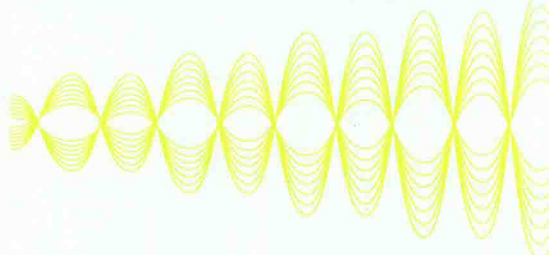




走进美丽的核科学世界系列

上海市核学会 组编

总主编 戴志敏



辐照技术

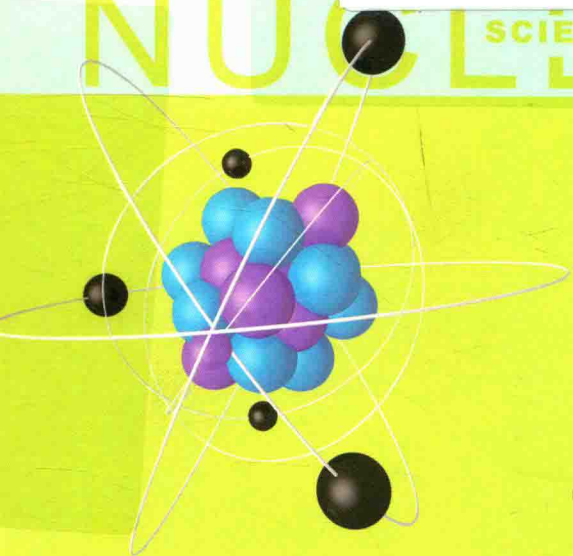
食品的安全卫士

戚文元 高美须◎主编



NUCLEAR SCIENCE

辐照让美食
更加安全



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



走进美丽的核科学世界系列

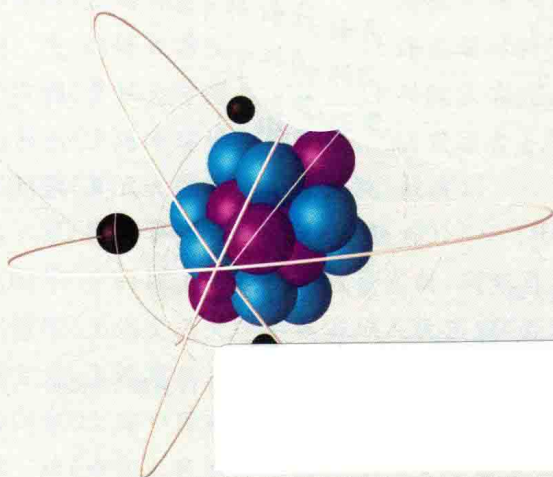
上海市核学会 组编

总主编 戴志敏

辐照技术

食品的安全卫士

戚文元 高美须◎主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书为“走进美丽的核科学世界系列”之一。主要内容分三部分,第一部分用三章的篇幅讲解了食品辐照技术,包括辐照技术简介、辐照技术所用的三种射线及其辐照装置、认识和应用辐照技术的过程,建立标准和法规体系以保障辐照技术的安全应用。第二部分用十章的篇幅介绍辐照在食品领域的应用,详细介绍了已有商业规模应用的九类辐照食品,分别是进出口农产品、葡萄干、大蒜、香辛料、小龙虾、泡椒凤爪、预制菜肴、航天食品、宠物食品,也简单介绍了辐照在食品领域的其他应用。第三部分即第14章,该章回顾了食品辐照的发展史,展望了食品辐照应用的未来。本书的读者对象为对食品加工技术和核技术和平利用有兴趣的消费者和食品加工工业人士。

图书在版编目(CIP)数据

辐照技术:食品的安全卫士/戚文元,高美须主编

. 1—上海:上海交通大学出版社,2022. 11

(走进美丽的核科学世界系列)

ISBN 978-7-313-27485-4

I. ①辐… II. ①戚…②高… III. ①食品辐照

IV. ①TS205.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 175192 号

辐照技术——食品的安全卫士

FUZHAO JISHU——SHIPIN DE ANQUAN WEISHI

主 编:戚文元 高美须

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:上海景条印刷有限公司

开 本:880mm×1230mm 1/32

字 数:129 千字

版 次:2022 年 11 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-27485-4

定 价:58.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:5.75

印 次:2022 年 11 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-59815621

走进美丽的核科学世界系列

丛书编委会

总主编

戴志敏(中科院上海应用物理研究所所长、上海市核学会理事长,研究员)

编委(按姓氏笔画排序)

马余刚(复旦大学现代物理研究所,教授、中国科学院院士)

支敏(中科院上海应用物理研究所,研究员)

田林(上海核工程研究设计院,研究员级高工)

吕战鹏(上海大学材料科学与工程学院,研究员)

许道礼(中科院上海应用物理研究所,研究员)

孙扬(上海交通大学物理与天文学院,教授)

李景焯(上海师范大学化学与材料科学学院,研究员)

余飞(同济大学附属第十人民医院,教授)

宋少莉(复旦大学附属肿瘤医院,教授)

陆书玉(上海市环境科学学会,教授级高工)

郑向鹏(复旦大学附属华东医院,教授)

赵军(上海市东方医院,主任医师)

赵明华(中科院上海应用物理研究所,研究员)

赵晋华(上海交通大学附属第一人民医院,教授)

戚文元(上海市农业科学院,研究员)

康向东(上海中医药大学附属普陀医院,教授)

韩玲(中国人民解放军海军军医大学海军医学系,教授)

颜崇淮(上海交通大学医学院附属新华医院,教授)

本书参编人员

参编人员(按拼音顺序排列)

白 婵 曹 宏 邓刚桥 冯 敏
高美须 高 鹏 黄 敏 孔秋莲
李秉然 廖 涛 戚文元 王海宏
肖 欢 徐远芳 颜伟强 岳 玲
张海伟 郑 琦

总 序

核科学的发展起源于物质放射性的发现。1896年法国物理学家贝可勒尔发现铀的天然放射性后,迅速引起了一大批科学家的极大兴趣,他们为揭示物质组成的奥秘而展开了一场空前的竞赛。

居里夫妇系统地研究了当时已知的其他所有元素,发现铀与钍及其化合物都具有天然放射性,并发现了比铀放射性更强的元素钋与镭。他们于1898年发表了研究成果,证实了能够发射射线是放射性元素的特性。由于放射性的发现,居里夫妇与贝可勒尔分享了1903年的诺贝尔物理学奖。就在居里夫妇发现镭的当年(1897年),英国物理学家汤姆孙发现了电子,并因此获1906年的诺贝尔物理学奖。随后,汤姆孙的学生卢瑟福证实了由放射性衰变产生的 α 射线就是高速运动的氦原子核,为此获1908年的诺贝尔化学奖。1919年,卢瑟福利用人工核反应发现了质子,并预言了中子的存在,该预言于1932年为其学生查德威克所证实,查德威克因发现中子而获得了1935年的诺贝尔物理学奖。汤姆孙、卢瑟福、查德威克的发现揭示了原子核的存在,从此人类开启了对原子核结构性质与应用的研究。

1938年,德国物理学家哈恩在实验中发现了铀原子核的裂变现象。随后,被誉为“原子弹之母”的莉泽·迈特纳在遭受纳



粹迫害流亡他乡的路途中运用爱因斯坦的质能方程给出了核裂变实验及其释放巨大能量的解释。哈恩因发现核裂变获得了1944年的诺贝尔化学奖。1942年,意大利著名物理学家费米在美国芝加哥大学实现了人类历史上第一个核裂变链式反应,人类深入研究与利用核能的历史帷幕自此拉开。核能的发现首先被用于军事,第二次世界大战期间,德国的“纳粹核计划”催生了美国的“曼哈顿计划”,最终核武器首先在美国研制成功。我国分别于1964年、1967年和1974年拥有了自己的原子弹、氢弹与核潜艇,由此拥有了战略核力量并建立了完整的核燃料循环体系。

从物质深层结构的探索到核技术的广泛应用,核科学在20世纪初开始蓬勃发展,成为20世纪人类最重大的创造之一。随着学科间的交叉融合,核科学技术在核物理、反应堆、加速器、核电子学、辐射工艺、核农学、核医学、核材料,以及环境、生物、考古、地质与国防安全等领域广泛应用,与人类的生存和发展息息相关。

核能是目前世界上清洁、高效、安全并可规模化应用的绿色能源之一,在人类开发新能源的征程中,核能对保障人类的生存发展和维护国家地位与安全发挥了重大作用。当下,核能应用水平已成为衡量综合国力的一项重要指标,也是当前各国解决能源不足问题和应对气候变化的重要战略。在确保安全的前提下,积极有序地发展核能对我国确保能源长期稳定供应及实现2060年碳中和目标尤为重要。核科学备受人们关注的另一个重要应用是面向人民生命健康的核医学。作为核裂变副产品的放射性同位素可以用来诊断和治疗肿瘤,以及心血管、甲状腺、骨关节和其他器官疾病;核标记免疫分析让病变无处遁形;基

于粒子加速器的质子、重离子治疗可以有效杀死癌细胞而对正常细胞影响很小,是精准医学诊治领域不可或缺的工具;核技术还可破译中医药千年“密码”,为人类健康保驾护航。在农业上,辐射育种可获得优良品种;辐照保鲜不仅可以提高农产品与食品的质量,而且可以延长其储藏时间,成为食品的安全卫士。另外,辐射加工可以使各类材料改性从而获得优质性能;还可用于医疗器材消毒、环境污染物处理等,能极大地改善人们的生存环境。形形色色的粒子加速器则是各类辐射粒子源的“加工厂”,是研究核科学、发展核技术的重要手段。

然而,由于公众对核科学缺乏基本的认识,再加上一些误导和不恰当的宣传,“恐核”现象依然存在。因此,核科学知识亟待普及。

上海市核学会一直致力于核科学技术的传播与推广,组织编写和出版过一系列学术专著及科普丛书。在学术专著方面,近年来,原理事长杨福家先生作为总主编的“核能与核技术出版工程”已出版近30种图书,入选了“十二五”与“十三五”国家重点图书出版规划项目;其中,原理事长赵振堂先生主编的子系列“先进粒子加速器系列”是本丛书中的特色系列,得到了国家出版基金的支持;另外,丛书中部分英文版图书已输出至国际著名出版集团爱思唯尔与施普林格,在学术界与出版界都取得了良好的社会效益。在科普书方面,上海市核学会曾在20世纪80年代组织编写过一套核技术丛书,主编由时任上海市核学会理事长的张家骅先生担任,当时对普及与推动核技术应用起到了积极作用。40年过去了,核技术有了更多更新的发展,应用领域不断拓展,核科普宣传也应该顺应时代发展,及时更新知识。经与上海交通大学出版社多次讨论,上海市核学会决定启动新



时代的核科普丛书“走进美丽的核科学世界系列”的编撰工作。本科普丛书的编写队伍由上海市核学会各专业分会学者、高级科普专家,以及全国核科学领域爱好科普宣传的优秀学者联合组成。丛书按不同主题划分为不同分册,分别介绍核科学的基础研究以及在各个领域的应用。丛书运用大众能接受的语言,并辅以漫画或直观图示,将趣味性、故事性、人文历史元素与具体科学研究的产生、发展和应用融合在一起,展现科学、思想方法的过程美,突出核科学技术的应用美。希望本丛书的出版能让大众真正认识和理解核科学,并且发现核科学的“美”,从而提高科学素养,走近核科学,受益于核科学,推动核科学更好地为人类服务。

2021年3月

前 言

2020年初,突如其来的新冠疫情掀起了一场没有硝烟的战争,至今仍未结束。疫情初始,各种物资紧张,特别是医务人员的防护服、手术衣及乳胶手套等严重告急。虽然生产厂家加班加点日夜赶工,但由于常规消杀灭菌需要7~14天,灭菌时间过长成了“卡脖子”的问题。在这关键时刻,辐照技术发挥了独特优势——只需数小时就能完成灭菌工作。国家同位素与辐射行业协会和相关部委紧密配合,快速制定应用标准。全国数百个辐照站闻令而动,在短短的15天内就完成了139万套医用防护服和大量医用物资的消杀灭菌。这些物资被紧急运往抗疫一线,为疫情防控赢得了时间。

多家媒体及时报道了辐照灭菌参与抗疫的事件,后续相关辐照单位与企业得到各级政府的抗疫表彰,辐照消杀灭菌技术因此进入了更多百姓的视线。

你也许是由此才知道辐照杀菌技术的,是不是还很担心“辐照”使用是否安全?如果说辐照技术还可以用在食品上,杀灭食品上的虫和菌,并且已经成为我们生活中的食品安全卫士,你是不是更惊讶?

辐照加工除了可用于医疗产品灭菌加工,还有许多其他应用,如农业辐照技术培育新品种,辐照交联加工热缩材料,食品



辐照除虫、消毒、灭菌,其中,与我们最息息相关的是食品。辐照技术加工的食品多种多样,如泡椒凤爪、调味粉、葡萄干等休闲食品都是采用辐照技术杀菌除虫的。辐照技术既保证了食品的安全,也可延长储藏期,可以说辐照食品是我们生活中“熟悉的陌生人”。本书将介绍食品辐照技术的发现、发展和在食品领域的应用。接下来,就跟随我们的食品安全小卫士——辐安安,来一次走近食品辐照、了解辐照食品的时空之旅吧!

本书由戚文元、高美须主持编写。各章撰写人员如下:第1章,高美须、戚文元;第2章,高美须、白婵、孔秋莲、颜伟强;第3章,高美须、戚文元;第4章,李秉然;第5章,岳玲、颜伟强;第6章,王海宏、颜伟强;第7章,张海伟;第8章,廖涛;第9章,高鹏、黄敏;第10章,肖欢、曹宏;第11章,徐远芳、邓钢桥;第12章,冯敏;第13章,郑琦;第14章,高美须、戚文元。

本书中辐安安和食品辐照射线三兄弟及相关插画由东华大学孙睿设计制作。

由于编者水平有限,书中存在的不足与疏漏之处,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章	认识食品辐照与辐照射线三兄弟	001
	食品辐照——利用高能射线处理食品	002
	食品辐照的射线三兄弟	003
第 2 章	食品辐照装置——射线兄弟的家	010
	γ 射线的家——钴源辐照装置	011
	电子束的家——电子束辐照装置	021
	X射线的家——X射线辐照装置	032
第 3 章	全方位保障辐照食品安全	036
	严选辐照源,保障无忧辐照	036
	科学评估,保障辐照食品安全	039
	明确标识,保障消费者知情	041
	谨慎对待,保障技术推进安全可靠	042
	高科技检测,保障辐照食品有迹可查	044
	建立法规和标准,保障辐照食品有规可循	048



- 第 4 章 进口农产品辐照——守卫国门的“安全锁”·····053
- 检疫和植物检疫·····053
 - 辐照——植物检疫中的好帮手·····056
 - 辐照处理在检疫领域的发展·····057
 - 检疫辐照处理的安全性·····059
 - 辐照打败了臭名昭著的芒果果核象甲·····061
- 第 5 章 葡萄干辐照——“开光”后的新生·····063
- 葡萄干——葡萄涅槃后的精华·····063
 - 葡萄干的忧愁与求助·····067
 - 辐照——葡萄干的护卫天使·····069
- 第 6 章 大蒜辐照——抑芽“催眠师”·····071
- 大蒜——人类健康的“守护者”·····071
 - 休眠的“守护者”醒来了·····073
 - 辐照——大蒜的催眠师·····075
 - 大蒜辐照抑芽的商业化应用·····079
 - 大蒜辐照应用前景·····081
- 第 7 章 香辛料辐照——“调味圣手”的秘密武器·····083
- 香辛料——饮食江湖的“调味圣手”·····083
 - 香辛料的十八般武艺·····084
 - 香辛料与辐照的传奇·····085

- 第 8 章 小龙虾辐照——“杀菌”手术刀.....093
- 国民“夜宵之王”——小龙虾.....093
 - 小龙虾的美味与风险.....095
 - 辐照出手,高效杀菌.....098
 - 小龙虾辐照的现状与发展.....100
- 第 9 章 泡椒凤爪辐照——王者的护卫.....101
- 休闲肉制品——营养美味的居家旅行良品.....101
 - 泡椒凤爪——休闲肉制品中的王者.....102
 - 泡椒凤爪与辐照技术不可不说的故事.....103
 - 泡椒凤爪辐照——快速发展的加工产业.....105
- 第 10 章 预制菜肴辐照——解放双手的“神器”.....109
- 传统美食觅佳偶.....109
 - 辐照铸就“水晶宫”——水晶肴肉.....110
 - “蟹狮”见照变“家猫”——蟹粉狮子头.....113
 - 携手传递美食缘——扬州盐水鹅.....117
- 第 11 章 航天食品辐照——美味的翅膀.....121
- 中国人的千年“飞天梦”.....121
 - 舌尖上的太空饮食.....123
 - 航天食品的安全与辐照.....125
 - 中国特色的航天食品.....130



第 12 章 宠物食品辐照——安全小卫士..... 133

宠物食品——宠物朋友需要的安全口粮..... 134

辐照——宠物食品的安全小卫士..... 137

没有规矩,不成方圆——宠物食品辐照标准..... 141

第 13 章 辐照在食品领域的其他应用..... 144

辐射育种——新品种的培育..... 144

废水处理——环境保护的新方向..... 151

农药残留处理——农产品安全的保障..... 152

稳定同位素溯源——造假食品的克星..... 153

第 14 章 食品辐照的发展及展望..... 155

食品辐照百年发展史..... 155

助力安全,辐照技术值得更多期待..... 164

第 1 章

认识食品辐照与辐照射线三兄弟

用核技术服务于人类,和平利用核技术,是人类探索研究核技术的初心。食品辐照技术是核技术和平利用的重要领域,是一种安全、卫生、经济有效的食品加工技术。从 20 世纪 70—80 年代起,国内外高度重视食品辐照技术,国际组织如联合国粮农组织(FAO)、国际原子能机构(IAEA)和世界卫生组织(WHO)

大家好!
我叫辐安安,
又名食品安全小卫士,
今天我来给大家讲讲辐照
与食品的故事。





都积极鼓励和支持食品辐照技术的研究和应用,到目前为止,食品辐照已在包括我国在内的几十个国家实现了商业化应用,已经成为一门迅速发展的新型食品加工产业。

食品辐照——利用高能射线处理食品

食品辐照的原理就是利用电离辐射产生的射线处理食品。电离辐射在食品中产生辐射效应,从而达到抑制种子发芽、延迟或促进成熟、防腐、杀虫、灭菌等目的。与液态乳常用的巴斯德灭菌法以及罐装食品常用的加压蒸气灭菌法类似,食品辐照技术利用电离辐射的目的也是杀灭食品中可能导致食源性疾病的细菌和寄生虫。因此,从食品安全角度而言,食品辐照是一种可以预防食源性疾病的安全有效的灭菌保鲜技术。

说到食品加工技术,我们最熟悉的应该就是热杀菌技术了。与热杀菌处理相比较,食品辐照处理有以下优点:

(1) 可以处理包装好的食品。由于射线穿透力强,被加工食品可先经过包装、罐装密封和装箱打包后再进行辐照,这样可以有效地保持杀菌的效果,避免食品包装过程中所造成的二次污染。

(2) 可以对冷冻冷藏的食品进行减菌处理。食品辐照是一种“冷加工”技术,可以在食品冷藏冷冻状态下处理产品。在我国冷链储存运输越来越普及、人民消费即食食品越来越多的今天,辐照技术更有优势。比如冷冻的食品,特别是化冻后直接食用的食品,只有辐照杀菌才可以保障食用的安全性。

(3) 营养成分损失小。辐照杀菌时温度基本没有变化,被加工后的食品风味、营养成分和外观变化较小,特别适合对热处