

八. 辐射应用

物质分子在放射性核素发出的射线的作用下发生激发或电离,宏观上表现为物质化学结构的改变,导致物质发生各种物理、化学和生物效应。这些效应与放射性核素的辐射类型及物质吸收射线能量的多少(剂量)有关。

表 8-1 物质在 γ 射线作用下不同剂量的辐射效应与应用范围

剂量水平 /Gy	$10^{-2} \sim 10^1$	$10^1 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^3$	$10^3 \sim 10^4$	$10^4 \sim 10^5$
辐射效应与应用范围	癌症放射治疗; 植物突变育种; 昆虫不育。	抑制块茎植物发芽; 杀死害虫。	食品与农产品保藏; 文物保存; 商品养护; 木材—塑料复合材料的合成。	饮用水杀菌, 废水处理; 缓释药物制备; 生物活性物质固定化; 灭菌饲料加工; 一次性医疗用品灭菌消毒; 污泥处理; 高分子功能膜制备。	聚烯烃热收缩材料交联; 电线电缆绝缘层材料交联; 聚四氟乙烯降解。

辐射源。同位素辐射源主要是钴-60源和少量铯-137源。 ^{60}Co 是反应堆辐照生产,半衰期是5.271年,每年活度下降12.6%,发射的 γ 射线能量是1.173MeV和1.332MeV,穿透能力强。 ^{137}Cs 是从裂变产物中提取的,半衰期是30年,发射的 γ 射线能量是661keV。工业辐照用钴-60源强度一般是几万甚至百万居里。常用的辐照装置还有加速器,它和钴—60源相比在某些方面有优势。

表 8-2 钴-60辐射源与电子加速器的性能比较

性能	钴—60放射源	电子加速器
能量	(1.173+1.332)MeV	0.2~10MeV
功率	15kW(3.7 x 10 ⁴ TBq)	1.5~500kW/台
剂量率	低(10kGy/h)	高(10kGy/s)
穿透深度	高(在水中 43cm)	低(在水中 0.35cm)
能量利用率	低(\approx 40%)	10%~90%
生产率	低	高
辐射源强度稳定性	辐射源随时间逐渐衰减(每年12.5%), 须定期补充	辐射强度可保持恒定不变
辐射安全性	γ 射线连续发射, 废源、废物、废水须处理	可根据情况启闭, 停机后无放射性, 辐射安全性好
操作维修	操作维修方便, 技术难度小	技术难度大, 需具有专门技术的工作人员运行维修

表 8-3 辐射加工的应用(产品与服务范围)

加工技术	应用范围
辐射交联	热收缩聚乙烯制品(管、带、膜); 泡沫塑料; 电线电缆耐温绝缘层; 汽车轮

	胎橡胶预硫化；超级耐高温碳化硅陶瓷纤维；天然橡胶乳液硫化。
辐射聚合 (共聚)	长寿命电池隔膜；纤维状高效吸收材料（气味过敏材料）；强力吸水剂；高分子絮凝剂。
辐射降解	固体润滑材料（聚四氟乙烯降解树脂）
表面涂层固化	钢板表面涂复布、摩托车部件表面涂装、建筑材料处理（石膏板、屋瓦、木材等）；基材（木材、纸张、塑料、金属等）表面固化；印刷业（包括：包装纸、纸盒、书籍封皮、胶版印刷）的油墨固化；层压制品加工（软磁盘）；印刷线路基板、不干胶带、木塑制品（建材、文物保护）的应用。
消毒灭菌	注射器、手术缝线、人工脏器、实验动物饲料的消毒灭菌
食品辐照	后熟保鲜（水果、蔬菜）；杀虫灭菌（粮食、肉类、香料）
废气处理	火力发电厂烟道气脱硫脱氮、城市焚烧炉烟气处理
着色加工	装饰品增值（珍珠、水晶、黄玉、玻璃的着色）

有机高分子材料改性。电离辐射强烈的化学效应可导致有机分子的聚合、接枝共聚、高分子化合物交联与降解等。这些特有的辐射化学效应为传统制造行业的工艺改进，以及保证材料品质满足使用要求提供了可能性

医疗用品灭菌消毒。辐射方法是近年来兴起的一种新型灭菌消毒工艺，已经突破技术、经济与心理障碍取得成功而形成产业。这种方法将逐步取代常规的化学消毒方法。医疗用品辐射灭菌消毒的原理是利用放射性核素 ^{60}Co 与 ^{137}Cs 衰变发射的 γ 射线的化学生物效应，取得杀灭病原微生物的效果。

辐射灭菌消毒方法较之常规的加热过程和化学过程有如下特点：

- (1) 冷消毒；
- (2) 消毒灭菌彻底；
- (3) 无污染；
- (4) 工艺简便快速；
- (5) 节约能源。

医疗用品辐射消毒灭菌一般是大规模连续生产。

农作物的突变育种。采用电离辐射（ γ 射线、中子等）诱使农作物遗传物质发生改变，发生突变，最终达到改良作物品种或创造新品种的目的。这种人工育种技术称之为辐射育种。

辐射育种较之与其它传统的育种方法，特别是杂交育种有以下特点：

- (1) 提高突变率与扩大变异谱；
- (2) 打断性状的紧密连锁，实现基因重排；
- (3) 变异稳定快，育种年限短，一般在3~4代即可稳定；
- (4) 改良作物育性，促成远缘杂交；
- (5) 增强品种的抗逆性，提高作物品质。

辐射育种改良品种正由水稻、小麦、玉米、棉花四大类作物逐步扩展到蔬菜、水果、花卉等。

表 8-4 一些植物辐射育种诱变剂量

植物种类	处理材料	GR ₅₀ (Gy) ⁽¹⁾		γ (Gy)	中子 (Gy; 10 ¹⁰ /cm ²)
		γ	快中子		
燕麦	种子	200~350	8~10	100~250	3~6 ⁽¹⁾
大麦	种子	250~400	8~14	200~250	3~6 ⁽¹⁾
水稻	种子	200~300	20~28	250~350	12~20 ⁽¹⁾
黑麦	种子	200~300		100~200	
高粱	种子	200~300		200~300	5~50 ⁽²⁾
小麦	种子	200~350	16~24	200~250	4~7 ⁽¹⁾
玉米	种子	200~400		150~300	8~50 ⁽²⁾
花生	种子	350~450	22~28	150~10	10~20 ⁽¹⁾

大豆	种子	150~300	20~40	100~200	10~100 ⁽²⁾
油菜	种子	1200~1400		700~1000	50~500
大白菜	种子			400~800	
甘蔗	种子			200~250	1~10
甜菜	种子			400~450	
棉花	种子			150~250	10~70
苹果	种子			100~150	1~10
柑橘	种子			100~150	10~100
樱桃	休眠接穗			30~50	40~70
桃	夏芽			10~40	
杉	种子			60~80	
马尾松	种子			60	
人参	种子			40~60	
玫瑰	芽条			380	
菊花	发根插条			10~20	
牡丹	种子			45	

注：GR₅₀ 休眠种子经照射后，苗高降低 50%的剂量（种子含水量 13%）⁶⁰Co γ 射线。

食品保藏。食品的辐射保藏原理是基于放射性核素发射的γ射线对食品进行照射引起一系列化学或生物化学反应，达到抑制农产品发芽、推迟水果后熟、杀灭食品中的害虫、细菌和各种微生物，以延长食品货架期的目的。

1980 年 11 月世界三个国际组织，即联合国粮农组织（FAO）、世界卫生组织（WHO）与国际原子能机构（IAEA）的联合专家委员会最后得出结论是：任何食品的辐照，直到总体平均剂量 10 kGy，都没有毒理学危害，也不会引起特殊的营养学或微生物学问题，辐照食品不必再进行毒理学试验。这一结论为世界辐照食品的实际应用于商业化铺平了道路。

表 8-5 1980 年 FAO/IAEA/WHO 联合专家委员会关于辐照食品卫生安全的评价

食品种类	照射目的	平均剂量 (kGy)	卫生安全性评价
鱼和鱼类制品	(1)防止虫害 (2)减少微生物 (3)减少某些病原微生物	(1)达到 1 (2)、(3)达到 2.2	无条件批准
洋葱	抑制储藏期发芽	达到 0.15	无条件批准
大米	防止虫害	达到 1	无条件批准
可可豆	(1)防止虫害 (2)减少微生物	(1)达到 1 (2)达到 5	无条件批准
枣	防止虫害	达到 1	无条件批准
芒果	防止虫害，推迟成熟，减少微生物	达到 1	无条件批准
豆类	防止虫害	达到 1	无条件批准
香料和调味品（包括脱水洋葱）	(1)防止虫害 (2)减少微生物 (3)减少病原微生物	(1) 达到 1, (2)和(3)达到 10	无条件批准

食品辐照根据灭菌程度分为三个档次：

- (1) 辐射选择性减菌。对食品中的腐败微生物进行某种程度的控制；
- (2) 辐射针对性杀菌。完全杀灭食品中特定的病原微生物；
- (3) 辐射灭菌。即完全彻底灭菌，杀灭食品中存在的除病毒外的所有微生物。

表 8-6 食品辐照的应用范围

分类	目的	剂量(kGy)	产品
低剂量 (到 1kGy)	抑制发芽	0.05~0.15	马铃薯、洋葱、大蒜
	杀灭昆虫和寄生虫	0.15~0.20	鱼干和肉干、鲜猪肉等
	延缓生理过程	0.40~1.0	新鲜水果和蔬菜等
中等剂量 (1~10 kGy)	延长货架期	1.5~3.0	海鲜、草莓等
	去除腐败微生物与病原微生物	2.0~5.0	海鲜、冷冻水产品，未加工与冷冻的家禽与肉等
	改善食品的工艺性质	2.0~7.0	葡萄（增加葡萄汁产额）、脱水蔬菜（缩短烹调时间）等
高剂量 (10~50 kGy)	商业灭菌消毒（结合温热）	10~20	
	消除某些食品添加剂和调味品中的污染	10~20	香料，酶制品，天然植物胶等

表 8-7 某些食品辐照保藏剂量

产品	辐照目的	所需要剂量, kGy	剂量阈值或最大剂量, kGy
谷物	杀虫		1
豆类	杀虫	0.1~0.5	0.5
面粉	杀虫		1
土豆	抑制发芽	0.03~0.20	
大蒜	抑制发芽	0.02~0.15	
甘薯	抑制发芽	0.05~0.15	
番茄	延长货架期	0.2~0.4	
草莓	延长货架期	2.5	
荔枝	延长货架期	0.5	
龙眼	延长货架期	0.5	
咖啡豆	杀虫（5周内死亡）	0.25~0.75	
花生仁	杀虫	0.4	
葡萄干	杀虫	2.0~4.0	
虾	延长货架期	≥3.0	
鸡	延长货架期	2~7	
烤鸭	延长货架期	3~6（冷冻）	
蛋类	延长货架期	1~3	
香肠	延长货架期	5~8	
牛肉	完全灭菌、保藏	35~45	
猪肉	完全灭菌、保藏	35~45	
薯干酒	陈化、改良品质	1.5~3	
黄酒	陈化、改良品质	0.9~1.3	

表 8-8 我国辐照食品卫生标准批准情况

批准时间	数量	批准的食品及吸收剂量 (kGy)
1984 年 11 月	7	土豆(0.2)、洋葱(0.15)、大蒜(0.2)、大米(0.45)、蘑菇(1)、花生仁(0.4)、香肠(8)
1988 年 1 月	1	苹果(0.4)
1994 年 2 月	10	扒鸡(8)、花粉(8)、果脯(1)、生杏仁(1)、番茄(0.4)、猪肉(0.65)、荔枝(0.5)、蜜桔(0.1)、薯干酒(4)、熟肉制品(6)
1998 年 1 月	7	豆类、谷类及其制品类、干果果脯类、熟畜禽肉类、冷冻分割畜禽肉类、干香料、方便面、固体汤料类、新鲜水果蔬菜类

防治虫害。 电离辐射用于防治虫害，在于其生物效应在高剂量时可直接杀死害虫，或在适当剂量时导致昆虫生殖细胞受到损害，丧失延续后代的能力（遗传不育），从而使害虫不能世代交替，达到防治的目的。

辐射不育技术已经达到实用阶段。此技术具有：无环境污染，有利于生态平衡；专一性强，目标明确；防治持久而彻底；特殊效果，对于一些有抗药性昆虫效果好；经济效果显著，与投入成本相比可以达到 50 : 1。

表 8-9 一些害虫的不育剂量

虫种	照射虫态	不育照射剂量, Gy	虫种	照射虫态	不育照射剂量, Gy
淡色按蚊	成虫	120	绿豆象	成虫	200
四斑按蚊	蛹	20	棉铃象	蛹	150
螺旋蝇	蛹	50	玉米螟	蛹	450
地中海果蝇	蛹	110	桃小食心虫	蛹	500
洋葱蝇	蛹	30	棉红铃虫	蛹	400
橘小实蝇	蛹	100	苹果小卷蛾	成虫	450
采采蝇	蛹	90	甘蔗黄螟	蛹	300
蚕蛆蝇	蛹	55	小菜蛾	蛹	700
谷象	成虫	80	油菜尺蠖	蛹	350
米象	成虫	80	谷实夜蛾	成虫	330
金龟甲	成虫	80	粉纹夜蛾	成虫	400