全事故隐患。利用波长为 $1 \times 10^{-11} \sim 5 \times 10^{-11}$  m的软X射线,可实现对食品中杂物的现场快速检测。

#### 4. 生物学检测方法

生物学技术的发展很快,种类很多,其中的大多数都可以用于食品安全检测,常用的主要包括分离培养方法、免疫学方法、分子生物技术、生物传感器技术和生物芯片等。这也是本书介绍的主要内容。

分离培养方法,是传统而有效的生物分析方法,是针对食品中的病原微生物(如细菌、真菌和病毒等)以及其他有害生物(如寄生虫等)的主要分析方法。其主要过程是通过分离培养,得到目的培养物,然后利用形态学、生化特性加以鉴定,并可以用光学显微镜或电子显微镜等加以确证。分离培养法的劳动强度大、耗时长,对于某些培养或分离困难的污染生物难于检测,但是它具有操作简便、无需昂贵的仪器设备、检测结果直观等优点,所以仍然是当今食品中污染微生物等的主要检测方法。

免疫学方法,是利用抗体与抗原的特异性结合特性来实现食品中污染物检测的方法。由于抗原抗体反应的特异性,所以该方法具有专一性(即抗杂质干扰的能力强)、灵敏度高等优点。免疫学方法的种类非常多,目前用于食品安全检测的主要包括免疫凝集和沉淀法、放射免疫法、荧光免疫法、酶联免疫法等。关于这些方法的具体内容,在本书的第二章将有详细的叙述。免疫学方法主要用于食品中生物性污染物(例如病原微生物和寄生虫)以及它们的代谢产物(例如生物毒素等)的检测和分析。另外,食品中的化学污染物,例如农药、抗生素和激素等的残留也可以采用免疫学方法进行分析。要实现免疫学分析,首先必须制备特异性抗体,而对于一些小分子物质,例如生物毒素和农药残留等,由于本身没有免疫原性,所以首先必须对其进行改造,其过程复杂、繁琐。另外,抗体的制备过程也比较麻烦,且不易于工业化生产。

分子生物学技术诞生在上世纪中期,随后得到了非常迅速的发展和广泛的应用。分子生

物学技术的种类很多，概括起来主要有核酸分子杂交技术、PCR技术和重组DNA技术等几个大类。其中前两类技术近年来在食品安全检测和分析中得到了较好的应用，是当今发展最快的食品安全检测技术之一。它主要用于食品中生物性污染物（病原微生物和寄生虫等）的检测和分析，具有特异和灵敏等优点。关于这些技术的原理、种类和具体的操作过程，请参阅本书的第三章。

生物传感器由生物识别元件、信号转换器和检测器等几部分组成。其工作原理是：生物识别元件中的生物材料（例如抗体）特异性地识别待检测的物质，产生相应的信号，转换器将信号转换成电信号，并通过检测器进行分析，电信号的大小和待检测物质之间存在相关性，所以根据电信号大小可以定量测出待检测物质的浓度（含量）。生物传感器把生物学、物理学、化学、计算机学巧妙地结合在一起，检测用的生物材料固定在生物识别元件上，在检测过程中无需添加或只需添加少量的其他试剂，是典型的“无试剂”分析方法。生物传感器可直接或间接地对待检测的生物分子进行分析，具有灵敏度高、选择性好、可微型化、便于携带，以及测定简便迅速、检测成本较低等优点，表现出其他方法无法比拟的优势，在食品安全及品质控制现场和在线检测中发挥着越来越重要的作用。

生物芯片（biological chip）的概念是20世纪80年代中期提出的。随着“人类基因组计划”（human genome project）的进展，生物芯片技术得到了迅速的发展，成为20世纪90年代中期以来影响最深远的重大科技进展之一，它是融微电子学、生物学、物理学、化学、计算机科学为一体的高度交叉的新技术，具有重大的基础研究价值和广阔的产业化前景。目前认为生物芯片主要包括DNA芯片和蛋白质芯片（protein chip）。关于这些芯片的详细内容在本书的第七章有专门论述。虽然生物芯片技术诞生的时间不长，但是它已经在DNA测序、DNA突变体检测、疾病诊断、药物筛选、毒理基因组学、农作物优育优选、环境检测和污染防治、军事医学、食品卫生监督和司法鉴定等方面表现出了良好的应用前景。由于生物芯片可以按预先的设计，在面积很小（通常只有一到几平方厘米）的硅片、玻璃片或高分子聚合物薄片上同时排列、固定大量（相同或不同）的生物识别分子，例如DNA片段、RNA片段、抗原（或抗体）分子或蛋白质（肽）等，所以在食品安全检测中有望实现同时检测多个指标，例如同时检测多种食源性病原菌、多种生物毒素或多种抗生素和农药残留等，表现出非常诱人的应用前景。但是由于生物芯片的制备技术还未得到普及，相关的仪器设备比较昂贵，所以目前在食品安全检测中的应用还非常有限。

以上就食品安全检测中常用的一些技术及其应用情况进行了概述，但在实际的食品安全检测分析中，同一种污染物常常可以采用多种分析和检测方法，例如食品中污染的黄曲霉毒素 $B_1$ 就至少可以采用薄层层析法、高效液相色谱法、免疫学方法、生物传感器，甚至生物芯片进行检测和分析。这些方法各有优缺点，在分析实践中具体采用哪一种方法，常常取决于检测条件、分析操作人员的素质以及对检测结果的要求等因素。薄层层析法的检测结果虽然重复性较差，并带有一定的主观性，但是操作简便、无需昂贵的仪器设备，易于普及和掌握，所以在很多情况下仍然是首选的方法。例如在我国，薄层层析方法是食品和饲料中黄曲霉毒素 $B_1$ 检测的第一法。相反，高效液相色谱法虽然具有灵敏度高、重复性好、结果准确可靠等优点，但是需要昂贵的仪器设备，难于普及，所以仍然主要用于实验室的研究工作中。而免疫学方法和生物传感器方法，由于具有特异、灵敏、快速、仪器简单等优点，所以在食品的安全快速检测中表现出很大的优势，可以实现采样现场的实时快速检测，在当今跨国界和跨区域食品快速流通的安全检测中发挥着非常重要的作用。

## (二) 食品安全检测技术的发展趋势

上述情况表明,随着世界经济的全球化,食品跨国界和跨地区的流通越来越频繁,各种食品安全事故和隐患也呈迅速扩展和蔓延之势,对人类健康和安全构成了极大的威胁;另一方面,随着社会生产力的发展和生活水平的提高,人们对食品安全的要求也越来越高,这些已促使各种食品安全保障体系(例如 HACCP、GMP)的推广和应用,也促进了食品安全检测技术的改良、改进和提高,以及一些新的检测方法的研究和产生,从而带动食品安全检测方法出现了一些新的发展方向 and 趋势。这些趋势主要表现在以下几个方面。

(1) 随着食品流通的加快,对食品安全检测方法的速度要求越来越高 在食品检测过程中,要求能在很短的时间内就可以得到检测结果,在有些情况下还希望能在采样的现场立即得到检测结果。这些快速检测方法对于食品市场监管人员、食品工厂采购人员,甚至某些消费者都非常有用。例如,黄曲霉毒素  $M_1$  是牛奶及其制品的必检指标,它主要是由于奶牛食用含有黄曲霉毒素  $B_1$  的饲料后转化产生的,目前虽然很多大型的牛奶加工企业都有自己的奶牛基地,通过严格控制饲料的质量并加强管理,原料牛奶的安全和质量是有保障的,但是仍有一些企业的原料牛奶是从其他奶牛养殖场或个体饲养户手中收购来的。在牛奶的收购过程中,采购人员主要是通过感官和测定密度等方法来对牛奶的安全和质量做出判断,而对于是否含有黄曲霉毒素  $M_1$  是无法识别的。非常可喜的是,目前科研人员已经研究出了一些能够迅速检测牛奶中黄曲霉毒素  $M_1$  含量的免疫学检测方法,它们一般在 5~10 min 内就能得到分析结果。这类快速检测方法在欧美等国家已得到了较好的应用,我国也研制出了相应的产品,但是由于检测成本偏高和比较容易出现假阳性,所以市场的普及率不高。相信通过不断的改进,在不久的将来能够得到较好的推广和应用,为我国乳制品工业的发展和广大消费者的健康做出新的贡献。另外,有很多食品都是新鲜制品,例如水果和蔬菜等,如果检测时间过长,等检测结果出来后这些农产品已经售完或者已经腐烂变质,其检测结果就失去了意义,所以对于这些食品也要求有快速的检测方法。

(2) 食品安全检测方法的灵敏度要求越来越高 所谓检测的灵敏度是指最低的检出限。随着社会的进步和科学技术的发展,人们对食品中有毒有害物质危害的认识日益深入,一些食品污染物在极低浓度下对人体的危害(特别是长期摄入对人体的危害)也日渐显露,从而促使食品有毒有害物质的最大允许含量不断降低,很多有害物质在食品中的最大允许含量都在微克级( $10^{-6}$  g)甚至纳克级( $10^{-9}$  g),这就要求安全检测方法的灵敏度必须很高。

(3) 检测方法的特异性要求越来越高 所谓特异性主要是指检测方法抗杂质(即非检测目标物质)干扰的能力,这和前述的检测方法的快速和灵敏是密切相关的。只有特异性强的检测方法,才有可能省去样品分析时耗时和繁琐的提取与纯化等去除杂质的过程,节约检测时间,实现快速检测。另外,灵敏度高的检测方法一般必须同时具备很强的抗杂质干扰能力,只有这样高灵敏度才能真正发挥其优势,否则很容易出现假阳(阴)性的检测结果。

(4) 一次实验同时分析多种污染物 随着工业化进程加速,工业产品大量使用,环境污染日趋严重,食品中污染物的种类越来越多;另一方面,随着科学技术的发展和人们对食品安全认识的增强,很多以前未能认识到的潜在的食品污染物质的危害性也日益显现,从而使食品中需要分析检测和控制的有害物质的种类越来越多。另外,随着世界经济的全球化,某些发达国家通过增加农产品和食品中需要检测的有毒有害物质的种类和降低最大允许含量,制造技术壁垒,限制发展中国家农产品和食品的进入。这些因素都使食品中需要检测的污染物种类越来越多,使得检测时间延长,检测成本增加,因此迫切要求有一些能够通过一次实

验同时检测多种污染物的技术和方法，从而缩短检测时间，节约检测成本。生物芯片在这方面表现出非常强的优势和非常好的应用前景，具体的内容将在随后的叙述中继续介绍。

(5) 检测方法的操作更为简便和容易掌握 检测速度的加快，检测内容的扩大，要求检测方法简单易学，理想的情况是一般技术人员只需通过阅读说明书就可以完成检测，而无需进行专门的培训。

(6) 检测方法的“无试剂化”以及分析仪器的微型化和便携化 随着农产品和食品流通速度的加快，要求检测方法越来越快速和简便，很多时候还要求能在采样现场完成分析检测。这就要求实现检测过程的智能化和检测设备的微型化，并尽可能少地使用甚至不使用其他检测试剂。

围绕上述检测技术的发展趋势，食品安全的各类检测技术都得到了非常迅速的发展，各种快速、灵敏、特异和操作简便的检测方法不断涌现，尤其以食品安全的生物学检测技术发展最快，并出现了多学科和多种技术相互渗透和融合的可喜局面，生物传感器和生物芯片就是典型的例子。尽管它们在食品安全检测中的应用才刚刚开始，但是已经表现出了非常诱人的应用前景和其他方法无法比拟的优势。下面以生物芯片为例，就其在食品安全检测中可能得到很好应用的几个方面进行简述。

① 生物芯片在食品中毒事件调查中的应用。通常食品中毒事件的发生是突发性和暴发性的，对这类事件的处理，首先是要找到“毒源”（即致病因子），而致病因子又往往不容易发现。例如，对于由细菌引起的食品中毒事件的调查，由于能引起食品中毒的细菌种类很多，因此要判断到底是哪种细菌引起的食品中毒常常需要耗费大量的人力和物力来进行分析，更主要的是需要很长的检测时间才能得到检测结果，这对于食品中毒事件的控制和中毒人员的及时治疗都是不利的。如果能将常见的引起食品中毒的细菌的特异性 DNA 片段集成于一块载体薄片上做成 DNA 芯片，那么有可能仅需一次实验就可以判断出引起食品中毒的细菌种类，从而大大地节约检测时间和检测费用。

② 生物芯片在农产品和食品生物毒素污染检测中的应用。食品中可能污染的生物毒素包括真菌毒素、细菌毒素、植物毒素、藻类毒素和动物毒素等，其中每一类毒素又包括很多种毒素。以粮食为例，导致其被污染的真菌毒素有黄曲霉毒素、赭曲霉毒素、杂色曲霉毒素、腐马菌素和 T-2 毒素等几种甚至十几种，而应用目前的检测方法，每次实验通常仅能检测出一种毒素的含量，因此为了节省检测时间和费用，一般仅对其中的一种或几种真菌毒素进行检测和分析。如果能将抗常见真菌毒素的抗体集成于一块蛋白质芯片上，那么仅需一次试验就可以判断出粮食中常见的污染真菌毒素的种类和含量。同样也可以将常见的细菌毒素和藻类毒素等的抗体分别制成芯片或集成于一块芯片上。

③ 生物芯片应用于食源性病原菌的检测。污染食品的病原细菌很多，常见的包括致病性大肠杆菌 (*Pathogenic Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、沙门菌 (*Salmonella spp.*)、蜡样芽孢杆菌 (*Bacillus cereus*)、志贺菌 (*Shigella spp.*) 和李斯特菌 (*Listeria spp.*) 等，其中每种病原菌根据致病因子的不同又可以分为不同的群或型，例如，致病性大肠杆菌就可以分为肠道致病性大肠杆菌 (*Enteropathogenic E. coli*)、肠道侵袭性大肠杆菌 (*Enteroinvasive E. coli*)、产肠毒素的大肠杆菌 (*Enterotoxin E. coli*) 和出血性大肠杆菌 (*Enterohemorrhagic E. coli*)。目前的检测方法通常每次只能检测出一种病原菌，如果能将这些病原菌的特异性致病基因片段固定于一块芯片上，那么只需一次实验就可以判断出食品中各种病原菌的污染情况，从而大大地节约检测时间和费用，有利于保障人



类的健康和安全。

④ 生物芯片在食品的农药和抗生素等残留分析中的应用。同样的原理，将抗各种农药的抗体或抗生素的微生物受体固定化形成蛋白质芯片，然后将食品样品点样于芯片上，就可以一次性地分析检测出食品中的各种农药和抗生素残留。总之，随着研究的深入，生物芯片等生物技术必将在食品安全保障中发挥着愈来愈重要的作用。

### 主要参考文献

- 1 杨洁彬，王晶，王柏琴等. 食品安全性. 北京：中国轻工业出版社，1999
- 2 王晶，王林，黄晓蓉. 食品安全快速检测技术. 北京：化学工业出版社，2002
- 3 朱守一. 生物安全与防止污染. 北京：化学工业出版社，1999
- 4 陆兆新. 现代食品生物技术. 北京：中国农业出版社，2002