

食品辐射保藏原理及运用

孙 凡

(西南农业大学基础部, 重庆 630716)

应用辐射技术延长食品的保藏期, 为食品保藏工作开辟了一条新的途径。用射线处理食品可以起到杀虫、灭菌、消毒、防霉和防腐以及抑制蔬菜、瓜果发芽变质的作用, 达到降低农产品产后消耗、延长食品保藏时间、提高食品质量、增进食品卫生和改进某些食品的加工适应性的目的。本文论述了食品辐照装置、食品辐射保藏原理、食品辐射保藏效果以及辐射食品的安全卫生性等问题。

食品辐射保藏是指用射线辐射食品, 借以延长食品保藏期的技术。食品辐射后既可提高食品卫生, 又可降低农产品产后消耗, 延长食品货架寿命, 并能提高食品的质量和加工适应性。食品辐射保藏技术为食品保藏工作开辟了一条新的途径, 是原子能在农业上的又一项重要应用, 现已愈益受到人们的重视。

一、食品辐射保藏简史及特点

辐射的杀菌作用, 早在 X 射线发现的第二年(1896 年), 人们就已经提出。1930 年美国专利中已收集有辐射杀菌保存食品的报告。第二次世界大战以后, 由于大型辐射源的应用, 使大批量食品处理成为可能, 同时在广泛对辐射

和散射, 从而达到电磁隐身和声隐身方面取得了很好的结果, 已经进入到实际应用阶段。

光电子技术是精细复合材料特别是纳米复合材料的重要应用领域。国内外的研究工作表明, 分散在液体、聚合物和玻璃中的金属、半导体和极性氧化物具有明显的光学非线性效应。微粉悬浮系统的光学位相共轭, 二波混频以及微粉复合体的相干和频、差频效应, 光学双稳效应都已取得了有希望的实验结果。材料科学界对纳米复合材料在光电子学中的应用抱着很大的期望, 有关研究工作正在活跃地进行之中。

应该指出, 精细复合功能材料是材料科学正在发展的前沿领域, 理论和技术都不成熟。

食品的安全卫生性的研究基础上, 各国食品管理部门纷纷制订了辐射食品的管理规程草案。1970 年, 在国际原子能机构 (IAEA)、联合国粮食与农业组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 的倡议下, 在巴黎成立了“食品辐射国际计划” (IFIP) 组织, 先后共有 24 个国家参加该计划, 分工协作进行研究^[1]。1976 年 FAO, IAEA, WHO 联合召开的专家委员会批准了五种无条件接受的辐射食品: 鸡肉、马铃薯、小麦、蕃木瓜和草莓^[2]。1980 年 10 月底 FAO, IAEA, WHO 组成的辐照食品安全卫生专家委员会总结了大量实验结果后公布^[3]: 凡是由 10^6 rad 剂量辐照过的食品, 不会引起毒理上的危害, 不需再作毒性试验。至今约有 95% 采用辐照处理食品项目的剂量远远低于 10^6 rad。因此, 这

目前的研究重点主要还是侧重在制备技术方面, 有关应用研究则还是主要侧重在原理性和可行性的论证方面。要使这种材料真正进入实际应用还有很长的路要走。然而许多材料科学家都认为, 这是材料科学中很有生命力的前沿领域。

- [1] R. E. Newnham, *Ann. Rev. Mater. Sci.*, 16(1986), 47.
- [2] R. E. Newnham et al., *J. Wave-Material Interaction*, 4(1989), 3.
- [3] K. Rittenmyer et al., *Ferroelectrics*, 41(1982), 189.
- [4] G. R. Ruschau et al., *Sens. Actuators*, 20(1989), 269.
- [5] R. E. Newnham et al., *J. Am. Ceram. Soc.*, 74(1990), 463.

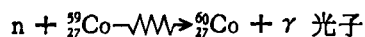
个决议具有重要的意义和影响,大大有利于减少人们对辐射食品是否安全卫生的疑虑,推动了食品辐照加工工业的发展。至1986年已有包括美国、苏联、日本等在内的33个国家批准或暂时批准了40余种辐照食品商业化应用,包括马铃薯、干果、鲜果、调味品、小麦及其制品、猪、牛肉的半制品等,我国也于1984年批准了七种辐射食品上市^[4]。目前,在国际上约有70多个国家在食品辐照方面实施各种研究与开发计划,不但发达国家如美国、苏联、英国、法国等,而且发展中国家如印度、巴基斯坦、尼日利亚、乌拉圭等也花大力气进行研究,涉及的食品项目也愈来愈广泛。

食品辐射保藏与冷冻、热处理、脱水、熏蒸、杀虫以及化学处理等传统的食品保藏方法相比,具有许多优点^[5]。食品辐射处理时,射线可以穿过包装和冻结层,杀死食品表面及内部的微生物、害虫和寄生虫,而且在照射过程中,温度几乎没有升高。处理适当的辐射食品与新鲜食品在外观形态、组织结构及色香味品质上很难加以区别,具有良好的保鲜效果。辐射处理食品消耗能源少,据估算可节约70—97%的能量。辐射处理加工效率高,可以改进某些食品的工艺质量。食品经处理后不留下任何残余物,既改善了食品卫生质量,又减少了环境污染。

二、食品辐射装置

食品的辐射装置包括辐射源、防护设备、输送系统和自动控制与安全系统。辐射源是食品辐射加工的核心部分,它可以分为放射性同位素和电子加速器两大类。

食品辐射加工使用最多的辐射是⁶⁰Co所产生的 γ 射线,也有的采用¹³⁷Cs发射的 γ 射线。⁶⁰Co辐射源由自然界中存在的稳定同位素⁵⁹Co制备,可按使用需要制成不同形状,置于反应堆活性区,经过一定时间的中子照射,少量⁵⁹Co原子吸收一个中子后就生成⁶⁰Co辐射源,其核反应为



⁶⁰Co的半衰期长达五年零三个月,因此可在较长的时间内稳定使用。⁶⁰Co辐射源在衰变过程中放射出一个 β 粒子和两个 γ 光子,最后变成稳定同位素⁶⁰Ni。⁶⁰Co放出的 β 粒子能量较低,仅为0.306MeV,穿透力差,对辐射物质不起作用。而放出的两个光子能量较高,分别达1.17MeV和1.33MeV,穿透力很强,在食品辐射中能引起物质内部的物理和化学变化。

¹³⁷Cs辐射源是由核燃料的渣滓中抽提制得的,通常用稳定同位素铯作载体制成硫酸铯-137或氯化铯-137。¹³⁷Cs辐射源的优点是半衰期长达30年之久,但是由于¹³⁷Cs发射的 γ 射线的能量比⁶⁰Co低一半左右,仅为0.66MeV,且分离十分麻烦,防护困难,装置成本高,所以¹³⁷Cs的应用远不如⁶⁰Co辐射源广泛。

电子加速器是利用电磁场使带电粒子获得很高的速度,将电能转变成射线(高能电子射线及X射线)的装置。加速器的类型和加速器原理有多种,用于食品辐射加工的加速器主要有静电加速器、高频高压加速器、微波电子直线加速器、高压倍加器和脉冲电子加速器等。电子加速器可以作为电子射线和X射线的两用辐射源。电子射线的能量越高,其穿透能力越强。电子穿透能力用电子的射程来表示,它是能量的函数:

$$R = 0.542E - 0.133, \quad (1)$$

$$R = 0.407E^{1.38}, \quad (2)$$

式中 E 为电子的能量(MeV), R 为电子的射程,用质量厚度表示(g/cm^2)。(1)式适用于电子能量0.8—3MeV,(2)式适用于0.15—0.8MeV。电子在样品中穿透的深度为

$$I = R/P, \quad (3)$$

式中 P 为样品的比重(g/cm^3), R 为射程, I 为穿透深度(cm)。样品的吸收剂量可用下式计算:

$$D = \frac{EIT}{W} \times 10^5, \quad (4)$$

式中 E 为电子束能量(MeV), I 为电子束流强(μA), T 为照射时间(s), W 为样品质量(g),

D 为全吸收剂量 (rad)。

电子加速器产生的电子流强度大, 剂量率高, 聚焦性能好, 并且可以进行调节和定向控制, 便于改变穿透距离、方向及剂量率, 但它的电子射线射程短、密度大、穿透力差, 一般适用于食品表面的照射。例如对易腐食品辐射时, 选定适当的“加速能”, 就可使射线不穿透食品内部, 只进行表面杀菌。

X 射线具有高穿透能力, 可以用于食品辐射加工。但是由于电子加速器作 X 射线源效率低, 而且能量中包含大量低能部分, 难以均匀照射大块食品, 故没有得到广泛应用。

三、食品辐射保藏原理

食品经带电或不带电的射线照射会发生一系列辐射效应, 主要有物理学效应、化学效应及生物学效应。保藏食品主要是利用它的生物学变化, 辐射处理可以杀灭危害食品的微生物和昆虫, 以及改变其新陈代谢。改进食品品质是利用辐射处理发生的分解、聚合反应等引起的食品的物理和化学性质的变化。接受射线的能量和电荷的作用方式都符合射线与物质相互作用的一般规律。当它们接受 X 射线和 γ 射线的能量, 且射线能量较低时, 形成光电子。如果射线的光子与被照射物的电子发生弹性碰撞, 当光子的能量略大于电子在原子中的结合能时, 则形成康普顿电子。当射线的光子能量较高时, 作用后形成电子对。组成食品、微生物及昆虫的物质接受带电粒子的作用时有以下几种形式: 发生改变方向的库仑散射, 使原子或分子发生电离或激发, 发生韧致辐射, 发生电子俘获、正负电子湮没。

食品的构成复杂, 粮食又是植物的种子、茎或根, 具有生物体的特征, 然而组成食品和其他生物有机体的主要化学物质是水、蛋白质、脂肪分子和碳水化合物分子。水分子在射线作用下, 产生水合电子, H^{\cdot} , OH^{\cdot} , H^+ , OH , H_2 , H_2O_2 等。由于水分子形成的某些产物具有高度的活性, 会导致鲜活食品和微生物等生物细胞的生

物理

理活性物质钝化。蛋白质是一切生物体中最重要的组成物质之一, 在机体的生命活动中起着关键的作用。射线照射到食品等的蛋白质分子, 很容易使它的二硫键、氢键、盐键及醚键断裂, 发生脱氨, 放出二氧化碳, 发生硫氢基氧化、交联、降解等变化, 破坏了蛋白质的二级、三级结构, 改变其物理性质, 如使其电导率增大, 粘度升高, 表面张力发生改变等^[6]。食品的脂肪和脂肪酸被射线照射时会发生氧化, 出现脱羧、氢化、脱氢等作用, 产生氢、烃类及不饱和化合物, 同时放出二氧化碳^[7]。碳水化合物是食品所含的一大类物质, 糖、淀粉、纤维素、果胶等皆属此类。一般说来, 它们对射线是相当稳定的, 只有在大量照射下才引起氧化和分解^[8,9]。

综上所述, 射线照射食品时, 它将能量和电荷传递给食品、食品上的微生物及昆虫, 使其分子、原子发生一系列变化。这些变化对休眠或僵死状态的食品来说, 影响和作用是比较小的。因为发生变化的原子、分子只是食品分子的极少数, 加上除鲜活食品外, 食品已不存在生命活动, 故发生变化的原子、分子几乎不影响或只轻微地影响食品的新陈代谢。鲜活食品的新陈代谢也处在缓慢的阶段, 辐射对其产生的影响是进一步延缓了它们的后熟进程, 这正符合保藏食品的需要。但是, 对食品上的微生物和昆虫则不然, 它们的新陈代谢、生长发育、生殖遗传等生命活动都处于正常状态下, 水、蛋白质等分子的微小变化, 就可能导致生物酶的失活及生理生化反应的延缓或停止, 新陈代谢的中断, 生命受到威胁甚至死亡。因此, 用射线照射食品能杀虫、灭菌防腐、抑制食品的新陈代谢和生长发育, 保住或改进食品的品质, 达到保藏食品的目的。

四、辐射保藏食品的效果

由于食品种类不同, 保藏的目的也不同, 在进行食品照射时, 就需要适当地控制剂量和照射条件, 以便达到理想的保藏效果。

马铃薯、洋葱、胡萝卜、大蒜等蔬菜在收获

后有一个休眠期,过了休眠期就会发芽,影响食用;香蕉、桃、草莓等新鲜水果在收获后的很短时期内,就会成熟、过熟、变质及腐烂,失去食用价值。如用化学方法处理,因有药剂残留等缺点,有些国家(如日本)禁止用化学法抑制发芽。若用射线照射,一般情况下4.5krad至15krad的照射剂量可以抑制蔬菜的发芽,10krad至50krad的照射剂量可以延缓果品的成熟^[10]。

谷物、果实、种子、蔬菜、鲜肉等食品在保藏期间虫蛀损失很大,若使用射线照射,10至20krad可以使昆虫不育,15至80krad可使昆虫几天内死亡,300至800krad可使昆虫立即死亡。例如,猪旋毛虫的不育剂量为12krad,致死剂量为750krad,牛肉绦虫的致死剂量为300至500krad之间。80krad以下的 γ 射线辐照足以杀灭对贮粮危害最大的四大害虫(赤拟谷盗、米象、小扁甲虫及锯谷盗)。果品及蔬菜害虫15至30krad的照射剂量能被杀死^[11,12]。

农产品、畜产品及水产品的生产和加工过程,很难避免污染某些有害微生物,而这些微生物种类繁多,对射线的耐受能力又各不相同,因此抑制和杀死它们的照射剂量也很不一致。如假单孢菌接受40krad照射,可全部被杀死。草莓上的霉菌接受20krad照射可被杀死。使大米发霉的各种霉菌,接受200至300krad照射,便可基本被杀灭。鲜肉和鲜鱼的沙门氏杆菌接受500krad照射,能被大量杀死,但不能完全彻底消除,故只能延长保藏1至2星期至数月不等。若是各类需长期保存的食品,以及宇航、军队、病人等特殊要求的无菌食品,就需3至6Mard的照射剂量,进行辐射完全杀菌处理^[13,14]。

除此之外,射线照射,还可促进辣椒和柿子的类胡萝卜素的蓄积,防止淀粉、蛋白质及果胶的变性,提高制造琼脂和曲酒陈化等的加工适应性,促进脱水蔬菜的复水性等。

多年来各国科学家在食品的辐射化学,辐照食品的营养学、微生物学与毒理学方面进行了大量的研究。根据长期与短期动物饲养试验,没有发现辐照食品对动物有毒性反应以及致

畸、致癌和致突变现象出现。最近几年我国也进行了辐照食品的安全性评价,通过对辐照过的大米、土豆、香肠及主副食等八项人体试验和两项辐照食品的动物试验,测试了体重、血液学、肝肾功能、血清酶活力、心电图、外周血淋巴细胞染色体畸变分析、姐妹染色单体交换(SCE)、人尿 Ames 试验等20余项指标,结果未发现任何有害作用^[15-17]。许多人担心辐射食品中会有放射性物质,事实上国际上规定允许进行食品辐照的⁶⁰Co与¹³⁷Cs的 γ 射线与10MeV以下的电子束,它们的能量都低于在食品中可能诱生放射性的阈能,因此辐照食品中不会有诱生放射性存在。由于辐射保藏食品的巨大优越性,它将为解决世界性的食物短缺作出贡献。可以相信,随着原子能事业的发展,放射性同位素的品种和数量不断增加,辐射保藏食品新技术必将获得进一步发展。

- [1] J. F. Diehl, *Radiat. Phys. Chem.*, 14(1979), 117.
- [2] FAO/IAEA/WHO Expert Committee Technical Report Series, Food and Agriculture Organization of the United Nations, No. 604 (1977), 5.
- [3] FAO/IAEA/WHO Expert Committee Technical Report Series, Food and Agriculture organization of the United Nations, No. 659 (1981), 2.
- [4] 黄荣敏,食品科学, No.4(1988),4.
- [5] T. K. Murray, *Food Irradiation Information*, No. 11 (1981), 21.
- [6] I. Olga, IAEA-SM-221/65, International Atomic Energy Agency, 1(1978), 385.
- [7] W. Wassef et al., *A Review J. Agric. Food Chem.*, 26(1978), 21.
- [8] H. N. Anathans et al., *J. Food Sci.*, 35(1970), 79
- [9] H. Auda et al., IAEA-SM-221/29a, International Atomic Energy Agency, 1(1978), 459.
- [10] H. M. Roushdy et al., IAEA-SM-221/9, International Atomic Energy Agency, 1(1978), 29.
- [11] J. H. Moy, *Food Engineering and Process Application*, No. 1 (1986), 623.
- [12] D. W. Thayer et al., *Food Technology*, 37(1983), 46.
- [13] A. Bryn, IAEA-SM-221/53, International Atomic Energy Agency, 1(1978), 15.
- [14] N. Y. Negal, *J. Food Sci.*, 50(1985), 215
- [15] 张淑俭,核技术, No.4(1986),25.
- [16] 上海市放射医学研究所等,辐射研究与辐射工艺学报,5(1987),38.
- [17] 张淑芬,核农学报, No. 1(1987),3.