

辐照技术在食品中的应用及研究进展

王辰龙¹, 吴翔², 徐宏青²

(1. 西安市高陵区市场监管局食品药品检验检测中心, 陕西西安 710200; 2. 安徽省农业科学院农产品加工研究所, 安徽合肥 230031)

摘要 辐照技术是一种新型、绿色、高效的加工技术, 已经应用于食品加工、化工、材料等诸多领域。主要介绍了辐照技术原理, 阐述了辐照对食品中营养成分的影响, 及其在食品工业中的应用, 并展望了辐照技术在食品工业中的发展前景。

关键词 辐照; 食品; 应用

中图分类号 TS205 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)08-0023-03

Application and Research Progress of Irradiation Technology in Food

WANG Chen-long¹, WU Xiang², XU Hong-qing² (1. Market Authority for Food and Drug Testing Center of Xi'an Gaoling District, Xi'an, Shaanxi 710200; 2. Agro-Products Processing Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031)

Abstract Irradiation technology is a new type of high technology and has been used in food processing, chemical industry and material. The principle of irradiation technology is introduced, the influence of irradiation on the nutritional components in food and its application in food industry are expounded, and the future development of irradiation technology in food industry is forecasted.

Key words Irradiation; Food; Application

辐照技术是利用⁶⁰Co、¹³⁷Cs等放射性元素产生的 γ 射线、电子加速器产生的电子束或X射线等,与物质相互作用所产生的物理效应、化学效应和生物效应,对被加工物品进行处理,以达到预期目标的方法。辐照技术具有以下特点:①属于“冷加工”技术,能较好地保持物质原有的内外在品质。②可对包装好的产品进行处理,操作简便、快捷。③没有化学药物残留,不污染环境。④杀虫、杀菌比较彻底,安全性高。⑤成本低,能耗少,节省能源^[1]。

辐照技术是一项新兴的高新技术,已经应用于食品加工、化工、材料等诸多领域,并在食品工业中发挥了巨大的实用价值。由于公众缺乏对辐照食品安全性的了解,导致其发展缓慢。客观评价辐照食品的安全性,有利于推进辐照技术在食品工业中的应用。

1 食品辐照概述

1.1 起源 20世纪40年代,美国军方为了解决军用食品供给,开始研究食品辐照技术。食品辐照是人类利用核技术开发出来的一种新型的食品保藏技术,食品经过一定剂量的射线或电子束辐射,可消除食品中的病原微生物、破坏生物毒素或抑制某些生理过程,从而达到食品保藏或保鲜的目的^[2]。

1.2 技术原理 食品辐照是利用原子能,作用于被辐照物质中的“敏感物质”,延缓其某些生理过程,或对食品及其包装材料进行杀菌、消毒等处理,以达到延长货架期、保持或改善品质的一项技术。辐照灭菌是作用于微生物内部的DNA、RNA或蛋白质等有机分子,使其发生化学键断裂、分子交联或碱基序列改变,从而使细菌、病毒、微生物死亡,以达到延长食品储藏期的目的^[3]。

早在1980年,联合国粮农组织/世界卫生组织/国际原

子能机构(FAO/WHO/IAEA)联合专家委员会根据长期的毒理学、营养学、微生物学资料以及辐照化学的研究结果宣布:总平均剂量不超过10 kGy辐照的食品是安全的,不存在毒理学上的危害,不需要对经过该剂量辐照处理的食物再作毒理试验^[4-5]。随着试验方法的改进和检测技术的提高,国际食品法典委员会(CAC)在2003年通过了《辐照食品国际通用标准》^[6]和《食品辐射加工工艺国际推荐准则》^[7],在法规上取消了食品辐照加工中10 kGy最大吸收剂量的限制^[8]。

国外研究食品辐照起步较早,研究时间较长,根据Roberts^[9],Ehlermann^[10]的研究表明,食品工业中常用的辐照剂量对食品来说是安全的。

2 辐照对食品中成分的影响

2.1 辐照对水分的影响 水是食品的重要组成部分,新鲜的食物、农产品和水产品等都含有大量水分,其水分活度的高低对食品的保藏具有重要影响。水分子受辐照后易发生电离,产生具有很强的氧化性或还原性的过氧化氢、羟基自由基等,使水分活度升高。而食品中富含蛋白质、脂肪、糖类和维生素,易与辐照产生的物质等发生反应,从而破坏营养物质的结构,降低其生理价值。因此食品中的水分是影响辐照品质的重要因素之一^[11-12]。

2.2 辐照对碳水化合物化合物的影响 碳水化合物属于大分子物质,受辐照后相对稳定。研究证明,低剂量的辐照不会使高含糖量的食品品质发生变化,其营养价值也不因辐射而改变^[12]。固态的糖辐照后,易发生分解。辐照溶液中的糖类,主要是由于水电离产生的自由基所造成的,主要产物有甲醛、丙醛、乙二醛、醛糖酸、糖聚合体、脱氧化合物等。辐照低聚糖和多糖,还会发生糖苷键的断裂,形成更小单位的糖类^[13]。一般情况下,低剂量的辐照杀菌过程,对糖的消化率和营养价值没有影响。

2.3 辐照对维生素的影响 维生素分子对辐照较为敏感,其影响程度取决于辐照剂量、温度、氧气和食物类型^[14]。低温或缺氧状态下辐照可以减少维生素的损失。辐照对水溶

基金项目 安徽省农业科学院学科建设项目(15A12223)。

作者简介 王辰龙(1987—),男,陕西咸阳人,硕士,从事食品药品检测研究。

收稿日期 2017-11-15

性维生素的破坏主要是由于射线作用于水溶液产生自由基的间接效应所致,各种水溶性维生素接受辐照后,均有不同程度的损失,其中 V_C 对辐照最为敏感,高浓度的 V_C 溶液对辐照的敏感性要高于低浓度溶液。由于在食品中维生素都是与其他物质复合存在,受到一定程度的“保护”,对辐照的敏感性大大降低。脂溶性维生素受到辐照后,也会有不同程度的损失,其中 V_E 最为敏感。辐照所造成的维生素损失,与其他食品加工方式相比(如热加工)所造成的损失要轻微得多^[15]。

2.4 辐照对脂肪的影响 脂肪属于大分子物质,在动物性食品中含量较多,辐照使得脂肪分子加速氧化,出现令人不愉快的异味。氧化程度的高低取决于脂肪的不饱和程度、辐照剂量和氧气浓度等。有文献表明,脂肪的氧化程度随辐照剂量的增加而增加,可通过测定过氧化值来证明。辐照一些高脂肪类的食品,会产生“辐照异味”^[16],这些异味的产生是由于辐照过程所产生的“辐解产物”,从而影响食品的感官品质^[17]。辐照所引起的脂肪氧化和脂肪酸的降解是辐照异味产生的主要途径。有文献报道,经辐照的肉制食品中,会产生一些有挥发性的醛类,可通过测定硫代巴比妥酸(TBA)值反映其氧化程度。

2.5 辐照对氨基酸的影响 各种蛋白质是由不同数量和种类氨基酸组成,由于食品中游离氨基酸所在环境体系复杂,其经辐照后的反应多样,主要发生脱氨作用生成长碳链脂肪酸,同时产生小分子 H_2S 等。王守经等^[18]试验研究表明,辐照前后生姜中各种氨基酸含量与对照组相比,氨基酸含量变化不显著,只有蛋氨酸和精氨酸含量减少较多。郭峰等^[19]研究,在低温($-10\text{ }^\circ\text{C}$)条件下辐照冻干牛肉片,结果表明经 4 kGy 辐照后,牛肉中各种氨基酸含量变化不显著。袁芳^[20]以豆腐干为研究对象,采用高效液相色谱法(HPLC)测定样品经辐照前后氨基酸含量的变化情况,结果表明豆腐干经 $0\sim 10\text{ kGy}$ 剂量的辐照后,各种氨基酸含量变化不显著。

2.6 辐照对蛋白质的影响 蛋白质是人体所需八大营养素之一,也是食品主要组成成分之一。蛋白质由氨基酸组成,其结构复杂,共分为4级结构,分别具有不同的生物学功能。食品中的蛋白质与其他成分共同存在于一个体系中,因此辐照对蛋白质的作用机制比较复杂,主要是通过辐照作用于蛋白质所处环境中的水所产生自由基,使蛋白质发生脱羧、氨基氧化、二硫键断裂和肽链的降解或交联反应,改变了蛋白质分子的空间结构,从而改变其某些生物学特性^[21-22]。但是在商业允许的辐照剂量下,其蛋白质、氨基酸含量与传统加热杀菌所造成的损失相比大大降低。经一定剂量的辐照后,蛋白质所携带的过敏原基团被改变,达到了脱敏的效果;其胶凝性、起泡性和乳化性的改变对食品工业带来了某些有利的作用^[21,23]。

3 辐照技术在食品工业中的应用

3.1 保持食品新鲜度

3.1.1 抑制发芽和延缓成熟。果蔬采后仍进行着有机体的代谢过程,通过呼吸作用消耗能量和养分。如不加以控制,过度的代谢过程会导致果蔬发芽、变色、失水或腐败,不仅影

响感官,甚至会使其失去食用价值,更严重者会受到微生物浸染而产生有毒物质,使食用者受到危害。有试验研究证明,低剂量的辐照可以抑制果蔬发芽,特别是鳞茎类^[24];同时还对果蔬的新陈代谢和果蔬表面微生物起到了抑制和杀灭作用,从而延长了贮存期。

3.1.2 防止虫害。谷类在贮藏过程中常会受到虫害的影响,对谷物进行辐照处理是预防虫害的有效手段。谷类及其制品经辐照后, γ 射线产生的一系列效应,使害虫及虫卵的遗传物质和蛋白质等发生不可逆变化,造成害虫死亡或不育。此外,辐照还可以除去因贮藏环境不当导致粮食霉变的真菌毒素等。试验研究^[25-26]也证明,低剂量的辐照可以达到良好的杀虫抑菌效果,同时保证了粮食的营养与加工特性。

3.1.3 果蔬保鲜。王少丹等^[27]研究电子辐照可以杀灭青椒表面食源性致病菌大肠杆菌和李斯特菌,同时可以抑制蔬菜中酶的活性,相应地降低植物体的生命活力,从而延长保质期。王秋芳等^[28]研究表明,辐照可有效杀灭葡萄表面的霉菌、酵母菌和大肠杆菌。杨俊丽等^[29]研究表明,经 3.5 kGy 辐照后的草莓,可以延长贮藏期,对其口感和品质没有显著影响。其他研究也表明,低剂量的辐照对多数果蔬都能起到一定的保鲜作用,而不影响其品质和主要营养成分,达到延长货架期的目的。

3.1.4 畜禽水产的保鲜。哈益明等^[30]研究表明,用 γ 射线辐照对禽类产品细菌的灭除率可达到99%以上,只需要 5 kGy 安全辐照剂量即可。李俐俐等^[31]研究了 γ 射线辐照对虾仁中葡萄球菌的杀灭作用,在辐照剂量达到 6 kGy 时有较好的效果。多数研究结果表明,在低剂量辐照后,食品中蛋白质的含量变化不显著,只有少部分蛋白质的3级结构、4级结构发生改变,导致蛋白质的部分生物学功能丧失,由此引起了生物体代谢功能改变或丧失代谢机能等过程,从而达到保鲜的目的。

3.1.5 调味品保藏。调味品的辐照主要是对香料和调味品进行杀虫和灭菌,不但有效抑制了微生物,同时还保证其原有的香辛味。陈广球^[32]研究采用 7.9 kGy 辐照黑胡椒后,细菌、霉菌和大肠菌群均符合国家标准。

3.2 改善食品品质

3.2.1 改善谷类品质。辐照除了杀菌保鲜外,还可以改善食品的品质。小麦粉经辐照后吸水量、面团稳定性及粉质亲和值都有了一定的改善,主要是因为辐照改变了淀粉的结构与特性,同时也影响到了小麦蛋白的功能特性,这对改良面粉工艺具有重要意义。有试验研究^[33-34]证明,辐照处理后的水稻,其蒸煮性和食用品质都得到了改善。电镜扫描结果表明,经辐照后的淀粉颗粒结构发生改变,直链淀粉与支链淀粉的比例发生变化,从而影响了淀粉的黏度等特性^[35-36]。

3.2.2 改善酒类品质。通过辐照处理可以加速酒类的老化过程,改善酒的品质。黄酒是以糯米为原料,经过糖化发酵而成。其经过辐照后,氨基酸总量有明显增加,改善了黄酒的风味,还提高了黄酒的营养价值^[37]。周建俭^[38]研究了酿

造啤酒的主要原料大麦经 γ 射线辐照后对啤酒产出率的影响,试验结果表明,经1~3 kGy辐照后的大麦可以提高啤酒的产出率。还有试验证明,对酒进行辐照会产生挥发性风味物质,使酒变得醇厚,说明辐照对酒也具有一定的催陈作用。

3.2.3 降低农药残留。有试验证明^[39-41],辐照可以有效降解食品中的农药残留,且降解产物安全,有效地保证了食品的安全性。刘春泉等^[42]研究表明,对氯霉素含量较高的河虾经4 kGy的⁶⁰Co辐照后,可使河虾中氯霉素的残留量减少50%。

4 发展现状及展望

经过多年研究与发展,辐照食品的安全性已得到越来越多国家的承认。同时辐照食品在灭菌、保鲜等方面显示出其优越性,受到广泛关注。目前,食品辐照技术的推广还有许多问题需要解决。我国的食品辐照技术研究应与国际同步,在国际上得到认可,从而减少辐照食品进出口贸易的壁垒;加大科学宣传,提供权威资料,顺利推进食品辐照技术商业化,引导消费者正确认识与接受;构建完善辐照食品标准,加强市场监管,建立符合我国实际的辐照食品安全体系。今后一段时期,食品辐照技术的研究热点主要集中在:食品营养的提升与辐照工艺的关系;辐射降解药物残留的安全性研究;辐照灭菌保鲜机理的研究。

参考文献

- [1] 陈云堂,郭东权,王娟娟.辐照技术在我国烟草中的应用研究进展[J].中国烟草科学,2011,32(2):90-95.
- [2] 常超,伍金娥.辐照技术对食品安全性的影响[J].中国粮食与营养,2007(9):10-12.
- [3] 耿建媛.食品辐照技术及其食品中的应用[J].食品研究与开发,2013,34(15):109-112.
- [4] 林海霞,张桂.辐照技术在食品工业中的应用及其发展[J].食品工程,2006(3):15-17.
- [5] 杨宗渠,朱军,陈海军,等.利用辐照技术保障食品安全的研究[J].食品科学,2003,24(8):236-240.
- [6] CAC. Revised codex general standard for irradiation foods: Codex Stan 106-1983, REV. 1-2003[S]. Rome: Codex Alimentarius Commission, 2003.
- [7] CAC. Recommended international code of practice for radiation processing of food: CAC/RCP 19-1979, REV. 1-2003[S]. Rome: Codex Alimentarius Commission, 2003.
- [8] 汪助清,哈益明,高美须.食品辐照加工技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [9] ROBERTS P B. Food irradiation is safe: Half a century of studies[J]. Radiation physics and chemistry, 2014, 105: 78-82.
- [10] EHLERMANN D A E. The early history of food irradiation[J]. Radiation physics and chemistry, 2016, 129: 10-12.
- [11] 杨宗渠,朱军,陈海军,等.电离辐射对食品品质的影响[J].食品科学,2006,21(8):259-262.
- [12] 王锋,哈益明,周洪杰,等.辐照对食品营养成分的影响[J].食品与机械,2005,21(5):45-48.
- [13] GROLICHOVÁ M, DVORÁK P, MUSILOVÁ H, et al. Employing ionizing radiation to enhance food safety[J]. Acta Vet Brno, 2004, 73: 143-149.
- [14] GRAHAM W D, STEVENSON M H, STEWART E M. Effect of irradiation

- dose and irradiation temperature on the thiamin content of raw and cooked chicken breast meat[J]. J Sci Food Agric, 1998, 78(4): 559-564.
- [15] 哈益明.辐照食品及其安全性[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [16] AHN D U, JO C, OLSON D G. Analysis of volatile components and the sensory characteristics of irradiated raw pork[J]. Meat science, 2000, 54(3): 209-215.
- [17] 张莹,朱加进.电子束辐照技术及其在食品工业中的应用研究[J].食品与机械,2013,29(1):236-239,258.
- [18] 王守经,于子厚,孙守义,等.辐照生姜的贮藏性状研究[J].核农学报,2004,18(1):26-29.
- [19] 郭峰,李文革,王芊. FD牛肉片辐照杀菌效果研究[J].湖南农业科学,2006(3):129-130.
- [20] 袁芳.豆制品辐照保鲜技术研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2003.
- [21] KUAN Y H, BHAT R, PATRAS A, et al. Radiation processing of food proteins: A review on the recent developments[J]. Trends Food Sci Technol, 2013, 30(2): 105-120.
- [22] 祝祥威,黄行健,赵琪,等.亚基水平上大豆蛋白改性修饰的研究进展[J].食品科学,2012,33(23):388-392.
- [23] MOLINS R A. Food irradiation: Principles and applications [M]. Canada: John Wiley & Sons, 2001.
- [24] 宋卫东,张宏娜,陈海军,等. γ 辐照在食品加工中的作用及应用[J].食品工业科技,2011,32(9):454-457.
- [25] 黄曼.电子束辐照在线杀虫/菌效果及对小麦品质影响的研究[D].广州:华南理工大学,2010.
- [26] 李淑荣,王殿轩,温贤芳,等.电子束对赤拟谷盗辐照效应的试验研究[J].郑州工程学院学报,2004,25(2):26-28.
- [27] 王少丹,陈玉贞,陈庆敏,等.电子束辐照对鲜切青椒表面食源性致病菌杀灭效果的研究[J].食品工业科技,2012,33(15):67-70.
- [28] 王秋芳,陈召亮,乔勇进,等.高能电子束辐照对巨峰葡萄保鲜效果的研究[J].核农学报,2010,24(2):319-324.
- [29] 杨俊丽,乔勇进,乔旭光.高能电子束辐照对草莓常温贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2010,36(1):191-195.
- [30] 哈益明,居华,王锋,等. γ 射线辐照控制冷却鸡肉中的致病菌及贮藏期变化研究[J].辐射研究与辐射工艺学报,2009,27(5):275-279.
- [31] 李俐俐,严登秀,赵永富,等.出口冷冻虾仁辐照技术研究[J].江苏农业科学,2009(6):332-333.
- [32] 陈广球.黑胡椒辐照灭菌工艺研究[J].中国辐射卫生,2005,14(4):270-271.
- [33] 卢志恒,王安泉.不同剂量电子辐照对小麦品质影响的研究[J].中国粮油学报,2001,16(1):20-22.
- [34] 段智英,吴殿星,沈圣泉,等.辐照改良水稻淀粉特性的研究[J].核农学报,2003,17(4):249-254.
- [35] YU Y, WANG J. Effect of γ -ray irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of rice[J]. Food research international, 2007, 40(2):297-303.
- [36] WU D X, SHU Q Y, WANG Z H, et al. Effect of gamma irradiation on starch viscosity and physicochemical properties of different rice[J]. Radiation physics and chemistry, 2002, 65(1):79-86.
- [37] 梁寒峭,李金霞,陈建国,等.黑青稞营养成分的检测与分析[J].食品与发酵工业,2016,42(1):180-182,188.
- [38] 周建俭.辐照对啤酒大麦品质的影响[D].苏州:苏州大学,2005.
- [39] 哈益明,施惠栋,王锋,等.电子束食品辐照的研究现状与应用特点[J].核农学报,2007,21(1):61-64.
- [40] 张继彪,郑正,徐悦,等. γ -辐照对水中敌草隆的降解研究[J].环境化学,2007,26(6):745-748.
- [41] 惠卫甲,岳田利,袁亚宏,等.苹果汁中拟除虫菊酯类和氨基甲酸酯类农药辐照降解[J].农业机械学报,2009,40(4):121-124.
- [42] 刘春泉,赵永富,朱廷佳,等.辐照保鲜处理引发河虾中氯霉素降解效应研究[J].江苏农业科学,2003(6):108-109.

科技论文写作规范——结果

利用图、表及文字进行合乎逻辑的分析。务求精练通顺。不需在文字上重复图或表中所具有的数据,只需强调或阐述其重要发现及趋势。