



“十四五”普通高等教育规划教材

食品毒理学

(第二版)

李建科◎主编



中国质量标准出版传媒有限公司
中国标准出版社



“十四五”高等学校通用教材(食品类)

食品毒理学

(第二版)

李建科 主编

中国质量标准出版传媒有限公司
中国标准出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

食品毒理学/李建科主编. —2 版. —北京: 中国质量标准出版传媒有限公司, 2023. 12

ISBN 978-7-5026-5261-6

I. ①食… II. ①李… III. ①食品毒理学—高等学校—教材 IV. ①R994.4

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 232488 号

中国质量标准出版传媒有限公司 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 22.5 字数 561 千字

2023 年 12 月第二版 2023 年 12 月第九次印刷

*

定价: 68.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

— 本 书 编 委 会 —

主 编 李建科
(陕西师范大学)

副主编 李引乾
(西北农林科技大学)
袁 莉
(陕西师范大学)

参 编 侯 晨 (陕西师范大学)
刘俊林 (西北民族大学)
骆 莹 (陕西师范大学)
王自超 (安康学院)

教 材 编 委 会

主 任 陈宗道 刘国普

副主任 刘宝兰 汪志君 陆兆新 徐幸莲

委 员 (按姓氏笔画排序)

邓少平 邓尚贵 王承明 王金华

艾志录 田呈瑞 李冬生 李建科

李保忠 肖作兵 吴 坤 励建荣

周才琼 周玉林 郑永华 孟岳成

段玉峰 姜发堂 胡秋辉 姚晓玲

徐 焱 高向阳 顾瑞霞 黄 文

屠 康 曾凡坤 韩永斌 董明盛

彭增起 蒋予箭 阚建全

策 划 刘宝兰 李保忠

前 言

• FOREWORD •

食 品安全是关系到人体健康与生命安全，关系到经济发展、社会稳定和对外贸易的大事。随着我国经济建设步伐的日益加快、人民生活水平和健康意识的不断提高，以及食品和农产品国际贸易的日益扩大，食品安全问题已成为国内外关注的焦点。为了贯彻和落实党的二十大报告提出的科教兴国战略，适应当前的社会与经济发展，研究和解决与食品安全相关的各类理论及实际问题，需要从最基础的专业教育和人才培养抓起。《食品毒理学》是食品安全评价的方法学和理论基础，是食品科学与工程、食品营养与健康、食品卫生检验、食品质量与安全等专业的必修课。但长期以来，尚未见到较为适用的高校教材，给教学工作带来很大的困难，有些学校因此而无法开设该门课程。许多相关院校都希望尽快编写和出版一本具有普遍适用性的《食品毒理学》教材，以应教学和人才培养之急需。因此，本教材第一版在2005年中国计量出版社食品类高等学校教材编写会议上被确定为规划出版的22本食品类教材之一。

本教材第一版自2007年1月正式出版发行以来，在全国食品类专业的高校广泛使用，得到认可和好评。由于本教材第一版使用已达十五年之久，鉴于学科发展和知识更新的需要，经与中国质量标准出版传媒有限公司商议，并征求第一版各编者的意见，于2022年初启动了修订工作。第二版是在第一版的基础上，对教学使用过程中发现的个别问题进行了修改更正。同时，根据本学科的研究进展，对部分章节的一些内容进行了必要的补充、更新。修订工作吸纳了近年来在《食品毒理学》教学一线的中青年骨干教师，特别是主编单位的教师队伍日益壮大，为此次修订奠定了良好的基础，加之参与修订院校各位同仁的共同努力，顺利完成了此次修订工作。同时，本教材第二版在重点介绍食品毒理学基础理论知

识的基础上，也讨论了近年食品安全关注热点，如塑化剂、微塑料等，并补充了配套的重点内容课件和讲解视频。本教材第二版修订分工如下：李建科，第一章、第二章、第六章、第七章、第八章、第九章、附录2；李引乾，第四章、第五章；袁莉，第十一章、第十八章、附录1；侯晨，第三章、第十章；刘俊林，第十三章、第十五章、第十七章；骆莹，第十四章，第十六章；王自超，第十二章。

本教材可作为食品科学与工程类专业及预防医学类专业本科生、研究生教材，同时，亦可作为相关研究人员、管理人员的参考书。由于各学校的教学计划和课时数不尽相同，在教学过程中，各学校可根据具体情况取舍教学内容，亦可根据具体条件和需要选做实验。

由于我们水平有限，难免存在不足，恳请读者、同行和教材使用院校的师生提出宝贵意见和建议，以便我们今后改正和进一步完善。

李建科

2022年12月28日于西安

目 录

• CONTENTS •

第一章 绪 论	(1)
第二章 食品毒理学基本概念	(8)
第一节 关于毒物、毒性与毒作用	(8)
第二节 剂量 - 反应 (效应) 关系	(13)
第三节 毒性的表示方法	(16)
第四节 食品中残留物与残留限量	(18)
第五节 安全性评价及危险度评估	(24)
第三章 毒物的体内过程	(26)
第一节 生物膜与毒物转运	(26)
第二节 毒物的吸收	(29)
第三节 毒物的分布	(32)
第四节 毒物的排泄	(36)
第五节 毒物的生物转化	(38)
第六节 影响生物转化的因素	(46)
第四章 毒物动力学	(51)
第一节 基本概念	(51)
第二节 动力学模型	(55)
第五章 化学物质的毒理机制	(82)
第一节 化学物质的一般毒性作用机制	(82)
第二节 化学物质毒作用的分子机制	(94)
第三节 化学物质的结构与毒性的关系	(107)

第六章 一般毒性作用及其试验与评价方法	(116)
第一节 急性毒性作用及其试验与评价方法	(116)
第二节 亚慢性毒性作用及其试验与评价方法	(128)
第三节 蓄积性毒性作用及其试验与评价方法	(132)
第四节 慢性毒性作用及其试验与评价方法	(137)
第五节 联合毒性作用的评价	(140)
第七章 特殊毒性作用及其试验与评价方法	(143)
第一节 生殖发育毒性及其试验与评价方法	(143)
第二节 致突变作用及其试验与评价方法	(153)
第三节 致癌作用及其试验与评价方法	(160)
第八章 食品毒理学安全性评价程序与规范	(168)
第一节 食品毒理学安全性评价概述	(168)
第二节 食品安全性毒理学评价程序	(170)
第三节 毒理学安全性评价的规范化	(174)
第九章 食品中有毒有害物质限量标准的制定及风险	
评估和管理	(175)
第一节 食品中有毒有害物质限量标准制定的意义与现状	(175)
第二节 食品中有毒有害物质限量标准制定的方法与步骤	(177)
第三节 有关国际组织对食品中残留物安全限量制定的方法 和工作程序	(179)
第四节 食品中有毒有害物质的风险评估和管理	(182)
第十章 食品中天然存在的有毒物质	(186)
第一节 食品中天然存在的酶类抑制剂	(186)
第二节 食品中天然存在的有毒蛋白质	(187)
第三节 食品中天然存在的有毒生物碱和苷类	(189)
第四节 食品中天然存在的其他有毒有害物质	(196)
第十一章 食品加工过程中形成的有毒有害物质	(205)
第一节 苯并[a]芘	(205)
第二节 美拉德反应产物——杂环胺和晚期糖基化终末产物	(208)
第三节 N-亚硝胺	(215)
第四节 丙烯酰胺	(220)

第十二章	食品添加剂的毒理学安全性	(224)
第一节	概述	(224)
第二节	抗氧化剂的毒理学安全性	(225)
第三节	发色剂的毒理学安全性	(228)
第四节	防腐剂的毒理学安全性	(229)
第五节	食品着色剂的毒理学安全性	(232)
第六节	赋香剂的毒理学安全性	(236)
第七节	调味剂的毒理学安全性	(237)
第十三章	兽药残留的毒理学安全性	(240)
第一节	概述	(240)
第二节	常见兽药残留的毒理学	(241)
第三节	食品中兽药残留的质量安全控制	(251)
第十四章	农药残留的毒理学安全性	(254)
第一节	有机氯类农药残留	(254)
第二节	有机磷类农药残留	(256)
第三节	氨基甲酸酯类农药残留	(257)
第四节	拟除虫菊酯类农药残留	(258)
第五节	除草剂及其他农药残留	(259)
第六节	农药残留检测及质量安全控制	(260)
第十五章	有害元素对食品的污染及其毒理学安全性	(263)
第一节	铅	(263)
第二节	汞	(266)
第三节	镉	(269)
第四节	砷	(271)
第五节	氟	(273)
第十六章	霉菌毒素对食品的污染及其毒理学安全性	(276)
第一节	概述	(276)
第二节	黄曲霉毒素	(278)
第三节	镰刀菌毒素	(283)
第四节	青霉菌毒素	(290)
第十七章	食品容器和包装材料的毒理学安全性	(294)
第一节	塑料包装材料的毒理学安全性	(294)

第二节	食品包装用纸的毒理学安全性	(297)
第三节	橡胶制品的毒理学安全性	(297)
第四节	陶瓷、搪瓷及金属制品的毒理学安全性	(299)
第十八章	其他有毒有害物质对食品的污染及其毒理学安全性	(300)
第一节	多环芳香烃类	(300)
第二节	多氯联苯类	(301)
第三节	二噁英类	(303)
第四节	塑化剂	(307)
附录 1	食品毒理学试验	(314)
试验一	生物材料的采集和制备	(314)
试验二	试验动物分组、标记与染毒方法	(316)
试验三	LD ₅₀ 测定	(320)
试验四	肝微粒体制备及有关酶活性测定	(323)
试验五	小鼠精子畸形试验	(326)
试验六	小鼠骨髓细胞微核试验	(328)
试验七	骨髓细胞染色体畸变分析	(330)
试验八	沙门氏菌回变试验 (Ames 试验)	(332)
试验九	小鼠肝原代肝细胞培养	(336)
附录 2	(338)
主要参考文献	(350)

第一章 绪 论

一、食品毒理学的定义

食品毒理学是大毒理学的一个分支,是借用基础毒理学的基本原理和方法,以研究和解决食品中的毒理学问题为目标,形成的具有自身特点和系统的概念、理论和方法体系的一门新学科。因而,理解食品毒理学的概念应先了解广泛意义上的毒理学或大毒理学的概念。

广泛意义上的毒理学(toxicology),即大毒理学,其传统定义是研究外源化合物(xenobiotics)对生物体的损害作用(adverse effects)的学科。现代意义上的毒理学概念则更加广泛,其研究范畴包括了化学性、物理性及生物性因素,研究内容涉及上述各种因素对机体的损害作用、生物学机制(biologic mechanisms)、危险度评估(risk assessment)、风险管理(risk management)、安全性评价(safety evaluation)等方面。概括地说,毒理学是研究有毒有害物质对生物机体(包括人体)的损害作用、作用机制、危险度评估及其安全性评价与管理的一门学科。具体的研究内容包括毒物的来源、化学特性、接触(摄入)途径、毒理学试验方法、毒物的体内过程,毒性特征及毒理机制等诸多方面,还包括化学物质的安全性评价和风险评估与管理。

外源化合物是指在人类生活环境中存在,可能与机体接触并进入体内产生危害的一切物质。这些物质天然存在或人为扩散入环境,它们并非人体正常组成成分,也非人体所需的营养物质或人体生理过程所必需,而是会对人体或其他生物体产生危害的物质。常见的外源化合物包括天然有毒有害物质、农用化学品、工业化学品、日用化学品、药物、食品添加剂、各种环境污染物、重金属元素、生物毒素等。

食品毒理学(food toxicology)是大毒理学的一个分支学科,是研究食品中的有毒有害化学物质的性质、来源及对人体的损害作用及作用机制,评价其安全性,并确定其安全限值,以及提出预防管理措施的一门学科。食品毒理学除研究食品中的有毒有害物质外,还应超前介入食品新资源、新产品、新型食品及新工艺的研究开发过程中,研究和解决新产品开发中的一些食品毒理学理论和实际问题。食品毒理学的最终目标是通过安全性毒理学评价,制定安全限量,提出食品中有毒有害物质的预防及管理措施,保障食品安全。

具体来讲,食品毒理学研究内容包括食品中有毒有害物质的来源(包括外源性和内源性有毒有害物质)、化学成分、理化特性、在食品中的存在形式、摄入途径,人体对这些有毒有害物质的吸收、分布、代谢、转化及排泄过程(即毒物在体内过程),这些有毒有害物质对人体的损害作用、毒性大小、毒理机制及安全限量、管理和预防措施。

二、食品毒理学的研究方法

(一)流行病学调查

食品毒理学问题常常具有流行病学特点,如地方性饮食习惯(腌制、烟熏、烧烤等)产生的毒理学问题,一些食品加工方式产生的毒理学问题,产地环境与当地农产品生产相关联的毒理学问



题,新资源食品开发或新品种引种产生的毒理学问题,转基因食品的安全问题,新型保健食品的毒理学安全性问题,食品添加剂的使用及新型食品添加剂的毒理学问题,农产品生产过程中化学品的使用带来的毒理学安全性问题等。人群流行病学调查的意义在于可以获得人体的直接观察资料,也可为危害因素分析提供线索和指明方向。从本质上讲,食品毒理学与卫生毒理学有许多共同或相似的地方,都属于预防医学的范畴,在研究方法和手段上同样离不开流行病学调查。食品毒理学流行病学调查尚是一个新的命题,可借用医学流行病学调查的原理和方法,同时,也应根据食品毒理学的特点研究和探索新的方法和途径,不断丰富和完善食品毒理学流行病学调查的知识。

（二）化学分析

食品毒理学的研究对象主要是一些化学性的危害物,所以应首先明确食品中的有毒有害成分,这就需要采用化学分析的手段。食品中常见的有毒有害成分来源于农药残留、兽药残留、化肥残留、食品添加剂残留、环境污染物残留、有害元素残留、生物毒素残留及其他常见食品危害物残留等。食品中的有毒有害成分化学分析主要采用的仪器有气相色谱(GC)、高效液相色谱(HPLC)、气质联用(GC-MS)、液质联用(HPLC-MS)、串联质谱(MS-MS)、原子吸收分光光度计、电耦合等离子发光分光光度计(ICP)、可见或紫外可见分光光度计及其他一些常规化学分析仪器等。

（三）动物试验

动物试验是食品毒理学研究的主要方法和手段。动物试验可分为体内试验(*in vivo tests*)和体外试验(*in vitro tests*)。

体内试验多采用整体动物进行,使实验动物在一定时间内,按一定的途径接触一定剂量的受试物,观察动物的形态、功能及有关生理生化指标变化,来评定受试物对实验动物的影响。通常评价外源化合物的一般毒性多采用整体动物进行试验,如急性毒性试验、亚慢性毒性试验、慢性毒性试验、致畸和繁殖毒性试验等。

体外试验多采用动物游离器官、细胞和微生物体进行。游离器官多用于器官灌流,即将一定的液体通过血管流经某一脏器,观察脏器在保持生活状态下对受试物的反应,即脏器出现的形态和功能变化及化合物在脏器中的代谢情况。常用灌流器官有肝、肾、肺、脑等脏器。游离细胞可用原代细胞(primary cell)或用经多次传代培养的细胞系(cell line),这一研究层次称为细胞水平(cellular level)。有些试验可用从细胞分离的有关细胞器(organelle),如线粒体、微粒体、内质网等,这一研究层次称为亚细胞水平(sub-cellular level)。

体外试验多用于对受试物损害作用的初步筛检、作用机制及代谢转化过程的深入观察研究。体内试验,即整体水平试验,可反映体内复杂过程对毒物的交互作用及综合影响,也就是说,可反映毒物在体内代谢的真实情况,但由于复杂因素的影响难以分析其过程和机制。

体内试验、体外试验各有优点和局限性,应根据具体研究目的综合运用。

（四）微生物系统试验

鼠伤寒沙门氏菌基因缺陷型的回复突变试验(*salmonella typhimurium mutagenicity assay*),又称 Ames 试验,是检测基因点突变中最为广泛应用的一种微生物系统试验方法,它快速、简便、敏感、检出率高,因而已成为毒理学致突变遗传学终点初筛检测的标准方法。测试系统中加入了大

鼠肝微粒体酶(S₉),从而弥补了体外试验的不足,使体内、体外因素得到了较好的结合。但应指出的是,微生物的遗传信息仅相当于哺乳动物的 1/6,其数量较少,结构较简单,而哺乳动物具有较微生物更为复杂和较完善的 DNA 修复系统,故突变较易修复;另外,微生物缺乏免疫系统,而哺乳动物具有较完善的免疫系统,因此,微生物系统试验结果与哺乳动物体内实际情况会有一些的差异,故存在一定的假阴性及假阳性,但仍不失为一种快速筛检方法,也是其他方法的有效补充和相互印证。

(五) 安全性评价及安全限量制定

安全限量制定则是根据一系列毒理学试验结果先对受试物定性,决定取舍,再根据该受试物在实验动物上测得的最大无作用剂量(NOEL),采取适当的安全系数外推到人,权衡使用该物质的利弊大小,结合被评价物在各类食物中的出现频度和综合暴露量以及食物系数确定该物质在某一食物中的安全限量。

(六) 分子生物学方法

随着分子生物学技术的发展,一些分子生物学技术和手段正在向毒理学研究领域深入,从分子水平研究和揭示有毒有害物质造成损害的靶点和分子机制。如对遗传损伤位点、受体作用分析,对基因表达调控影响,对蛋白质及酶活性影响等分子水平进行研究和分析。特别是以分析致突变物遗传学终点为目标的一些分子生物学技术可成功应用于毒理学致突变及基因损伤研究领域,为危害物致突变分析、遗传毒性评价、长期低剂量接触潜在危害物的致癌作用预测提供了强有力的手段。

鉴于致突变与致癌的高度相关性,致突变的分子生物学检测技术使毒理学致癌检测水平大大提高。随着人类基因组计划的完成、大规模基因测序技术的进一步完善,DNA 芯片技术等分子生物学技术的发展,长期低剂量接触潜在危害物的安全性毒理学评价将会更加快速、灵敏、准确和实用。分子生物学技术和研究手段正在成为毒理学重要的研究方法之一。

三、食品毒理学与安全性评价的关系

在阐明食品毒理学与安全性评价的关系之前,有必要首先明确食品毒理学与中毒病学的联系与区别。食品毒理学与中毒病学有密切的联系,但也有重要的区别。中毒病学研究的主要是人体一次接触较大剂量、较高毒性化学物质后引起的急性临床过程,属于临床医学范畴。中毒病学的发生主要由一些意外或人为事故引起,危害易于察觉,因果关系较为单纯,危害物水平较高,较易检测。而食品毒理学的研究对象往往是以极其微量水平存在于食品中的外源物质,它们随日常膳食而摄入,短期内不呈现危害作用,由于危害作用渐渐产生,不易觉察,因果关系较为隐蔽。有害物质成分含量相当低,较难检测。然而,食品中这些以低剂量存在、随食物长期被人体摄入的外源有害物质,往往危害面更大,危害性质更严重,影响更深远。如可能产生致癌、致畸、致突变作用等。另外,食品中的有些危害物又难以避免,如环境污染物及一些农业生产资料(如化肥、农药、兽药、农膜等)的使用残留于食品中的微量物质。这些复杂多样的微量外来化学物质是否产生危害,危害性大小如何,危害性质是否可以接受,何种剂量可以接受,就需经过严密而科学的毒理学试验,并结合社会发展现实,权衡利弊作出分析评价结论,提出安全限量标准和管理措施。这就是食品毒理学和安全性评价的关系。可以说,食品毒理学是安全性评价的方法学和理论基础,是手段,是过程;而安全性评价是根据毒理学试验按照一定的判定标准给出评价结论,



提出安全限量标准或管理措施,是最终目的,两者是食品毒理学研究内容中密不可分的两个部分。需要强调的是,食品毒理学研究要有超前介入的意识,要有预防为主的理念,防患于未然。

四、食品毒理学的学科地位、作用及与其他学科的关系

随着社会经济的发展、人民生活水平的提高和健康意识的增强,以及国际贸易的要求,食品安全问题越来越受到广泛关注和重视。在食品生产与管理过程中,将食品安全问题放在首位已成为人们的共识和对食品的基本要求。食品科学各专业,不仅需要掌握食品生产与加工的知识与技能,学习食品毒理学基本理论和方法、掌握安全评价和风险评估与管理知识已必不可少,这对将来无论从事食品加工、开发、贸易、质量安全控制或管理都具有重要意义。近年来,我国已有不少高等学校设置了食品科学与工程专业,有些学校还陆续开设了食品质量与安全专业,这些专业有的已开设或准备开设食品毒理学及安全评价相关课程。随着学科发展的需要,食品毒理学必将成为食品科学与工程、食品卫生检验、食品质量与安全等专业的一门重要专业必修课,在食品科学与工程类专业人才培养中会日益显示出其重要性,并发挥重要作用。

食品毒理学是理论性和实践性均很强的一门学科,它与许多基础学科和食品工程类专业课程有着密切的关系。其中最为密切的有化学、生物学、医学、生物化学、生理学、微生物学、分子生物学、病理学、实验动物学、动物医学、免疫学、遗传学、农药学、植物保护、仪器分析、食品科学、环境科学、数理科学以及公共卫生学乃至经济学与管理学等。

五、食品毒理学的任务和研 究内容

(一) 学科任务

概括地讲,食品毒理学的任务就是研究食品中有毒有害物质的来源与性质,阐明这些有毒有害物质对人体损害作用的一般规律,评定此种损害作用的大小并做出安全性评价,制定这些有害物质在食品中的卫生限量标准。

(二) 研究内容

食品毒理学的研究内容主要包括以下几个方面。

(1) 研究毒物的来源与性质

- ①外来化学物质:主要指各种途径进入食品中的各种环境污染物。
- ②生物源性:包括细菌、霉菌及其毒素,昆虫、寄生虫及虫卵等。
- ③药物残留:主要包括农药、兽药在农产品及畜、水产品中的残留。
- ④内源毒素:主要指食品本身含有的有毒有害物质。一些植物、动物、水产及菌类食物中都可能含有天然有毒物质。
- ⑤加工及变质产毒:主要指存放条件不当或超期存放变质产毒,以及一些不当或不良加工方式导致污染或产生有毒有害成分。如烧烤及烟熏产生苯并芘类物质,甜菜等慢火焖煮或适宜温度下存放产生亚硝酸盐,土豆存放不当发芽产生龙葵素等。

⑥人为因素:加工过程中人为加入的外源化合物,如各种添加剂、防腐剂等,也包括包装材料带来的毒理学安全性问题。

食品中外来化学物质引起的危害除了表现急性毒性以外(意外因素较大量进入食品),大多情况属于低剂量长期摄入引起的慢性、蓄积性危害,这些较为隐蔽的、短期内难以觉察的慢性蓄

积性危害所导致的后果可能更为严重,涉及面更大,是食品毒理学研究的重点内容。

(2) 研究毒理学机制及开展安全性评价

①研究毒物的体内代谢过程、毒性作用(急性、亚慢性、慢性、蓄积性及特殊毒性)、毒性机理及毒性特征。

②新资源食品、新型包装材料、新型食品添加剂等新产品使用前的安全性毒理学评价。

③新的污染因素、污染源、污染物种类与化学性质及其在食物链的迁移规律,评价对食品安全的影响。

④研究新的残留物毒性、检测方法,在安全性评价基础上制定残留限量标准。

⑤研究食品在加工、包装、储运过程中的各种污染因素。如加工机械及加工方式对食品安全的影响,贮藏方式及所使用的保鲜剂对食品安全的影响,包装材料对食品安全的影响,运输环境及运输过程可能带来的污染及其对食品安全的影响,研究并提出切实可行的预防及管理措施。

⑥通过系统的毒理学试验对受试物做出安全性评价,并结合实际情况和人群食物结构制定安全限量标准。

六、食品被污染的主要途径和预防措施

(一) 食品被污染的主要途径

1. 农药污染

我国目前使用的农药种类有百余种,年产量约上百万吨,过去以有机氯类农药为主(如六六六、DDT等),其次是有机磷类农药(如1059、3911、1605、乐果、DDV等)和氨基甲酸酯类农药,此外还有有机砷、有机氟、有机汞类农药。近年来,菊酯类农药使用量不断增加。

由于有机氯类农药化学性质稳定,不易降解,环境效应很长,可在食物链中迁移并不断富集,又由于其是脂溶性,进入人及动物体内不易排泄等,我国于1983年颁布法令禁止生产和使用有机氯类农药。但其环境效应至今存在。据调查,目前我国有些地区的动物性产品中仍可检出六六六,汞制剂检出的不合格率也有20%~40%。

农药残留已成为农畜产品出口的主要障碍。出口受阻的涉及大米、茶叶、蔬菜、水果、蜂蜜、水产品等,带来的经济损失很大。例如,我国是蜂蜜的主要出口国之一,1990年德国检出我国蜂蜜中“杀虫脒”残留超标后拒绝进口,随后美、日也拒绝进口,使我国的蜂蜜在国际上的销售出现困难。

因此,高毒、高残留农药逐步被淘汰,一批高效、低毒、低残留农药相继问世。

2. 工业三废污染

工业三废是指废水、废气、废渣,对食品的污染途径如图1-1所示。有些污染物通过生态系统在食物链中的迁移,造成在某些动植物产品中的富集,最终影响人体健康。如,汞对水域系统的污染,通过食物链的转移,可使汞在某些水产品中的富集达到原水体中浓度的几万倍以上,甚至几十万倍,并且可使无机汞转化成毒性更大的有机汞(见图1-2)。

3. 霉菌污染

霉菌广泛存在于自然界,约有4.5万种,其孢子在空气中无处不在,一旦污染到食品上,便可生长、繁殖,产生毒素。目前,已发现的产毒真菌大约有100种,危害严重的有曲霉属、青霉属及镰刀菌属的一些霉菌。

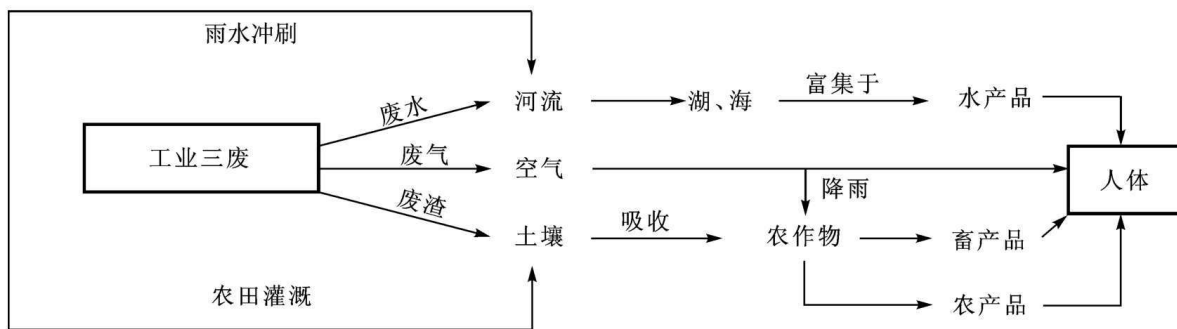


图 1-1 工业三废与人体健康的关系

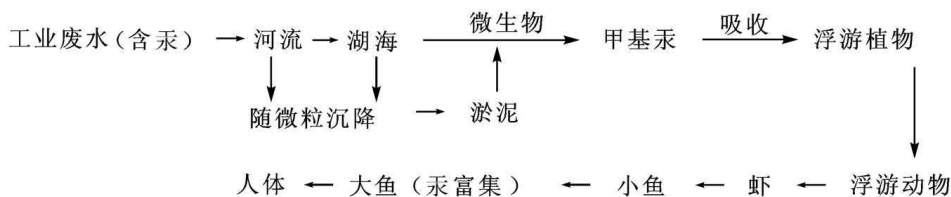


图 1-2 汞污染在食物链中的迁移及生物富集

霉菌对食品污染的危害,一是使食品变质,二是产生毒素。一些霉菌毒素除具有一般毒性外,还有致癌作用。

4. 兽药残留污染

兽药残留造成的我国动物性产品的外贸受阻事件很多。如 1990 年,我国出口日本 1 万 t 肉鸡,日方海关检出有抗球虫药物添加剂氯羟吡啶的残留超过 0.01 mg/kg,要求我方全部销毁,经济损失达 1 亿 4 千多万元。水产品中的一些药物残留问题也比较突出。

5. 运输污染

运输食品的货车不干净,或食品与一些有毒有害物品同车混合运输造成污染。

6. 加工污染

主要是在食品加工过程中过量使用、违禁使用及使用未经批准的添加剂。如面粉及豆腐加工中违禁使用吊白块等。此外,一些不良加工方式也会造成有毒有害物质污染,如烟熏、烧烤食品,或不良包装材料造成污染。

7. 事故性污染

食品加工企业或餐馆由于管理不善,工作马虎,误用或超量使用一些化学物质造成中毒事故。例如,将亚硝酸盐误用为食盐。

(二) 预防食品污染的主要措施

(1) 限制和禁止一些高残留农药和兽药在农产品及食品动物上使用,提倡使用高效、低毒、低残留药物。

(2) 加强农畜产品收购检验,促进绿色食品生产。

(3) 整治环境污染,减少食品污染环节。

(4) 严格兽药及各种饲用添加剂的安全性评价和管理,严格执行宰前清除时间和应用限制等使用规范。