



辐照食品与 放射性污染食品

● 陈彦长 罗 祎 主编



 中国质检出版社



辐照食品与放射性 污染食品

陈彦长 罗 祎 主编

中国质检出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

辐照食品与放射性污染食品 / 陈彦长, 罗玮主编. — 北京: 中国质检出版社, 2012

ISBN 978 - 7 - 5026 - 3537 - 4

I. ①辐… II. ①陈…②罗… III. ①食品辐射②食品污染 - 放射性污染 IV. ①TS205.9②TS201.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 038050 号

内 容 提 要

本书主要包括: 辐照技术简介、食品的辐照效应和对食品成分的影响、辐照食品的消费认知度调查、辐照食品的标识和包装要求以及辐照食品的监管风险、辐照食品的检测技术、核辐射污染食品、辐照食品与放射性污染食品的区别等内容。

本书适合于从事辐照食品企业及相关检测部门的人员使用, 亦可作为普通大众的通俗读物。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100013)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010)64275323 发行中心: (010)51780235

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 850 × 1168 1/32 印张 5.25 字数 132 千字

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月第一次印刷

*

定价 20.00 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 陈彦长 罗 祎

编 委 (按汉语拼音排序)

陈洪俊 李怀林 李 莉 吕淑华 唐英章

王军兵 张 立

编 者 (按汉语拼音排序)

陈彦长 崔凤霞 李经津 李 礼 李 立

李 翔 刘汉霞 罗季阳 罗 祎 孟兆祥

聂雪梅 秦 森 汤志旭 王 欣 王文枝

杨 倩 杨 涛 管蔚东 仲维科

主 审 陆 地

前 言

食品辐照技术是 20 世纪发展起来的一种灭菌保鲜技术，是以辐射加工技术为基础，运用 X 射线、 γ 射线或高速电子束等电离辐射产生的高能射线对食品进行加工处理，在能量的传递和转移过程中产生强大的物理效应和生物效应，达到杀虫、杀菌、抑制生理过程、提高食品卫生质量、保持食品营养品质及风味、延长货架期的目的。有关专家预言，随着国民食品安全意识的提高，辐照食品在我国的市场前景将十分广阔。

在我国人群的消费中，“吃”的比重占 50% 以上。由于我国人多地少，食品的生产和加工技术水平低，要使十几亿人吃饱、吃好，吃得安全、卫生、营养、方便，的确不是一件容易的事。改革开放以来，随着我国农产品数量大幅增加，人们的基本生活物质得以满足，生活水平正在从温饱型逐步向小康型过渡，人们的食品观念发生了很大变化，对食物的品质、卫生状况要求不断提高。尤其是加入 WTO 以后，国际贸易中的关税壁垒和技术壁垒，对食品生产提出了更高的技术要求。因此，减少虫害和霉变腐败造成的损失，延长储存期和保鲜时间，提高食品卫生质量，减少能耗和化学药物残留及环境污染等，已经成为食品生产面临的重要问题。

目前，全世界已有 42 个国家和地区批准辐照农产品和食品 240 多种，年市场销售辐照食品的总量达 20 多万吨。7 大类产品分别是辐照豆类、谷物及其制品；辐照干果果脯类；辐照熟畜禽肉类；辐照冷冻包装畜禽肉类；辐照香辛料类；辐照水果、

蔬菜类；辐照水产品类。据有关统计表明，2005 年我国 30 万居里*以上的商用 γ 辐照装置已达 84 座，功率 5kW 以上的电子加速器已达 83 台。食品辐照技术已成为传统食品加工和贮藏技术的重要补充和完善。

食品安全是人类生存永恒的主题，是人民生活质量提高的标志。辐照食品的卫生安全性已被世界公认，而且辐照食品在减少由食品传播引发的疾病的发病率、降低食品贮藏中的损耗、延长食品的货架期等方面已经显示出其优越性。然而我们也应该看到，食品辐照技术的发展不是一帆风顺的，在国际上依然有许多国家反对辐照食品，设置种种技术障碍限制进口。因此，我们要加速建立食品卫生标准和辐照食品工艺规范，严格按照国际标准的要求和指导原则，进一步完善辐照食品的法律法规，促进辐照食品加工业的发展。

2011 年 3 月，日本地震导致核泄漏事故，使日本食品有遭受核污染的可能和危险，引发了日本食品的信任危机。这一事件导致消费者混淆辐照食品和核污染食品的概念，对辐照食品的疑虑和恐惧与日俱增。因此，更好地区分辐照和核污染的概念，更好的认识 and 了解这两个概念的本质，是目前帮助消费者走出误区的当务之急。

本书主要内容包括辐照技术、辐照效应、辐照食品的检测、世界各国关于辐照食品的标准和法规、辐照食品的安全性评估、辐照食品与核辐射污染食品的区别等，可以为相关企业和检验检疫部门提供科学的咨询和指导，同时也可作为科普读物供广大消费者阅读。

本书的编写得到科技部、国家质检总局食品安全局林伟、毕克新、唐光江、赵增连、于文军、王东、汤德良、白露、杨彬彬、熊先军和食品生产监管司郭文奇、稽超等各位领导的亲

* 1 居里 = 3.7×10^{10} 贝可勒尔

切关怀和鼎力支持；特别感谢中国检验检疫科学研究院李怀林、李新实、张立、陈洪俊、李莉、陈彦长等领导以及综合检测中心仲维科博士在本书编写过程中的鼓励与支持；烟台出入境检验检疫局陆地为本书进行了耐心、细致的审校；本书在编写过程中始终得到中国质检出版社的大力支持。在此一并向各位编者、审者和编辑致以诚挚的谢意。

尽管参加编写者著书态度认真、严谨，付出了极大的努力，以力求使本书达到尽善尽美，但限于我国目前在食品辐照领域的发展水平和编写者能力的局限，加之时间仓促，难免有疏忽和遗漏。在此，恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 5 月 1 日

目 录

第一章 辐照技术概论	(1)
第一节 辐照技术的定义	(1)
一、广义的辐照技术	(1)
二、食品辐照技术	(2)
第二节 食品辐照技术的主要特点	(4)
一、食品辐照技术的优点	(4)
二、食品辐照技术的缺点	(6)
第三节 食品辐照技术的主要作用	(6)
一、净化作用	(6)
二、延长保质期	(7)
三、杀虫作用	(7)
四、其他作用	(7)
第四节 辐照食品的主要种类	(8)
第五节 国内外食品辐照技术的现状和进展	(8)
一、我国食品辐照技术的现状和进展	(8)
二、国外食品辐照技术的现状和进展	(10)
第六节 世界各国关于辐照食品的标准和法规	(13)
一、国际辐照食品的标准和法规	(14)
二、欧盟组织辐照食品的标准和法规	(17)
三、世界各主要国家和地区辐照食品的标准 和法规	(18)

四、我国辐照食品的标准和法规	(22)
第七节 辐照食品的安全性	(24)
一、辐照射线的安全性	(24)
二、微生物的安全性	(25)
三、毒理学安全性	(25)
四、营养成分的均衡	(30)
五、结论	(31)
第二章 食品的辐照效应对食品成分的影响	(33)
第一节 辐照装置	(33)
一、辐照源	(33)
二、食品辐照装置	(34)
第二节 辐照产生的基本效应	(36)
一、化学效应	(36)
二、生物学效应	(36)
三、生理学效应	(37)
第三节 辐照对食品质量的影响	(37)
一、辐照对食品感观的影响	(37)
二、辐照对蛋白质的影响	(37)
三、辐照对碳水化合物的影响	(39)
四、辐照对脂肪的影响	(39)
五、辐照对维生素的影响	(40)
第三章 辐照食品的消费者认知度调查和辐照食品的发展前景展望	(41)
第一节 辐照食品的消费者认知度调查	(41)
第二节 辐照食品的发展前景展望	(44)
一、加大科普宣传力度, 提高辐照食品的市场接受程度	(44)
二、加大政府科研投入, 组织科技攻关	(44)

三、加快辐照食品生产的规范化, 提高行业的 国际竞争能力	(45)
第四章 辐照食品的标识和包装要求以及辐照食品的 监管风险	(46)
第一节 辐照食品的标识	(46)
第二节 辐照食品的包装	(48)
第三节 辐照食品的监管风险	(48)
第五章 辐照食品检测	(50)
第一节 化学分析检测法	(52)
一、气相色谱/质谱法	(52)
二、气相色谱检测法	(53)
三、高效液相色谱检测法	(53)
第二节 生物学分析检测方法	(53)
一、直接荧光过滤技术/平板计数(DEFT/APC) 法 ..	(53)
二、DNA 裂解产物的检测方法	(54)
三、内毒素/革兰氏阴性菌(LAL/GNB) 法	(54)
第三节 物理分析检测法	(55)
一、电子自旋共振光谱(ESR) 检测法	(55)
二、热释光(TL) 分析法	(56)
三、光激发光(photostimulated luminescence, PSL) 检测方法	(57)
四、超微弱发光法	(58)
第六章 核辐射污染食品	(59)
第一节 放射性污染	(59)
第二节 核辐射污染	(60)
一、核辐射	(60)
二、世界核电发展概况	(62)

第三节 核污染的来源途径	(65)
一、辐射来源	(65)
二、放射性污染的传播途径	(67)
第四节 核辐射剂量限值及相关检测方法	(68)
一、核辐射剂量限值	(68)
二、我国关于食品中放射性物的限量及相关国标检测方法	(70)
三、日本紧急事态中食品辐射检测指南	(74)
第五节 核辐射食品对人体的危害	(76)
一、放射性物质的泄漏对食品安全的影响	(76)
二、核辐射危害剂量与人体反应	(77)
三、辐射污染所导致的临床症状和一些后遗问题	(80)
第六节 核辐射事件发生后公众的防护与应对	(80)
一、国际核事件分级标准及核灾害形成与发展的过程	(80)
二、核辐射事件发生后的防护措施	(81)
三、生活中预防核辐射的方法	(84)
第七节 日本核泄漏事件相关信息及各国对于此事件的反应	(87)
一、日本核电站事故会将哪些放射性物质泄漏到环境	(87)
二、日本食品安全委员会发布核事故食品安全指标	(88)
三、去年各国和地区对日本出口食品加强监测力度	(89)
四、世界各国对日本进口食品的反应及具体措施 ...	(91)
五、美国 FDA 关于核辐射污染的应对	(91)
六、世界卫生组织关于日本食品及饮用水安全性的相关问答	(101)

第七章 辐照食品与放射性污染食品的区别	(106)
附录 1 辐照食品安全调查问卷	(108)
附录 2 各国和地区食品辐照剂量比对表	(110)
附录 3 某检测机构对市场上辐照食品的检测结果 ...	(115)
附录 4 紧急事态中的铀分析方法及钚快速分析 方法	(131)
参考文献	(152)

第一章 辐照技术概论

第一节 辐照技术的定义

一、广义的辐照技术

(一) 定义

辐照技术，是利用射线与物质间的作用，电离和激发产生的活化原子与活化分子，使之与物质发生一系列物理、化学、生物化学变化，导致物质的降解、聚合、交联，并发生改性。这样，就为采用常规处理方法难以去除的某些污染物提供了新的净化途径。

(二) 应用领域

1. 用辐照技术处理生活污水和工业废水

在放射线的照射下，水分子会生成一系列具有很强活性的辐解产物，如 OH ， H ， H_2O_2 等。这些产物与废（污）水中的有机物发生反应，可以使它们分解或改性。该法可明显消除城市污水中的 TOC 、 BOD 、 COD ，并灭活污水中的病原体。用辐照法照射偶氮染料和蒽醌染料废水，可完全脱色； TOC 去除率可达到 80% ~ 90%； COD 去除率达到 65% ~ 80%。又如，木质素废水在充氧条件下用 γ 射线辐照，很容易被降解。

2. 用 γ 射线辐照处理固体废物

在固体废物的处理中,废塑料由于其难降解性,始终是一个棘手的问题。例如聚四氟乙烯,由于生化法无法分解,机械破碎困难,兼之在高温处理时产生大量有毒的氟化物,造成难以处置的局面。利用 γ 射线辐照与加热联用方法后,再以机械破碎,得到分子量不同的聚四氟乙烯蜡状粉末,可作为优良的润滑剂和添加剂。又如氯化聚乙烯在使用时会放出百倍的氯乙烯,因而被某些国家禁止使用,但它在经一定剂量 γ 射线照射后,即不再产生氯乙烯蜡状粉末,可作为优良的润滑剂和添加剂。再如污泥中含有大量的能量与生物价值,是优良的农田肥料和土壤改良剂,但由于含有大量病原体而不能被直接利用。堆肥化、热消毒或化学处理等方法的消毒效果均不十分彻底与稳定。用 γ 射线或电子束辐照,解决了上述问题,是一种很有前途的方法。德国、美国已建造了每天处理量达 1500t 污泥的辐照处理设备。

3. 用电子束处理废气

大气中, SO_x 与 NO_x 是主要的污染物。用通常的方法,例如以石灰喷雾法脱硫,用酸、碱吸收或催化还原法去除 NO_x 等,绝大多数会遇到成本过高或装置复杂的困难。应用电子束照射的方法,则不仅能降低运行难度和费用,而且由于在干燥条件下使用,不产生二次废水。日本原子力研究所曾用两台电子加速器作为照射源,在 80°C 下,加氨照射,辅以静电除尘去除生成的硫酸铵与硝酸铵,可同时去除 SO_x 与 NO_x 。该法目前已经在进行商业化运作。

二、食品辐照技术

(一) 定义

食品辐照是利用射线照射食品(包括原材料),延迟新鲜食

物某些生理过程（发芽和成熟）的发展，或对食品进行杀虫、消毒、杀菌、防霉等处理，延长保藏时间的操作过程。

由于食品辐照加工过程中无须对食品进行加热，所以又被称为“冷巴斯德杀菌法”。随着辐照食品化学的发展，辐照技术也越来越多地直接用于食品加工，以期改善食品的加工工艺，提高制品的食量和产量。

食品辐照技术属于和平利用的核技术。

食品辐照技术利用的辐照源包括 ^{60}Co 和 ^{137}Cs 产生的 γ 射线，5MeV以下的X射线，以及电子加速器产生的10MeV以下的电子束。

（二）食品辐照技术的起源和发展

辐照杀菌保藏技术最早出现在1930年，已收入美国专利集中。第二次世界大战以后，随着放射性同位素的大量应用和电子加速器的问世，食品辐照加工技术有了明显的发展，目前食品辐照加工技术已经成为食品工业的重要组成部分。

辐照食品技术的发展经历了漫长的岁月。早在伦琴发现X射线的第二年（1896年），Minck就提出了X射线对细菌的作用与实际应用问题；1898年第一次证明了X射线对病原菌有致死作用；1899年证实了它对寄生虫有致死作用。这些早期发现推动了电离辐照在粮食和其他农产品的辐照保藏方面的应用。20世纪50年代以前，辐照技术主要用于军事目的，加上人力、财力不足及缺乏大功率X射线机和大的辐射源，研究处于初级阶段，不够深入。

朗纳（Runnen）1916年证实，经X射线处理后的昆虫烟草甲不能繁殖。1953年，美国总统艾森豪威尔向联合国提出和平利用原子能计划。1955年，在日内瓦召开了第一届世界和平利用原子能大会。1957年，成立了国际原子能机构（IAEA）。这一阶段，公众对食品辐照持积极态度，科学界主要开展了辐照

杀虫、杀菌、抑制发芽、延长食品货架期条件（辐照剂量、产品成熟度、包装材料、温度、气体等）的研究。

20 世纪 70 年代，国际上掀起了反核运动，存在媒体信息误导和公众偏见等问题，而食品卫生部门也对其严格控制，食品加工、贸易部门持观望和消极态度。1976 年，FAO/IAEA/WHO 辐照食品联合专家委员会（JECFI）首次阐明食品辐照同热加工和冷藏一样，是一种物理过程，辐照食品卫生安全性评价应与食品添加剂与食品污染区别开来。同年，有 25 种辐照处理的食物在 18 个国家得到无条件批准或暂定批准，允许作为一般商品供食用。1980 年 10 月 27 日举行的辐照食物卫生安全联合专家委员会第四届专门委员会会议作出的结论是：“用 10kGy 以下的平均最大剂量照射任何食品，在毒理学、营养学及微生物学上都丝毫不存在问题，而且今后无须再对经低于此剂量辐照的各种食品进行毒性试验。”此结论推动了世界各国对辐照食品研究的热潮。

2003 年，国际食品法典委员会（CAC）在罗马召开第 26 届大会，通过了修订后的《辐照食品国际通用标准》和《食品辐照加工工艺国际推荐准则》，突破了食品辐照加工中 10kGy 的最大吸收剂量的限制，允许在不对食品结构的完整性、功能性和感官品质发生负面作用，不影响消费者健康安全的情况下，食品辐照剂量可高于 10kGy。

第二节 食品辐照技术的主要特点

一、食品辐照技术的优点

（1）采用高能和穿透力强的射线，能够穿透食品的包装材料和食品深层，具有很强的杀灭害虫和微生物的效果，对包装无严格要求。在不打开食品包装和不解冻的情况下，利用辐照

技术能够彻底杀虫灭菌，具有独特的技术优势。

(2) 产生的热量极少，是一种“冷处理”的物理方法，可保持食品原有的色、香、味等特性及食用品质，在冷冻状态下也能进行。食品辐照一般在常温下进行，辐照产生的热量很少，几乎不引起内部温度的升高，故能保持食品原有的风味和外观。如辐照马铃薯、大蒜、鲜蘑菇、新鲜水果等由于保持新鲜饱满，硬度好等优点，在市场上具有较强的竞争力。辐照加工技术特别适用于用传统热处理方法会使食品失去原有风味、芳香性和商品价值的食品，具有明显的技术优势。

(3) 能耗低。传统的食品和农产品保藏技术一般用冷或热加工。据国际原子能机构的统计分析，冷藏农产品每吨耗能90kW/h，热处理消毒达300kW/h，而农产品辐照灭菌保藏只需要6.3kW/h，辐照消毒每吨仅为0.76kW/h，与加热和冷藏处理相比，可节约能耗70%~90%。

(4) 食品辐照是物理加工过程，不需要化学药物，没有药物残留，放射性不污染环境，是一种安全的食品加工方法。

(5) 放射线辐射均匀、瞬间即逝，而且对其辐照过程和剂量可以进行准确控制。

(6) 一定的剂量（ $<5\text{kGy}$ ）照射不会使食品发生感官上的明显变化，即使使用高剂量（ $>10\text{kGy}$ ）照射，食品中总的化学变化也很微小。

(7) 应用范围广，有利于辐照装置的综合利用。由于射线的穿透力强可杀灭大小包装、散装、液体、固体干货、鲜果内部的病菌和害虫，对于一些难以进行加热、熏蒸、湿蒸杀菌的食品及药品尤其适用。

(8) 辐照加工可以优化食品的加工工艺，提高产品质量。例如：辐照牛肉更嫩滑，辐照酒可以提高陈酿度，辐照大豆易于消化吸收等。

(9) 辐照加工可杀灭沙门氏菌和寄生虫，改进食品卫生质