

现代食品加工新技术丛书

XIANDAI SHIPINJIAGONG XINJISHU CONGSHU

食品辐照 加工技术

汪勋清 哈益明 高美须 编著

Food



化学工业出版社

现代食品加工新技术丛书

食品微胶囊、超微粉碎加工技术

食品辐照加工技术

食品冷冻加工技术

食品超高压加工技术

食品超临界CO₂流体加工技术

生物技术与食品加工

膜分离技术与食品加工

食品包装

农产品无损检测技术

食品系列图书

中国食品安全战略研究

保健食品良好生产规范实施指南

食品添加剂及其应用技术

天然产物有效成分的分离与应用

食品与农产品品质无损检测新技术

农业副产品加工致富220法

特种作物优质栽培及加工技术

农产品现代加工技术丛书

小麦加工技术

玉米淀粉生产及转化技术

大豆加工与利用

花生加工技术

食用豆类加工与利用

薯类精深加工利用技术

果品深加工新技术

蔬菜深加工新技术

食用菌贮藏保鲜与加工新技术

肉制品加工原理与技术

水产品加工与利用

调味料加工技术

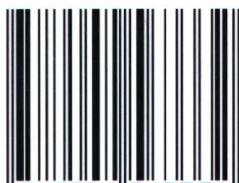
蛋白质加工技术

油脂加工技术

碳水化合物加工技术

销售分类建议：轻工/食品

ISBN 7-5025-6333-4



9 787502 563332 >

ISBN 7-5025-6333-4/TS · 222

定价：32.00元

现代食品加工新技术丛书

食品辐照加工技术

汪勋清 哈益明 高美须 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

食品辐照加工技术/汪勋清, 哈益明, 高美须编著.
北京: 化学工业出版社, 2004. 11
(现代食品加工新技术丛书)
ISBN 7-5025-6333-4

I. 食… II. ①汪…②哈…③高… III. 食品加工
IV. TS205

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 119751 号

现代食品加工新技术丛书

食品辐照加工技术

汪勋清 哈益明 高美须 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 温建斌

责任校对: 李 林

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 19¼ 字数 359 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6333-4/TS·222

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

食品加工新技术是提升我国农产品加工业和食品制造业技术水平、提高我国农产品国际竞争力、缓解“三农”问题、保障食品安全的有效技术措施之一，是全面建设小康社会的重要技术保障。目前发达国家食品加工技术日新月异，以利用高新技术为特点的深加工食品层出不穷，高新技术为企业带来了丰厚的利润、巨大的国际市场和强劲的竞争力。我国食品加工业起步较晚，高新技术尚未得到有效应用。尤其是近几年，对国外出现的新技术以及传统技术的新应用，国内科研机构、企事业单位研究、开发、应用较少。许多企业几乎不了解目前国际市场上风行的食品加工新技术，以致无法采用新技术改造我国落后的加工工艺和设备，极大地限制了我国食品工业的发展。为此，化学工业出版社决定组织编写、出版一套以工程技术为主线的《现代食品加工新技术丛书》（以下简称《丛书》），以期利用高新技术推动我国农产品加工业和食品制造业的进步和发展。

《丛书》由十多位一直从事该领域研究开发的博士编写，分别介绍食品加工中的微胶囊和超微粉碎技术、辐照技术、包装技术、膜技术、超高压技术、无损检测技术、冷冻技术、生物技术等；重点介绍近几年，尤其是近5年来国外先进、实用的食品加工新技术以及传统技术的新应用。该套《丛书》既注重技术的基本原理、设备，也注重技术的工艺和具体应用；既注重技术的先进性、新颖性，也注重技术的实用性和科学性；图文并茂，理论联系实际，突出自身特点。《丛书》以工程技术为主线，即一项工程技术适用于多种食品加工，如微波技术既可用于各种蔬菜的干燥、杀菌，亦可用于各种果品、粮食等食品的干燥、杀菌，使读者阅读该套《丛书》后能够触类旁通，起到举一反三的作用。

中国农业科学院农产品加工研究所张德权博士参与了该套《丛书》的构思、设计与组稿，并做了大量工作，在此表示由衷的感谢。

该套《丛书》可供农产品加工、食品及相关专业科研人员，企事业单位的工程技术人员、管理人员阅读，也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

化学工业出版社

2005年1月

前 言

食品辐照加工技术是建立在核科学技术和现代食品科学技术基础上的食品储藏加工技术,涉及辐射物理与化学、食品科学与工程、食品化学、食品微生物学、食品毒理学、经济学和社会学等学科,对减少食品和农产品的损失,保证食品的卫生质量和食物安全,增加农产品的附加值,促进食品和农产品的贸易有重要意义。

食品辐照加工技术的历史可以追溯到 100 多年前人类发现 X 射线和铀的天然放射性,先后经历了放射性现象的发现、辐射化学和生物效应研究、辐照加工工艺研究、辐照食品的卫生安全性评估、食品辐照的加工工艺研究、食品辐照的技术经济可行性研究、食品辐照市场开发和商业化应用等过程。经过多年的研究和开发,食品辐照加工技术已发展成为食品加工领域中的一项高新技术,具有安全、环保、节能高效、技术密集、产业化程度高和高附加值的特点,在食品和农产品储藏加工领域具有广阔的发展前景,并正形成一门新兴的食品辐照加工产业。

食品辐照技术在控制食源性疾病的发生、减少农产品产后损失、延长货架期、改进农产品质量等方面具有广泛的应用。目前已批准的辐照食品包括新鲜水果和蔬菜、香辛料和脱水蔬菜、肉类和禽产品、水产品、谷物和豆类食品,以及一些保健食品。据国际原子能机构 (IAEA) 统计,至 2003 年 5 月世界上有 52 个国家至少批准了一种辐照食品,其中 33 个国家进行了食品辐照的商业化应用,分布在亚洲、美洲、欧洲和非洲各国,其中以美国、南美地区、亚太地区的食品辐照发展迅速,辐照食品的国际贸易也处于上升阶段。2000 年全球辐照食品的总量达到 25 万吨,近年来增加迅速。为了推动辐照食品在全球的发展,联合国粮农组织 (FAO)、国际原子能机构 (IAEA) 和世界卫生组织 (WHO) 在 1984 年联合成立了国际食品辐照顾问小组 (ICGFI),并在 FAO/IAEA 联合处下设 ICGFI 秘书处。自 ICGFI 成立以来,先后制定了 21 个食品辐照工艺规范和推荐标准等文件,编辑出版了许多辐照食品培训教材、科普材料和技术报告。2003 年 5 月在美国芝加哥召开了第一届世界食品辐照大会,共有来自 22 个国家的食品辐照研究机构、政府部门、食品加工企业、食品贸易组织、餐饮企业、消费者组织等部门的代表出席了会议,交流了食品辐照在法规协调、辐照设施建设、辐照检疫、辐照食品商业化和国际贸易等方面的进展。2003 年 7 月,国际食品法典委员会 (CAC) 在意大利罗马召开了第 26 届大会,讨论通过了新修订的《国际辐照食品通用标准》(CODEX STAN 106—1983, Rev. 1—2003) 和《食品辐照加工工艺国际推荐准则》(CAC/RCP 19—1979, Rev. 1—2003),提出将食品辐照处理作为加工工艺规范 (GMP) 的一部分,允许 10kGy 以上剂量的食品辐照,以实现合理的工艺目标,对推动食品辐照技术的发展具有里程碑的意义。

中国食品辐照加工研究始于1958年,经过40多年的发展,在食品辐照工艺研究、辐照卫生安全性研究、辐照食品法规和辐照装置建设上均取得了很大的成就,对其他国家特别是发展中国家具有很好的借鉴作用。到目前为止,我国农用辐照装置已达70多座,全国28个省、市、自治区的100多个单位分别对200多种食品进行了辐照保鲜、杀虫杀菌、改善品质等方面的研究。中国已批准18种和6大类食品的卫生标准,以及17个产品的辐照工艺标准,建有“农业部辐照产品质量检验监督测试中心”,全国年食品辐照规模达8万~10万吨,是世界上食品辐照商业化规模最大的国家之一。中国在食品辐照商业化过程中,得到了政府部门的高度重视,积极参与国际原子能机构和区域合作组织在辐照领域的合作,建立了辐照食品的卫生、安全和工艺标准,并大力加强食品辐照质量的监督和管理。

为了全面反映国内外在食品辐照领域的研究成果和新进展,我们组织了国内有关专家参与了本书的编写工作。本书由汪勋清副研究员主编,负责编写第一章、第二章、第四章、第五章、第六章、第七章、第十章,以及附录一至附录四的翻译和编辑工作,并负责全书的统稿工作;哈益明教授负责编写第三章和第九章,并参加了第二章的部分编写工作;高美须副研究员负责编写第八章。FAO/IAEA联合处食品与环境保护科前科长 Paisan Loaharanu 先生为本书的编写提供了《Irradiation for Food Safety and Quality》和《Facts about Food Irradiation》两本书。中国农业科学院原子能利用研究所林音研究员审阅了本书第四章并提出宝贵意见。中国农业科学院研究生院英语教研组刘兰芝副教授审校了本书附录一和附录二的译文。在本书编写过程中,作者参考了FAO/IAEA联合处和ICGFI的大量技术报告和出版物,温贤芳研究员主编的《中国核农学》,李国柱教授等编著的《食品辐照保藏技术》和中国原子能农学会组织翻译的《Training Manual on Operation of Food Irradiation Facilities》一书,并参考了国内外专家的大量研究成果。在本书完稿之际,谨在此表示衷心感谢!

编写一部全面反映食品辐照加工技术发展现状和成果的新书是作者的共同目标。当前食品辐照加工技术正不断向深度和广度发展,应用范围不断扩大,新工艺和新成果层出不穷。虽然我们在编写时力求反映当前食品辐照加工技术的进展和新成果,但由于经验不足,加上时间所限,本书难免存在不足和错误之处,恳切希望读者在使用本书过程中提出宝贵意见。

汪勋清

2004年8月于中国农业科学院研究生院

目 录

第一章 食品辐照加工技术概述	1
第一节 食品辐照加工技术的概念、特点和发展过程	1
一、食品辐照技术的概念	1
二、食品辐照技术的特点	2
三、食品辐照技术的发展过程	3
第二节 食品辐照技术的应用和技术经济可行性	8
一、食品辐照技术的应用领域	8
二、食品辐照推荐的剂量范围	11
三、食品辐照技术的经济效益	13
第三节 食品辐照技术发展现状和展望	14
一、食品辐照法规的协调	14
二、辐照装置的研发和应用	15
三、应用辐照技术保证食品的卫生安全	15
四、应用辐照技术进行检疫处理	16
五、食品辐照的复合处理	17
六、辐照食品包装材料的研究和应用	17
七、辐照食品的公众接受性	18
八、辐照技术商业化和国际贸易	18
参考文献	18
第二章 食品辐照的基本原理	20
第一节 辐射的定义和类型	20
一、 γ 射线和 X 射线	20
二、电子束辐射	21
三、激发和电离	21
四、辐射剂量	22
第二节 食品辐照的化学效应	22
一、水分	22
二、酶	23
三、氨基酸和蛋白质	23
四、糖类	25
五、脂类化合物	25

六、维生素	26
第三节 食品辐照的活体生物效应	27
一、食品辐照的活体生物效应概述	27
二、病毒的辐照效应	28
三、细菌的辐射效应	29
四、酵母和霉菌的辐照效应	31
五、昆虫和螨类的辐照效应	32
六、食源性寄生虫的辐照效应	33
七、植物食品的辐照效应	33
第四节 辐照食品的卫生安全性	35
一、辐照食品卫生安全性概述	35
二、辐照食品的毒理学评估	36
三、辐照食品的营养安全性	39
四、辐照食品的微生物学安全性	40
五、辐照食品与放射性	41
六、辐照食品的包装	42
参考文献	43
第三章 食品辐照设施和加工工艺	44
第一节 辐射剂量学与安全防护基础	44
一、辐射剂量学基础	44
二、辐射安全防护概论	47
第二节 辐照装置的类型与运行安全	53
一、辐射源	53
二、辐照装置的分类和组成	55
三、辐照装置运行中的辐射安全	66
第三节 食品辐照加工工艺与质量控制	71
一、食品辐照加工工艺	72
二、食品辐照加工质量控制	78
参考文献	86
第四章 谷物和豆类及其制品的辐照加工技术	88
第一节 谷物和豆类辐照加工特点和应用	88
一、谷物和豆类辐照技术的特点	88
二、谷物和豆类辐照加工技术应用概述	89
三、谷物和豆类的辐照杀虫技术	91
四、谷物和豆类的辐照杀菌技术	101
第二节 辐照处理与谷物和豆类及其制品的品质	103

一、辐照处理对谷物和豆类营养品质的影响	103
二、辐照处理对谷物和豆类理化性质的影响	107
三、辐照处理对谷物和豆类中其他成分的影响	109
第三节 谷物和豆类辐照杀虫关键技术	110
一、辐照前处理	110
二、辐照产品的包装	111
三、辐照时期	111
四、辐照装置	112
五、适宜剂量的确定	112
六、辐照后的储藏和处理	114
参考文献	114
第五章 辐照技术在园艺产品、调味品和功能食品中的应用	117
第一节 新鲜水果和蔬菜的辐照保鲜和加工	117
一、辐照对水果和蔬菜的效应及品质的影响	117
二、应用辐照技术延长新鲜水果和蔬菜的货架期	119
三、利用辐照抑制新鲜园艺产品的发芽	121
四、利用辐照控制水果和蔬菜的腐败和病原菌	122
五、新鲜水果和蔬菜的辐照综合处理	125
六、辐照技术在蔬菜和水果即食食品中的应用	126
七、新鲜水果和蔬菜中的辐照害虫	128
第二节 香辛料和脱水蔬菜调味品的辐照加工	129
一、辐照对香辛料和脱水蔬菜品质的影响	129
二、香辛料和脱水蔬菜的辐照杀菌处理	131
三、香辛料和脱水蔬菜调味品的辐照杀虫处理	134
第三节 干果和果脯的辐照加工	135
第四节 辐照技术在功能食品中的应用	138
参考文献	140
第六章 辐照技术在畜禽产品加工中的应用	142
第一节 辐照对畜禽产品品质的影响	142
一、辐照对畜禽产品蛋白质和氨基酸的影响	142
二、辐照对畜禽产品脂肪的影响	143
三、辐照对畜禽产品维生素的影响	144
四、辐照对畜禽产品颜色和风味的影响	145
第二节 畜肉产品的辐照加工	146
一、肉类的杀菌处理	147
二、肉类食品的高剂量辐照	150

三、肉类食品的辐照异味和应对措施	150
四、辐照对肉类食品中的寄生虫的作用	152
第三节 禽肉和蛋、奶产品的辐照加工	152
一、禽肉的辐照杀菌处理	153
二、辐照对蛋类产品的作用	155
三、辐照对奶产品的作用	157
第四节 畜禽熟肉制品和长货架期肉类食品的辐照加工	157
一、辐照对熟肉及其制成品的作用	157
二、辐照技术在长货架期的肉类食品中的应用	159
参考文献	161
第七章 水产品辐照加工技术	162
第一节 影响水产品保藏和卫生质量的主要因素	162
一、水产品的腐败	162
二、水产品中的病原菌	164
三、水产品中寄生虫和害虫	164
四、水产品捕获后的处理和保藏	165
第二节 辐照对水产品营养品质的影响	165
一、辐照对水产品氨基酸和蛋白质的影响	165
二、辐照对水产品脂肪的影响	166
三、辐照对水产品维生素的影响	166
四、辐照对水产品感官品质的影响	167
第三节 辐照技术在水产品保藏中的应用	168
一、新鲜海水鱼的辐照保鲜	168
二、有壳水产品的辐照保鲜	171
三、淡水鱼的辐照保鲜	173
四、辐照对干制水产品的保藏作用	175
五、水产品辐照保鲜的复合处理	177
第四节 辐照技术控制水产品中病原菌和寄生虫	179
一、辐照技术控制水产品中的病原菌	179
二、辐照技术控制水产品中的寄生虫	183
参考文献	185
第八章 辐照检疫技术在农产品中的应用	186
第一节 植物检疫概念、方法和法规	186
一、植物检疫的基本概念	186
二、植物检疫的处理方法	187
三、植物检疫的有关国际组织和国际法规	188

第二节 辐照检疫的原理和技术	190
一、植物检疫技术面临的问题	190
二、辐照检疫的特点和有效性	191
三、植物辐照检疫处理的关键技术	192
第三节 辐照检疫技术的应用	196
一、辐照检疫处理有效性的一般原则	196
二、新鲜水果和蔬菜的辐照检疫处理	197
三、粮食及其产品的辐照检疫处理	199
四、杀虫和昆虫不育国际数据库	201
第四节 辐照检疫的法规及其在贸易中的应用	202
一、ICGFI 的研究和推荐标准	202
二、地区性植物保护组织对辐照检疫的认可	203
三、国际植物保护公约组织的辐照检疫法规	203
四、有关国家的辐照检疫现状和法规	204
五、辐照检疫在食品和农产品贸易中的应用	205
参考文献	206
第九章 辐照食品质量管理与标准体系	208
第一节 辐照食品的质量控制	208
一、食品的质量控制	208
二、辐照食品的质量控制	210
三、辐照食品的质量控制体系	213
第二节 食品辐照法规和标准	214
一、食品辐照国际标准	214
二、主要国家食品辐照标准	216
三、中国辐照食品标准现状	218
第三节 辐照食品的标识和包装	220
一、辐照食品的标识	220
二、辐照食品包装概述	221
三、高分子包装材料辐照效应及其对食品的影响	223
四、辐照食品的塑料包装	226
五、辐照食品包装法规	228
第四节 辐照食品的检测方法	230
一、利用辐射产生的化学效应检测辐照食品	230
二、利用辐照形成的长寿命自由基检测辐照食品	235
三、利用热释光和化学发光技术检测辐照食品	242
参考文献	246

第十章 食品辐照技术商业化和辐照食品国际贸易	248
第一节 食品辐照成本和社会经济效益	248
一、食品辐照的成本构成	248
二、放射性辐照源的加工成本和经济分析	249
三、机械源辐照装置的成本和经济分析	254
四、食品辐照的社会经济效益分析	255
第二节 食品辐照商业化现状和成功实例分析	257
一、辐照食品的公众接受性和市场实验	257
二、商业化辐照设施的运作模式	259
三、食品辐照商业化的现状	260
四、食品辐照商业化案例分析	263
第三节 辐照食品的国际贸易和发展前景	266
一、辐照食品国际贸易现状	266
二、影响辐照食品国际贸易的因素	267
三、辐照食品国际贸易前景	269
参考文献	270
附录	271
附录一 辐照食品国际通用标准 (Codex STAN 106—1983, Rev. 1—2003)	271
附录二 食品辐射加工工艺国际推荐准则 (CAC/RCP 19—1979, Rev. 1—2003)	273
附件三 国际食品辐照顾问小组 (ICGFI) 推荐的各类食品的工艺剂量	278
附录四 国际食品辐照顾问小组 (ICGFI) 主要技术文件目录	279
附录五 使用辐射作为植物检疫措施的准则	281

第一章 食品辐照加工技术概述

食物是提供营养和维持生命的物质基础。维护食物安全，促进人类社会的可持续发展是国际社会面临的挑战。自 20 世纪 70 年代联合国粮农组织（FAO）在《消灭饥饿和营养不良世界宣言》中提出“保证任何人在任何时候都能得到为了生存和健康所需要的足够食品”以来，国际社会一直致力于应对在全球人口不断增加的前提下的食物安全问题。2002 年 9 月联合国在南非约翰内斯堡召开可持续发展全球首脑会议，发表了《约翰内斯堡宣言》，将农业列为与可持续发展密切相关的六大领域之一，提出了 2015 年前将全球饥饿人口减少一半的目标。解决人类面临的食物安全问题，一方面要充分利用现代农业科学技术提高粮食和食品的产量，另一方面要减少农产品和食品的损失。在现代农业生产过程中采用各种措施减少农产品产后损失，对增加农业收入、促进农产品贸易和保证食物安全具有重要意义。据联合国粮农组织分析，全世界农产品产后损失约占总产量的 25%，其中发展中国家的损失更为严重。农产品产后损失主要来源于农产品产后的病虫害、生理生化变化和不良的储藏环境造成的损失。在人类社会的发展过程中，食品保藏方法随着科学技术的发展不断进步，形成了干燥、冷藏、加热、腌制、熏蒸、罐装、气调储藏、辐照等食品储藏和加工方法。食品辐照（food irradiation）技术可以减少农产品的损失，保证食物的卫生质量和安全，对提高人们的生活质量，增加农产品的附加值，促进农产品和食品的贸易和食物安全有重要意义。

第一节 食品辐照加工技术的概念、特点和发展过程

食品辐照是核技术和平利用的重要领域，是农业核技术的重要组成部分，是一种安全、卫生、经济有效的农产品和食品储藏加工技术。联合国粮农组织（FAO）、国际原子能机构（IAEA）和世界卫生组织（WHO）积极鼓励和支持食品辐照技术的应用。国内外高度重视食品辐照技术的研究和开发，将食品辐照技术称为先进技术（advanced technology）、新兴技术（emerging technology）或高新技术（new and high technology），并正形成一门新兴的食品辐照加工产业。

一、食品辐照技术的概念

食品辐照技术是利用辐射源产生的 γ 射线，以及加速器产生的高能电子束辐照农产品和食品，抑制发芽、推迟成熟、杀虫灭菌和改进品质的储藏保鲜和加工

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（兆电子伏，下同。）以下的X射线，以及电子加速器产生的10MeV以下电子束。利用上述辐照源进行辐照，无论食品辐照的时间有多长，或吸收的能量有多大，都不会使食品增加放射性。食品在辐照过程中吸收的能量的数量在一定程度上与辐射源单位时间的能量输出（功率），食品接受辐射源辐照的时间，以及辐射源与食品之间的空间排列和吸收材料的吸收特性有关。食品所吸收能量的数量称为“吸收剂量”或“剂量”。在国际单位制中食品辐照剂量的单位是戈瑞（Gy），等于1千克（kg）物质吸收1焦耳（J）的能量。根据食品辐照工艺规范（GIP）生产的符合食品营养和卫生标准的食品，称为辐照食品（irradiated food）。由于辐照技术在农产品储藏保鲜和加工中的应用范围广泛，食品辐照技术通常也称农产品辐照加工技术。食品辐照技术属于食品加工的物理技术，经过多年的发展已成为一种安全、环保、低能耗和高附加值的农作物产后技术，并在食品工业和农产品国际贸易中发挥日益重要的作用。

二、食品辐照技术的特点

现代食品工业是建立在现代食品科学技术、先进的加工设备、严格的食品加工工艺标准和完备的食品质量管理体系的基础上的高技术产业。长期以来，人们采用干燥、加热、冷藏、罐藏、腌渍、熏蒸和化学处理等方法保存食品。随着人们生活水平的不断提高，食品消费出现多元化的需求，追求吃得营养、科学、卫生、保健和方便化已成为大众需求。

传统的食品加工方法存在加工规模小、产品单一、产品加工程度低、附加值低等问题。建立在现代食品加工技术基础上的冷藏和罐藏等食品保藏和加工技术，具有技术密集、产业化程度高和高附加值的特点，但存在成本高、耗能大的问题，使气调和冷藏链等食品保藏技术的应用受到一定制约。应用化学方法保存食品，因有药物残留问题受到卫生和食品管理部门的严格控制。

为了搞好农产品的保藏和加工，减少食品的损失和污染，保证食品卫生和满足人民对食品消费的需求，需要发展食品加工和保藏新技术。采用新兴的食品辐照技术具有许多独特的优点，可以克服现有食品保藏技术的一些缺点，因而在国际上日益受到食品工业和商业部门的重视，不仅在一些发达国家已实现了食品辐照技术的商业化，而且越来越多的发展中国家也开始重视食品辐照技术的研究和开发，大力发展食品辐照的商业化。食品辐照技术具有以下主要特点。

（1）食品辐照技术采用具有较高能量和穿透力强的射线，能够穿透食品的包装材料和食品的深层，具有很强的杀灭害虫和杀菌能力。食品辐照中常选用 ^{60}Co 作为辐射源，其放出的 γ 射线能量分别为1.173MeV和1.332MeV。在不打开食品包装的情况下，利用辐照技术能够彻底杀虫灭菌，具有独特的技术优势。

（2）食品辐照是一种“冷处理”的物理方法，能够较好地保持食品的色、

香、味,保持食品的新鲜状态和食用品质。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。对于用传统热处理方法能够使食品失去原有风味、芳香性和商品价值的食品,辐照加工技术特别适用,具有明显的技术优势。

(3) 食品辐照加工能耗低,可以节约能源。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,辐照巴氏消毒每吨仅为 0.76kW/h,与加热和冷藏处理相比,可节约能耗 70%~90%。另据资料报道,辐照后保藏的农产品储存 300d,耗能 67.4MJ/t,仅为冷藏保藏相同时间能耗的 6%。

(4) 辐照加工不污染食品,无残留、无感生放射性,卫生安全。辐照食品是利用射线的能量实现食品保藏,不会出现残留,因此比用化学防腐剂保存食品好得多。食品辐照的辐射源安装在封闭的装置中并在严格的防护条件下运行,食品和农产品不接触放射性核素,在射线允许的能量范围内的辐射不会使辐照的食品产生感生放射性,不会使食品和环境产生放射性物质的污染。

(5) 辐照技术具有加工成本的比较优势,尽管初期基本建设投入较多,但运行成本较低,能够获得较好的经济回报。

(6) 辐照技术具有很高的技术含量,自动化程度高,对食品辐照装置的运行和辐射防护有严格的要求。

由上可见,辐照保藏技术是食品加工领域中一项重要的高新技术,具有安全、环保、节能高效、技术密集、产业化程度高和高附加值的特点,在食品和农产品保藏和加工领域具有广阔的发展前景。

三、食品辐照技术的发展过程

食品辐照技术是综合性的食品加工技术,涉及食品科学与工程、辐射物理与化学、食品化学、食品微生物学、食品毒理学、经济学和社会学等学科。食品辐照技术的发展历史可以追溯到 100 多年前人类发现 X 射线和铀的天然放射性,先后经历了放射性现象的发现、辐射化学和生物效应研究、辐照加工工艺研究、辐照食品的卫生安全性评估、食品辐照的加工工艺研究、食品辐照的技术经济可行性研究、食品辐照市场开发和商业化应用等过程,大体经历了以下四个发展阶段。

1. 食品辐照技术的开创阶段 (1895~1949)

食品辐照保藏的原理是基于辐射杀虫杀菌和抑制生物生长,因此食品辐照保藏的历史可以追溯到 X 射线和天然放射性的发现。1895 年德国物理学家伦琴 (W. K. Roentgen) 发现 X 射线和 1896 年法国科学家贝可勒尔 (H. Becquerel)

发现铀的天然放射性，揭开了人类利用原子能的序幕。1898 年人类第一次观察到 X 射线对病原细菌有致死作用，1899 年证实了 X 射线对寄生虫有致死作用。1916 年 Runner 发现 X 射线能使昆虫烟草甲产生不育效应。这些早期的研究结果增加了人们对射线的生物效应和遗传效应的认识，导致了利用射线辐照保藏食品的研究，并提出了辐照技术在食品中的应用的设想。

英国人 J. Appleby 和 A. J. Banks 提出应用 α 射线、 β 射线和 γ 射线处理食品，并于 1905 年获得英国专利（英国专利 1609 号）。1918 年 D. C. Gillett 获得美国专利“应用 X 射线保存有机材料”。1921 年美国农业部 B. Schwartz 提出应用 X 射线灭活猪肉中旋毛虫。1930 年德国工程师 O. Wust 提出保存在容器中的各类食品均可以应用 X 射线杀菌。1943 年美国麻省理工学院 B. E. Proctor 博士首先进行应用射线处理汉堡包的研究。随着脉冲电子加速器的出现，1947 年 A. Brasch 和 W. Huber 开始应用脉冲电子辐照食品，报道了高能电子脉冲对肉类和其他一些食品的消毒作用，并发现在低温和无氧条件下可以避免辐照异味的产生。与此同时，美国麻省理工学院 J. G. Trump 和 R. J. Van de Graaff 开发出新的电子加速器，研究辐照对食品和生物材料的效应。

1951 年美国麻省理工学院食品技术系 B. E. Proctor 博士和 S. A. Goldblith 博士联合发表了一篇综述，对这一时期食品辐照研究工作进行了评述。由于原子能在 20 世纪 50 年代以前主要用于军事目的，加上人力和财力所限，缺乏大功能的 X 射线机和大的辐照源，食品辐照的研究不够深入，实际上处于研究的初级阶段，没有进入实际应用。

2. 食品辐照技术研究和开发阶段（1950~1969）

随着第二次世界大战的结束和各国技术经济条件的进步，原子能的和平利用成为各国关注的问题之一。1953 年美国艾森豪威尔（Eisenhower）向联合国提出了“和平利用原子能计划（Atom for Peace Program）”。1955 年在日内瓦召开了第一届世界和平利用核能大会。1957 年成立了国际原子能机构（IAEA），负责组织协调核能的和平利用和核安全的监督工作。在国际和平利用核能的大背景下，这一阶段在食品辐照领域主要开展了辐照杀虫、辐照杀菌、抑制发芽、延长食品货架期的适宜条件（辐照剂量、产品成熟度、包装材料、温度和气体的影响等）的研究。

1950 年美国原子能委员会（USAEC）组织了电离辐射保藏食品的联合研究项目， ^{60}Co 辐照源和电子加速器开始应用于食品辐照保鲜。美国军方在 1953~1960 年支持了低剂量和高剂量辐照应用研究，重点开展肉类产品的辐照杀菌研究，以替代罐头食品和冷冻产品。1961~1962 年美国军方在马塞诸州（Massachusetts）Natick 建立了食品辐照实验室，并很快成为食品辐照研究的国际中心。1950 年英国设在剑桥的低温研究实验室开展了电离辐射对食品的效应的研