

食品辐照加工 原理与技术

施培新
主编



中国农业科学技术出版社

食品辐照加工原理与技术

施培新 主编

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国农业科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

食品辐照加工原理与技术/施培新主编. —北京:中国农业科学技术出版社, 2004. 9

ISBN 7 - 80167 - 705 - 6

I. 食… II. 施… III. 食品贮藏 - 辐射保鲜 IV. TS205.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 095724 号

责任编辑
责任校对
出版发行

经 销
印 刷
开 本
印 数
版 次
定 价

闫庆健

马丽萍 贾小红

中国农业科学技术出版社 邮编:100081

电话:(010)62187620;62173607;传真:68919698

新华书店北京发行所

北京长宁印刷有限公司

889mm × 1194mm 1/16 印张:24.75

1 ~ 1 000 册 字数:749 千字

2004 年 9 月第一版, 2004 年 9 月第一次印刷

90.00 元

《食品辐照加工原理与技术》

编委会及编撰人员

主 任 吴季兰

编 委 (按姓氏笔画顺序排列)

王子文 孙中发 许德春 李承华 吴季兰

陈其勋 林 音 施培新 徐志成 黄 彬

戚生初 谢宗传

主 编 施培新

副主编 林 音 徐志成 陈其勋

主 审 孙中发

编著者 (按姓氏笔画顺序排列)

李承华 中国计量科学院

许德春 黑龙江省农业科学院原子能利用研究所

陈其勋 四川省原子核研究所

林 音 中国农业科学院原子能利用研究所

施培新 中国农业科学院原子能利用研究所

徐志成 上海原子核研究所

戚生初 北京大学

谢宗传 江苏省农业科学院原子能利用研究所

前 言

食品辐照加工技术是在核技术农业应用的基础上发展起来的一门科学技术,并广泛应用于农产品和食品的储藏保鲜,为农业生产和食品加工的发展作出了积极的贡献。

为了总结和反映我国食品辐照技术的发展与成就,根据国家“九五”科技攻关“食品辐照商业化加工工艺研究”项目中任务的要求,编者组织了全国长期从事辐照加工研究与教学的部分专家、教授组成编委会和编撰组,共同编写了《食品辐照加工原理与技术》一书。

全书内容包括:食品辐照的发展与商业化;食品辐照基本原理;辐照食品卫生安全性;辐照装置;食品辐照的剂量学原理,辐照工艺与辐照质量控制;辐射防护和防护剂量学;辐照食品的分析检测方法;辐照食品包装;谷物、豆类及其制品的辐照杀虫技术应用;干果、果脯的辐照杀虫灭菌技术应用;水果、蔬菜的辐照保鲜技术应用;生的禽肉、畜肉的辐照保鲜技术应用;熟畜禽肉类食品辐照灭菌保鲜技术应用;鱼、贝类水产品辐照灭菌技术应用;脱水蔬菜、调味品及茶辐照灭菌技术应用;饲料辐照的灭菌技术应用等。

本书共 17 章:第一章、第二章由施培新编写,第三章、第十六章由陈其勋编写;第四章、第五章、第六章、第七章由李承华编写,第八章由戚生初编写,第九章、第十四章由谢宗传编写,第十章、第十一章、第十七章由林音编写,第十二章由许德春编写,第十三章、第十五章由徐志成编写。

本书在编写过程中,遵循理论联系实际的原则,重点介绍了食品辐照加工技术的基本理论、基本概念和基础知识与实用技术,并吸收了国内外食品辐照加工技术的新发展、新成果。这是一本我国食品辐照加工领域中较为全面的理论性与实用性著作。

本书力求全面反映我国食品辐照加工技术应用的发展和科学水平,但限于编者水平和多人执笔等原因,有错漏和不妥之处,敬请有关专家和广大读者批评指正。

编者

2003 年 8 月

序 言

食品辐照研究始于 20 世纪 40 年代,迄今已有 60 年的历史。

1980 年 12 月,FAO/IAEA/WHO 辐照食品卫生安全联合专家委员会得出的结论是:在 10kGy(1 百万拉特)剂量以下辐照处理的食物无毒,不需再做毒理试验,无特殊营养和微生物学问题。

1984 年食品法典委员会(CAC)向成员国建议辐照食品 CAC 标准及辐照食品设施推荐规程。

虽有上述结论,但各国在推广辐照食品方面仍显得极其严格和谨慎。20 世纪 80 年代约有二十几个国家在推广辐照食品,各国批准的项目仅一种或数种,这一阶段也可以认为是辐照食品商业化的准备阶段;各国开始建立规程、法规、标准和市场试验。

20 世纪 90 年代,是辐照食品商业化起步阶段。至今,全球 60 余年的研究确认, γ 射线、电子束加工食品可以保障食品质量、延长货架期等,为一种安全的、无污染的物理加工冷过程。如英国解除了对辐照食品的禁令,允许以 γ 射线、电子束处理食品作为向消费者提供安全食品的一种方法。迄今,全球已有 41 个国家批准了 232 种辐射加工食品,尤其是美国、荷兰、法国等发达国家辐射加工食品的产量与品种逐年上升。1997 年 12 月美国 FDA 批准了用辐照控制新鲜、冷冻红肉类中病原微生物,大大推动了全球辐照食品商业化进程。此前,美国已批准用辐照控制家禽、猪肉中的旋毛虫,控制水果蔬菜和谷物中的昆虫,控制香料调味品和干燥酶制品中微生物等。

辐照食品商业化加速,与消费者对辐照食品的了解和认可直接有关,也和环境保护有严格要求密切相关,如杀虫剂二溴化乙烷(EDB)被禁用、溴甲烷(MB)将于 2005 年在发达国家禁用。使用 γ 射线与电子束灭虫与检疫技术,无疑将提供极佳的选择。

我国食品辐照的研究,始于 1958 年。在 20 世纪 80 年代,我国对辐照食品采取的是积极与慎重态度。前国家科委连续 15 年组织了辐照食品安全性研究的攻关任务。在此基础上,1997 年卫生部发布了 6 类辐照食品国家标准。以“类别”批准,标志着我国政府有关部门结合国际研究成果与我国 15 年的系统研究,认为正确使用辐射加工的食品是安全的。此后,科技部“九五”攻关计划中组织了关于食品辐照商业化加工工艺研究,2002 年国家质检总局批准了 17 种辐照食品加工工艺标准,进一步将辐射加工食品纳入 HACCP(危害分析与关键控制点)与质量管理体系,与国际接轨。目前,我国辐照农产品年加工量约为 10 万 t 左右,约为农产品总量的万分之一,加工潜力颇大。总之,我国已全面和深入地研究了辐照食品安全性的评价并立了法,建立了从辐照工艺剂量控制,检测方法到建造大型设备等完整的配套技术体系和相应的培训体系,生产潜在能力亦是巨大的。

面对国内外发展情况,为了促进食品辐照在我国有较快发展,迫切需要培养一批这一高新技术领域的科技工作者和管理人员,为此“九五”科技攻关课题计划中确定了编写《食品辐照加工原理与技术》一书的任务。

编写本书提纲时,编委会考虑到下列诸点:

(1)食品辐照技术是涉及多门学科的综合性的技术,并非单纯的“辐照一下”。

(2)食品辐照虽有 60 年的研究历史,但仍有很多问题值得深入研究,如辐照改善食品的品质,辐照味的抑制,农药污染的辐射分解,辐照对真空包装食品细菌平衡分布的影响等。解决这些问题将会进一步拓宽应用面。

(3)适用对象:本书既可作培训教材,也可作为大学相关专业选修课及研究人员的参考书。

本书取材较丰富,既包含了与辐照食品有关的原理与基础知识也包含了辐照食品安全性论证,食品辐照加工的质量管理及政策、法规等。书中对具体类别食品的研究现状和工艺规范作了详细综述,全书由浅入深力求做到既有理论又有实践,既可作培训教材及相关专业大学教材,也可供相关研究参考。

在编写过程中,书稿虽经主编施培新研究员与编委会专家多次讨论与修改,但因涉及面广,内容难免有不当之处,务请读者不吝指正。

吴季兰

2003 年 2 月

目 录

前 言 序 言

第一章 食品辐照概述	(1)
一、食品辐照加工的发展和现状	(1)
二、食品辐照加工的地位和作用	(3)
三、食品辐照商业化	(3)
第二章 食品辐照原理	(10)
一、食品辐照的物理学原理	(10)
二、食品辐照的化学原理	(14)
三、食品辐照的生物学原理	(30)
四、剂量效应曲线与靶学说	(38)
五、电离辐射的生物学效应	(39)
六、食品辐照的主要效应	(45)
第三章 辐照食品的卫生安全性	(53)
一、感生放射性和放射性污染	(53)
二、食品主要成分的辐射化学和营养卫生学	(54)
三、辐照对食品中生物活体的影响	(61)
四、毒理学	(64)
五、FAO/IAEA/WHO 对辐照食品卫生安全性的评价	(77)
六、辐照食品的卫生标准	(80)
第四章 辐照装置	(85)
一、辐射源	(85)
二、辐照装置	(88)
第五章 食品辐照剂量学	(102)
一、剂量学基础	(102)
二、剂量测量的原理和方法	(105)
三、实用剂量学	(116)
四、剂量测量的标准化、法制管理与测量质量保证	(126)

第六章 辐照工艺与辐照质量控制	(131)
一、辐照工艺	(131)
二、辐照质量控制	(141)
三、危害性分析和关键控制点系统	(143)
四、食品辐照的法制管理	(144)
第七章 辐射防护和防护剂量学	(148)
一、辐射防护	(148)
二、辐照装置运行中的辐射安全	(159)
三、辐射防护剂量监测	(163)
四、辐照事故的预防与处理	(169)
第八章 辐照食品的分析检测方法	(171)
一、利用辐射在食品成分上产生的化学效应检测辐照食品	(171)
二、利用辐照形成的长寿命自由基检测辐照食品,电子自旋共振(ESR)法	(184)
三、利用热释光和化学发光技术检测辐照食品	(190)
第九章 辐照食品包装	(197)
一、概述	(197)
二、辐照食品包装材料和容器	(201)
三、辐照食品包装技术和配套机械	(208)
四、辐照食品包装装潢	(212)
第十章 谷物、豆类及其制品辐照杀虫	(218)
一、谷物、豆类辐照杀虫技术的应用	(218)
二、我国主要储粮害虫及分类	(221)
三、影响辐照杀虫效果的因子	(226)
四、谷物、豆类辐照杀虫工艺及技术关键	(233)
第十一章 干果、果脯的辐照杀虫杀菌	(247)
一、我国干果、果脯生产概况	(247)
二、干果、果脯的辐照杀虫及应用	(248)
三、干果、果脯辐照杀菌的应用	(258)
第十二章 水果、蔬菜的辐照保鲜	(264)
一、水果、蔬菜辐照处理的目的	(264)
二、水果、蔬菜辐照保鲜机理	(266)
三、水果、蔬菜辐照保鲜技术的关键	(269)
四、水果、蔬菜辐照保鲜技术与其他技术综合处理	(278)
五、辐照对水果、蔬菜营养成分的影响	(281)
六、水果、蔬菜辐照保鲜工艺流程	(284)

七、水果、蔬菜辐照保鲜研究国内外进展	(286)
第十三章 生的畜肉、禽肉辐照保鲜	(290)
一、生的畜肉、禽肉辐照处理的目的	(290)
二、肉类的成熟过程与腐败	(294)
三、辐照对病源性寄生虫的杀灭效果	(298)
四、辐照对各种致病菌的杀灭效果	(301)
五、辐照杀灭腐败性微生物的效果	(308)
六、辐照加工的前处理要求	(309)
七、肉类辐照处理时的质量控制	(311)
八、国内外肉类产品辐照研究进展	(314)
第十四章 熟畜禽肉类食品辐照保鲜	(318)
一、辐照熟畜禽肉类食品的目的	(318)
二、辐照杀菌剂量	(322)
三、品质评价	(326)
四、辐照工艺和关键技术	(331)
五、应用举例	(337)
第十五章 鱼、贝类水产品的辐照杀菌	(346)
一、辐照处理的目的	(346)
二、辐照对水产品中寄生虫的杀灭效果	(349)
三、辐照对水产品中各种致病菌和病毒的杀灭效果	(350)
四、辐照杀灭腐败菌延长水产品货架期的效果	(351)
五、辐照水产品的卫生安全性	(353)
六、水产品辐照处理过程中的质量监控	(355)
七、国内外水产品辐照保鲜技术应用概况	(356)
第十六章 脱水蔬菜、调味品、干香料和茶的辐照杀菌	(359)
一、我国脱水蔬菜、调味品、干香料和茶的生产状况	(359)
二、脱水蔬菜、调味品、干香料和茶辐照杀菌技术研究的概况	(361)
三、辐照脱水蔬菜、调味品、干香料和茶杀菌工艺及技术关键	(368)
四、国内外辐照批准情况和商业化现状	(371)
第十七章 饲料辐照杀菌	(375)
一、饲料杀菌的意义	(375)
二、饲料辐照杀菌的优点及其应用	(376)
三、饲料辐照杀菌工艺	(382)

第一章 食品辐照概述

食品辐照加工是核技术应用的重要领域,它利用 γ 射线、X射线以及电子束等电离辐射射线与物质作用产生的物理效应、化学效应和生物效应,达到杀虫灭菌、防止霉变、提高食品的卫生质量、保持营养品质及风味及延长货架期的目的。由于食品辐照加工具有低能耗、无污染、无残留,处理食品卫生安全和冷加工等优点,在国内外已被广泛应用,正逐步形成一门新兴的辐照加工产业。

一、食品辐照加工的发展和现状

食品辐照起源,可以追溯到1896年。在1895年伦琴发现X射线后,次年就发现X射线的杀菌作用,人们很快就利用射线来杀死食品中的病原微生物和昆虫,进行食品加工储藏的研究。从1943年美国麻省理工学院B. E. Proctor按照陆军后勤部的合同,首先用射线对汉堡包处理的研究开始,至今已有近60年的研究史。这几十年的发展,归纳起来可以分成3个主要阶段,即技术研究阶段、卫生安全研究阶段、工业规模辐照和商业化应用阶段。

(一) 技术研究阶段

从20世纪50年代开始,国际上许多国家对食品辐照相继开始进行大规模技术研究,包括:美国、前苏联、英国、荷兰、中国、法国、丹麦、德国、加拿大、日本、匈牙利、意大利、智利、乌拉圭、秘鲁、阿根廷、孟加拉国、印度等。国际原子能机构(IAEA)也积极参与组织和支持这些研究工作,并相继召开了一系列的会议。

从20世纪60年代开始,许多国家开始进行辐照食品的卫生安全性研究工作。

(二) 卫生安全研究阶段

在1970年,由24国签订协议,制定了国际食品辐照计划(IFIP)。此计划由FAO(联合国粮农组织)IAEA(国际原子能机构)主持,世界卫生组织(WHO)参加制定。该计划的目的是进行辐照食品卫生安全性的研究,制定和审查卫生安全性试验方案。1976年FAO/IAEA/WHO辐照食品卫生安全性联合专家委员会(JECFI),根据IFIP的研究结果并审阅了大量国际研究资料后,明确提出食品辐照过程,实质上是一种物理过程。正如热加工和冷藏一样。因此,辐照食品卫生安全性评价所提出的问题,应该与食品添加剂和污染所遇到的问题区别开来,并作不同处理,不存在“每日允许摄入量”和“安全系数”等问题。这个观点的提出使辐照食品的工作取得重大进展,在国际上具有较大影响。1980年FAO/IAEA/WHO在日内瓦再次召开JECFI会议,根据长期的毒理学、营养学和微生物学资料及辐射化学分析结果,得出结论:“任何食品当其总体平均吸收剂量不超过10kGy时没有毒理学危险,不再要求做毒理学试验,同时在营养学和微生物学上也是安全的”。这个结论也称之为“国际安全线”,并在1980年12月由3个国际组织发表公报。根据这些研究结论,国际食品法典委员会(CAC)经研究后,于1983年正式向世界各国发表了“食品辐照通用标准”及其附件,并要求各国参照此标准制定相应的标准规范。这一阶段长达10多

年。世界卫生组织在 1999 年第 890 号报告中,公布了由 FAO/IAEA/WHO 三个组织联合研究组的报告,证明超过 10kGy 以上的剂量辐照食品,也不存在安全性的问题,依据这一结论,食品法典委员会(CAC)目前正在审议,修订 1983 年颁布的辐照食品通用标准。这一修改标准的颁布和实施将极大推动辐照食品的应用进程。

(三)工业规模辐照和商业化应用阶段

从 1984 年开始到 1999 年,近 15 年的时间 FAO/IAEA/WHO 联合组成的国际食品辐照咨询组(ICGFI)先后组织了 4 个阶段的研究工作:食品辐照技术的研究及合作,食品辐照的技术转移,食品辐照在亚洲区域的加工管理及辐照食品的市场开发和商业化等工作,包含了从食品辐照技术研究到工业规模辐照和商业化应用。近年来,ICGFI 又积极制定了一系列的法规、规范,以保证食品辐照技术的规范化,保证食品辐照国际贸易的正常开展。我国参加了 3 个阶段的研究工作。

近年来,食品辐照加工在国内外均有重大的发展,据 FAO/IAEA/WHO 1998 年公布的统计报告,全世界已有 41 个国家批准辐照食品 232 种,年市场销售总量达 30 万 t 左右,食品辐照加工已经被列为国际的重点推广项目。随着辐射加工产业化的不断推进,我国工业规模辐照装置,已超过 55 座,设计总装源量为 40MCi(1.48×10^{18} Bq),现装源量约为 18MCi(6.7×10^{17} Bq),全国辐射加工用电子加速器约 52 台,总功率近 3 000kW。这些装置辐射加工总产值超过人民币 70 亿元。

我国食品辐照研究始于 1958 年,在中国科学院同位素应用委员会的组织下,开展了辐射保藏粮食的研究,取得了初步结果。1977 年 11 月国家科委五局在成都召开了“第一次全国辐照保藏食品专业座谈会”,对我国辐照食品的研究起了巨大推动作用。40 多年来,我国已有数百个科研单位和高等院校,先后开展了辐照马铃薯、洋葱、大蒜、蘑菇、板栗、蔬菜、水果、鲜猪肉、牛羊肉、鸡鸭肉及其制品、水产、鲜蛋、酒和中成药、中药材等的试验研究,取得了一批成果。辐照食品的研究,已具有一定规模,拥有一批专业科技人员和先进的仪器设备。在国家科委的支持下,连续十多年组织开展了辐照食品卫生安全性的研究。到 1994 年止,我国卫生部已经先后批准了 18 种辐照食品的卫生标准(马铃薯、洋葱、大蒜、香肠、稻谷、苹果、花生、蘑菇、扒鸡、花粉、果脯、生杏仁、番茄、猪肉、荔枝、蜜橘、薯干酒、熟肉)。在 1996 年颁布了“辐照食品管理办法”;1997 年又公布了 6 大类食品的辐照卫生标准。在“九五”计划期间“食品辐照商业化加工工艺研究”列入国家攻关项目,并在上述研究工作的基础上又制定了 17 个产品的辐照加工工艺标准。这一标准已经国家质检总局批准,成为国家标准并于 2002 年 3 月开始执行。我国辐照食品正逐步纳入法制管理的轨道,并为我国辐照食品与国际接轨,确保辐照食品质量,为食品辐照行业健康发展创造了良好的条件。我国辐照食品研究、国际合作与交流也取得了重大进展,1984 年我国正式加入国际原子能机构(IAEA),1994 年加入国际食品辐照咨询组(ICGFI),先后承担 IAEA 食品辐照研究合同(协议)和技术援助项目 10 多项,扩大了我国在国际上的影响。食品辐照产生的社会效益和经济效益日益显著,我国食品辐照的成果赢得了国际同行的广泛赞誉,在辐照食品品种、数量、法规和宣传教育等方面进入世界前列。据不完全统计,累计全国辐照食品数量已近 60 万 t。辐照食品应用广泛,发展迅速,已进入了工业规模生产和商业化应用的阶段。

1999 年 FAO/IAEA/WHO 高剂量研究小组在 WHO 890 号报告中宣布:超过 10kGy 高剂量辐照食品也是安全的结论。从 1998 年开始,国际辐照食品咨询组(ICGFI)根据上述研究结果,对食品辐照通用标准进行修改。明确提出了“对任何食品的辐照,应在规定的剂量范围内进行,其最低剂量应大于达到工艺目的所需的最低有效剂量,最大剂量应低于综合考虑食品的卫生安全,结构完整性,功能特性和食用品质所确定的最高耐受剂量”。这些修改意见待 CAC 批准后,将作为世界贸易中食品辐照的通用准则,并将促进辐照食品的应用。

二、食品辐照加工的地位和作用

食品辐照加工是一项安全、卫生、方便、经济有效的食品加工新技术。长期以来,人们采取脱水、加热、冷藏以及化学防腐等传统的方法来保存食品,目前仍然是食品加工储藏的主要方法。由于大量使用农药和化学熏蒸剂,出现了一系列新问题,粮食和其他食品中农药残留已严重影响了食品的质量。采用加热、冷藏及冷冻手段来保藏食品,虽然解决了食品带菌污染或暂时抑制了细菌的繁殖,但又会造成食品营养成分被破坏,使食品品质下降,能源消耗严重,而且,随着大量使用能源,又产生诸如环境污染及生态平衡受到破坏等问题。

食品安全是人类生存的永恒主题,是人民生活质量提高的标志。改革开放以来,随着我国农业生产的迅速发展,主要农产品数量快速增长,我国农产品的供需关系发生转变,逐步由数量型转为质量型。人们的消费观念及食品结构都发生了根本性变化,对食品的品质,特别是安全性要求更高。提高农产品(食品)安全,已经成为包括我国在内的世界各国政府共同关心的主题,微生物污染、生物毒素和化学污染构成了目前世界上影响食品安全的主要因素。人们的健康和营养状况、体力和智力都取决于食品的质量,高质量的食品是人类健康的保证。为了确保食品的安全,必须保证食物链各环节供应的食品是安全的,有营养的,无掺假、无污染、无任何欺诈的。食品安全对所有国家也是最基本的公共卫生要求。微生物致病菌、生物毒素和化学污染,严重影响人类的健康,导致近年来不断出现严重的食源性疾病暴发,如大肠杆菌 O157:H7、疯牛病的暴发,畜牧业中抗生素的应用及人致病菌抗药性的传播,基因工程菌的应用等,已在社会上引起广泛关注。

综上所述,这些问题已严重地威胁到人类生存和发展,引起世界各国政府和科学界的重视,迫使人们不得不研究和寻找新的食品保藏方法。通过近半个世纪的研究与实践,食品辐照加工技术在解决食品不受损失或减少损失,并保持食品质量与延长贮存和供应期方面,可发挥独特的作用。即利用放射性同位素或低能加速器发出的射线,对产品进行辐照处理。在一定剂量的辐照条件下,由于射线具有较强的穿透特性,辐照可杀死寄生在产品表面的病原微生物和寄生虫,也能杀死内部的病原微生物和害虫,并抑制产品的生理活动。这就从根本上消除了产品霉烂变质的根源,达到保证产品质量和食品安全的目的。

辐照食品和食品辐照技术现已步入商业化应用阶段。食品辐照技术成为减少产后损失,减少食源性疾病,解决检疫中有关问题的一种有效方法。食品辐照加工的安全性已为国际社会认同,尤其是近年来在美国及其他一些地区试用辐照处理解决致病菌(*E. coli* O157:H7, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria* 等)污染食品的问题,通过辐照处理,不仅杀灭了这些病菌,解决了由这些致病菌引起的食源性疾病,而且加深了人们对食品辐照的认识。随着人们对食品安全的重视,将进一步促进食品辐照技术的应用,加速产业化和商业化应用的规模。事实上,在世界许多地区都已经认为食品辐照是寻求合理解决致病菌感染食品引起食源性疾病的最好方法,认为食品辐照加工是 21 世纪保证食品安全的有效方法之一。正如世界卫生组织(WHO)在 2001 年食品安全工作计划中积极向大家推荐、推广辐照食品计划一样,食品辐照加工技术在减少食品损失,保证食品安全和公众健康方面有着光明的前景。而食品辐照技术以其明显的特点和辐照效果,反映了食品辐照技术是当前各种储藏保鲜方法中极具特色的一种新方法,尤其是在冷加工保障食品安全方面,是目前无法替代的方法,是一种绿色的加工技术。

三、食品辐照商业化

(一)食品辐照商业化的物质基础——辐照装置

从 20 世纪 40 年代开始辐照食品研究,在 50 多年前由于没有可以应用的辐照源,因此只进行科学

4 食品辐照加工原理与技术

研究。从 1950~1970 年开始,国际上新的 ^{60}Co - γ 辐照装置开始应用于辐照食品,从 1993 年以后又有所增加,据对 12 个国家不完整的统计,已有 17 个商业规模的辐照装置,并且有许多国家在筹建新的辐照装置。表 1-1 为 IAEA 对世界 32 个国家已运营辐照食品的 70 个辐照装置的统计资料(包括中国的部分辐照装置在内)。

表 1-1 食品辐照商业化应用简况¹⁾

国 家	实施地(开始年)	品 目
阿根廷	布宜诺斯艾利斯 Pacheco, Buenos Aires(1989)	香辛料,脱水蔬菜 香辛料,脱水蔬菜,脱水牛血清,蛋粉
孟加拉国	吉大港(1993)	马铃薯,脱水鱼等
比利时	Fleurus(1981)	香辛料,脱水蔬菜,冷冻水产物
巴西	圣保罗(1985) 圣保罗(1999) 皮拉西卡巴(2000) 马瑙斯(2000)	香辛料,脱水蔬菜 香辛料,草药,脱水及生鲜果实 果实,蔬菜,谷物 果实,蔬菜,豆类,香辛料
加拿大	拉瓦勒(1989)	香辛料
智利	圣地亚哥(1983)	香辛料,脱水蔬菜,禽肉等
中国	成都(1978) 上海(1986) 郑州(1986) 北京(1995) 南京(1987) 济南(1987) 兰州(1988),北京(1988) 天津(1988),大庆(1988) 建瓯(1991),大连(1998) 中山(1999) 内蒙古(1999) 双流(2000)	香辛料,脱水蔬菜,肉肠 沙司,马铃薯,脱水蔬菜 调味料等 香辛料,米等 西红柿
克罗地亚	萨格勒布(1985)	香辛料,脱水蔬菜,脱水牛肉,鸡蛋面
捷克	布拉格(1993)	香辛料,脱水蔬菜
古巴	哈瓦那(1987)	马铃薯,豆类等
丹麦	Riso*(1986)	香辛料
芬兰	Ilomantsi(1996)	香辛料
法国	里昂(1982) 巴黎(1986) 尼斯(1986) 瓦恩(1987) 马赛(1989)	香辛料 香辛料,脱水蔬菜 香辛料,草药 禽肉(冷冻脱骨鸡肉) 香辛料,脱水蔬菜,脱水果实,冷冻龙虾,冷冻禽肉等
德国	慕尼黑(1997)	香辛料
匈牙利	布达佩斯(1982)	香辛料,葡萄酒用软木塞,酵素等
印度尼西亚	Pasar Jumat(1988) Cibitung(1992)	香辛料,米
伊朗	德黑兰(1991)	香辛料
以色列	Yavne(1986)	香辛料,脱水蔬菜
意大利	贝加莫(1996)	香辛料
日本	土幌(1973)	马铃薯
韩国	汉城(1986)	大蒜末,香辛料
马来西亚	Bangi(1997)	香辛料,脱水蔬菜等
墨西哥	墨西哥城(1988)	香辛料,脱水蔬菜
荷兰	埃德(1981)	香辛料,冷冻水产物,禽肉,脱水蔬菜,蛋粉
挪威	Kjeller(1982)	香辛料
秘鲁	利马(1996)	香辛料,食品添加物,饲料

续表

国 家	实施地(开始年)	品 目
南非	Curban(1989), Kemptom Park(1982) 比勒陀利亚(1968) 开普敦(1986)	香辛料 长期保存食品 果实, 香辛料
泰国	Patumthani(1989) Learn Chabang(1999) Bang PAKONG(2000)	发酵肉肠, 酵素, 香辛料等
英国	斯温顿(1991)	香辛料
美国	洛克维(1984), 新泽西(1984) 塔斯延, 加利福尼亚 CA(1984) 埃姆斯, 衣阿华州*(1993) Mulberry, FL(1992) Schaumburg, IL Columbus, OH 莫顿格罗夫, 伊利诺斯 IL 霍问, 新西兰 NJ 希罗, 夏威夷** (2000) 苏城, 爱荷华*(2000)	香辛料 香辛料 香辛料, 禽肉 果实, 蔬菜, 禽肉, 香辛料 香辛料 香辛料, 果实 香辛料 热带果实 畜肉, 畜肉制品
乌克兰	敖德萨(1983)	谷物
南斯拉夫	贝尔格莱德(1986)	香辛料

1) *: 电子束; **: X 线; 引自 IAEA 资料

据不完全统计,我国目前从事食品辐照的 30 万居里以上的辐照装置已超过 55 座。

这些资料充分说明辐照食品商业化的物质基础已经具备,并且还在不断发展。2000 年世界辐照食品的数量已接近 30 万 t。在许多国家开展对一种或多种食品进行辐照商业化应用,包括巴西、中国、法国、新西兰、南非和美国等等。在美国每周至少有 200t 产品进行辐照。

(二)食品辐照的法规协调与制定

为了大规模辐照食品的应用和国际贸易的开展,FAO/IAEA/WHO 十分注意通过制定法规,并推荐给各成员国,要求制定与之相适应的法规。1983 年,食品法典委员会(CAC)颁布、推荐了辐照食品通用标准及其附件,配合国际通用标准和规范的实施,ICGFI 组织编制了一批管理和辐照食品国际贸易的推荐性技术文件,作为国际食品辐照规范标准和准则的补充。这些规范和准则主要是针对食品辐照装置的运行和管理,以及辐照食品贸易的管理。

ICGFI 推荐的辐照食品的工艺规范,也称之为良好的辐照操作规范(good irradiation practice, GIP),食品辐照中必须保证被辐照的产品是符合良好的操作规范(Good manufacture practice, GMP)生产出来的产品而不能对不符合 GMP 的产品来进行辐照处理。

为了保证被辐照的食品安全,在产品的辐照过程中必须建立起一整套的危害分析与关键控制点(Hazard Analysis and critical control point, HACCP)的食品安全保证体系, HACCP 体系是一个以预防性的、以食品安全为基础的食品控制体系,已被国际权威机构认可,作为控制由食品引起的疾病的最有效方法。它通过对每一个具体工序的分析,制定出具有针对性的、可采取的预防性措施,将影响食品卫生、安全的生物危害、化学危害、物理危害控制或消除在加工过程中,最大程度地保证食品的安全。HACCP 体系的应用使食品的生产者或供应者将以最终产品的检验(即检验合格与否)为主要基础的传统的控制观念,转变为在生产环境下鉴别并控制潜在的危害(即预防产品不合格)的预防性的新观念。食品辐照的 HACCP 体系的建立已在近年来 ICGFI 的多次年会中提到,并将在新修改的食品辐照通用标准中得到体现。在今后的世界贸易中,世界贸易组织(WTO)将按照产品是否在生产过程中符合 HACCP 体系作为一项技术要求。为此要促进食品辐照商业化的进行,必须建立这一体系。1994 年,关贸总协定(GATT)乌拉圭回合多边贸易谈判(URMTN)中已采纳通过卫生及植物卫生协议(SPS)条款。1995 年正式生效后,

世界贸易组织(WTO)成员国对一些符合国际标准规格及推荐指标的食品实施进口限制时,必须提出充分理由,而辐照食品的标准早已被 CAC 批准。WHO 官员曾强调指出:“一个国家政府若允许销售辐照食品,不仅使其国民有更多机会享用安全食品,而且保障了国民的健康”。辐照食品在国际贸易中对所有贸易国家应该有相类似的法规。为了这个目的,尽管 1983 年已经颁布了通用标准,但是 ICGFI 继续帮助各国政府制定与食品辐照通用标准相协调的法规。从 1993 年开始又召开了各个地区会议,在亚太地区、拉丁美洲、非洲和中东制定了食品辐照的示范性法规;而更多的国家如东南亚国家以及阿根廷、巴西、智利、中国、韩国、摩洛哥、尼日利亚、秘鲁、南非、斯里兰卡、叙利亚、突尼斯等,在加工中已经实施了这些法规。1998 年 4 月(亚太地区)由 ICGFI 在韩国汉城专门召开了本地区的法规协调会议。这些示范性辐照食品法规所依据的是辐照食品通用标准的原则。

中国早在 1984 年就由卫生部批准了 8 种辐照食品的卫生标准,1994 年又批准了 10 种辐照食品的卫生标准;1997 年批准了 6 大类辐照食品的卫生标准,并代替了上述早已批准的 18 种辐照食品的卫生标准;2002 年由国家质检总局正式批准了 17 种辐照食品的加工工艺国家标准,其中辐照食品通用技术要求非等效采用了国际食品辐照通用标准的规定,并与国内现有的法规协调一致而制定出来的,除此以外我国还颁布了辐照食品的管理办法。

食品辐照的法规管理是确保辐照食品能够按照国际通用的技术要求和 WTO 的原则进行贸易的依据,也是确保辐照食品能够按照工艺标准进行加工,确保辐照食品的质量,是辐照食品商业化应用的前提。

(三)辐照食品的市场试验和公众接受性

食品主要是为消费者服务的,辐照食品能否为消费者接受,必须解决以下几个问题。首先是辐照食品的卫生安全性,其次是辐照食品有没有感生放射性,有没有残留。

任何一种食品的处理方法,都必须保证食品的卫生安全性,以保证食品适合于人们消费,有益于健康。对于辐照食品,国际上已经经过几十年的研究,这项研究最早始于美国。1955~1959 年美国已有 54 种辐照食品(其中包括 11 种肉类制品,5 种面点制品,9 种水果,14 种蔬菜,9 种粮食制品和 6 种混合点心)进行过人体试食试验,短期人体试食结果表明,这种食品是安全可靠的。在此基础上,又选择了 22 种辐照食品进行长期毒理学研究(多代动物饲养)。研究结果同样证明,辐照食品是安全的。1982~1985 年我国在大量动物试验的基础上,开展了近 500 人的辐照食品人体试食试验,并于 1986 年公布了试验结果,证明了人体食用辐照食品的安全性。1983 年 CAC(食品法典委员会)正式公布了食品辐照通用标准及其附件,明确地提出了在 10kGy 剂量以下辐照食品不存在毒理学、营养学和微生物学问题,并向世界各国推荐使用辐照食品。这一标准以及有关结论,解除了长期以来人们心理上的疑虑。

消费者在购买辐照食品时,首先关心的是辐照处理过的食品是否有放射性危险,即辐照食品时是否可能诱发感生放射性或受到放射性污染,回答是不会的。食品在辐照过程中并不直接接触放射性物质,只是接受由这些放射性物质产生的射线,因而不会受到放射性污染。此外,食品辐照使用的放射源的能量, ^{60}Co - γ 射线为 1.25MeV(1.17MeV 和 1.33MeV 两个能谱), ^{137}Cs - γ 射线源为 0.66MeV,能量小于 5MeV 的 X 射线源和小于 10MeV 的电子加速器,根据核物理学的原理,在这种能量条件下是不会引起核反应的,因而也不可能诱发食品中的感生放射性。

对于这些基本原理,通过各种媒体如报刊、电视、电影、市场试销等加以介绍,使辐照食品逐步进入市场。消费者通过实际使用,逐步提高了对辐照食品的接受性。从有辐照食品开始至今,已初步进入工业规模生产和商业化应用阶段,世界各国都在进行着公众接受性和市场试验。在过去几年中,辐照食品的销售试验和公众接受性已经在下列国家进行,法国、匈牙利、美国、荷兰、比利时、阿根廷、智利、中国、以色列、波兰、泰国、印度尼西亚、孟加拉、印度、巴基斯坦和菲律宾,取得了可喜的结果,辐照番木瓜、芒果、发酵猪肉肠、草莓、洋葱、土豆、调味品等都被检测后销售,允许通过批发和零售进入超市。

我国的市场销售和公众接受性试验,从 20 世纪 80 年代就开始,到 1997 年已经在不同的城市和不同产品上做了 32 次市场销售试验(表 1-2)。试验结果表明,大部分消费者是能接受辐照食品的。在 1996 年 2 月北京曾专门做了一次完整的辐照食品消费者接受性调查(表 1-3),在 1 000 人左右的调查中,70%的消费者能接受辐照食品,大约 80%的消费者喜欢这种新技术的试验(表 1-3、表 1-4)。

表 1-2 我国辐照食品上市消费者接受性试验概况

项目	销售量(t)	试验时间	试验地点	主要结果
薯干酒	10 000	1984 ~ 1986	四川	市场试销
香肠	200	1984 ~ 1986	四川	市场试销
苹果	250	1985 ~ 1988	上海、天津等	市场试销
苹果	20	1991 ~ 1992	上海	80% ~ 90% 消费者接受
土豆	450	1985 ~ 1987	上海	市场试销
洋葱	850	1986 ~ 1987	上海、天津	市场试销
大蒜	2 000	1985 ~ 1987	上海、山东	70% 消费者接受
酱油	20	1991 ~ 1992	成都、广州等	70% 消费者接受
调料酱	30	1991 ~ 1992	成都、南京等	70% 消费者接受
调味品	10	1991 ~ 1992	成都、西安、昆明	70% 消费者接受
牛肉片	76	1991 ~ 1992	西安、郑州、兰州	70% 消费者接受
泥鳅干	14	1991 ~ 1992	太原	70% 消费者接受
樟茶鸭	44	1991 ~ 1992	乌鲁木齐、拉萨、桂林等	市场试销
红辣椒及制品	80	1986 ~ 1987	湖南、浙江	市场试销
梨	5	1986 ~ 1987	山东	市场试销
大米	850	1992 ~ 1995	北京	市场试销
大米、大蒜、香菇等		1996 ~ 1997	北京	市场试销, 70% 消费者接受

表 1-3 辐照食品公共接受水平调查结果

题号	答案	商场组(共 714 份)	市科院组(共 446 份)
		占答卷百分比(%)	占答卷百分比(%)
1	是	74	88
	否	26	12
2	是	68	82
	否	32	18
3	是	65	74
	否	35	26
4	是	33	33
	否	67	67
5	化学	28	15
	辐照	72	85
6	是	78	90
	否	22	10
7	是	81	91
	否	19	9

表 1-4 辐照食品公众接受水平调查表内容

题号	问 题 内 容
1	您知道许多食品包括粮食都是经过各种手段(例如化学熏蒸、喷洒杀虫剂等)进行防虫防腐的吗?
2	您听说过辐射杀虫、杀菌、保鲜、防腐这种方法吗?
3	您知道利用射线对食品、生活用品进行杀虫、灭菌、保鲜处理具有安全、可靠、节能、无污染、对人体无害等优点吗?
4	您知道我国已正式颁布了 18 个品种的辐照食品卫生标准?
5	如果让您选择,您愿意选择经过化学农药或防腐剂处理过的食品还是愿意选择辐照食品?
6	您认为辐照食品是否需要使用特殊标志以表明其经过辐照?
7	经过我们的宣传,您以后愿意选择辐射灭菌、保鲜的食品吗?