



普通高等教育“十一·五”精品课程建设教材

FOOD TOXICOLOGY  
FOOD TOXICOLOGY  
FOOD TOXICOLOGY

# 食品毒理学

严卫星 丁晓雯◎ 主编  
陈君石◎ 主审



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE



中国轻工业出版社

# 食品毒理学

主编 王增敏 王增  
副主编 王增敏 王增

中国轻工业出版社

普通高等教育“十一五”精品课程建设教材

# 食品毒理学

严卫星 丁晓雯 主编

陈君石 主审

中国农业大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

食品毒理学/严卫星,丁晓雯主编. —北京:中国农业大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-81117-763-3

I. 食… II. ①严… ②丁… III. 食品-毒理学 IV. R994.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 080616 号

**书 名** 食品毒理学

**作 者** 严卫星 丁晓雯 主编

**策划编辑** 宋俊果 刘 军

**责任编辑** 孟 梅

**封面设计** 郑 川

**责任校对** 陈 莹 王晓凤

**出版发行** 中国农业大学出版社

**社 址** 北京市海淀区圆明园西路2号

**邮政编码** 100193

**电 话** 发行部 010-62731190,2620

**读者服务部** 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

**出 版 部** 010-62733440

**网 址** <http://www.cau.edu.cn/caup>

**e-mail** cbsszs @ cau.edu.cn

**经 销** 新华书店

**印 刷** 北京时代华都印刷有限公司

**版 次** 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

**规 格** 787×1092 16开本 24.75印张 560千字 彩插1

**印 数** 1~4000

**定 价** 37.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

# 编写人员

- |       |     |            |
|-------|-----|------------|
| 主 编   | 严卫星 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 丁晓雯 | 西南大学       |
| 副 主 编 | 朱立贤 | 山东农业大学     |
|       | 柳春红 | 华南农业大学     |
|       | 牛天贵 | 中国农业大学     |
|       | 李 宁 | 中国疾病预防控制中心 |
| 参 编   | 马 良 | 西南大学       |
|       | 田 刚 | 四川农业大学     |
|       | 包海泉 | 内蒙古农业大学    |
|       | 蒋东华 | 沈阳农业大学     |
|       | 曾绍校 | 福建农林大学     |
|       | 迟玉森 | 青岛农业大学     |
|       | 王 新 | 西北农林科技大学   |
|       | 刁恩杰 | 山东农业大学     |
|       | 徐海滨 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 刘兆平 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 何来英 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 周宇红 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 贾旭东 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 方 瑾 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 于 洲 | 中国疾病预防控制中心 |
|       | 主 审 | 陈君石        |

# 全国高等学校食品类专业系列教材

## 编审指导委员会委员

(按姓氏拼音排序)

- |     |             |      |             |
|-----|-------------|------|-------------|
| 曹小红 | 天津科技大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 陈绍军 | 福建农林大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 陈宗道 | 西南大学        | 教授   | 博士生导师       |
| 董海洲 | 山东农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 郝利平 | 山西农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 何国庆 | 浙江大学        | 教授   | 博士生导师       |
| 贾英民 | 河北科技大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 江连洲 | 东北农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 李洪军 | 西南大学        | 教授   | 博士生导师       |
| 李里特 | 中国农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 李士靖 | 中国食品科学技术学会  | 副秘书长 | 教授          |
| 李新华 | 沈阳农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 李云飞 | 上海交通大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 林家栋 | 中国农业大学      | 教授   | 中国农业大学出版社顾问 |
| 罗云波 | 中国农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 南庆贤 | 中国农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 蒲彪  | 四川农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 钱建亚 | 扬州大学        | 教授   | 博士生导师       |
| 石阶平 | 国家食品药品监督管理局 | 教授   | 博士生导师       |
| 史贤明 | 上海交通大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 孙远明 | 华南农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 夏延斌 | 湖南农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 谢笔钧 | 华中农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 谢明勇 | 南昌大学        | 教授   | 博士生导师       |
| 杨公明 | 华南农业大学      | 教授   | 博士生导师       |
| 岳田利 | 西北农林科技大学    | 教授   | 博士生导师       |
| 赵丽芹 | 内蒙古农业大学     | 教授   | 博士生导师       |
| 周光宏 | 南京农业大学      | 教授   | 博士生导师       |

# 出版说明并代序

承蒙广大读者厚爱,食品科学与工程系列教材出版6年来,业已成为目前全国高等学校本科食品类专业教育使用最为广泛的主要教科书。出版之初,这套教材便被整体列为教育部“面向21世纪课程教材”,至今已累计发行33万册,其中《食品生物技术导论》、《食品营养学》、《食品工程原理》、《粮油加工学》、《食品试验设计与统计分析》等书已成为“十五”、“十一五”国家级规划教材。实践证明,这套教材的设计、编写是成功的,它满足了这一时期我国食品生产发展和学科建设的需要,为我国食品专业人才培养做出了积极的贡献。

教材建设是学科建设的重要内容,是人才培养的重要支柱,也是社会 and 经济发展需求的反映。近年来,随着我国加入世界贸易组织,食品工业在机遇和挑战并存的形势下得以持续快速的发展,食品工业进入到了一个产业升级、调整提高的关键时期。食品产业出现了许多新情况和新问题,原有的教材无论在内容的广度上,还是在深度上,都已经难以满足时代的需要。教材建设无疑应该顺应时代发展,与时俱进,及时反映本学科科学技术发展的最新内容以及产业和社会经济发展的最新需求。正是在这样的思想指导下,我们重新修订和补充了这套教材。

在中国农业大学出版社的支持下,我们组织了全国40多所大专院校、科研院所的300多位一线专家教授,参与教材的编写工作,专家涉及生物、工程、医学、农学等领域。在认真总结原有教材编写经验的基础上,综合一线任课教师和学生的使用意见,对新增教材进行了科学论证和整体策划,以保证本套教材的系统性、完整性和实用性。新版系列教材在原有15本的基础上新增了20本,主要涉及食品营养、食品质量与安全、市场与企业管理等相关内容,几乎覆盖所有食品学科专业的骨干课程和主要选修课程。教材既考虑到对食品科学与工程最新理论发展的介绍,又强调了食品科学的具体实践。该系列教材力求做到每本既相对独立又相互衔接,互为补充,成为一个完整的课程体系。本套教材除可作为大专院校的教科书外,也可作为食品企业技术人员的参考材料和技术手册。

感谢参与策划、编写这套教材的所有专家学者,他们为这套教材贡献了经验、智慧、心血和时间,同时还要感谢各参与院校和单位所给予的支持。

由于本系列教材的编写工程浩大,加之时间紧、任务重,不足之处在所难免,希望广大读者、专家在使用过程中提出宝贵意见,以使这套教材得以不断完善和提高。

罗云波

2008年8月16日

于马连洼

# 序

食品毒理学是食品安全学科的基础,属于毒理学的一个分支,是研究食品中各种外源化学物的来源、性质、它们的不良作用与可能的有益作用及其作用机制,并确定这些物质的安全限量和评价食品的安全性,从而确保人类的健康。食品毒理学是食品安全风险评估的关键技术手段;食品毒理学的发展提高了风险评估的工作水平。

食品毒理学研究的外源化学物包括工业污染物、农药、兽药、食品添加剂和霉菌毒素等传统的物质,也包括在食品加工过程中形成的各种有害物,如烤鸭和烤羊肉串可能产生的如多环芳烃和杂环胺等致癌物和致突变物,油炸淀粉类食品中可能产生的丙烯酰胺以及用酸水解植物蛋白调味液配制的酱油中的氯丙醇等;违法添加的苏丹红、三聚氰胺等,还有疯牛病病毒等新的毒理学问题。另外,食品毒理学研究还包括必需营养素过量摄入引起的毒性作用等。

食品毒理学经历了由宏观到微观、整体—细胞到分子、从分析到综合、又至整体和群体、试验到理论、理论到实践的发展过程。当今的食品毒理学是诸多学科的交叉,涉及广泛的学科领域,且相互渗透。我国食品毒理学自改革开放以来已有了长足的发展,但是,与国际水平相比尚有相当差距。必须与时俱进,发挥自身的优势,克服困难,迎头赶上,以饱满的激情面对挑战,使我国食品毒理学更好地为国民健康和建设服务。

本书共 12 章,其内容大体包括食品毒理学的基本理论、基本概念、基本研究方法、食品中各类有害物质的毒性、食品毒理学安全性评价、食品安全风险评估等内容,可作为食品毒理学教学的教材,也可供从事食品安全的科研、管理人员阅读参考使用。在此,我愿将它推荐给广大学习食品安全的大学生和从事相关工作的广大科技工作者。

中国工程院院士 陈君石  
二〇〇九年五月一日



# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 食品毒理学概述 .....	2
1.2 食品毒理学研究任务、内容和方法 .....	3
1.2.1 任务 .....	3
1.2.2 研究内容 .....	3
1.2.3 食品毒理学研究方法 .....	4
1.3 食品毒理学和食品安全性 .....	5
1.3.1 化学性污染 .....	6
1.3.2 生物性污染 .....	6
1.3.3 新资源食品和保健食品的安全性问题 .....	6
1.4 食品毒理学发展及展望 .....	7
1.4.1 食品毒理学研究作为食品风险评估的基础 .....	7
1.4.2 新技术和新方法在食品毒理学中的应用 .....	7
1.4.3 生物标志物在食品毒理学研究中的应用 .....	7
1.4.4 体外替代方法在毒理学中的发展 .....	7
本章小结 .....	8
思考题 .....	8
<b>第 2 章 食品毒理学基础</b> .....	9
2.1 毒性和毒性作用 .....	10
2.1.1 毒物 .....	10
2.1.2 毒性、毒性作用及分类 .....	11
2.1.3 损害作用与非损害作用 .....	12
2.1.4 毒作用生物学标志 .....	13
2.2 剂量与剂量-反应关系 .....	13
2.2.1 剂量 .....	13
2.2.2 效应、反应和剂量-反应关系 .....	14
2.2.3 时间因素 .....	15
2.3 化学结构与毒性效应 .....	15
2.3.1 结构与毒性关系概述 .....	15
2.3.2 代表性化学物的化学结构与毒性关系 .....	20

2.4 联合作用 .....	24
2.4.1 联合毒作用分类 .....	25
2.4.2 联合作用的评价 .....	26
2.4.3 联合毒作用的机制 .....	27
2.5 毒性参数和安全限值 .....	28
2.5.1 毒性参数 .....	28
2.5.2 安全限值 .....	31
2.5.3 剂量-反应比较 .....	32
本章小结 .....	33
思考题 .....	33
参考文献 .....	34
<b>第3章 食品中化学物在体内的生物转运和生物转化 .....</b>	<b>35</b>
3.1 食品中化学物的来源 .....	36
3.1.1 天然物质 .....	36
3.1.2 污染物 .....	40
3.1.3 添加剂 .....	42
3.2 生物转运 .....	42
3.2.1 生物膜与生物转运 .....	43
3.2.2 吸收 .....	48
3.2.3 分布 .....	50
3.2.4 排泄 .....	54
3.3 生物转化 .....	56
3.3.1 生物转化的意义 .....	56
3.3.2 生物转化类型 .....	57
3.3.3 影响生物转化的因素 .....	71
本章小结 .....	73
思考题 .....	74
参考文献 .....	74
<b>第4章 食品毒理学实验基础 .....</b>	<b>75</b>
4.1 常用实验动物选择和处理 .....	76
4.1.1 常用实验动物特征 .....	76
4.1.2 实验动物的选择和处理 .....	79
4.1.3 实验动物的染毒和处置 .....	86
4.2 食品毒理学试验的设计原则 .....	93
4.2.1 体外试验设计 .....	94
4.2.2 体内毒理学试验设计 .....	96
4.3 毒理学试验结果处理和分析 .....	101
4.3.1 毒理学试验的数据处理和统计方法 .....	102

4.3.2 统计学意义和生物学意义 .....	109
本章小结 .....	115
思考题 .....	115
参考文献 .....	116
<b>第5章 食品中化学物质的一般毒性作用及评价 .....</b>	<b>117</b>
5.1 急性毒性试验概述 .....	118
5.2 急性毒性试验的目的和方法 .....	119
5.2.1 试验目的 .....	119
5.2.2 试验方法 .....	119
5.3 实验结果的评价 .....	139
附 急性毒性替代试验 .....	141
5.4 亚慢性和慢性毒性作用和评价 .....	145
5.4.1 亚慢性毒性的基本概念 .....	145
5.4.2 慢性毒性作用的基本概念 .....	146
5.4.3 试验目的和方法 .....	147
5.4.4 慢性毒性试验方法 .....	151
5.5 实验结果的评价 .....	152
5.5.1 亚慢性毒性评价 .....	152
5.5.2 慢性毒性评价 .....	152
5.6 蓄积作用 .....	153
5.6.1 蓄积作用的概述 .....	153
5.6.2 蓄积作用的研究方法 .....	153
本章小结 .....	157
思考题 .....	157
参考文献 .....	157
<b>第6章 食品中化学物质的致突变作用及评价 .....</b>	<b>158</b>
6.1 概述 .....	159
6.2 致突变作用的类型 .....	160
6.2.1 基因突变 .....	160
6.2.2 染色体畸变 .....	162
6.2.3 染色体数目的改变 .....	164
6.3 致突变作用的机制及后果 .....	165
6.3.1 DNA 损伤 .....	165
6.3.2 整倍体和非整倍体的形成 .....	168
6.3.3 对 DNA 合成系统作用而引起的突变 .....	169
6.3.4 对 DNA 损伤修复系统作用而引起的突变 .....	170
6.3.5 诱重组效应 .....	173
6.3.6 突变的后果 .....	173

6.4 致突变作用的评价方法 .....	175
6.4.1 观察项目的选择 .....	175
6.4.2 主要的致突变试验 .....	179
6.4.3 致突变试验中存在的一些问题 .....	187
本章小结 .....	188
思考题 .....	189
参考文献 .....	189
<b>第7章 食品中化学物质的致癌作用及评价 .....</b>	<b>190</b>
7.1 概述 .....	191
7.1.1 基本概念 .....	191
7.1.2 肿瘤相关基因 .....	192
7.2 化学致癌机制与过程 .....	195
7.2.1 化学致癌物致癌的分子机制 .....	195
7.2.2 化学致癌过程 .....	196
7.3 化学致癌物分类 .....	199
7.3.1 根据动物试验和流行病学调查资料情况分类 .....	199
7.3.2 按化学致癌物的作用机制分类 .....	201
7.3.3 按化学致癌物的化学结构分类 .....	203
7.3.4 根据化学物质对人类的致癌作用分类 .....	207
7.3.5 化学致癌物的主要特性 .....	207
7.4 化学致癌作用的评价方法 .....	208
7.4.1 短期试验 .....	208
7.4.2 哺乳动物长期致癌试验 .....	210
7.4.3 人群癌症流行病学分析 .....	213
本章小结 .....	216
思考题 .....	217
参考文献 .....	217
<b>第8章 食品中化学物质的生殖发育毒性和致畸作用及评价 .....</b>	<b>218</b>
8.1 概述 .....	219
8.2 发育毒性和致畸性 .....	220
8.2.1 基本概念 .....	220
8.2.2 致畸作用的毒理学特点 .....	221
8.2.3 致畸作用机理 .....	222
8.2.4 外源化学物发育毒性的评价 .....	223
8.3 生殖毒性及其评定 .....	232
8.3.1 生殖毒性 .....	232
8.3.2 雄性生殖毒性评价 .....	232
8.3.3 雌性生殖特点及毒性评价 .....	234

8.3.4 繁殖毒性的评价 .....	235
本章小结 .....	236
思考题 .....	236
参考文献 .....	237
<b>第9章 化学物质毒作用的影响因素</b> .....	<b>238</b>
9.1 化学毒物因素 .....	239
9.1.1 化学结构对毒性的影响 .....	239
9.1.2 物理性质 .....	240
9.1.3 纯度 .....	242
9.1.4 接触途径 .....	242
9.1.5 接触频率与期限 .....	243
9.2 机体因素的影响 .....	244
9.2.1 种属、品系以及个体差异 .....	244
9.2.2 遗传因素 .....	245
9.2.3 年龄和性别 .....	246
9.2.4 营养与健康状况 .....	247
9.2.5 代谢酶的抑制和诱导 .....	248
9.2.6 代谢饱和状态 .....	249
9.2.7 动物笼养形式 .....	249
9.3 环境因素的影响 .....	250
9.3.1 气温 .....	250
9.3.2 湿度 .....	250
9.3.3 气流 .....	250
9.3.4 气压 .....	251
9.3.5 季节和昼夜节律 .....	251
9.3.6 噪声、震动和紫外线 .....	252
9.3.7 溶剂 .....	252
9.3.8 化学毒物的联合毒性作用 .....	253
本章小结 .....	255
思考题 .....	255
参考文献 .....	255
<b>第10章 食品中各类化学物质毒理学</b> .....	<b>257</b>
10.1 动植物中天然有毒物质 .....	258
10.1.1 抗营养因子 .....	258
10.1.2 有毒生物碱 .....	261
10.1.3 过敏原与植物性红细胞凝集素 .....	263
10.1.4 蘑菇毒素 .....	264
10.1.5 植物中的其他毒物 .....	266



10.1.6	河豚毒素	268
10.1.7	贝类毒素	270
10.1.8	海洋鱼类的毒素	271
10.1.9	其他水生动物毒素	273
10.1.10	陆生动物类食品中的天然毒素	274
10.2	化学性污染物	277
10.2.1	激素类药物残留	277
10.2.2	抗生素类药物残留	279
10.2.3	农药残留	287
10.2.4	限量元素	294
10.3	细菌毒素与真菌毒素	301
10.3.1	概述	301
10.3.2	细菌毒素	302
10.3.3	霉菌毒素	304
10.4	食品加工过程中形成的污染物	315
10.4.1	N-亚硝基化合物	315
10.4.2	多环芳烃类化合物	319
10.4.3	杂环胺类化合物	322
10.4.4	丙烯酰胺	327
10.4.5	氯丙醇	331
	本章小结	335
	思考题	335
	参考文献	335
第11章	食品安全性毒理学评价	338
11.1	概念	339
11.1.1	食品安全	339
11.1.2	食品安全性	339
11.1.3	食品的安全性评价	340
11.2	我国食品安全性毒理学评价	340
11.2.1	制定《食品安全性毒理学评价程序》的意义	340
11.2.2	我国制定《食品安全性毒理学评价程序》的背景	341
11.2.3	我国食品安全性毒理学评价程序的主要内容	342
11.3	转基因食品的安全性评价	347
11.3.1	转基因食品的概念	347
11.3.2	转基因食品概况	348
11.3.3	转基因食品的安全性问题	349
11.3.4	转基因食品的安全性评价	350
11.3.5	我国对转基因食品安全的管理	353

11.4 国外食品毒理学安全性评价原则 .....	353
11.4.1 国外食品毒理学安全性评价概述 .....	353
11.4.2 国外食品毒理学安全性评价原则 .....	354
本章小结 .....	356
思考题 .....	357
参考文献 .....	357
<b>第12章 风险分析</b> .....	<b>358</b>
12.1 风险分析的基本概念 .....	359
12.2 风险分析的基本内容 .....	360
12.2.1 风险评估 .....	360
12.2.2 风险管理 .....	366
12.2.3 风险交流 .....	367
12.3 食品卫生标准制定原则 .....	373
12.3.1 食品卫生标准制定的基本原则 .....	373
12.3.2 风险评估原则在我国食品卫生标准制定中的应用 .....	374
12.3.3 未来的发展 .....	375
本章小结 .....	375
思考题 .....	375
参考文献 .....	376



# Chapter 1

## 第1章 绪论

### ► 本章学习目的与要求

掌握食品毒理学定义、研究对象、研究任务、研究内容和研究方法,熟悉食品毒理学在食品安全中的作用,了解食品毒理学的发展趋势。



“民以食为天,食以安为先”,食品是人类社会生存发展的第一需要,食品的安全性更是与人们日常生活密切相关。随着我国经济的发展,食品的数量与种类日益丰富,如何提高食品的质量与安全性的问题日益突出。食品应具备的基本条件是:卫生安全、无毒无害;含有人体所需要的营养素和有益成分;感官性状良好、可被人体接受。但是食品除了含有人体必需的营养物外,也可能含有身体非必需的甚至有害生物或化学物质,这些物质总称为外源化学物。外源化学物是在人类生活的外界环境中存在,可能与机体接触并进入机体,在体内呈现一定的生物学作用的一些化学物质。它既包括在食品生产、加工中人类使用的物质,也包括食物本身生长中存在的物质。当前,化学物质的种类日益增多,它们进入空气、土壤、水、植物、动物和人体中,使人类的食物链不断受污染;而食品市场是国际的,因此食品的安全性是世界各国政府共同关心的问题。

## 1.1 食品毒理学概述

毒理学(toxicology)是研究各种化学性、物理性和生物性有害因素对生物体特别是对人体产生的危害作用及机制的科学,通过对危害的研究评价提出对各种危害因素的管理措施,保障人民健康。

卫生毒理学(health toxicology)属于预防医学的范畴,是毒理学的一个分支学科,包括环境毒理学、工业毒理学、食品毒理学、农药毒理学和放射毒理学等。

食品毒理学(food toxicology)是毒理学的基础知识和研究方法在食品科学中的应用,是现代食品卫生学的一个重要组成部分。食品毒理学是借用基础毒理学的基本原理和方法,研究食品中有毒有害物质的性质、来源及对人体损害的作用与机制,评价其安全性并确定这些物质的安全限量以及提出预防管理措施的一门学科,从而达到确保人类的健康目的。

目前食品毒理学已形成了具有自身特点和系统的概念、理论和方法体系的一门综合性边缘学科,需要分析化学、现代生物学、生物化学、病理学、遗传学、免疫学及流行病学的知识与技能,应用实验研究、临床研究和现场调查等研究方法,从各方面深入研究和认识各种毒作用的本质,其研究成果为确定食品外源化学物合理的安全接触限量和制定有效的管理措施、预防化学物对人类的危害提供理论依据。

食品毒理学的研究对象主要是食品中的有毒有害物质,包括化学性污染物(如农药残留、兽药残留、食品加工过程中形成的污染物)、生物性污染物(如细菌及细菌毒素,霉菌及霉菌毒素等)、食品包装材料、食品添加剂、食品中天然存在的有毒有害物质等等。食品毒理学除研究食品中的有毒有害物质外,还包括研究新资源食品、保健食品、转基因食品和食品中天然成分等毒理学安全性;研究食品中外源化学物的性质,来源与形成,它们的不良作用与可能的有益作用及其机制,并确定这些物质的安全限量和评价食品的安全性的科学。食品毒理学的作用就是从毒理学的角度,研究食品中可能含有的外源化学物质对食用者的毒作用机理,检验和评价食品(包括食品添加剂)的安全性或安全范围,从而达到