

“十二五”国家重点图书出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

FOOD

SHIPIN WURAN YU JIANKANG

食品污染与健康

主编 / 刘烈刚

环境污染与健康研究丛书·第一辑

名誉主编 / 魏复盛 刘以训
丛书主编 / 周宜开

本书分为食品污染及其分类，食品污染对健康的影响与评价，食品污染控制与食品安全风险分析三个部分，阐述了生物性、化学性、物理性三种食品污染类型，探讨了因食品污染导致的食物中毒、人畜共患传染病、肠道传染病、寄生虫病等对人体健康的影响，并提出包括监测、评估、管理与交流在内的一系列食品安全风险控制流程。



FOOD

SHIPIN WURAN
YU JIANKANG

食品污染与健康

主编 / 刘烈刚

图书在版编目(CIP)数据

食品污染与健康/刘烈刚主编. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2015. 12
(环境污染与健康研究丛书 / 周宜开主编. 第1辑)
ISBN 978-7-5352-8315-3

I. ①食… II. ①刘… III. ①食品污染—影响—健康
IV. ①X56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 259467 号

责任编辑:冯友仁 李 青

封面设计:戴 旻

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:027-87679447

地 址:武汉市雄楚大街 268 号

邮编:430070

(湖北出版文化城 B 座 13—14 层)

网 址:<http://www.hbstp.com.cn>

印 刷:武汉市金港彩印有限公司

邮编:430023

889×1194

1/16

24 印张

643 千字

2015 年 12 月第 1 版

2015 年 12 月第 1 次印刷

定价:98.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

“十二五”国家重点图书出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

环境污染与健康研究丛书·第一辑

丛书编委会

- 名誉主编 魏复盛 (中国工程院,院士)
刘以训 (中国科学院,院士)
- 丛书主编 周宜开 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)
- 丛书编委 (按姓氏拼音排序)
- 陈建伟 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)
郭新彪 (北京大学公共卫生学院,教授)
荆 涛 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)
李君文 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所,教授)
刘烈刚 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)
鲁文清 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)
宋伟民 (复旦大学公共卫生学院,教授)
王 琳 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)
王 齐 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,副教授)
杨 旭 (华中师范大学生命科学学院,教授)
杨明亮 (湖北省卫生和计划生育委员会,主任医师)
姚 平 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院,教授)

《食品污染与健康》

编 委 会

主 编 刘烈刚

副主编 杨明亮 姚 平

秘 书 唐玉涵

编 委(按姓氏拼音排序)

陈红霞 (湖北省十堰市太和医院生物医学研究所)

丁小霞 (中国农业科学院油料作物研究所)

龚 艳 (湖北省农业科学院农业质量标准与检测技术研究所)

龚晨睿 (湖北省疾病预防控制中心卫生监测检验防护所)

郝丽萍 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

李培武 (中国农业科学院油料作物研究所)

刘 进 (湖北省卫生计生委综合监督局食品安全标准管理处)

刘 潇 (湖北省疾病预防控制中心卫生检验检测研究所)

刘烈刚 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

刘晓宇 (华中农业大学食品科学技术学院)

唐玉涵 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

王 迪 (湖北省襄阳市食品药品监督管理局)

王 旭 (华中农业大学动物医学院)

闻 胜 (湖北省疾病预防控制中心卫生检验检测研究所)

吴庆华 (长江大学生命科学学院)

杨 巍 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

杨明亮 (湖北省卫生和计划生育委员会)

杨雪锋 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

姚 平 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

应晨江 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

周 妍 (湖北省疾病预防控制中心卫生检验检测研究所)

序 一

环境是人类赖以生存和发展的物质基础,也是与人类健康密切相关的重要条件。我国改革开放以来,经济持续快速发展,但环境污染问题也十分突出。环境污染不仅影响经济、社会的可持续发展,还极大地威胁着人类的生存环境,地球生态平衡和人类自身健康。因此,人类应该通过提高环境知识水平,增强自身的环境意识,认清环境与健康的关系,规范自己的社会行为,确立保护环境就是保护人类自身健康的观念。政府应努力建立保护环境的法规,制订相关标准,避免环境退化和失衡。我国政府历来高度重视环境保护,在国民经济和社会发展“十·五”纲要中,对环境保护提出了明确要求,相继制定了环境保护相关的法律和法规,采取了一系列积极有效的保护和治理措施,提高城乡环境质量,努力遏止生态环境恶化并在环境污染与人群健康方面开展了系统研究,取得了一些进展,但离环境保护终极目的——保护人类健康的要求还任重而道远。

环境问题与人们的生活息息相关,为人民群众所关注,在这样的时代背景下,湖北科学技术出版社联合华中科技大学同济医学院,组织全国公共卫生领域专家学者,编写了这一套《环境污染与健康研究丛书》,丛书紧密联系环境污染及其对健康影响问题,从空气、土壤、水、食品等多个角度,系统阐述国内环境污染与健康研究最新成果,特别剖析了雾霾、装修污染物、藻类污染和重金属污染等重点、热点环境问题。《环境污染与健康研究丛书》第一辑共五本,分别为《空气污染与健康》《水污染与健康》《土壤污染与健康》《食品污染与健康》《环境重金属污染人群健康风险和损害评估技术》。丛书构架清晰,结构合理,内容丰富。既全面总结、梳理了我国环境污染与健康研究领域近十年的研究成果,为广大科研工作者提供了一套权威的研究参考资料,同时还提出了这一研究领域中存在的问题与研究的难点,并对这些问题与难点进行了探索与讨论,这将促进国内环境污染与健康研究领域更多地沟通与交流,助推研究工作的进一步深入。

丛书的编写主题符合国计民生需求,符合党的十八届三中全会提出的我国生态文明建设的主题目标,其编写与出版具有积极的社会意义。丛书编委会集合了我国环境与健康研究领域的顶尖学者力量,他们学识丰厚,治学严谨,严格遵守各项学术规范,保证了本丛书较高的学术水准与学术价值。环境保护是我国一项基本国策。保护环境,减少污染,遏制生态恶化,是环境保护的主要任务。良好的环境对经济、社会的发展和人类健康具有积极的促进作用。本丛书的出版,既可为相关政策的制定提供权威的参考资料,还能提升广大读者环保意识,增进人民群众对环境与健康的认识。鉴于此,我们乐意将本书推荐给广大读者,是为序。

中国工程院院士

魏复盛

2015年12月

序 二

环境与人类健康有着密切的关系。人与环境是一个不可分割的物质与能量整体,环境提供人类赖以生存的物质基础,人体通过新陈代谢与外界环境不断地进行物质交换与能量交换,使人体与外界环境之间保持着一种动态平衡,这种动态平衡是维持人体与环境健康的前提。良好的环境使人心情愉快、心旷神怡、精神焕发,有益于人类身心健康,有助于更好地发挥其积极性、主动性、创造性,进而促进环境保护与生态文明建设。改革开放以来,我国经济持续快速发展,取得了举世瞩目的成绩。但能耗、物耗也随之增加,主要污染物排放总量也快速增长,环境污染不仅影响我国经济社会的可持续发展,也会影响人民群众的身体健康和生活质量。

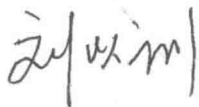
环境污染物影响人体健康有两大特点:一是影响范围大,因为所有的污染物都会随生物地球化学循环对所有的接触者产生影响;二是作用时间长,因为许多有毒物质在环境中及人体内的降解较慢。环境污染物进入人体的主要途径是呼吸道和消化道,也可经皮肤和其他途径进入。污染物进入人体后,由血液输送到人体各组织。不同的有毒物质在人体各组织的分布状况不同。毒物长期隐藏在组织内,并能在组织内富集,造成机体的潜在危险。环境污染对人体健康往往造成急性危害、慢性危害和远期危害。当污染物在短期内大量侵入人体,常会造成急性危害;当污染物长期以低剂量持续不断地进入人体,则会产生慢性危害和远期危害。

一直以来,我国研究者在环境污染与人类健康的关系方面做了大量的相关研究。首先,空气、水、土壤、食品是与人类生存息息相关的环境物质基础,总结研究它们与人类健康之间的关系十分必要,也具有十分重要的意义。其次,环境是全人类共同关心的问题,但在不同的国家、不同的地区,因为社会经济发展与人类生活习惯等多种原因,人们需要面对不同的环境情况与环境问题,因此,总结研究富有我国本土特色的环境与健康问题,也十分必要。

本套《环境污染与健康研究丛书》,密切关注了我国国内环境污染情况,紧密联系国内特殊地理、天气、经济与社会发展情况,剖析了国内多个近年来被广泛关注的环境问题,具有极强的实践指导作用;同时本书侧重探究环境污染物对人类健康的影响,对环境作用的健康效应进行了重点探究,目前国内外尚无如此全面关注我国环境污染与健康问题的系统专著,本书的编写与出版将填补这一空白,具有重要的学术价值与社会效益。

本书的编撰队伍包括华中科技大学、北京大学、复旦大学、武汉大学、中国疾病预防控制中心等多所高校和科研院所的环境卫生领域的专家学者,他们常年活跃在环境卫生研究领域的第一线,他们的参与,确保图书代表了我国环境污染与健康研究的最高水平。希望本丛书的出版能够促进我国环境健康事业的发展,为人与环境的和谐发展做出贡献。

中国科学院院士



2015年12月

前 言

“民以食为天，食以安为先。”食品安全，直接关乎着每一个社会成员的身体健康和生命安全，也关系着整个社会的和谐、稳定与发展。近年来，食品安全与质量在国际经济贸易中的地位日益凸显，世界范围内由于食品卫生质量而引起的农产品贸易纠纷愈演愈烈，甚至衍变成波及全球的国际经贸问题。在我国，随着《食品安全法》的颁布与修订实施，食品安全监管体系的不断完善，以及社会经济的发展 and 公众食品安全意识的提高，在食品质量与安全领域已经取得了长足的进步，食品卫生状况有了明显的提升。然而，在市场经济的大潮中，仍然存在着各种食品不安全因素和新的隐患，且短期内无法一一消除，疯牛病、二噁英、禽流感、苏丹红、三聚氰胺、塑化剂、地沟油、“僵尸”肉等事件，无一不牵动着每一个民众的敏感神经。因此，防止食品污染、保障食品安全，对于促进公众身心健康和国家的和谐发展有着极为重要和迫切的意义。

本书在编撰过程中，针对传统和热点问题，特别注重于搜集与吸纳国内外最新的研究成果，引入最新的食品安全控制与管理学理念，不仅强调理论研究前沿，更关注最新的应用进展，力求体现“主题鲜明、体系完整、内容丰富、学术前沿、理论与应用并重”的特色，能够系统、详尽地反映近十年来国内外食品污染与健康领域的研究热点和成果，以达到本书的编写目的——正确对待食品安全与污染，科学地预防、控制和消除各种不安全因素和隐患，进一步提高食品安全质量和保护消费者健康，为读者奉献一部具有鲜明权威性、前瞻性、实用性、可读性等特色的专业著作。

本书分为三篇，共十五章。第一篇共三章，主要针对我国当前食品安全领域所关注的热点问题，重点阐述引起食品安全的各类食品污染物如农药残留、兽药残留、有毒金属、环境持久性有机污染物和内分泌干扰物等，系统介绍其来源或产生途径、结构与理化性质、污染现状、代谢与危害、毒作用机制、检测方法、预防措施等内容。第二篇共七章，主要从食源性疾病角度介绍食源性疾病对健康的影响，如食物中毒、人畜共患传染病、食源性肠道传染病、食源性寄生虫病、食物过敏等，以及食品安全性毒理学评价的基本原则与程序、结果判定及其需要考虑的具体因素。第三篇共五章，着眼于食品污染的预防控制，介绍食品安全风险分析，包括风险监测、风险评估、风险管理与风险交流。

本书不仅可作为食品安全及相关领域的教学、科研与管理工作者的参考工具书，或研究生学习的辅助教材，还可为广大食品生产经营者和消费者在食品污染控制和安全保障方面提供全面、科学、系统的专业咨询与指导。

本书中如有错误与疏漏之处，恳请诸位同仁和广大读者批评指正，以便今后进一步修订、补充和完善。

编 者
2015 年 7 月

目 录

第一篇 食品污染及其分类

第一章 生物性污染	2
第一节 概述	2
第二节 食品细菌性污染	7
第三节 真菌及其毒素的污染	16
第四节 食品的腐败变质	72
第二章 化学性污染	86
第一节 概述	86
第二节 农药残留与污染	89
第三节 兽药残留污染	113
第四节 N-亚硝基化合物污染	137
第五节 多环芳烃化合物污染	146
第六节 杂环胺类化合物污染	152
第七节 有毒金属污染	158
第八节 持久性有机污染物与环境内分泌干扰物污染	175
第九节 其他化学性污染	201
第三章 物理性污染	208
第一节 杂物污染	208
第二节 放射性污染	210

第二篇 食品污染对健康的影响与评价

第四章 食源性疾病概述	220
第五章 食物中毒	225
第一节 细菌性食物中毒	225
第二节 霉变食品及真菌毒素食物中毒	243
第三节 化学性食物中毒	245
第四节 有毒动植物食物中毒	251
第六章 人畜共患传染病	254
第一节 炭疽	254
第二节 鼻疽	256
第三节 口蹄疫	258
第四节 结核病	259
第五节 布氏杆菌病	261
第六节 疯牛病	262



第七节 猪链球菌病	266
第八节 禽流感	268
第九节 猪水疱病	270
第十节 猪瘟、猪丹毒、猪出血性败血症	271
第七章 食源性肠道传染病	272
第一节 伤寒与副伤寒	272
第二节 细菌性痢疾	276
第三节 霍乱	278
第四节 病毒性肝炎	280
第八章 食源性寄生虫病	287
第一节 猪肉绦虫病和囊虫病	287
第二节 旋毛虫病	289
第三节 肺吸虫病	291
第四节 华支睾吸虫病	293
第五节 阿米巴病	294
第九章 食物过敏	296
第十章 食品安全性毒理学评价	301
第一节 试验内容与方法	301
第二节 毒理学试验结果判定	312
第三节 进行食品安全性毒理学评价需要考虑的因素	314

第三篇 食品污染控制与食品安全风险分析

第十一章 食品污染概述	317
第十二章 食品安全风险监测	322
第一节 食品污染物及有害因素监测	322
第二节 食源性疾病的监测	324
第三节 食品安全风险监测体系	325
第十三章 食品安全风险评估	329
第一节 食品安全风险评估的方法及步骤	329
第十四章 食品安全风险管理	338
第一节 食品生产经营者自身的食品安全管理	338
第二节 政府食品安全监管	353
第三节 食品安全的社会监督	360
第十五章 食品安全风险交流	364
第一节 食品安全风险交流主体的责任及作用	364
第二节 食品安全风险交流的原则及要素	365
第三节 食品安全风险交流的方法及要求	367

第一篇 食品污染及其分类

第一章 生物性污染

第一节 概述

一、生物性污染的定义与种类

食品的生物性污染是指生物(尤其是微生物)自身及其代谢过程、代谢产物(如毒素)对食物原料、加工过程和产品的污染而引起的食品质量问题,这些生物性的污染源包括细菌、真菌及其毒素以及病毒、昆虫、寄生虫及其虫卵等。细菌、真菌、病毒均属于微生物,其中病毒离开宿主系统在食物及环境中不能增殖,引起食品污染的微生物主要是细菌和真菌,尤其以细菌最为常见。因此,微生物污染常特指细菌、真菌及其毒素的污染,尤其是细菌及其毒素的污染。常见的易污染食品的细菌有假单胞菌、微球菌和葡萄球菌、芽孢杆菌与芽孢梭菌、肠杆菌、弧菌和黄杆菌、嗜盐杆菌、乳杆菌等,常引起人类感染性或毒素性中毒及肠道传染病。真菌污染多见于南方多雨地区,污染食品的真菌菌株在适宜条件下,能产生有毒代谢产物,即真菌毒素,引起急性中毒和慢性危害,如致癌、致突变和致畸效应。

二、微生物污染

微生物污染是影响我国食品卫生质量与安全最主要的因素,污染食品的微生物主要是病原微生物和非致病的腐败微生物。病原微生物既包括致病力或传染力强可直接引起人类病害的致病性微生物,也包括正常条件下不致病,只有在一定内外环境条件下才致病的条件致病性微生物。病原微生物及其毒素通过食物进入人体消化道,作用于肠黏膜及其他靶器官,引起食物中毒、食源性传染病和慢性危害等。腐败微生物污染食物后主要引起食物的腐败变质,虽不直接使人致病,但使食物变色、变味,产生恶臭,导致感官性状恶化从而失去食用价值。

需要说明的是,出现在食品中的微生物并非只是引起食品的污染而影响其卫生质量与安全,部分微生物对食品的生产加工及营养感官性状的改善还有一定的有益作用。人类很早就开始利用微生物的这一特性,如利用酵母发酵面团加工包子、馒头、面包,用大麦芽发酵制造啤酒,用细菌发酵生产食醋、味精、酸奶、干酪,用真菌发酵生产酱油、豆腐乳等。

(一)食品中微生物的来源

微生物广泛分布于自然界,不同环境中存在的微生物种类、数量差异很大。环境中的微生物并可在农作物种植、动物养殖及食品生产、加工、贮存、运输、销售、烹调直至餐桌整个过程中的各个环节污染食物及其原料。食品中微生物主要来源于以下几个方面。

1. 土壤 所有植物性食物都生长于土壤,牲畜也时刻与土壤环境接触。土壤具备了各种微生物生长发育或生存所需要的营养、水分、空气、酸碱度、渗透压、温度等条件,是微生物的天然培养基,也是陆生微生物生存的主要载体。土壤中微生物类型众多,但不同类型的微生物数量变化很大。通常情况下,每克耕作层土壤中,微生物以如下顺序按 10 倍左右系数的规律递减:细菌($\sim 10^8$)、放线菌($\sim 10^7$,孢子)、真菌



($\sim 10^6$, 孢子)、酵母菌($\sim 10^5$)、藻类($\sim 10^4$)、原生动物($\sim 10^3$)。土壤中所有的微生物都有可能通过各种途径污染食物,但仍以细菌和真菌最为常见。

2. 水体 水体形成的水生环境包括池塘、河流、湖泊、港湾、海洋等。因不同水体中所含的有机物、无机物、氧、毒物以及光照、酸碱度、温度、水压、流速、渗透压和生物群体等差别显著,从而形成了明显不同的微生物区系(f flora);甚至在同一水体的浅水区、深水区及水体底部区域都存在较大的差异。在淡水水体中,按有机物含量的多寡及其与微生物群落的关系,可分为清水型水生微生物(以化能自养微生物和光能自养微生物为主,如硫细菌、铁细菌、蓝细菌和光合细菌等,异养微生物少见)和腐败型水生微生物(腐生细菌如大肠菌群、芽孢杆菌、弧菌、螺菌等及原生动物大量繁殖)。而海水型水体微生物主要是一些嗜盐的弧菌、芽孢杆菌、假单胞菌、发光细菌等及一些藻类。不同水体中的水产品自然会带有相应水体中的微生物。

通过生态循环,水体与土壤中栖息的微生物有许多共同之处,甚至在某种程度上互为重要来源。但部分水体中的微生物(尤其是海水中的微生物)难以在土壤中存留或仅能暂居,反之亦然。

3. 空气 空气本身并不含有微生物生长繁殖所必需的各种营养物和其他条件,相反,日光中的紫外线还有强烈的杀菌作用。但土壤、生物体、水体中的微生物可通过尘埃、微粒等方式带入到空气中。不同地区、不同季节和气候条件下,空气中的微生物种类及数量会有较大差异。通常情况下,含尘埃越多或越贴近地面的空气,其中的微生物含量也越高。

空气中的微生物以气溶胶的形式存在,它是动植物病害传播、发酵工业中微生物污染及工农业产品霉腐的重要根源。食品在运输、加工等多个环节,都会受到其所在环境空气中的微生物的污染。减少菌源、尘埃源以及采用空气过滤、灭菌(紫外线照射、甲醛熏蒸)等,是降低空气中微生物数量的重要措施。

4. 植物及植物产品 土壤、水体等环境中的很多微生物很容易沾染、附着在植物的茎、叶、果实等部位并滋生繁殖而不易洗去或脱落,其中以棒杆菌、短小杆菌、假单胞菌、黄单胞菌等细菌及稻梨孢菌、禾柄锈菌、豆薯层锈菌等真菌是常见的细菌性和真菌性病原菌,常引起特定的植物性病害甚至减产、绝收。值得注意的是,土壤中含有的大量放线菌,在各种农作物中存在却不多。

5. 食品器皿用具 食品表面在储运、加工等过程中可被其接触的各种器皿用具污染。如切割肉块时,切割的刀具和绞碎机可被肉上的微生物污染,这些微生物再污染新加工的肉品,甚至可能形成区系组成相对稳定的肉制品传播微生物。

6. 动物肠道和淋巴结 动物肠道内通常含有大量的微生物,这些微生物会因刺穿、不当的灌洗等污染动物胴体。在鲜肉中,包埋于脂肪中的淋巴结也含有大量的微生物,特别是细菌。肉品分割加工时没有将上述组织器官清理彻底,是导致肉品加工污染的重要原因。

7. 食品生产者 食品生产者手及外套都会沾染微生物,这些微生物来自土壤、水体、尘埃和与生产者有关的其他环境,而生产者本人的鼻孔、口腔、皮肤甚至肠道中的微生物也可能通过不洁操作带入到食品中。

8. 动物饲料 饲料中的微生物可通过动物的生长环境扩散并黏附、存留于动物皮毛上。动物饲料一直是家禽和其他动物沙门菌的重要来源。某些青贮饲料是乳品、肉品中单核细胞增生李斯特菌的主要来源。

9. 动物皮毛 动物皮毛上含有的大量微生物,可通过屠宰、挤乳等过程沾染到肉或乳中。不按正确的消毒程序挤乳,乳牛皮毛和乳房上的微生物可污染环境、鲜乳和生产者的手。

10. 昆虫 食品在加工、储运环节尤其是动植物在生长过程中,都会接触到昆虫。昆虫本身携带或寄



生的微生物,通过与食品及其原料的接触而传播到食品中。

(二)微生物污染途径

微生物污染食物的途径有内源性污染和外源性污染两种。

1. 内源性污染 内源性污染主要指畜禽在宰杀前即已受到微生物污染,包括原发性污染和继发性污染。原发性污染是指畜禽在宰杀前已受到致病性微生物侵袭而患病。继发性污染是指畜禽在宰杀前因长途运输、应激等导致机体抵抗力下降,其消化道、上呼吸道和体表的微生物突破黏膜屏障而造成的污染。

2. 外源性污染 食品在生产、加工、储存、运输、销售和食用过程中,通过水、空气、人、动物、机械设备、用具、包装材料等而使食品受到微生物污染称为外源性污染,也称为二次污染(secondary contamination)。

微生物污染食品的具体方式,取决于其的生物学性质和在环境中的生存能力。腐生或兼有腐生和寄生特性的微生物,在环境中的生存能力强,能直接或间接污染食品;寄生性微生物在环境中的生存能力弱,只能直接污染食品或以原始污染的方式存留于食品中。

(三)食品中微生物生长繁殖的条件

微生物个体微小,结构简单,但种类繁多,营养方式多样,尤其是具有生长繁殖快、代谢能力强、遗传稳定性差和容易发生变异等不同于其他生物的典型特点。如大肠杆菌在适宜条件下,每 20 分钟左右便可分裂一次,如果始终保持这样的繁殖速度,一个细菌在 48 小时内,其子代群体将达到无法想象的数量。然而,实际情况并非如此,由于营养物质消耗和代谢产物积累等环境条件的改变,微生物生长通常经历迟缓期、对数期、稳定期和衰亡期四个阶段,不可能无限增殖,这是微生物与环境共同作用的结果。

同其他生物一样,微生物的生长繁殖也需要合适的营养条件(如充足的碳源、氮源、水分、矿物质等)和适宜的环境条件(如温湿度、pH 值、氧分压、渗透压、氧化还原电位等)。事实上,微生物在适宜的环境下可正常生长与繁殖,而在不利的环境中,其生长与繁殖受到抑制,甚至死亡,这是环境对微生物作用的一个方面。而另一方面,微生物在与其所处环境的复杂的相互作用过程中,通过基因突变与环境对突变的选择,以及其他各种水平上的适应,表现出与原先难于甚至不能生存的环境“和谐相处”或避害趋利的生物性能。食品中微生物的生长繁殖需要以下基本条件:

1. 食品的成分与理化性质 食品中的营养成分和水分、pH 值、渗透压等不仅直接影响着微生物的生长繁殖,甚至决定着食品中微生物菌落的组成与变化。因此,食品本身的因素往往决定着自身腐败变质的种类和特征。

(1)水分。食物中存在的水可以分为游离水和结合水两种形式。结合水(或称束缚水, bound water)是以氢键与食品的有机成分相结合的水分,如葡萄糖、乳糖、柠檬酸等晶体中的结晶水或明胶、果胶所形成冻胶中的结合水。不同于普通意义的水,食品中的结合水不易结冰(冰点 -40°C)、难以分离,不能作为溶质的溶剂,也不能被微生物所利用,但它对食品的风味和质量起着重要的作用。游离水(或称自由水, free water)是指与食品中有机成分结合较弱或处于游离状态的水,在组织、细胞中容易结冰,也能溶解溶质,包括滞化水、毛细管水和自由流动水。因为只有游离水分才能被微生物、酶和化学反应所利用,因此,食品中微生物生长繁殖所需要的水分并非取决于食品的总含水量,而是取决于能被其利用的游离水的含量。

食品中游离水的含量常用水分活度(water activity, A_w)来衡量。 A_w 是指食品中水的蒸气压 P 与相同温度下纯水的蒸气压 P_0 的比值,即 $A_w = P/P_0$ 。 A_w 越高,表示微生物可以利用的有效水分越多。不同的微生物在食品中生长繁殖都有其最低的 A_w 要求,低于这一要求,微生物的生长繁殖就会受到抑制。



研究表明, A_w 在 0.98 以上是微生物生长繁殖的最佳水分条件; $A_w < 0.70$ 时, 除耐高渗透压酵母和干生型霉菌外, 绝大多数微生物不能生长, 食品在此时也很少出现腐败变质的现象; $A_w < 0.60$ 时, 基本上所有微生物不能生长。一般说来, 细菌生长对水分要求最高, 所需的最低 $A_w > 0.90$, 多在 0.95~0.99 之间, 但嗜盐细菌在 A_w 为 0.75 时仍能生长; 酵母次之, 生长所需的最低 A_w 在 0.87~0.91 之间, 耐高渗透压鲁氏酵母甚至在 A_w 为 0.60 时仍可生长; 真菌生长对水分要求最低, 最低 A_w 多在 0.80~0.87 之间, 双孢霉等个别真菌在 $A_w = 0.65$ 时仍能生长。

相同 A_w 的不同食物, 其含水量可能有很大的差异, 如金黄色葡萄球菌生长要求的最低 A_w 为 0.86, 达到这一 A_w 时牛肉、乳粉和肉汁中的含水量分别为 23%、16% 和 63%。大部分生鲜肉鱼类、水果、蔬菜的 A_w 在 0.95 以上; 这些食物经盐腌、糖渍、烟熏、晒烤后, A_w 明显下降, 如腌鱼、干香肠、果脯等的 A_w 多在 0.85 以下, 保存期或货架期明显延长。酱油、糖蜜等看似有一定甚至较高的水分, 但因水中溶解有浓度的盐分、糖分, A_w 反而可低至 0.8 甚至以下。

(2) 营养成分。食物中含有蛋白质、碳水化合物、脂肪、无机盐、维生素及水分等, 是微生物生长的天然培养基。异养微生物以有机物作为碳源和能源, 其中碳水化合物是其最好的碳源。食物中的葡萄糖、果糖、麦芽糖、蔗糖、淀粉、半乳糖、乳糖、纤维二糖、纤维素、半纤维素、几丁质、木质素及部分有机酸等均可作为微生物利用的碳源。多数微生物能利用较简单的化合态氮如铵盐、硝酸盐、氨基酸等作为氮源, 一些真菌和少数细菌能分泌胞外蛋白酶, 将食物和环境基质中的大分子蛋白质降解利用, 而多数细菌只能利用相对分子量较小的产物。一些食物中含有的维生素、氨基酸、嘌呤或嘧啶类成分还可作为部分微生物生长所必需的生长因子。显然, 食物中的营养成分越丰富, 越容易被微生物利用, 就越有可能因微生物的大量滋生繁殖而引起食品的腐败变质与食用者的健康危害。

(3) pH 值。食物中 pH 值的高低, 不仅影响着微生物细胞膜的电位和生理功能(如对营养物质的吸收功能等), 还可改变微生物体内多种酶系的活性, 影响其代谢途径和状态, 导致细胞内 DNA、RNA、ATP 等重要成分的破坏, 从而制约微生物的生长繁殖。微生物通常在 pH 值为接近中性的环境生长繁殖良好, 但相对而言, 细菌对 pH 值的要求比酵母、真菌严格, 更喜在近中性的环境(pH 6.5~7.5)生活, 放线菌喜在偏碱性的环境(pH 7.5~8.5)生存, 而酵母菌和真菌的最适 pH 在 5.0~6.0。因此, 酸性食品的腐败变质多由酵母和真菌引起。

(4) 渗透压。微生物细胞膜为选择性半透膜, 调节着细胞内外的渗透压平衡。微生物置于低渗溶液中, 菌体可因过度吸水而膨胀、破裂; 但置于高渗溶液中, 又可因脱水而皱缩、死亡。总体来说, 低渗对微生物的作用不太明显, 而高渗的影响则较为显著。

食品中形成渗透压的成分主要是食盐和糖分。多数细菌不能在较高渗透压的食品上生长, 仅能在其中生存一段时期或迅速死亡。少数盐杆菌、盐球菌属类嗜盐细菌能适应较高渗透压, 但耐受力远远不如酵母与真菌。利用微生物不耐高渗的原理, 生产实践中常用 5%~30% 的食盐腌渍蔬菜, 以 30%~60% 的糖制作蜜饯, 用 60% 的糖制成炼乳, 达到保藏食物的目的。

(5) 结构质地和抑菌成分。果实、种子、禽蛋等食物的外层皮、壳结构, 可以抵御微生物的侵袭、破坏; 肉类后熟时表面因蛋白凝固而形成的一层干膜, 也可阻止微生物的侵入。一旦这些食物的结构完整性和物理性屏障受到破坏, 生物性污染的机会将会显著增加。此外, 有些食物还含有天然的抑菌物质, 如鲜奶中的乳铁蛋白、鸡蛋清中的溶菌酶、葡萄皮中的花青素等, 在一定时间内可起到某种程度的防腐保鲜的作用。

2. 环境因素 除了食品本身的因素外, 食品所处的环境也影响着食品上微生物的生长繁殖和毒素的



产生,这些因素主要包括以下几个方面。

(1)温度。环境温度通过影响食物中营养成分的溶出及微生物细胞膜的流动性、生物大分子的功能与代谢酶的活性(一般温度每升高 10°C ,微生物代谢酶活性升高一倍),直接制约着微生物代谢过程与生长繁殖速度。在 $-10\sim 95^{\circ}\text{C}$ 甚至更极端的范围内,都可发现微生物的存在与生长。但不同的微生物,其最适生长温度范围有着较大的差异。

低温型微生物(冷营菌)包括专性嗜冷菌和兼性嗜冷菌。前者主要分布于地球两极高寒地区,其细胞膜中不饱和脂肪酸含量较高,在 $-10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 能够生长,最适生长温度为 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$, $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 反而因代谢酶失活而生长受阻。兼性嗜冷菌最适生长温度为 20°C 左右,最高生长温度为 30°C 甚至更高,主要分布于海洋、深湖、冷泉和冷藏食品中,如假单胞菌、乳杆菌、青霉菌等在 $0\sim 7^{\circ}\text{C}$ 仍能生长,常引起冷藏食品变质。

中温型微生物(中温菌)最为常见,在 $10\sim 45^{\circ}\text{C}$ 能够生长,最适生长温度为 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$,包括生长在腐生环境中、最适生长温度约为 25°C 的室温菌(如土壤微生物、植物病原菌等)和多生存于寄生环境下、最适生长温度约为 37°C 的体温菌(如温血动物及人体肠道中的菌群、引起食品腐败变质以及发酵工业广为应用的多数微生物等)。

高温型微生物(高温菌)主要分布于温泉、堆肥、发酵饲料、日照充足的土壤表面,能够在 45°C 及以上甚至接近 100°C 的环境中生长,最适生长温度在 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 。高温菌代谢速率高,生长繁殖速度快,因此广泛用于发酵工业以缩短发酵时间和防止杂菌污染(如德氏乳杆菌),但也给终产品的消毒、灭菌带来困难。

(2)氧与氧化还原电位。氧和氧化还原电位与微生物的关系十分密切,对微生物生长的影响极为明显。按照微生物与氧气的关系,可把它们分成好氧菌和厌氧菌两大类,进一步可细分为五类。

1)专性好氧菌。具有完整的呼吸链,以分子氧作为最终电子受体,要求必须在较高浓度分子氧($0.2\times 10^5\text{Pa}$)的条件下才能生长,大多数细菌、放线菌和真菌是专性好氧菌。如醋杆菌(*Acetobacter*)、固氮菌(*Azotobacter*)、铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)等。

2)兼性厌氧菌。也称兼性好氧菌,在有氧或无氧条件下都能生长,但有氧的情况下生长得更好;有氧时进行呼吸产能,无氧时进行发酵或无氧呼吸产能。许多酵母菌和部分细菌都是兼性厌氧菌,如大肠杆菌(*Escherichia coli*)、产气肠杆菌(*Enterobacter aerogenes*)、地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)、酿酒酵母菌(*Saccharomyces cerevisiae*)等。

3)微好氧菌。只在非常低的氧分压($0.01\times 10^5\sim 0.03\times 10^5\text{Pa}$)下才能生长,通过呼吸链以氧为最终电子受体产能,如发酵单胞菌属(*Zymomonas*)、弯曲菌属(*Gampylobacter*)、氢单胞菌属(*Hydrogenomonas*)、霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)等。

4)耐氧菌。生长不需要氧,不具有呼吸链,但可在分子氧存在的条件下行发酵性厌氧生活,通过发酵经底物水平磷酸化获得能量,分子氧对它们无用,但也无害,故又称为耐氧性厌氧菌。乳酸菌大多是耐氧菌,如乳酸乳杆菌(*Lactobacillus lactis*)、乳链球菌(*Streptococcus lactis*)、肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)和粪肠球菌(*Enterobacter faecalis*)等。

5)专性厌氧菌。分子氧的存在对它们有毒,即使是短期接触空气,也会抑制其生长甚至死亡。专性厌氧菌生命活动所需能量是通过发酵、无氧呼吸、循环光合磷酸化或甲烷发酵等提供;在空气中,它们在固体或半固体培养基的表面上不能生长,只能在深层无氧或低氧化还原电位的环境下才能生长。常见的厌氧菌有梭菌属(*Clostridium*)的丙酮丁醇梭菌(*Clostridium acetobutylicum*)、双歧杆菌属(*Bifidobacterium*)、拟杆菌属(*Bacteroides*)等,以及着色菌属(*Chromatium*)、硫螺旋菌属(*Thiospirillum*)等属的光合细菌与产甲烷菌等。



自然界中绝大多数微生物都是好氧菌或兼性厌氧菌,厌氧菌的种类相对较少。好氧与兼性厌氧微生物细胞内普遍存在着超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(catalase, CAT, 触酶);而专性厌氧菌不具备这两种酶,在有氧条件下生长时,有毒代谢产物超氧基化合物和过氧化氢等在胞内累积,导致机体中毒死亡。耐氧菌只具有 SOD 而缺乏 CAT,有氧条件下产生的超氧基化合物可被 SOD 分解去毒,而过氧化氢则需通过细胞内某些代谢产物进一步氧化而解毒,这是耐氧性微生物在有氧条件下仍可生存的内在机制。

环境的氧化还原电位(Eh)与氧分压直接相关,同时也受环境 pH 的影响。pH 值低时, Eh 值高; pH 值高时, Eh 值低。微生物的适宜 Eh 值通常以 pH 中性时的 Eh 值表示。一般来说, Eh 值在 +0.1 V 以上好氧菌均可生长,以 +0.3~+0.4 V 时为宜;厌氧菌只能在 +0.1 V 以下的环境中生长,介于两者之间的是兼性需氧菌的生长范围。实践中根据需要,通过通入空气或加入氧化剂提高 Eh 以适应需氧微生物的需求或抑制厌氧菌的生长;相反,抽真空、充入氮气等惰性气体或在培养基中加入还原性物质降低 Eh 值以培养厌氧微生物或抑制好氧菌的生长。

(3)湿度。食品本身的含水量尤其是 A_w 直接影响着微生物的生长,而食品所处环境中的湿度尤其是相对湿度(RH)也影响着环境中微生物的种群类型和数量,还通过影响食品的 A_w 而影响食物表面微生物的生长。例如将 A_w 或含水量低的干燥食品放在高湿度的地方,食品因吸潮导致 A_w 或含水量升高,为微生物的迅速分裂增殖创造了适宜条件。因此,在长江流域梅雨季节,食物容易发霉就是因为空气湿度太大(RH 多在 70% 甚至 90% 以上)的缘故。

三、其他生物性污染

1. 病毒污染 病毒没有实现新陈代谢所必需的基本系统,是只能在活的易感细胞内借助宿主细胞的复制系统才能进行增殖的非细胞型微生物,不能在食物甚至人工培养基中增殖,但这并不妨碍其在食物甚至土壤、水、空气中存在相当长的时间而传播食源性病毒类疾病。例如,脊髓灰质炎病毒可在污泥和污水中存留 10 天以上,可通过污染的蔬菜导致小儿患小儿麻痹症。以食物为传播载体和经消化道传染的致病性病毒主要有轮状病毒、星状病毒、腺病毒、杯状病毒、甲型肝炎病毒和戊型肝炎病毒等,乙型、丙型和丁型肝炎病毒主要通过血液等非肠道途径传播,但也有通过人体排泄物和食物传播的报道。

2. 寄生虫及虫卵污染 除微生物污染外,因寄生虫及虫卵污染食物而导致的食源性寄生虫病也引起了特别的关注。食源性寄生虫病主要是食品生产加工、流通消费等过程中污染了寄生虫及其虫卵,人们食用了这种生或半生的食品所致。在我国,常见的食源性寄生虫包括植物源性寄生虫(姜片虫、肝吸虫)、淡水甲壳动物源性寄生虫(肺吸虫)、鱼源性寄生虫(华支睾吸虫、棘颚口线虫、异线吸虫、棘口吸虫、肾膨结线虫、阔节裂头绦虫)、肉源性寄生虫(旋毛虫、绦虫、弓形虫、裂头蚴)和螺源性寄生虫(广州管圆线虫)等。

3. 仓储害虫污染 粮食和各种食品的贮存条件不良,容易滋生各种仓储害虫而影响其感官性状和卫生质量。例如粮食中的甲虫类、蛾类和螨类;鱼、肉、酱或咸菜中的蝇蛆以及咸鱼中的干枯蝇幼虫等。枣、栗、饼干、点心等含糖较多的食品特别容易受到侵害。昆虫污染可使大量食品遭到破坏,但尚未发现受昆虫污染的食品对人体健康造成显著的危害。

第二节 食品细菌性污染

细菌是一类形体微小、结构简单的原核单细胞生物,其污染食物后会导致食品的腐败变质、诱发食物