

谈谈食品辐射保藏

吴文元

(食品科学与工程系)

一、概 论

为减少粮食、食品的霉烂和虫害的损失,采用了晒干、冷藏、热加工、化学药品处理等方法。但全世界仍然有20~25%的粮食被损失。在我国,粮食、油料、蔬菜、果品的损失率也在10~40%之间。在某些不发达国家和地区,损失率高达30~50%^[1]。

由于传统的食品贮藏技术在成本、能源消耗和保持食品原有品质,都存在一些问题,因此,寻找新的食品贮藏技术就成为世界各国关注的问题。辐射保藏食品就是一种发展较快的新技术和新方法,也是和平利用原子能的一个重要方面。利用高能射线照射食品,可以延迟食品某些生理过程(发芽和成熟),起到杀虫、杀菌、防霉的作用,达到延长保藏时间,提高食品质量的目的。食品辐射保藏技术在相当程度上弥补了传统食品保藏技术的不足。

与传统方法比较,辐射保藏食品的优点是:

1) 由辐照产生的热量很低,食品温度的升高微乎其微,因而能在保持新鲜食品、冷冻食品原有特性,使其风味和鲜度不变的情况下进行杀菌;

2) 放射线的穿透力强,辐照可以在食品包装好之后进行,辐照后不会再污染,因而可以十分方便而有效地杀灭深藏于谷物、果实或肉中的害虫、寄生虫和微生物;

3) 用射线照射不必担心食品中有残留药物,从而防止了由杀虫灭菌剂、食品添加剂引起的环境污染,改善了食品卫生质量;

4) 节省能源。据估计,食品采用冷藏需要消耗能量90~110千瓦小时/吨,加热杀菌为230~300千瓦小时/吨,脱水处理为700千瓦小时/吨,而辐射杀菌保藏只需要6.3千瓦小时/吨^[2]。

第二次世界大战后,随着放射性同位素的大量应用和电子加速器等机械辐射源的问世,用射线处理食品的研究得到迅速发展。近20多年来,国际上举行了一系列辐射保藏食品专业会议,讨论了各方面的食品辐射问题。有关食品辐射保藏的论文越来越多,促进了食品辐射研究的发展。1976年在美国波多黎各召开第一届国际辐射工艺会议时,有关食品辐照的论文还不多。到1984年在美国圣地亚哥召开第五届国际辐射工艺会议时,食品辐照已成为大会最关心的问题,讨论次数及交流文章都超过其它方面内容。目前全世界已有25个国家无条件地或暂时地批准了90多种辐照食品。在部分国家已有小规模辐照食品上市^[3]。

我国的食品辐照研究开始于1958年。当时在中国科学院同位素应用委员会的领导下,12个有关单位联合对粮食(稻谷、小麦、玉米)的辐射防治虫害效果进行了初步研究。以后,上

海、郑州、天津、四川等地分别进行了鱼肉、马铃薯、洋葱、大蒜等的辐射保鲜研究。紧接着,山东、江苏、广东、黑龙江、浙江、新疆等省市自治区也陆续开展了一些辐射保藏食品的研究,辐照食品的内容越来越广,取得的成果和经验也越来越多。目前,全国约有100个大大小小的辐照装置在从事食品辐照研究。1984年11月我国卫生部批准了辐照马铃薯、洋葱、大蒜、蘑菇、大米、花生,并暂时批准了辐照香肠。中科院和上海市联合建立的辐照食品保鲜基地已于1986年9月19日正式投产,规模可达到辐照马铃薯2.5万吨,大蒜7500吨,洋葱2500吨,花式蔬菜1万吨,脱水蔬菜5000m³,水果约2500吨。近期内,每年的辐照收入约160万元,利润约100万元^[4]。与此同时,南京、天津等地的大型辐照基地也陆续建成。

自从1984年中加入国际原子能机构(IAEA)以后,我国也为国际核合作做出了应有的贡献。1986年,国际原子能机构在上海和杭州举办了食品辐照保藏学术会议,世界各国近70位专家来中国交流经验,我国在这方面的工作给他们留下了深刻的印象。

二、辐射源与辐射剂量

用于食品辐照保鲜的辐射源目前主要有二种,一是放射性同位素钴60或铯137,二是电子加速器。

钴60每次衰变发射出两个 γ 光子,能量分别为1.17与1.33MeV,半衰期为5.27年。铯137每次衰变发射出能量为0.66MeV的 γ 光子,半衰期为30年。 γ 射线具有很强的穿透力。

放射性强度的单位可用居里(Ci)表示,1个居里表示放射性同位素每秒钟内发生 3.7×10^{10} 次核衰度。一个1万居里的钴60辐射源,其功率相当于0.15千瓦。

电子加速器可以产生高能电子束,其穿透能力不仅取决于被辐照介质,而且与电子的能量有关。例如,1MeV的电子在一般食品中的射程为4~5毫米,3MeV的电子则可达15毫米左右。

比较这两种辐射源,可以看到,由于电子射线的穿透力较弱,不能照射到食品深处,因此只适合于薄片状食品的辐照。对于只希望进行表面处理,避免深部受辐照的食品,电子射线是较理想的。此外,由高能电子转换的 x 射线(韧致辐射)与 γ 射线一样具有较强的穿透能力,能用于处理较厚的物体。 γ 辐射源在不使用时仍继续衰变,而加速器可根据生产要求随时开和停。但是,电子加速器装置比较复杂,检修维护及操作都需要有专门的技术,而 γ 辐射源操作简单,稳定性好。而且, γ 射线的剂量均匀性也比电子好。

辐射剂量学中的辐射量主要有照射和吸收剂量。照射量用来表示 γ 或 x 射线在空气中产生电离的能力,单位为伦琴(R),通常用伦琴计测量。如果已知 γ 辐射源的放射性强度,也可以根据辐射场中的距离,计算出被照射物体所在位置的照射量率。吸收剂量是描述物质在辐射场中所吸收的能量大小,适用于一切被照射物体,单位为拉德(rad),1拉德表示每克物质吸收的辐射能量为100尔格。吸收剂量可以用各种剂量计(如硫酸亚铁剂量计、塑料薄膜剂量计等)测定。照射量与吸收剂量虽然本质不同,但它们之间也有联系。由于照射量容易测量,所以在许多情况下,可以先测出某一位置的照射,再计算被照射物质在该位置的吸收剂量。在 γ 辐射场中,照射量与吸收剂量的关系为:

$$D = f \cdot X$$

其中 D 为吸收剂量(rad), X 为照射量(R), f 为伦琴-拉德转换系数。不同的物质,由于其

组成原子的不同, f 值也不同。例如, 空气的 f 值为 0.87 拉德/伦琴, 一般稀水溶液的 f 为 0.97, 小麦和稻谷为 0.96, 花生为 0.98, 聚乙烯为 1 等等。

三、辐照食品的卫生安全性

食品辐照使用的钴60或铯 137 辐射源都是密封型的。被照射的食品决不会直接接触到放射性核素, 所以, 食品仅仅受到 γ 射线的外照射, 而不会沾染上放射性物质。研究证明, 要使组成食品的基本元素, 如 C、O、N、P、S 等变成放射性核素, 需要 10MeV 以上的高能射线进行照射。事实上, 通常使用的辐射源(^{60}Co 和 ^{137}Cs)放射出的射线最大能量(≤ 1.33 Mev)仍是很低的, 不会在食品的任何构成元素中引起放射性, 即使产生能量约 14MeV 的电子的机械源, 所能引起的放射性也是极其短寿的, 很快就可以忽略不计。为了安全起见, 国际辐照食品联合专家委员会已推荐电子加速器的最大允许能量为 10MeV, γ 或 x 射线的最大能量为 5MeV。在这些条件下, 任何辐照食品中都不会出现诱导的放射性。

由于辐射的化学效应, 人们担心辐照食品中是否会存在有毒物质。美国从 1955 年起就系统地进行了 45 种辐照食品的动物毒理试验。在没有发现任何中毒作用的基础上, 由志愿者分别对 54 种辐照食品进行了人的食用试验, 结果也未发现任何不良反应。其后又对 22 种代表性的辐照食品进行了多种动物长期喂养研究。美国军医局局长在 1965 年向美国国会报告: “用钴 60 γ 射线或用能量达 10MeV 的电子辐照, 吸收剂量达 5.6 兆拉德的食品, 发现是卫生安全、营养充足的。”^[5] 以后的大量研究不断提供安全的证据, 最终导致了辐照食品联合专家委员会在 1980 年会议上提出的建议认为: 总平均剂量不超过 1 兆拉德辐照的任何食品不会造成毒理学危害, 因此不必再进行毒理学试验。”^[6]

我国上海医科大学、上海工业卫生研究所和中国科学院上海原子核研究所等 14 个单位和部门曾协作进行了辐照食品的卫生安全性试验。他们挑选了 78 名自愿报名的医科专业学生和职工, 随机配对分为试验组和对照组, 于 1984 年 9 月到 1985 年 1 月进行了 90 天食用 60% 辐照食品的研究。辐照食品包括粮食、肉类、蔬菜、水果等共计 35 种。经过双盲法试验, 结果表明, 各项卫生安全指标在统计学范围内测试数据一致, 证明辐照保鲜食品是安全的。^[7]

辐射化学研究的结果对卫生安全性的认识作出了重要的贡献。事实证明, 辐照食品中所测得的大多数分解产物, 也同样在未辐照食品中检查出, 而且用其它加工方法也有这些产物生成。Merrit 利用气相色谱和质谱测定辐照中的牛肉挥发物, 发现在剂量为 6 兆拉德时, 辐解产物有 60 种, 总量为 30ppm, 大部分产物的浓度远低于 1 ppm。而且, 所有这些化合物也可以在未辐照的食品中找到。^[8]

通过化学研究还可以了解辐照食品中营养成分的损失程度。一般来说, 糖类对射线是相当稳定的。例如, 以 1 兆拉德辐照 100 克葡萄糖一水合物, 仅释放出 0.8 毫克 H_2 和 2.6 毫克 CO_2 。^[9] 多糖类在射线照射下也会放出 H_2 和 CO_2 , 而且变得酥脆和易于水解。辐照还会引起酶与被照物质作用的改变, 并且由此产生不同的可消化性。这些效应在某些场合是有用的, 如植物纤维原料辐射水解, 可提供能源(酒精)、化工原料、食品及牲畜饲料(单细胞蛋白)等。对于多糖类, 尽管大剂量照射会增加单糖的含量, 但在一般情况下是很稳定的。采用杀菌程度的剂量, 例如 2~5 兆拉德, 对糖类的消化率和营养价值几乎没有影响, 不会引起糖类食品发生质量变化。

饱和脂肪在射线照射下一般是稳定的, 不饱和脂肪容易发生氧化, 氧化程度与照射剂量

成正比。由辐照生成的羰基化合物虽然使消化速度多少有所下降,但在营养价值上没有变化。一般杀菌程度的照射量也很少使消化速度发生变化,加上脂肪在食品中由于其它油溶性化合物的溶入,及食品中其它成分的保护作用,变化程度就更小了。

蛋白质分子具有较易断裂的二硫键、氢键、醚键等,因此辐照会使蛋白质分子部分裂解,例如辐照使带壳蛋的稠蛋白变稀,粘度减小。 $-SH$ 基的增加,伴随氨基酸的产生,也表示蛋白质分解。辐照还会使氢硫基氧化生成分子内或分子之间的硫键,从而引起蛋白质分子的交联作用。总的来说,在溶液中的蛋白质被照射时主要导致交联,而在干燥情况下,则倾向断裂。固体蛋白质较溶液中的蛋白质稳定,而食品中的蛋白质又比纯蛋白质更稳定。因此,在一般杀菌程度下的辐照并不明显改变食物中蛋白质的含量,氨基酸的分解也较少。

维生素对电离辐射的稳定性在很大程度上与环境条件、食品性质及成分有关。例如,辐照温度低损失也小,脂溶性维生素容易发生分解和破坏。水溶性维生素以维生素C的辐射敏感性最强。但一般来说,辐照食品的维生素损失低于热杀菌处理,或与热杀菌处理相当。有人证实,通常的热处理使猪肉损失的硫胺素要比在有效的杀菌处理条件下辐照损失得更多。此外,对于维生素C的损失,一些研究者另有看法。他们认为,辐照虽然使抗坏血酸减少,但增加了脱氢抗坏血酸,总的维生素C仍然不变。^[5]

四、辐射的生物学效应及在食品保藏中的应用

辐射的生物学效应包括杀菌、杀虫、抑制发芽及延缓成熟等。

射线灭菌作用的机制分为直接作用和间接作用。直接作用也叫做击中学说或靶学说。它将细胞核,特别是起遗传作用的脱氧核糖核酸(DNA)看成是靶,当这靶受到一定次数的击中时(即吸收一定数值的能量),即引起致死作用。由此可以影响细胞的生存和繁殖。另一方面,发现由水分子激发和电离而形成的某些中间产物(如氢原子、OH自由基、水化电子 e^- 水等)是高度活性的,会使细胞生活必需的结构或物质发生变化,从而显示致死效果,这就是间接作用。水是大多数食品的重要的、甚至是主要的成分,显然,在这些体系中,间接作用是很重要的因素。可以说,射线对微生物细胞的作用是直接作用和间接作用同时发生的复杂作用。

辐射杀菌的类型有三种:

辐射完全杀菌(Radappertization)所用的杀菌剂量是根据对肉毒梭状芽孢杆菌(*C. botulinum*)所用的12D概念得出的,该芽孢菌对罐头工业的影响最大。其中D即残留菌数下降到原数的10%时所需的剂量,也称 D_{10} 。12D剂量将使辐照食品中*C. botulinum*的最耐辐射的菌种孢子数从 10^{12} 减少到 10^0 个。根据辐照温度及腌渍用盐的浓度,肉类的12D剂量约在2.5至4.5兆拉德之间。

辐射针对性杀菌(Radicidation)目的是杀灭食品中如沙门氏菌那样的特定的非芽孢的病原微生物,为人们提供卫生的食品,辐照剂量一般为0.3~0.8兆拉德。今天,在大多数国家,沙门氏菌是最重要的引起食物致病的来源物。例如在西德1968—1978年期间所有食物中毒和传染中,沙门氏菌要占约80%。^[10]因此,一些专家已纷纷提倡用辐照的方法来消灭食品饲料中的沙门氏菌。

辐射选择性杀菌(Radurization)与辐射针对性杀菌一样,也属于辐射巴氏杀菌法。它的目的是较减少诸如肉、鱼、家禽、果蔬等食品中腐败微生物的活菌数,以延长食品的贮藏期。辐照剂量一般为0.1~0.5兆拉德。

在我国, 辐射灭菌的研究已从肉鱼禽蛋等食品扩展到中药材和中成药^[11]。在实际应用中, 药物的辐射灭菌已占有一定比重。对于有些品种, 如人参蜂皇浆、花粉等, 辐射已成为最合适的灭菌处理方法。

与其它生物体一样, 辐射对昆虫的效应是与其组成细胞的效应密切相关的, 因此用辐射来防治虫害是十分有效的。食品的辐射杀虫一般包括对水果蔬菜中害虫的辐射防治, 对谷类、豆类中害虫的辐射杀灭, 对肉类、鱼类中动物寄生虫的辐射杀灭及对调味品、干果中螨虫的杀灭等。

卵对辐射最敏感, 其次是幼虫、蛹和成虫。成年前的昆虫照射后造成不育。卵照射后至多发育为幼虫, 但不能发育成蛹。30~50万拉德可使昆虫立即致死, 10万拉德足以使昆虫在数日内死亡, 2.5万拉德可使昆虫在数周内死亡, 即使存活也不育。我国四川省粮食局科研所的试验结果表明: 4万拉德可作为防治常见贮粮害虫的有效致死剂量^[12]。

在美国, 危害柑桔类的害虫主要是各种果蝇, 过去广泛使用二溴乙烯作为熏蒸剂。自从发现二溴乙烯是致癌物质后, 美国环境保护局已提出禁止使用, 并认为辐照是代替二溴乙烯熏蒸法最有希望的方法。据研究, 杀死果蝇的剂量是5~6万拉德^[13]。

对于块茎类食物, 如马铃薯、洋葱、大蒜等, 辐射可以抑制它们发芽, 剂量一般为0.5万至1.5万拉德。 γ 射线抑制发芽的机理目前有多种阐述。一是对植物生长激素的干扰。例如对马铃薯来说, 生长激素 IAA (吲哚醋酸) 的合成是由若干酶与色氨酸转化而成的, 由于辐射不仅抑制了关键酶的合成, 而且使有效酶系统被激活, 从而干扰了生长激素的合成。二是核酸含量的下降。马铃薯在收获后, 其生长点的分裂组织呈休眠状态。此时促进细胞分裂和细胞膨大的能量还不够, 当三磷酸腺苷 (ATP) 之类特殊的磷化合物达到一定的浓度就会合成核酸, 核酸积蓄到必需量才能形成新的组织器官。而 ATP 是通过呼吸及许多复杂的酶系统的作用才被合成的。研究表明, 射线使得利用糖进行呼吸所必需的己糖激酶减少到75~80%, 而分解 ATP 的酶则提高到约三倍, 因而干扰了 ATP 的合成, 进而抑制了发芽^[14]。此外还有一种乙烯抑芽的机理。由中国科学院上海植物生理研究所和原子核研究所进行的研究表明, 马铃薯块茎辐照后释放累积的乙烯, 释放量随剂量加大而增加。用 1000ppm 乙烯处理引起与 γ 射线相似的马铃薯块茎呼吸的刺激作用抑芽效应, 从而推论出 γ 射线刺激产生的乙烯是 γ 射线抑制马铃薯块茎出芽的原初反应^[15]。

γ 射线使水果延缓成熟的机理也是十分复杂的。例如, 苹果受到照射后, 苹果的成熟激素乙烯受到一定抑制。同时, 使苹果衰老的过氧化酶系列也受到抑制, 活力降低, 从而使苹果延长保鲜期。对浆果类的草莓, γ 射线使果胶酶的活力受到抑制, 果胶降解速度变慢, 从而保持硬度和新鲜度。由此可见, 果蔬的辐照保鲜与生物化学有密切关系。

上海辐照基地对青蕉苹果采用低剂量辐照处理(3~5万拉德), 在常温贮存期间可以有效地抑制轮纹病发病率; 在冷库贮存时, 贮藏后可以抑制其生理病害——虎皮病, 因此明显降低烂耗, 延长了商品货架期^[16]。目前主要在淡季供应高级宾馆、医院等。

五、食品辐照展望

过去几年中, 世界各国的食品辐照发展很快, 有关食品辐照的研究依然方兴未艾。化学研究和毒理学研究的大量证据, 以及国际辐照食品联合专家委员会的评价, 正在逐渐消除辐照食品在全世界范围内接受的主要障碍——对人类食用安全性的怀疑。世界能源费用的上

涨,也使辐射处理的经济前景有所改善。据 IAEA 报道,到 1986 年,全世界 11 个国家有 24 个商业性辐照装置至少有部分处理食品,预计到 1990 年左右,食品辐照装置数将超过 50 个,扩大到 17 个国家^[17]。

尽管食品辐照的进展很大,但由于种种原因,辐照食品的大规模商业化推广还有一定的阻力。很重要的原因就是消费者的心理因素。由于消费者对原子能知识的缺乏,长期以来对原子能工业产生畏惧心理,对“辐射”有不恰当的理解,害怕辐照过的食品有放射性或产生其它不利的影响。某些国家的保守态度也给辐照食品的国际贸易造成一定的障碍。为了协调各国的工作,最近又成立了第三个多边性的食品辐照国际咨询小组 ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation), 它的作用是收集及提供有关食品辐照方面的资料,考虑辐照食品的可接受性和卫生性。

其它还有一些原因,例如某些食品在辐照剂量太高时会产生辐照异味,一般认为这与食品辐照后产生的硫醇等有关,对于含脂肪量较高的食品,还与脂肪的氧化有关。在辐照装置有限的情况下,辐照食品的运输费用,特别对于那些本身单价不高的食品来说,影响较大。上海辐照基地建在蔬菜公司仓库旁边,有利于减少辐照蔬菜的二次运输费用。据了解,有些单位对于霉烂变质的果蔬等食品可以合法地向上报损,但是如果通过辐照来防止和减少损失,却还找不到开支这笔辐照费用的规定。这是我们体制和规章制度上存在的问题。

针对食品辐照目前存在的问题,在今后的工作中应注意以下几点:

1. 发展综合处理的食品辐照工艺

在食品辐照工艺上,一个重要的发展方向就是辐照与其它方法相结合的综合处理,例如辐射与热处理相结合,辐射与冷藏相结合,辐射与气调相结合,辐射与无毒药剂相结合等。这样的综合处理不仅效果好,而且可以减少辐照剂量。单纯辐照对于杀灭谷物、豆类中的虫害,抑制块茎类发芽,去除调味品的细菌污染等确实很有效,但对某些需要较高剂量灭菌,特别是蛋白质和脂肪含量较高的食品,单纯辐照会引起令人不快的辐照异味。因此,在接受辐射的生物学效应的同时,为了尽可能抑制因化学效应带来的副作用,往往需要联合其它一些手段。例如,美国陆军的纳蒂克 (Natick) 实验室在对肉类食品进行辐射完全杀菌时采用辐照前温和加热(除去食品中的自溶酶活性)、真空包装(降低辐照对氧的不利影响)及冷冻(减少辐照产物和营养的损失)等措施,这样不仅消除了辐照异味,而且延长了保存期。

2. 重视辐射化学的研究

如果每一种辐照食品、每一种剂量都要经过毒理学试验,那将是十分耗资又费时的。食品辐射化学研究的进展不仅有利于我们去认识射线的作用机理,而且可以给辐照食品的卫生安全性提供有用的资料,为简化生物毒性试验提供有用的依据。

辐射化学的研究表明,虽然辐射分解产物的增加与辐射剂量成正比,但剂量超过 1 兆拉德后,分解产物不再增加^[14]。对许多食品成分的辐射分解产物进行测定,也证明了在浓度上不会构成任何毒性危害。这意味着,在高剂量得到的毒性资料对同一食品来说,可以向低剂量外推。把食品辐解产物研究结果与毒理学研究结合起来评价,最终有可能发展成单纯利用化学法对辐照食品进行安全性评价,这将大大加快食品辐照的商业性进展。

3. 提高辐照装置的利用率

随着食品辐照取得的进展,逐步增加辐照装置也是势在必行。但是必须考虑到辐照装置的投资费用是比较高的,而且钴 60 放射性的年衰减率是 12.3%,因此对于大型的辐照基地切

忌一哄而上,应该在详细调研的基础上充分论证后再下结论。对于已建成的单位来说,必须加强经济核算,综合利用,提高辐照装置的加工能力。诸如医药品的灭菌消毒,辐射化工产品等,只要辐照装置有余力,工艺条件较成熟,都可以接纳为产品。只有一源多用,充分提高辐照装置的利用率,才能争取较大的经济效益。除了已建成及正在建造的大型辐照基地外,遍布全国各地的约100个大大小小的辐照装置仍然可以而且应该继续发挥应有的作用。

4. 加强联系,推广成果

我国目前从事食品辐照研究的单位不少,由于相互之间联系较少,研究的课题容易重复,取得的成果也不易推广。类似国际上食品辐照的专门组织,我们国内似乎也应该有个在食品辐照方面起协调作用的组织机构,以便加强各研究单位的联系和协作,交流信息情报,组织推广成果。同时,应该充分利用我国参加国际有关组织的有利条件,加强与国外的联系,注意引进国外的先进技术,包括辐照工艺和辐照装置等。

5. 加强科普宣传

国外的经验表明,消费者的教育程度是辐照食品在市场上销售的关键条件^[5]。为了提高广大群众和干部对辐照食品的认识,加速食品辐照商业化的进展,我们有必要利用各种宣传工具,包括报刊、杂志、电视等,广泛地坚持不懈地进行有关核知识和食品辐照方面的科普宣传。

虽然食品辐射保藏不是灵丹妙药,但是,随着世界范围的能源短缺及化学药剂在一些国家的禁止使用,食品辐照作为一种新的有效的技术正在受到越来越多的注意,日益显示出广阔的发展前景。不久的将来,辐照食品将成为罐头食品和冷藏食品的伙伴,在食品工业的大舞台上扮演一个不可缺少的角色。

参 考 文 献

- [1] 《辐射加工简讯》,第16期,p.29,1985
- [2] 陈科文主编,《辐射保藏食品》,科学出版社,1982
- [3] 《中国科学院辐射技术与开发工作讨论会论文选编》,1985
- [4] 《核技术》,V.10(3),p.1—3,1987
- [5] J. F. Diehl, in "Developments in Food Preservation-2", Ed. by Stuart Thorne, 1983
- [6] Anon, Wholesomeness of Irradiated Food, WHO Technical Report Series, No.659, Geneva, 1981
- [7] 《辐射研究与辐射工艺学报》,V.5(1),p.38,1987
- [8] Jr. C. Merrit, Rad. Res. Rev., V. 3, p. 353, 1972
- [9] P.S.Elias等主编,陈祖荫译,《主要食品成分的辐射化学》,原子能出版社,1982
- [10] E. H. Kampelmacher, in "Combination Process in Food Irradiation," IAEA Proceedings Series, Vienna, 1981
- [11] 《核技术》,V.10(3),p.45,1987
- [12] 《核技术成果选编》,北京,1983
- [13] 《辐射加工简讯》,第16期,p.4,1985
- [14] 《辐射保藏食品译文集》,科学出版社,1980

-
- [15] 《辐射研究与辐射工艺学报》，V.2(3)，p.64，1984
[16] 《辐射研究与辐射工艺学报》，V.3(3)，p.59，1985
[17] IAEA Bulletin, V. 28(2), 1986