

应用射线处理食品

北京市食品研究所

一九七五年九月

应用射线处理食品的问题

内容

1. 射线处理食品的发展概况	2
2. 射线的基本概念	5
3. 射线处理食品的特美	6
4. 射线处理食品的卫生问题	8
5. 射线处理食品的经济问题	13
6. 射线处理食品的趋势估计	15

一、射线处理食品的发展概况

应用射线处理食品的设想是在1896年即伦琴发现X线的第二年开始的，当时发现X线有杀灭微生物的作用。但射线处理保藏食品的研究工作直到第二次世界大战以后才展开。1950年美国原子能委员会和陆军后勤部开始了大规模的试验，此后欧洲的英国、法国、丹麦、西德以及加拿大、苏联和日本等也相继展开这项研究工作。近几年来发展中国家如尼泊尔、印尼、泰国、孟加拉、马来西亚等也都进行了研究。但长期以来照射食品是否可供食用一直争论不决，直到1963年2月美国食品和药物管理局第一次批准照射的罐头咸肉可供食用，此后，1964年又陆续批准照射加工的小麦、小麦制品和土豆等可用作食品，照射食品的可食性问题正在随着照射技术、照射食品的鑑定方法、剂量测定和动物试验等的进展而逐步取得解决。目前已有七十多个国家开展了这方面的研究工作，有些国家已批准应用并建立起商业化或半商业化的辐照工厂，至1972年为止已有11个国家对19种照射食品（包括谷物）批准供人类消费使用。

近几年来国际上举行了一系列有关食品辐射问题的专业性会议，如：

1966年6月6-10日于西德卡尔斯鲁厄举行了“国际食品讨论会”；

1967年6月12-16日于荷兰采斯特市举行了“利用辐射消除食物和饲料中有害微生物讨论会”；

1969年12月15-19日于奥地利维也纳举行了“利用辐射保藏鱼产品的讨论会”；

1970年10月27日于鲁森堡举行了第一次“辐照食品的可食性问题国际座谈会”

1972年11月18-20日于印度孟买举行了“发展中国家食品辐射应用的专家讨论会”；

1973年6月18-22日于奥地利维也纳举行了“辐射对食品质量的改进专家讨论会”；

1973年10月24-25日于西德卡尔斯鲁厄举行了第二次“辐射食品的鉴定问题国际座谈会”

国外已出版了不少专业书籍和内部刊物，每次国际性会议后还有论文集，这些活动扩大了食品辐射问题的情报交流，引起了各国的重视，特别是近几年来粮食问题成了世界上的主要问题之一，对所有国家来说，生产出来的粮食的保藏问题是一个重要问题，有些国家由于气候不良或者缺乏足够的贮藏条件以及保藏的技术要求而使全部生产出来的粮食，即使在正常情况下也有25-50%变质，粮食问题在一些第三世界国家中特别引起重视，因此第三世界国家近几年来在食品辐射方面的研究也有很大进展。表一说明1972年和1966年相比世界上对食品辐射的发展情况。

表一：世界食品辐射发展情况的比较

内 容	1966年	1972年
在进行食品辐射研究工作的国家数	33	55
辐射试验工厂数	12	27
第三世界国家的试验工厂数	1	7
全部试验工厂使用放射性同位素剂量数	1460,000居里	3,950,000居里

批准可供人类消费的辐照食品	8种	19种
批准辐照食品可供人类消费的国家	3个	11个
美国批准辐照食品用的包装材料	11种	19种
参加讨论会的国家数(据1966年在西德卡尔斯鲁厄和1972年在印度孟买二次会议的比较)	22个,其中发展中国家8个	29个,其中发展中国家17个
讨论会上的论文集 ()	69篇 " 12篇	61篇 " 26篇

我国自1958年以来开始了这方面的研究工作,当时在北京曾成立协作组对粮食做过杀虫试验、对理化指标、生物指标都有测定。1965~1966年上海食品加工厂、中国科学院上海原子核研究所和上海市卫生局卫生防疫站等单位协作探索用 γ 射线保藏水产品研究。试验认为用钴⁶⁰射线辐照鱼肉香肠有一定的防腐作用,也做了一些动物毒性试验,后因三单位在时间安排上存在困难而中途停谈。1971年~1974年郑州市蔬菜公司陇西蔬菜处连续四年应用钴⁶⁰ γ 射线抑制土豆、葱头、大蒜发芽延长贮存期的试验,取得了一定效果。四川省成立了辐照贮藏食品协作组,参加单位有四川省新技术推广站、四川医学院、四川工业卫生研究所、四川省防疫站等单位,曾列入1975~76年的重要科研项目,已进行过分割肉和肉冻头的辐射保藏试验。北京市食品研究所于1974年也曾做过分割肉的辐射保藏试验,此外南京农学院做过水果的辐射贮藏试验,山东做过酒的催熟试验等。总之,应用射线处理食品的研究试验工作已在我国各地陆续展开,当前应注意积累资料,交流情报,互相协

作，在正式投入工业化应用以前仍有大量工作要做。

二、射线的基本概念

1. 射线的型式

核辐射有三种主要型式： α （阿尔法）粒子， β （贝他）粒子， γ （伽玛）射线和中子。

α 射线是由铀、钍、镭等重元素原子所射出的高速 α 粒子流，铀原子射出 α 粒子后成为钍，镭原子射出 α 粒子后成为氡， α 粒子的穿透性很弱，一张纸即可阻止它的破坏力， α 射线在碰到物质后，立刻就会消失在物质的表面上， γ 能也随之消失。

β 射线是射出的高速电子流，一个原子射出电子后，由于原子核的质子数增加了一个而成为一个新的元素， β 粒子和 α 粒子有相同的能量，但由于质量小因而穿透力较 α 粒子为大。

β 粒子可穿透皮肤而灼伤皮肤。

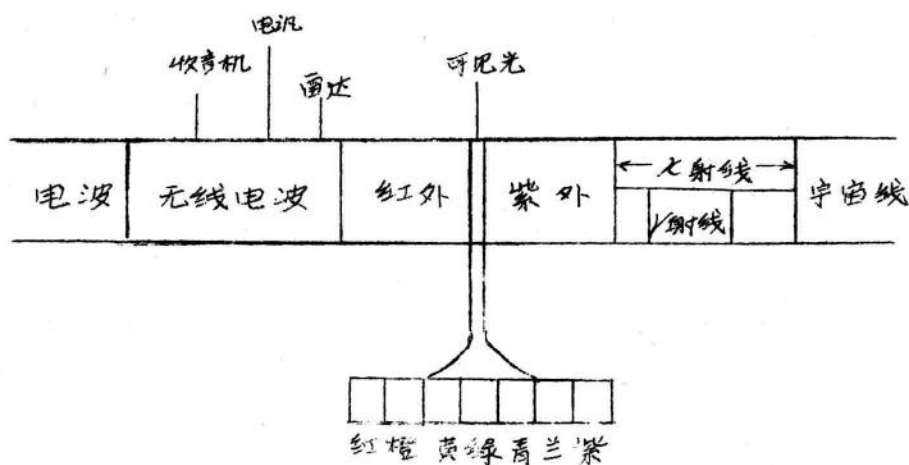
γ 射线和常用于医学上的 x 射线相同，它不是粒子而是一种波长极短的电磁波。 γ 射线较 α 粒子或 β 粒子的穿透力强。 γ 射线可穿过数英尺的空气或穿透几英尺的固体。 γ 射线和 β 射线构成外部辐射的主要健康危害， γ 射线还能构成内部辐射危害性。

辐射的第四种型式是由宇宙产生的或核反应堆或中子发生器产生的。中子不带电荷，穿透力很强，中子很易和其他原子的核反应而使这些原子核成为放射性。

上述四种型式的核辐射中，中子对人和动物具有很强危害性。 γ 射线在照射中产生影响集和生物体反应，但和中子射线一样，当将放射源除去后，即不再有直接的物理的影响。

2. 辐射的性质

宇宙间的核反应，光，燃烧和其他能源都产生能的波，这些波从最长的开始包括无线电波、红外线、可见光（红、橙、黄、绿、青、兰、紫）、紫外、 γ 、 β 等



从上述概念可以显示射线处理食品与在食品中加入防腐剂、香料、色素等食品添加剂不同。

三、射线处理食品的特美

一般保藏食品的技术措施，如冷藏、加热杀菌、灭菌杀虫、脱水贮藏、化学处理等，各有优美及不足之处，应用射线处理保藏食品有以下特美：

1. 经射线处理的根茎类（土豆、葱头、甘薯、大蒜等）能在室温下长期保得而不致发芽；

2. 射线处理可杀死深藏在谷物、果实中的害虫或鲜肉中的寄生虫；

3. 射线处理可延迟新鲜菜品的成熟，不会很快腐烂；

4. 一些不易保藏的水产品（如臭蛭之类）因冷藏时，贮藏

期限为4~10日，长期贮藏时就得用冷冻，但如用射线处理后，再用冰藏可保持一个月不变质，而且还能保持鲜度和新鲜度一样；

5. 射线处理无需提高产品温度，也没有冻结和解冻问题；

6. 射线处理可不破坏食品的外形，不影响品质，不带药物残余；

7. 射线处理可以改善某些食品的工艺质量和卫生质量，例如淀粉可以有新的工艺性质，面粉有更好的烘烤质量，某些水果例如葡萄的果汁增加了，脱水菜的烹调时间缩短了，调味料和凝胶等非腐败性干食品的细菌污染减少了等等。

8. 能在包装情况下进行处理；

9. 射线处理一次就行，如果没有特别的污染的话，就不用再进行处理；

10. 在使用剂量较高时，射线消毒和加温消毒一样，也会带来食品内部组织、色泽、味道的改变。

用射线处理食品既有上述特点（其中大部份是优点），二十多年来这方面的研究也积累了大量数据和资料，仍在研究和实验阶段，工业化和商业性的应用还不多，其原因大致有以下几点：

1. 食用安全性问题，射线处理后的食品在进入市场供人类消费前，首先必须取得卫生当局的批准，在申请批准前，必须进行大量的动物试验，还需将辐射食品饲养动物至四代之久，观察的内容包括动物的生长、生殖、寿命、心肝肾脾肺胃大小肠等的病理组织检查、有无肿瘤性或其他疾病、后代的变异影响等等，这就需要做大量的工作，这样的研究工作大致需要三年，国外估计对一种食品的研究费用需要25万美元，由于这样

费钱，因此还只有少数几种食品投入这样的研究，而且局限于发达国家。

2. 缺少工业性操作的经验以及确定可靠的经济数据以供设计的依据，这个问题随着试验工厂数据的增加将逐步得到解决，而且任何一种新的生产第一个工厂肯定比较费钱，后来总是逐步改善的。

3. 对辐照食品研究的观点常有改变，尤其是对研究结果评价的改变阻碍了对人类消费的批准。

试验步骤一直采用1958年联合国粮食及农业组织和世界卫生组织制订的食品添加剂安全使用测定方法和1961年联合国粮食及农业组织和世界卫生组织的“食品添加剂致病危险性的评价”。有些国家即按此进行测定，但现在对食品辐照列入食品添加剂有异说，因此怀疑这些试验方法的有效性和可靠性，于是要求测定的项目愈来愈多，这样使照射食品需要做的测定比历史上任何一种加工方法的要求都多，完成要求的费用和时间增加了，自然影响了方法的推广。

下面就辐照食品的卫生问题及经济问题的一般看法和情况作一概述

四、射线处理食品的卫生问题

在过去25年中，为了研究照射食品是否可供人类消费而引入了“卫生”一词，这一词案已作为专门技术术语，它包括三个概念，即营养价值、毒性、安全和微生物安全，从技术的角度上说，食品的外观不包括在“卫生”这一名词之中。

任何食品的加工而引起成分的化学变化，对消费者有二类影响：营养价值受到变化和组织的变化而产生了有害物质。

1. 营养价值问题

这一问题也就是射线处理食品是否会破坏食品的营养价值，大部分研究者认为没有显著的变化，即使在高剂量照射的完全杀菌时亦如此，特别对蛋白质来说射线处理的还略优于加热处理。比较的方法可以由长期动物试验得出结论，也可以从主要营养成分（蛋白质、脂肪、碳水化合物）经过射线处理后的利用率得出结论，在对9种冷冻冷藏食品，照射过的和未经照射过的，其营养成分利用率的比较如表2。

表2 射线处理和未处理过的食品的营养成分利用率

营养成分	未经照射	照射 (5.58 Mrad)
蛋白质	85.9	87.2
脂肪	93.3	94.1
碳水化合物	87.9	87.9

以上是低剂量照射，照射剂量大时有消化不良现象。

营养成分中另一重要问题是维生素，维生素因放射线而被破坏的程度，如和加热杀菌比较，在水溶性维生素方面是略同，在脂肪性维生素方面就较多。从这一方面来说，使用射线杀菌就不如加热杀菌好，不过这种破坏的程度也可因照射条件而异（空气中或真空中照射）以及食品里是否添加维生素，如冷冻果汁中的维生素C在百万拉德照射下也能保存下来。

表3是使同射线杀菌和加热杀菌对食品中维生素破坏程度的比较，表4是食品处理后维生素的利用率，表3和表4均来自日本资料。

表3：使用射线和加热杀菌对食品中维生素的破坏程度

维 生 素	损 坏 率 (%)	
	加 热	辐 射 (2.92 兆拉德)
硫胺素 (B ₁)	60~70	55~65
核黄素 (B ₂)	18~22	6~10
维生素B ₆ 醇	28~32	24~25
菸 酸	30~25	0~14
胆 碱	?	0
肌 醇	?	0~5
维生素A	20	31~70
叶 酸	35	0
维生素E	?	61

表4：食品处理后维生素的剩余比率

维 生 素	加 热 杀 菌	2.5兆拉德辐照消毒
硫胺素	35	35
核黄素B ₂	80	80
菸酸	75	75
维生素B ₆	70	75
叶酸	70	95
维生素A	80	75
维生素E	90	75
维生素K	90	15

2. 有害物质问题

有害物质的测定不外乎是化学分析和动物毒性试验。食品经过照射可以测得大量的物理的、化学的和生物的变化，由于分析技术和分析仪器的进步，已经有快速的、实用的和可靠的测定方法，从测定的数据可以评价食品的卫生，但由于各国的法律规定不同，分析方法也不一样，对毒性物质缺乏一个共同的概念，这一来特别影响了国际贸易的开展，因此欧洲经济共同体的健康保护管理局组织了五个实验室或研究所（西德二个、比利时二个、荷兰一个）分工研究关于食品的鉴定问题，工作于1965年开始，1970年和1973年举行了二次辐射食品的鉴定问题国际座谈会。此外联合国粮食及农业组织、世界卫生组织、国际原子能机构等都在这方面做了工作。

至于动物毒性试验，现有文献资料引证的材料大都来自美国，美国陆军后勤部曾作过规模较大的动物试验，所使用的动物有小白鼠、大鼠、犬和猴，短期试验是3~12个月，长期试验是二年或到第四代，从试验应取得生长率、繁殖率、致癌性、寿命、血液学上的所见和病理组织学上的所见等参数，使用的照射食品有牛肉、猪肉、脂肪、鱼、鳕鱼、鸡肉、金枪鱼、嫩牛肉、嫩鸡肉、胡萝卜、洋白菜、玉蜀黍、绿豆、马铃薯、甘薯、小麦粉、水果（加糖）、浓缩奶、桔汁和果酱等21种。

试验照射的剂量，一般是2.79 Mrad或5.58 Mrad。但在使用0.3 Mrad比较低剂量即可达到杀菌目的有、小麦粉、马铃薯和桔汁等，这三者试验结果大体无毒，仅用马铃薯饲育的鼠的一例第一二代死亡率稍有增加、另有用小麦粉的一例甲状腺发病率稍有增加，在用大剂量照射食品后的结论也大体无毒，试验方式没有什么不同。

除了有毒物质外，还有三个有害问题需要考虑，即是否会诱发放射性，是否会生成致癌物质和是否会影晌下一代包括致畸形性。

关于诱发放射性问题，由于用射线处理食品，食品是不直接接触放射性同位素，而仅是在放射源前通过，这和核爆炸时受落下物污染不同。后者是落下后混入食品中造成污染，前者仅是照射而不是被污染。

国外研究结果是小于10个百万伏特，没有发现任何诱发放射性，食品中的主要成分——碳氢氮硫等都必须有10Mrad以上时才能使之带有放射性。钴-60的 γ 射线的能量是1.33或1.17 MeV，它不会含有那么高的能使食品中的成分产生诱发放射性。

关于是否会生成致癌性物质问题，这是一个很重要的问题。试验时曾用极易致癌的鯉鱼做过致癌的测定，所使用的照射食品是含有丰富的脂肪和固醇的食品，即用腊肉、猪脑和蛋的混合物以及类固醇的浓缩物，还有肉色植物油的混合物，绿豆、鸡肉、牛肉、桃、五加皮、金枪鱼、甘薯等，及有发现无变化，说明没有致癌性。

在美国也曾利用照射过的过氧化物，尤其是用类固醇的过氧化物做过会不会致癌的试验，在用钴-60 2Mrad γ 射线处理后，又在120°C中贮藏过的火腿佐饲料饲养，也没有发现有变化。

最后关于是否会致畸形性问题，曾用苍蝇做过试验，用 γ 射线照射过的酵母悬液培养时，在第三代从蛹发育成为虫的过程中，致死率有增加。

3. 是否有致毒性细菌问题

在用完全杀菌剂药之下的骨对细菌照射时，试验说明照射处理结果有可能增大细菌的耐放射性，这和耐抗菌素的道理一

样，所以有危险性，有经验指出在经过若干次射线处理后，细菌的耐射线性高出了几倍。

总的说来，虽然长期动物试验是一个对照射食品是否卫生的证明的一种主要技术，并且做了大量的研究工作，但对照射食品中质的变化大部分还不知道，定量的变化则知道得更少。即使照射食品的长期动物试验得出了大量数据，并提出了一个“无反应”水平，但对毒理学者来说，毒理学是涉及一个明显的反应剂量关系，因此除非它直接或间接的和潜在毒物的剂量有关，否则其价值还是有限的。

五、射线处理食品的经济问题

在美国虽然已有不少食品照射装置，但主要是供研究用，因此对商业性食品照射装置的设备 and 操作费用还缺少可靠的数据。

据国外资料报道，以铀-235作为能源，最初额定为3,238,000居里，作为一个独立企业，投资费用约需253万美元，如设在其他企业中作为一部分，则其投资费用约需170万美元。

上述这样的工厂，其每年总操作费用前者约60万美元，后者约52万美元。

除了投资费用以外，还需要从处理费用上和其他方法作比较，例如杀灭谷类害虫，一般用氰化甲烷、氰化氢或磷化氢等熏蒸剂，但熏蒸剂的透过性不强，杀虫的效果也不完全，尤其对虫卵更不彻底，但使用射线就不仅对成虫而且对卵也一样，经济上射线处理约为熏蒸费用的二倍。

在国外，马铃薯和洋葱是蔬菜中最主要的品种，如果贮藏法得当，价格就稳定，从而对其他蔬菜也起稳定作用。马铃薯

和洋葱，一般是在收获期以后2~3个月，即在休眠期后开始发芽，用化学药剂涂布法，例如马铃薯在收获期前4~6周喷以马来酸酰肼(MH)收获后再喷以CIPC (chlorpropham chloro)，这种方法在日本每吨费用10~4元(折人民币)，而且使用方法也要求熟练准确，稍有差错或喷期过早过晚，浓度不当等都会产生反结果。又洋葱在0~20℃用冷藏抑制发芽，从7~11月5个月的费用每吨38元(人民币)，但马铃薯在用0.005~0.01 Mrad，洋葱用0.003~0.004 Mrad照射时，每吨费用反需140~190元(人民币)，是比较经济的。

实际上，在食品中菌的分佈，既有上杀灭食品表面上的细菌即可达到目的的，也有必须使射线达到食品深部才能达杀菌目的的二种利害，所以在维持食品品质的前提下，有的就可以杀灭菌的一部份，残存的菌待冷藏中抑制繁殖，更重要的是防止二次污染。

最近美国商业部的研究所对苏联出口的小麦进行射线处理的结果说明用杀螟松处理小麦每吨费用10美元左右，而用射线处理每吨只化5~8美元。

计称射线处理的费用比较复杂，原因是同射线的种类、使用率等有关、美国资料，火腿和腊肉高强度杀菌，每公斤约合人民币0.60元，肉和菜芽类每公斤约0.04~0.12元。见表5。

表5 射线杀菌的费用

处理目的	食品	射线剂量 公厘时	每处理量 吨	使用率 小时/年	线流 A/m ²	线流剂量 率(90°)	线号 (4粒管)	照射成本 元/公斤
杀菌	火腿		6900		36.0	21.5	4500	0.57
	腊肉	375		15	10.0	50	5220	0.67
	肉	300	1800	6000	12.2	21	4500	0.75

表接下页

接上页表

抑 制 微 生 物	熏鸡	500	3500	7000	0.8	30	250	0.08
	熏		3100		5.33	21.5	150	0.04
	翅	900	5400	6000	1.0	25	150	0.08
	洋葱	13500	28,000		12.73	21.5	200	0.05
		1	4.050	3000	2.0	25	200	0.12
	柚子		89.000		19.75	21.5	200	0.03

上述金额数字，虽然由于社会制度经济结构的不同而只能作为参数，但可以看出用射线处理食品从经济上看应不是没有前途的。

大射线处理食品的趋势估计

射线处理食品的研究工作已进行了二十多年，从效果来看是明显的，从经济角度来看也是可取的。但是和食品加工的其他方法来比较，它的必需和实际应用还是比较慢的，主要原因是对它供人类消费使用时的安全性问题考虑较多，人们对其他加工方法，例如加盐、冷冻、干燥、盐渍、烟熏等一直认为已经有被人类消费的长期经验所许可，虽然当中有些方法的安全性现在也有些问题。所谓安全是指实际上确实不会对人类产生什么伤害，这是一个严肃问题，慎重考虑是必要的。此外，长期动物试验是一个研究照射食品对人类健康是否有害的主要技术，但其结果也有某种程度的不可靠性，而且这种不可靠性和食品添加剂及农药的类似研究比较可能要大些。现在一些国家的卫生机构对提出照射食品供人类消费的申请难下结论予以批准。对某一种特定食品为了某种目的而进行的射线处理，申请

时提示没有危险性的证明是否充分有怀疑，现在有一种趋势是做一些有综合性和代表性的研究，例如选择小麦和土豆，这二种都是高碳水化合物食品，小麦的含水量是“干”食品的代表，而土豆则是高水分的代表。又如选择鱼这种高蛋白质的食品，具体用鳕鱼（低脂肪含量）和红大马哈鱼（中等脂肪含量）作为代表品种。这样对代表性的食品在不同条件下进行不同剂量的动物试验以得出一些数据，在对某一特定食品作研究时与这些代表性食品作对照，可以减少不确定性的怀疑。

还有一个办法是利用已知蛋白质、碳水化合物类脂物等含量的混合食品在某一特定条件下进行照射研究，得出的结果和某一特定食品的结果作比较。

还有一类要去除对照射食品安全性的怀疑需要得到更多的照射食品的变化数据，在这方面知道得还不多，现在应着重找食品风味气味质地等变化的原因而不是偏重于先得出安全性的估价，某些结果虽然是定性的，但对毒理学的研究是有帮助的。例如对照射过的肉的挥发性物质和未照射的肉的挥发性物质作比较没有发现什么特殊的不同，因气相色谱和质谱法测定照射肉的挥发性物质发现在咖啡干酪蔬菜葡萄等其他食品中也可找到，在这些方面作更多的研究是有帮助的，当然工作量和困难性是大，也不能设想从照射食品的化学变化和成分就得出安全性的结论。

总之，照射食品的卫生安全问题是一个不能得出最后结论的问题，安全标准没有一个绝对的定义，对安全性的判断要从这一加工方法所可能产生的危险性和由此而得到的利益来平衡研究，这涉及很多因素，因而是一个复杂的问题。

我国对食品的射线处理问题已经做了不少研究工作，今后