

# 食品辐射加工的现状与展望

A. B. Путилов, A. X. Брегер

在全世界, 食品辐射加工研究的发展已有近30年的历史。但是, 这种食品加工方法的实际应用远远落后于现有的科学基础和潜在的可能性。仅在近年来(首先在美国)这种加工方法的商业应用才取得一定的进展。1976年起的历次辐射加工国际会议对食品辐射加工颇为关注。下面根据第四次辐射加工国际会议(1982年10月于南斯拉夫杜布罗夫尼克)的资料综述食品辐射加工的现状与展望。

在美国, 对食品辐射加工的首次加强研究完成于50年代。当时根据美国陆军的指令研究了十来种辐照产品, 进行了大规模的动物试验。但在1958年有两个事件急剧阻碍了美国和其他国家对这种研究结果的应用。一是美国联邦食品法的修正(将食品辐射同食品添加剂一样对待, 要获得批准, 须进行长期的动物遗传学试验); 二是陆军辐射中心广为宣传的辐照食品计划宣告取消。此后, 美国国防部订立了继续辐照食品研究的几百万元的合同。为此, 利用了当时最强的 $^{60}\text{Co}$ 装置和24MeV的电子直线加速器。从此时起到80年代初该方面的研究大大加强, 发展加快了, 虽然辐射加工在食品工业中的利用, 例如1973年日本建立辐照马铃薯的 $\gamma$ 装置,

与其说是常规, 不如说是例外。

美国的食品辐射加工的新时代与下列事件有关。首先, 在1980年国家食品辐照计划从美国国防部转到农业部, 这加速了对最重要产品的商业上有效的工艺的拟制。其次, 1981年3月农业部建议可以无条件地利用 $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ 和10MeV电子加速器等电离辐射源对任何食品进行1千戈瑞(10万拉德)以下剂量的辐照, 并允许对剂量在1万戈瑞以下的辐照食品按一定原则进行短期(90天以下)的动物试验。已允许对某些食品成分进行剂量达5万戈瑞(5兆拉德)的辐照, 只要这种食品成分每天摄入量少于0.01%。这实际上就是认定, 用上述剂量辐照食品不会生成任何致癌物质。最后, 1981年加利福尼亚由于果蝇造成水果灾害, 已允许利用辐射对水果进行杀虫消毒。在70年代, 比利时、荷兰、南非、日本亦利用了现有的装置或建立了新的食品辐射加工装置。发展中国家(如中国)对这种食品加工方法亦有很大的兴趣。

辐照能延长食品的贮藏期, 并形成某些有利特性。表1列出了主要的辐射加工食品的清单。在大多数情况下所需剂量值较小, 这就决定了这种方法的经济性并保证不分解营养物质, 不生成显著量的辐解产物。因为

表 1

食 品	有利的辐照效应	剂量范围 (千戈瑞)
马铃薯, 洋葱	抑制发芽, 延长贮藏期	0.03—0.12
种子, 水果	杀 虫	0.2—0.8
肉	杀灭寄生虫	0.1—3.0
冻肉, 家禽、蛋、动物饲料	减少病原微生物	3.0—10
干食品, 香料, 淀粉	杀灭病原体	3.0—20
肉, 家禽, 鱼	消毒(包括病毒和抗辐射微生物)	25—60

对食品中所含的大多数物质，其辐射化学产额不超过4—6个分子/100eV，故即使在1万戈瑞的剂量下低分子量产物（氨基酸葡萄糖等）的浓度亦显著小于1摩尔/千克，因此食品的主要成分实际上没有破坏。

业已详细研究了下列辐照工艺特性的影响：

**吸收剂量率**对食品辐射加工过程影响不大。如果在食品消毒时必须保持任何一种微量成分（如维生素），最好采用高剂量率，这可利用脉冲直线加速器来实现。这是因为微生物的钝化主要取决于辐射的直接作用，而在高剂量率下自由基的快速复合阻碍其与食品微量成分起反应。但是，利用这种辐射源的技术上的困难可能使应用这种辐射加工的全部利益（特别在大规模加工时）化为乌有。

**辐照温度**对辐照过程的影响，首先与激活能量对温度的关系有关（根据熟知的阿累尼乌斯方程）；其次与在低温下粘性减小并相应降低自由基活动性有关。温度对辐照肉的影响就是明显的例子：消毒肉需要约4万戈瑞的剂量，在室温下这种剂量的作用导致出现异味，而降低温度至0℃以下，特别低至对肉的两个临界温度：-20℃和-40℃时，肉的品质有显著改善。但在低温下消毒效率亦有所降低，故之应对每种具体的辐照条件选出最佳的剂量-温度关系。

在所需剂量高到几万戈瑞（如加工肉产品）时，辐照时的**气体介质**开始起明显的作用。无氧辐照（此时生成的自由基主要经受歧化作用和二聚作用而不产生食品异味）可以由真空法或惰性气氛（氮，氩，CO<sub>2</sub>）来实现。最常用的辐照在氮中进行，因为惰性气体较贵，而真空法在辐照后解开包装时可能发生辐照后氧化。

待辐照食品**物理状态**的改变主要是由于冷冻或干燥。如上述，辐照冷冻产品在较高剂量（几万戈瑞）下更好些。脱水对辐照产品的质量有良好的影响。干燥产品可以用高

剂量辐照而不产生任何明显量的副产物。

掺入食品中的**添加剂**实际上不影响辐照食品的质量。掺入食品中的较大量的添加剂主要是无机物（食盐，三磷酸钠等），而其与辐照时生成的自由基的反应能力不大。

## 辐照装置

直到最近，除少数例外，各国没有建造专门的工业辐照食品用的辐照装置，而利用医疗器械消毒用的辐照装置。其中，如在MEDIRIS（比利时），GAMMASTER（荷兰），桑地亚公司的<sup>137</sup>Cs源装置上进行食品的商业性辐照。当然，在多用途装置上难以保证高剂量的医疗产品消毒和低剂量的食品加工的经济性。这就促使美国辐射技术公司研制主要用于食品加工的<sup>60</sup>钴γ装置RT-4101系列（表2）。这种装置的输送设备在需要时可用

表2 辐射技术公司辐照食品的γ装置的基本特性

特 性	型 式	
	RT-4101-2852	RT-4101-4048
最大生产率,箱/小时	50	50
包装箱尺寸,厘米	71×132	102×122
最大载物高度,厘米	214	214
最大产品装载量,千克	636	1136
最大 <sup>60</sup> Co源放射性,千居里	3000	3000

于消毒或其他目的而不显著损失效率（这就解决了农产品辐射季节性的问题）。这一系列装置有几种变型，它们用于包装箱辐照，并根据包装箱尺寸编定型号。第一台装置RT-4101-2852已于1981年6月在阿肯色州西孟菲斯运转，其他三台装置定于1983年在加利福尼亚，罗得艾兰，北卡罗林纳州启动。低剂量食品辐照和高剂量其他产品（如医疗器械）的经济性由专门的传送系统来获得，它能在6种不同工况和不同距离上沿着平板辐照器传送包装箱。这就可以在给定吸收剂量率下建立所需的剂量。装置的工作由

电子计算机控制, 保证每个包装箱按一定程序进行辐照。辐照技术公司进行了一系列食品的商业性辐照工作, 并在82年与NASA签订了合同, 辐照宇航员的食品和加利福尼亚的水果。

其他国家亦计划建造辐照食品的工业装置。例如意大利建造辐照马铃薯、洋葱和其他蔬菜的装置(生产率为每季2万5千吨), 法国建造2兆居里钴源辐照各种产品的装置, 南朝鲜根据日本类似装置的运转经验计划建造辐照蔬菜的装置。匈牙利辐照洋葱的简易装置已运转数年。它的输送器可作为贮藏库, 而所有主要设备在季节性辐照农产品(通常每年2个月)后返回匈牙利科学院同位素研究所(该处建造这种装置)。鉴于辐照产品的生产和利用经验(约每季500吨), 匈牙利已计划建立较大规模的生产。

测定辐照食品剂量用的**辐照控制借助剂量测量系统**(表3)进行。研制和试验了实际上允许在任何条件下以任何给定精确度控制食品辐照的系统。此外, 辐射化学的成就可以直接判断在辐照时食品中发生的过程, 如

可以鉴定同分异构体O-和M-酪氨酸(在天然食品中不存在, 在与自由基反应时生成), 这可以判断辐照时食品中转变的深度。一般说来, 辐解产物的绝对产额及其反应能力可作为估计加工任何一种食品的辐射工艺适宜性的基础。辐照其组分和性质接近天然食品的成分的单质的模拟实验并控制此时所得的化合物可给出对制定具体产品加工工艺更有价值的情报。广泛应用有机和生物活性物质的辐射化学的科学经验可以显著缩短具体产品辐照工艺达到实用化的批准期限。

### 食品辐射加工的经济观点

现在即使在美国, 食品辐射加工许可的获得不会出现重大的财政和组织障碍。即使剂量高于1千戈瑞对任何形式的食品的试验亦可以做(需用几个月时间, 总费用(包括受试动物的毒理学试验)约20万美元)。

工业性辐射加工的辐照成本取决于具体的装置和辐射源。如用<sup>137</sup>Cs源(放射性6.9兆居里)辐照水果(生产率900吨/昼夜), 装

表3 食品辐照用剂量测量系统

系 统	分析和测量方法	所测剂量范围(戈瑞)
高精度系统, 要求专门训练和操作技能		
氨基酸(即丙氨酸)	电子自旋共振谱学	1—10 <sup>5</sup>
氨基酸或糖类	水合发光	10—5 × 10 <sup>4</sup>
硫酸铯溶液	紫外分光光度测定法或电化学电位滴定	10 <sup>3</sup> —10 <sup>5</sup>
乙醇-氯苯溶液	量热滴定或高频示波法	10 <sup>2</sup> —10 <sup>5</sup>
硫酸亚铁溶液 (弗里克剂量仪)	紫外分光光度测定法	10—4 × 10 <sup>3</sup>
硫酸亚铁铜溶液	紫外分光光度测定法	10 <sup>3</sup> —3 × 10 <sup>5</sup>
重铬酸钾溶液	紫外分光光度测定法或电化学电位滴定	10 <sup>3</sup> —10 <sup>5</sup>
不要求专门操作技能的大批测量和现场控制系统		
着色聚甲基丙烯酸甲酯	(可见)分光光度测定	10 <sup>3</sup> —4 × 10 <sup>4</sup>
不着色聚甲基丙烯酸甲酯	(紫外)分光光度测定	10 <sup>3</sup> —10 <sup>5</sup>
三醋酸纤维素	(紫外)分光光度测定	10 <sup>4</sup> —4 × 10 <sup>5</sup>
硼酸锂	热发光	10—4 × 10 <sup>3</sup>
放射色谱染色膜、溶液和纸	(可见)分光光度测定或显象测密度法	1—10 <sup>6</sup>

置的投资估计为3.2百万美元，每年运转费用为170千美元，辐照成本（考虑基本投资折旧）为每箱0.038美元。考虑到水果的装卸费用和与辐照无直接关系的其他业务费用，则加工费用为每箱0.12美元或0.003美元/公斤。

日本辐照马铃薯的装置（生产率10千吨/月或20千吨/季）为1.5百万美元；在意大利为同样目的建造的装置（生产率为25千吨/季）约为3百万美元。遗憾的是，辐照技术公司没有发表有关辐照食品专门装置成本的数据。

上述数据表明，经辐照加工的产品成本增加不大。如热带国家输出的辐照水果的辐照成本约为0.006美元/公斤。用生产率为2.5吨/小时的装置以剂量1千戈瑞辐照干鱼时辐照成本为16—20美元/吨或小于产品成本的1%。

利用电子加速器辐照某些类型食品的成本取决于它的功率和结构特性。在所述例子中，食品辐照加工的成本不高，与为获得类

似效应的其他加工方式的成本相当。

从会议资料的分析可作出下列结论：

1. 现在在食品工业中广泛引入辐照技术已经具有全部技术和组织条件。这种技术的实用规模在很多方面由掌握某种加工方式的公司间的竞争所决定。

2. 食品辐照加工发展的主要趋势是辐照产品品种的增长。

3. 辐照技术在食品工业中商业性应用时，有机和生物活性物质辐射化学方法对预测辐照效率，控制副产物的生成和加速相应试验具有重要意义。

4. 通用 $\gamma$ 辐射源得到最广泛的应用。在研制设备和工艺时必须严格遵守辐照工况。进行经常剂量测量控制，为此建议广泛利用电子计算机。

5. 食品辐照加工的潜在优势是与其运用有关的费用的回收。

（朱维和译自 *Атомная техника за рубежом*, 1984, 5）

## 书刊简介

### 日本新创刊《加速器科学》

日本于今年4月新创刊一种学术性刊物“加速器科学”。该刊为季刊，由东京大学原子核所平尾泰男等9人任编委。创刊号（1卷1期）为“射线医学”（医用加速器）专集。目录如下：

1. “加速器科学”发刊词
2. 射线医学引论
3. 射线医学的现状
4. 利用回旋加速器的快中子治疗

5. 医用电子直线加速器的现状
6. 利用回旋加速器生产的放射性同位素的医学诊断
7.  $\pi$ 介子利用计划
8. 超小型回旋加速器“CYPRIS”
9. 超小型内含回旋加速器的设计与运转特性  
每篇文章均附有英文摘要。

（朱维和）