

辐射在食品保藏和生物 医学中的应用

张叔鸣

一、食品辐射保藏

第二次世界大战后，随着放射性同位素的生产和应用，开始了利用放射线处理食品的试验。一些研究成果表明，利用电离辐射可以杀灭食品中的病原菌和腐败菌，防治害虫和抑制马铃薯与洋葱的发芽。这一研究首先从加拿大开始，美苏欧洲各国也竞相进行，后来又发展到亚洲，南美，东南亚等50多个国家。从1950年至今，30多年来，各国进行了大量研究，对大量单个食品（几乎包括各种类型的食品）研究完成的全部毒理学试验，没有证据表明由于辐照而产生有害的影响。美国从1955年起系统地进行了45种辐照食品的动物急性毒性试验，在没有发现任何中毒作用的基础上，于1955年到1959年由志愿者分别对45种辐照食品进行了人的食用试验，结果未发现任何不良反应。其后又对22种代表性辐照食品进行了多种动物的长期饲养研究。1965年完成了慢性毒理研究后，美国军医总署的专家们得出结论，认为食品辐照处理是安全的。1976年第三次FAO/IAEA/WHO食品辐照联合专家委员会（JECFI）会议决定无条件批准辐照小麦（直到10万拉德）、马铃薯（直到1.5万拉德）、木瓜（直至10万拉德）、草莓（至30万拉德）和鸡肉（至70万拉德），而有条件地批准了辐照洋葱、大米、鲑鱼和红鱼，并对蘑菇进行了讨论，但没有作出评价。各国卫生当局对辐照食品的态度主要决定于JECFI的公告，所以从此以

后，辐照食品在欧美等各国市场上开始出售，并也已使用于某些特殊场合，如阿波罗17号宇航员吃的面包是用5万拉德照射过的面粉做的，火腿是用4.3万拉德剂量处理过的，辐照食品也开始用于烧伤病人、器官移植病人，用免疫抑制治疗法的特殊病人。

1980年11月FAO/IAEA/WHO食品辐照联合专家委员会再次在日内瓦开会，全面地总结了多年来各国对辐射工艺，辐射化学，辐照食品的营养，微生物学和毒理学五个方面所取得的成果。在这基础上对取得的新证据进行了审议，建议批准总体平均剂量可达1百万拉德照射的辐照食品。确认在这种剂量照射的任何食品不存在毒理学上的危害，不再需要对它们进行毒理试验，这一结论对于辐照食品的工业化、商品化具有极重要的意义。世界各国批准食用辐照食品见表一。

我国食品辐射保藏研究开始于1958年，当时在中国科学院同位素应用委员会领导下，在北京成立了《辐射保藏粮食研究小组》，从营养卫生、防治昆虫、微生物以及辐射技术等方面进行了初步研究。后来四川省原子核应用技术研究所等14个单位，经6年详细研究表明经射线辐照4万拉德的稻谷，杀虫效果良好。据五种主要贮粮害虫的试验观察，在15—30天内全部死亡，辐射处理的粮食在一般库房中保存三年，未发现新的害虫繁殖。辐照后粮食（稻谷、小麦）经分析测定，其主要营养成份均无明显变化。对狗、大白鼠饲养的卫生学和遗传试验，表明不会产生致癌，致畸和致突变等不良影响。他们

还进行了“辐射保藏鲜猪肉研究”，将鲜猪肉用隔水、隔氧性能好的聚乙烯醇薄膜，抽空密封包装后用 γ 射线辐照150万拉德，在室温（25℃）下贮藏二个月仍保持鲜肉品质，经

卫生安全性试验，营养成份基本上得到保留，在毒理学和微生物学方面的试验均表明无不良影响。同时，香肠和麻辣牛肉干的辐射保藏也取得了明显的效果，曲酒辐照加速

表一 世界各国批准食用辐照食品统计表 截至1981年4月调查统计

照射目的	食品名称	照射剂量(百万拉德)	已批准食用的国家
抑制发芽	马铃薯	$3 \times 10^{-3} - 1.5 \times 10^{-2}$	苏联、加拿大、美国、以色列、日本、西班牙、匈牙利、丹麦、荷兰、保加利亚、乌拉圭、菲律宾、法国、意大利、联邦德国、智利、捷克斯洛伐克、比利时、南非
	洋葱	$2 \times 10^{-3} - 1.5 \times 10^{-2}$	加拿大、苏联、以色列、西班牙、荷兰、保加利亚、匈牙利、泰国、意大利、捷克斯洛伐克、比利时、法国
	青葱	$7.5 \times 10^{-3} - 1.5 \times 10^{-2}$	法国、比利时、南非
	大蒜	$7.5 \times 10^{-3} - 1.5 \times 10^{-2}$	保加利亚、意大利、比利时、法国
杀虫	谷物	3×10^{-2}	苏联、保加利亚
	小麦及面粉	$1.5 \times 10^{-2} - 7.5 \times 10^{-2}$	美国、加拿大
	大米及其制品	$1.0 \times 10^{-2} - 0.1$	荷兰
	干果	0.1	苏联、保加利亚
	可可	7×10^{-2}	荷兰
	香蕉脯	5×10^{-2}	南非
	芥末瓜	$5 \times 10^{-2} - 0.1$	南非
低剂量灭菌延长贮藏期	压缩干燥食品	0.1	苏联、保加利亚
	草莓	0.1—0.3	比利时、匈牙利、荷兰、南非
	芒果	$5 \times 10^{-2} - 0.15$	南非
	鄂梨	1×10^{-2}	南非
	蘑菇	0.2	捷克斯洛伐克、荷兰
	鲜果(番茄、桃、杏、樱桃、梅、葡萄)及蔬菜	0.2—0.4	苏联、保加利亚、荷兰
	龙须菜	0.2	荷兰
	香料及调味品(黑胡椒、桔茗、辣椒粉)	0.5—1.0	荷兰、比利时、匈牙利
	鸡肉	0.2—0.7	苏联、荷兰、南非、加拿大
	去内脏的家禽	0.7	荷兰、加拿大、苏联

低剂量灭菌延长贮藏期	牛肉、猪肉、兔肉半制品 (塑料包装)	0.2—0.4	苏联、荷兰
	烹证好的肉制品(油煎 肉、肋间肉片等塑料包 装)	0.3	苏联
	虾	5×10^{-2} —0.1	荷兰
	冰冻河虾	0.6—0.8	澳大利亚
	鲑鱼片	0.15	加拿大、荷兰
完全灭菌	冰冻蛙腿	0.5	荷兰
	深凉膳食	2.5—4.5	联邦德国、荷兰
	新鲜罐装液体饮料	2.5	荷兰
	医院病室特种无菌食品	2.5—4.5	英国、荷兰、联邦德国

陈化正待扩大生产。此外，白酒辐照后品质显著变优，深受用户欢迎，经济效果明显。河南省郑州市同位素研究所完成了“马铃薯、洋葱、大蒜的辐射贮藏”的研究，表明经1—2万拉德 γ 射线辐照即可抑制发芽，贮藏7—8个月仍保持正常的水份和营养成分，毒理喂养试验也证明是安全卫生的。

广东省华南农学院进行的“辐射保藏鲜蘑菇”试验表明，经10万拉德处理的蘑菇，可延迟破膜开伞，在室温下可延迟六天，在低温下(1—10°C)可保鲜20—30天，营养成分均无损失，色、香、味均比未辐照的好。经四年大白鼠毒性试验，无任何有害影响，这项研究成果增强了广东省出口鲜蘑菇的创汇率，经济效益明显。

中国科学院西北水保所用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线5—20万拉德辐照板栗，有明显的杀虫保果作用。经营养成分、动物饲养等试验表明无任何明显影响，辐照板栗完全是安全卫生的。

此外，天津市开展了鲜蛋鲜鱼的辐照保鲜；北京市出口烤鸭辐照灭菌；上海市出口草莓的辐照保鲜；黑龙江省出口刺五加袋泡茶、出口酒心巧克力的辐照杀虫；新疆马奶子白葡萄的辐照保鲜，葡萄干的辐照消毒；长春市各种水果罐头和宫爆肉丁等软罐头的辐照消毒等都取得了满意的

结果。1982年国家科委(82)国科发新字第226号和卫生部(82)监字第38号文件转发“辐照食品卫生标准科研论证会纪要”确认：我国在进行这类试验时，对辐照剂量为100万拉德以下的，可以不进行慢性毒性试验，只进行90天喂养试验及短期致突变试验。10万拉德以下者，一般不进行动物毒性试验。但必要时，两者均应进行适当的人体试验观察。这些结论对于发展我国辐射保藏食品事业将起有力的推动作用。目前，上海、北京、河南、广东、四川、黑龙江等地正在积极筹建大型辐照装置进行食品辐照的中间试验或进一步工业化、商业化。

二、在生物、医学中的应用

这是最近发展受人重视的新领域。欧美各国和日本都投入了不少力量进行研究。医用器材和材料的灭菌、消毒已作为常规方法投入了正常生产。生物酶(生物催化剂)药物、抗菌素的固定技术已取得了不少很有价值的研究成果。国内一些研究所也作了某些探索，现简单介绍几个方面：

1. 医用器械及材料的射线灭菌、消毒

世界各国对医疗器械和材料的需求量逐年增加，不宜用热杀菌法的特种橡胶、塑料

制品也日益增多,射线照射法和环氧乙烷化学气体杀菌法均为有效的冷杀菌法。化学杀菌法的缺点是处理后存在着残留气体的毒性问题,以及由于物体的形状、气体无法渗透到内部,因而杀菌效果不够彻底。在对完全密封的包装物进行杀菌时,通气孔容易使物体再次污染细菌。射线灭菌法杀菌彻底,能深入到物体内部去杀死菌体。如果将它们密封在聚乙烯包装盒内,消毒后可长期存放不会污染。几乎各种医疗设备都能够进行辐射处理,如外科的各种金属刀、钳、镊等器械、注射器、针头、输液胶带、绷带、棉花、纱布各种体内外缝合线、人工肾脏透析器、宫内避孕环,橡皮手套、滑石粉等。目前,为了防止交叉感染“一次使用”的医疗器材用量大增,所以消毒过程要求连续的流水作业。以西欧北美为例,这种器材的耗量从1970年的10亿打(125亿件)增加到80年的30亿打(360亿件)。澳大利亚每年销售“一次性使用”的注射器8000万只,此外还有大量的缝线、针头等。因此若仍采用一炉炉、一锅锅地消毒,就不能满足需要。由于辐射消毒法的上述优点,在国外包括发展中国家如埃及、印度、南斯拉夫、阿根廷、希腊等国都十分重视该项技术的发展,纷纷建起生产规模的辐射消毒装置。到1975年为止,世界上已有65个 γ 射线辐照消毒装置,有10多台电子加速器用于辐射消毒。目前,这类装置估计已发展到近百个。

我国长春应用化学研究所和白求恩医科大学共同发展了用 γ 射线对医疗器械、医用材料辐射灭菌的研究,得到了比较系统的数据,收集的十二种常见病菌在各种条件辐射后经过细菌培养,发现各种浓度的金黄色葡萄球菌,链球菌,绿浓杆菌、大肠杆菌、破伤风杆菌等常见菌种在100万拉德剂量下全部杀死,而比较顽固的枯草杆菌、蜡样杆菌等菌种在100万拉德剂量下只存活原来的0.007%,在200万拉德剂量下则全部杀死。因此得出250万拉德为杀菌消毒的可靠剂量。

但我国目前还没有生产性辐照装置用于医疗器械和材料的消毒、灭菌。

陕西省第一毛纺厂建立了一条羊毛 γ 辐照灭菌的生产线,并已投入了运行,年处理羊毛3000吨,经11万仑 γ 射线辐照可杀死羊毛中布氏杆菌,而对毛纤维无明显损伤、效果良好。

其他如北京、上海、武汉、四川、广东、湖南等省市都在积极进行中草药、中成药的辐射杀菌、杀虫、消毒的研究工作,初步取得了明显的效果,目前实验仍在进一步深入。

2. 生物活体的固定

酶、抗原、激素等生理活性物质已被用到分析、发酵、医疗等许多方面,但通常只能使用一次,反应后酶的活性有残存,但不好回收,只能丢弃。这样既不经济又不便于生产的连续化,于是人们广泛开展了固定化技术的研究。所谓固定化技术,就是生物活性体与高分子等母体材料(称为载体)相结合或复合的加工技术。辐射法制备固定化酶是将酶的溶液和丙烯酰胺或二甲丙酰胺、甲基丙烯酸羟乙酯等高分子单体混合在室温或干冰-丙酮的低温下,用 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线照射。在分子聚合的同时,使酶包埋在其中。结果生成含有酶的海绵状高分子凝胶体。酶在这样的密网状结构中是不会漏出的。该方法的优点:(1)因在低温下固定,活性体不会失去原来的活性。(2)因单体粘度高,容易加工成所希望的形状,如:固相酶膜、酶柱、透析性酶管等。(3)不管生物活性体的种类、大小、数量,可以在相同的载体中固定化。(4)载体的种类,材料丰富,选择余地大。(5)用剂量控制既可牢固地进行固定化,又可进行松弛固定化,使其按需要的速度持续释放出来(称为徐缓释放)(6)固定效率高,速度快,同时又进行了消毒,灭菌,使用方便。

3. 几个应用实例

1) 酶和抗体的固定化及其在临床诊断

上的应用

近年来，酶反应和抗原体反应用于血液成份分析，来诊断某些疾病已取得相当的进展。但以往的测定中酶和抗原体只能使用一次，所以分析是间歇的，难以实现连续化测定。日本原子能研究所，利用射线接枝法改善基体材料表面的粘结性后，在其上涂敷酶和丙烯酸酯单体混合物在低温下进行聚合，获得了均匀和难以脱落的固定化酶膜。用这种方法制成的葡萄糖氧化酶和过氧化酶等固定化酶管连续使用了一个月以上，其活性几乎不变。

用同样方法把 α 脂肪蛋白质抗体固定在聚合物微粒或薄片的表面，所得到的抗原检测灵敏度在 10^{-9} 克/厘米³以下，与放射性免疫法的灵敏度不相上下。只要抗体不失去活性，一次可制备大量的检查用材料，这是过去的技术所不能达到的，很有实际应用前途。

2) 医学品的徐缓释放及治癌方面的应用

近年来研制的新药，一般来讲药效大，其副作用也大。在刚注射或口服时，血液中的药剂浓度急剧增加，而后又迅速减少。这样，容易产生副作用，药效也不能持久。利用射线生物活体的固定化技术，将医药品和聚合物复合，控制剂量和复合条件，使之松

弛固定，这样，药品就能按所要求的速度，长时间连续地从聚合物载体中慢慢地溶出而达到药效徐缓释放的目的。这种技术特别适用于制作抗癌剂。日本原子能研究所用乙二醇二甲基丙烯酸酯90%，聚甲基丙烯酸酯10%作为单体和抗癌剂丝裂霉素C在 -78°C 下照射聚合，制成了新型的徐缓释放的抗癌剂，可直接插入患者病变区，临床试验证明这种徐缓释放性药物疗效显著，几乎没有什么副作用。另一个有意义的例子是用同样的松弛固定化技术，将天然荷尔蒙和水凝胶复合成徐缓释放性药栓，直接植入体内，对治疗某些妇女病疗效显著。

国内这方面工作才开始起步。黑龙江省技术物理所用丙烯酰胺单体和SP3012菌株溶液混合，经 γ 辐射聚合形成了将SP3012菌株包埋在其中的交联网状结构的聚丙烯酰胺，用它生产的富马酸酶，在柱式反应器中连续制备 α 苹果酸。中国科技大学用同样的技术制备了包埋脲酶的海绵状聚丙烯酰胺。北京师范大学，制成了包埋乳酸脱氢酶的凝胶状聚乙烯醇。这些固定化酶制剂，经多次反复使用，其活性几乎不变，很适合生化工业生产和医学生化试验的需要。

药剂的徐缓释放技术不只限于医药，还能在农药、昆虫激素的释放等多方面可望得到发展。