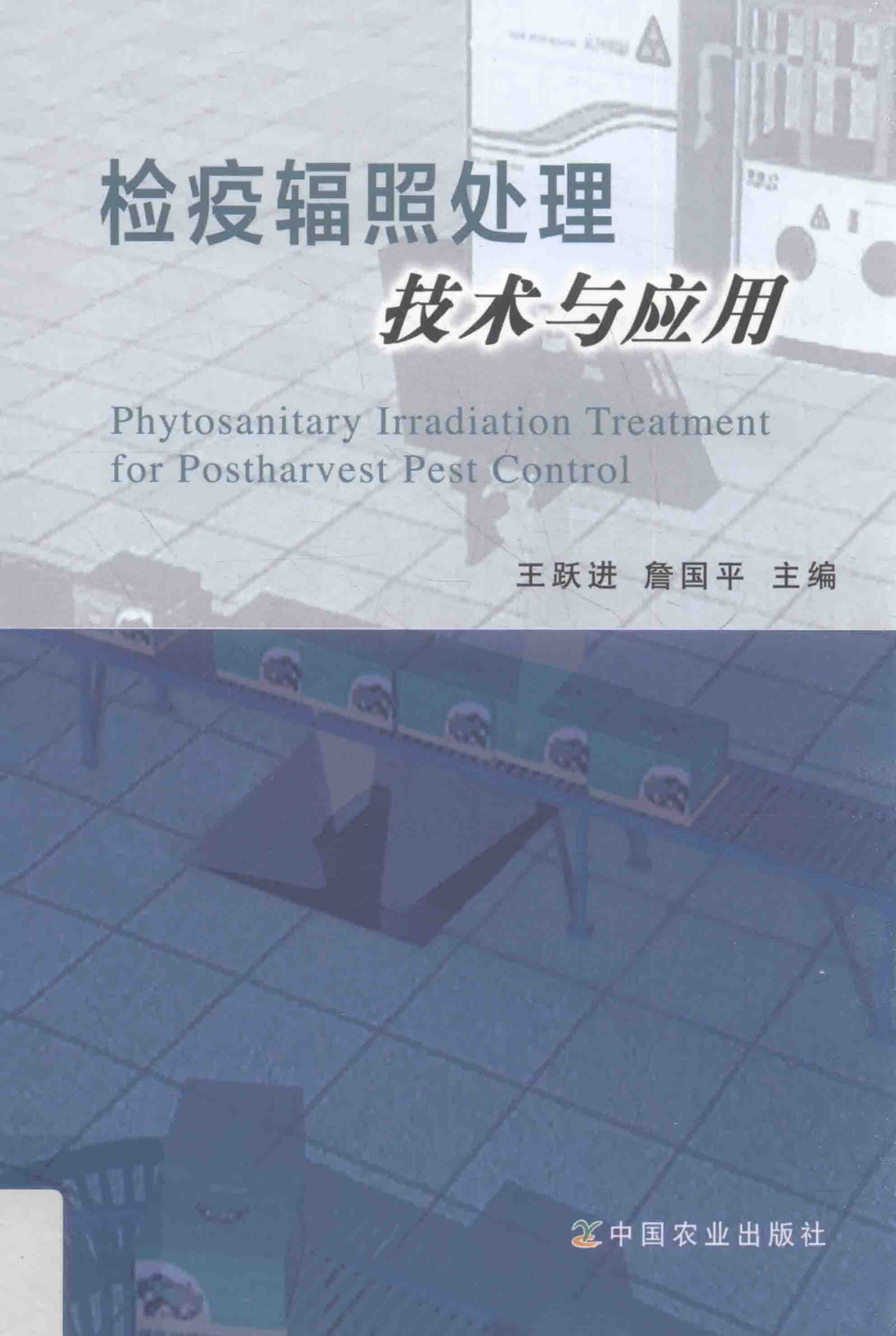




检疫辐照处理 技术与应用

Phytosanitary Irradiation Treatment
for Postharvest Pest Control

王跃进 詹国平 主编

 中国农业出版社

检疫辐照处理

技术与应用

Phytopsanitary Irradiation Treatment for
Postharvest Pest Control

王跃进 詹国平 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

检疫辐照处理技术与应用/王跃进, 詹国平主编

. —北京: 中国农业出版社, 2015. 11

ISBN 978-7-109-21234-3

I. ①检… II. ①王…②詹… III. ①植物检疫—辐照—处理 IV. ①S41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 292590 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 张洪光 阎莎莎

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2016 年 3 月第 1 版 2016 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.5

字数: 435 千字

定价: 116.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是我国首部系统介绍植物检疫辐照处理技术原理及其应用的科技书，在植物检疫处理国际知名专家王跃进先生的精心组织下，由中国检验检疫科学研究院、同方威视技术股份有限公司、天津和广东出入境检验检疫局的有关专家，在总结工作经验和归纳文献的基础上共同撰写完成。

全书共分3篇，上篇为原理篇，内容包括辐照技术基本原理、剂量学基础和检疫辐照处理的原理、方法、经济技术优势。中篇为技术篇，主要介绍有害生物辐照处理的研究方法、杀灭机理、有效剂量与检疫安全性，辐照处理对鲜活产品的品质影响、保鲜作用及其安全性。下篇为应用篇，主要介绍辐照实用剂量学、辐照设施与安全防护；检疫辐照处理的法规、工艺流程、效果评价、风险评估与检验检疫监管，及其在国际贸易中的发展历程、现状、面临的挑战与应对策略等。

本书内容翔实，阐述简明，重点突出，文献来源清晰，可作为出入境检验检疫机构和检疫处理企业科技人员的参考用书，也可作为高等院校相关专业和检疫辐照处理培训班的教学参考书。

编委会名单

主 编：王跃进 詹国平

编 者：王跃进（中国检验检疫科学研究院）

詹国平（中国检验检疫科学研究院）

黄 铭（同方威视技术股份有限公司）

覃怀莉（同方威视技术股份有限公司）

康芬芬（天津出入境检验检疫局）

赵菊鹏（广东出入境检验检疫局）

刘 波（中国检验检疫科学研究院）

刘 涛（中国检验检疫科学研究院）

任荔荔（中国检验检疫科学研究院）

李柏树（中国检验检疫科学研究院）

检疫处理作为外来有害生物口岸防控的国际通行的技术手段,在有效应对全球经济一体化带来的生物入侵威胁、保护生态环境、促进经济贸易正常发展等方面发挥着不可替代的作用。溴甲烷熏蒸作为口岸检疫处理的主要措施,因其破坏臭氧层而被《关于破坏臭氧层物质的蒙特利尔议定书》哥本哈根修正案确定为需要淘汰的物质,虽然目前在检疫处理中的应用属于全球豁免范畴,但正逐步受到限制,因此,研究和应用溴甲烷替代技术成为国际社会关注的焦点和热点。

辐照是以光子或电子传输能量,同热处理、冷处理一样,属于物理处理技术,处理后无任何残留,是最有潜力替代溴甲烷熏蒸的技术之一。辐照处理还具有处理快速、安全有效、绿色环保、不受温度限制等技术优势,是对水果、蔬菜等鲜活货物影响最小的检疫处理技术之一,并有储藏保鲜和延长货架期的作用。辐照技术已广泛应用于育种、食品灭菌和保鲜、医疗卫生用品消毒灭菌、材料改性、“三废”处理等多个方面。

检疫辐照处理就是利用放射性同位素(^{137}Cs 或 ^{60}Co)产生的 γ 射线或电子加速器(0.2~10MeV)产生的电子束或X射线照射处理携带限定性有害生物的货物,通过电离辐射的能量传递,与物质作用发生一系列物理学效应、化学效应或生物学效应,使生物体受到不可逆转的损伤和破坏,导致有害生物死亡、不能发育或不能繁殖,阻止其传入和传播,并保障货物的品质和安全。在全球关注溴甲烷替代技术研发和商业化应用的大背景下,有关国际组织、国家植保机构高度重视检疫辐照处理技术的研究、标准制定和应用,并相继建立了相关的法规、规范和技术标准,从而使之在国际贸易中得到应用。经过十余年的发展,应用范围已扩大到10余个国家,2014年美国进口检疫辐照处理的水果数量达到1.35万t,检疫辐照处理也必将在国际贸易中发挥更为积极和重要的作用。

为了推动和促进辐照技术在我国进出口货物检疫处理中的应用,我们总结多年从事植物检疫辐照处理技术、标准、装备研发的成果,组织相关专家采纳国内外最新研究成果和文献资料,编写完成《检疫辐照处理技术与应用》这一专业参考书。本书全面、系统地介绍了植物检疫辐照处理技术原理与应用,可作为出入境检验检疫机构和检疫处理企业科技人员的参考用书,也可作为高等院校相关专业和检疫辐照处理培训班的教学参考书。全书共分3篇,上篇为原

理篇，内容包括辐照技术基本原理、剂量学基础和检疫辐照处理的原理、方法、经济技术优势。中篇为技术篇，主要介绍有害生物辐照处理的研究方法、杀灭机理、有效剂量与检疫安全性；辐照处理对鲜活产品的品质影响、保鲜作用及其安全性。下篇为应用篇，主要介绍实用剂量学、辐照设施与安全防护；检疫辐照处理的法规、工艺流程、效果评价、风险评估与检验检疫监管，及其在国际贸易中的发展历程、现状、面临的挑战与应对策略等。为了方便读者扩展阅读，本书详细列明了所有参考文献，并与正文一一对应。

在书稿的编写和修改过程中，得到了李新实、黄冠胜、卢厚林、张立、王益愚、吴昊、黄亚军、梁忆冰、安治国、黄庆林、胡学难、何日荣、白章红、袁平、张卫东、吴新华、王俊、顾光昊、余道坚、陈燕、魏亚东、叶军、刘海军、张瑞峰等检验检疫专家，高美须、Yves M. Henon、苗齐田、李志红、李君利、张化一、杨光等专家学者的关心、支持和帮助，提出了宝贵的指导意见和建议，在此表示诚挚的感谢！

本书的顺利出版，得到了中国检验检疫科学研究院各位领导和同事的大力支持与帮助，在此谨致衷心的感谢！

由于编者水平所限，缺点和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2015年11月于北京

前言

► 上篇 原 理 篇

第 1 章 辐照基本原理	2
1.1 辐照射线	2
1.1.1 辐射的分类	2
1.1.1.1 非电离辐射	3
1.1.1.2 电离辐射	3
1.1.2 常见的电离辐射	3
1.1.2.1 电子束	4
1.1.2.2 γ 射线	4
1.1.2.3 X 射线	4
1.2 辐照射线与物质的相互作用	5
1.2.1 电子与物质的相互作用	5
1.2.1.1 电离与激发	5
1.2.1.2 韧致辐射	5
1.2.1.3 散射	6
1.2.2 γ 射线、X 射线与物质的相互作用	6
1.2.2.1 光电效应	7
1.2.2.2 康普顿效应	7
1.2.2.3 电子对效应	8
1.2.2.4 活化	8
1.3 辐射剂量	9
1.3.1 辐射量及其单位	9
1.3.1.1 照射量	9
1.3.1.2 吸收剂量	10
1.3.2 吸收剂量的计算方法	11
1.3.2.1 电子束吸收剂量	11
1.3.2.2 X 射线、 γ 射线的吸收剂量	11
1.3.2.3 蒙特卡罗方法	15
1.3.3 剂量测量	18
1.3.3.1 剂量测量的原理和方法	18

1.3.3.2 物理剂量计	19
1.3.3.3 液体化学剂量计	21
1.3.3.4 固体剂量计	24
1.4 辐照效应	28
1.4.1 辐照作用的阶段	29
1.4.1.1 物理阶段	29
1.4.1.2 物理—化学阶段	29
1.4.1.3 化学阶段	30
1.4.1.4 生物学阶段	33
1.4.2 生物学效应	35
1.4.2.1 细胞学效应	35
1.4.2.2 遗传学效应	36
1.4.3 作用机理	37
1.4.3.1 靶学说	37
1.4.3.2 DNA 分子损伤与修复	39
1.4.3.3 非靶效应	42
1.4.4 辐照效应的应用	43
1.4.4.1 工业应用	43
1.4.4.2 农业应用	44
1.4.4.3 医学应用	45
1.4.4.4 环境治理	46
1.4.4.5 基础研究	47
1.4.4.6 其他应用	48

参考文献	49
------------	----

第2章 检疫辐照处理技术原理

52

2.1 检疫处理原理与方法	52
2.1.1 检疫处理的原理	52
2.1.1.1 有害生物	52
2.1.1.2 检疫处理的目的	53
2.1.1.3 检疫处理的基本原则	53
2.1.1.4 检疫处理的作用	54
2.1.2 检疫处理技术	55
2.1.2.1 熏蒸处理	55
2.1.2.2 非熏蒸化学药剂处理	57
2.1.2.3 冷处理	57
2.1.2.4 热处理	58
2.1.2.5 辐照处理	59
2.1.2.6 其他检疫处理技术	59
2.1.2.7 检疫处理技术发展展望	60

2.2 检疫辐照处理技术原理	60
2.2.1 杀虫灭菌原理	60
2.2.1.1 对昆虫和螨类的影响	61
2.2.1.2 辐照对病原微生物的影响	71
2.2.1.3 辐照对植物种子的影响	73
2.2.2 检疫辐照处理技术	73
2.2.2.1 检疫辐照处理的发展历程	73
2.2.2.2 检疫辐照处理的基本概念	75
2.2.2.3 昆虫不育技术与检疫辐照处理	76
2.2.2.4 检疫辐照灭菌	77
2.2.3 检疫辐照处理的经济技术优势	77
2.2.3.1 检疫辐照处理的技术特征	77
2.2.3.2 检疫辐照处理的优势	79
参考文献	80

► 中篇 技术篇

第3章 有害生物检疫辐照处理技术	88
3.1 检疫辐照处理的目标与进展	88
3.1.1 有害生物的控制水平	88
3.1.1.1 有害生物对辐照的响应	88
3.1.1.2 处理效果的指标	89
3.1.1.3 辐照处理效果的影响因素	91
3.1.2 有害生物检疫辐照处理技术的发展	93
3.1.2.1 有害生物辐照处理技术的发展历程	93
3.1.2.2 有害生物检疫辐照处理研究概况	95
3.1.2.3 有害生物检疫辐照处理技术研究发展趋势	98
3.1.2.4 中国检疫辐照处理技术研究进展	99
3.2 最低吸收剂量	100
3.2.1 昆虫	101
3.2.1.1 鞘翅目	101
3.2.1.2 双翅目	104
3.2.1.3 鳞翅目	106
3.2.1.4 同翅目	109
3.2.1.5 蜚蠊目	110
3.2.1.6 半翅目	110
3.2.1.7 缨翅目	111
3.2.1.8 等翅目	111
3.2.1.9 啮虫目	111

3.2.2 蜚蠊类	111
3.2.3 非种用种子的灭活剂量	112
3.3 辐照害虫的检测方法	113
3.3.1 形态学方法	113
3.3.1.1 食道神经节的变化	113
3.3.1.2 虫体黑化	114
3.3.1.3 中肠的变化	114
3.3.1.4 细胞的变化	115
3.3.2 酶学方法	118
3.3.3 分子生物学方法	118
参考文献	119
第4章 植物产品辐照处理技术	134
4.1 辐照与食品安全	134
4.1.1 辐照射线与食品安全	134
4.1.1.1 放射性污染	134
4.1.1.2 感生放射性	135
4.1.2 吸收剂量与食品安全	136
4.1.2.1 辐照对营养成分的影响	136
4.1.2.2 辐照食品的卫生安全	139
4.2 辐照食品的安全法规	139
4.2.1 国际标准	140
4.2.1.1 辐照食品通用标准	140
4.2.1.2 食品辐照加工操作规范	140
4.2.1.3 ISO 14470: 2011	141
4.2.2 国家标准与法规	141
4.2.2.1 法规和通用技术要求	141
4.2.2.2 食品辐照卫生标准	142
4.2.2.3 辐照食品的工艺标准	142
4.2.2.4 辐照食品的检测鉴定标准	143
4.2.2.5 进出口辐照食品标准	144
4.2.3 我国辐照食品的管理与发展	145
4.3 鲜活产品的辐照耐受性	146
4.3.1 水果	147
4.3.1.1 热带和亚热带水果	147
4.3.1.2 温带水果	154
4.3.2 蔬菜	158
4.3.3 切花	159
4.4 辐照保鲜技术	160

4.4.1 辐照保鲜的基本原理	160
4.4.2 辐照保鲜效果的影响因素	161
4.4.2.1 剂量	161
4.4.2.2 储藏温度	161
4.4.2.3 产品种类	161
4.4.2.4 其他因素	161
4.4.3 辐照保鲜的应用	161
4.4.3.1 延缓果实的成熟和衰老	161
4.4.3.2 与灭菌、杀虫技术的结合应用	162
4.4.3.3 抑制发芽	162
参考文献	163

► 下篇 应用篇

第5章 检疫辐照处理法规与标准	176
5.1 检疫辐照处理标准的发展历程	176
5.2 检疫辐照处理国际标准	177
5.2.1 辐照用作检疫处理措施的准则 (ISPM No. 18)	177
5.2.1.1 前言	177
5.2.1.2 引言	177
5.2.1.3 正文	178
5.2.1.4 附件	184
5.2.1.5 附录	185
5.2.2 检疫辐照处理设施的审核与认可 (RSPM No. 9)	187
5.2.2.1 介绍	187
5.2.2.2 背景	189
5.2.2.3 辐照设施认可要求	190
5.3 检疫辐照处理的国家法规	194
5.3.1 美国检疫辐照处理法规	194
5.3.1.1 发展过程	194
5.3.1.2 美国检疫辐照处理法规主要内容	195
5.3.1.3 美国进境水果、蔬菜检疫辐照处理法规主要内容	197
5.3.2 澳大利亚与新西兰检疫辐照处理法规	203
5.3.2.1 澳大利亚与新西兰食品辐照的法规	203
5.3.2.2 澳大利亚州际检疫辐照的法规	205
5.3.3 中国检疫辐照处理法规	205
5.3.4 欧盟关于花卉检疫辐照处理的标准	205
参考文献	206

第6章 辐照设施与安全防护	208
----------------------------	-----

6.1 辐照设施	208
6.1.1 放射性同位素源辐照设施	210
6.1.1.1 γ 辐照设施的组成	210
6.1.1.2 γ 辐照设施的分类	212
6.1.2 电子束辐照设施	213
6.1.2.1 电子束辐照设施的组成	214
6.1.2.2 电子束辐照设施的分类	214
6.1.3 X 射线辐照设施	216
6.1.3.1 X 射线辐照设施	216
6.1.3.2 研究型 X 射线辐照设施	217
6.2 辐射来源及相关物理量	218
6.2.1 日常生活中的辐射	218
6.2.1.1 天然辐射	218
6.2.1.2 人工辐射	219
6.2.2 辐射防护物理量	220
6.2.2.1 比释动能	220
6.2.2.2 吸收剂量	220
6.2.2.3 当量剂量	220
6.2.2.4 有效剂量	221
6.2.3 辐射测量实用量	222
6.2.3.1 个人剂量当量	222
6.2.3.2 环境监测实用量	223
6.3 人体辐射的生物学效应	223
6.3.1 辐射生物效应作用机制	223
6.3.1.1 原发作用	223
6.3.1.2 继发作用	224
6.3.2 生物效应分类	224
6.3.2.1 依据剂量—效应关系划分	224
6.3.2.2 依据效应出现的时间划分	225
6.3.2.3 依据效应出现的对象划分	225
6.3.3 影响辐射生物效应的因素	225
6.3.3.1 与辐射有关的因素	226
6.3.3.2 与机体有关的因素	227
6.3.3.3 与环境有关的因素	227
6.3.4 常见辐射损伤	228
6.3.4.1 外照射急性放射病	228
6.3.4.2 外照射慢性放射病	229
6.3.4.3 放射性白内障	229
6.3.4.4 急性放射性皮肤损伤	229

6.3.4.5 慢性放射性皮肤损伤	229
6.3.4.6 放射性性腺疾病	230
6.3.4.7 放射性肿瘤	230
6.4 辐射防护的原则和方法	230
6.4.1 辐射防护与安全管理体系	231
6.4.2 辐射防护的基本原则	231
6.4.2.1 辐射实践的正当化	232
6.4.2.2 辐射防护和安全的最优化	232
6.4.2.3 剂量限值	232
6.4.3 外照射防护的基本方法	233
6.4.3.1 时间防护	233
6.4.3.2 距离防护	234
6.4.3.3 屏蔽防护	234
6.4.4 外照射屏蔽计算方法	234
6.4.4.1 辐射源项	234
6.4.4.2 透射	235
6.4.4.3 散射	235
6.4.4.4 迷道散射	235
6.4.4.5 天空反散射	236
6.4.5 内照射的防护	237
6.4.5.1 包容、隔离	237
6.4.5.2 净化、稀释	237
6.4.5.3 遵守规章制度、做好个人防护	237
6.5 检疫辐照处理设施的辐射防护	237
6.5.1 辐射屏蔽设施	237
6.5.2 感生放射性	239
6.5.3 有害气体与通风系统	240
6.5.4 安全联锁与警示设施	240
6.5.5 辐射防护教育与培训	240
6.5.5.1 辐射防护宣传与教育	240
6.5.5.2 辐射防护培训	241
6.5.5.3 安全文化	241
参考文献	241
第7章 检疫辐照处理操作与应用	243
7.1 检疫辐照处理运行工艺	243
7.1.1 实用剂量学	243
7.1.1.1 剂量测量的意义和内容	243
7.1.1.2 不同材料中吸收剂量的换算	244

7.1.1.3 剂量计的分类和校准	245
7.1.2 辐照工艺剂量和剂量分布	246
7.1.2.1 工艺剂量	246
7.1.2.2 剂量分布	247
7.1.2.3 电子束实用剂量学	248
7.1.3 辐照工艺流程与辐照质量控制	254
7.1.3.1 辐照工艺流程	254
7.1.3.2 辐照质量控制	255
7.2 检疫辐照处理安全的风险评估	257
7.2.1 风险来源与识别	258
7.2.1.1 风险概述	258
7.2.1.2 风险来源	258
7.2.1.3 风险类型	260
7.2.2 风险分析	261
7.2.2.1 风险评判指标	261
7.2.2.2 风险评价矩阵	262
7.2.2.3 检疫辐照处理的风险等级	262
7.2.3 风险评价	263
7.2.3.1 风险管理措施	263
7.2.3.2 辐照处理与其他检疫处理措施的风险等级比较	263
7.2.3.3 风险管理案例分析	263
7.3 检疫辐照处理监管要素	264
7.3.1 辐照设施的认可	265
7.3.1.1 辐照源	265
7.3.1.2 设施认可要求	265
7.3.2 辐照处理设施核查	266
7.3.3 辐照处理过程监管	266
7.3.3.1 辐照过程监管技术要求	266
7.3.3.2 辐照过程监管	266
7.4 检疫辐照处理的效果评价	268
7.4.1 检疫辐照处理的效能	268
7.4.2 有效性的评判标准	268
7.4.2.1 机率值 9 标准	268
7.4.2.2 有效性等同标准	269
7.4.3 检疫辐照处理效果评价	269
7.5 检疫辐照处理技术应用现状与展望	270
7.5.1 美国检疫辐照处理应用现状	270
7.5.1.1 美国国内商业化应用	270

7.5.1.2 美国进口水果、蔬菜检疫辐照处理应用	270
7.5.2 澳大利亚与新西兰检疫辐照处理应用现状	272
7.5.3 检疫辐照处理的挑战与展望	273
7.5.3.1 检疫辐照处理的挑战与应对	273
7.5.3.2 检疫辐照处理发展趋势与展望	274
7.5.3.3 我国检疫辐照处理应用的发展与展望	275
参考文献	275

上篇

原理篇