

γ 辐照在食品加工中的作用及应用

宋卫东, 张宏娜, 陈海军, 朱军, 郭东权, 赵惠东, 王允, 赵梅红

(河南省科学院同位素研究所有限责任公司, 河南省辐射加工工程研究中心, 河南郑州 450015)

摘要: γ 射线辐照技术作为食品加工的绿色高新技术, 近年来在食品质量安全控制领域引起了广泛的关注。结合国内外食品辐照加工研究和应用实例, 介绍了食品辐照技术原理、特点、安全性及在保证食品质量安全方面的作用。

关键词: γ 射线, 食品辐照, 食品质量安全

Quality assurance and case study of food irradiation by γ -ray

SONG Wei-dong, ZHANG Hong-na, CHEN Hai-jun, ZHU Jun, GUO Dong-quan,
ZHAO Hui-dong, WANG Yun, ZHAO Mei-hong

(Isotope Institute Co., Ltd., Henan Academy of Sciences/Research Center of
Irradiation Processing and Engineering of Henan, Zhengzhou 450015, China)

Abstract: γ -ray irradiation technology as a green high-tech of the food had been paid more attention in the food quality and safety control field recently. Based on the study and application of food irradiation at home and abroad, the principle, characteristics, security were generally introduced and the role of food irradiation technology in food quality and safety was also related.

Key words: γ -ray; food irradiation; food quality and safety

中图分类号: TS201.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2011)09-0454-04

食品安全是人类生存的永恒主题, 随着经济的发展和人民生活水平的日益提高, 食品国际贸易的快速发展, 食品的质量安全问题日益突出, 已经成为影响食品工业健康发展亟待解决的主要问题之一, 受到全世界的广泛关注。经过国内外几十年的研究, 业已证明辐照技术是一种有效保证食品质量安全的食品加工方法。食品辐照加工技术是现代的重要高新技术之一, 被誉为 21 世纪食品绿色加工技术^[1-3]。近年来, 食品辐照技术的应用领域不断扩大, 商业化生产能力得到了快速提升。据联合国粮农组织 (FAO)、国际原子能机构 (IAEA) 和世界卫生组织 (WHO) 公布的统计报告显示^[4], 目前, 全世界已有 54 个国家按类别批准了辐照食品, 按产品批准的国家有 41 个, 批准辐照农产品和食品 240 多种。鉴于食品辐照的技术优势和安全性, 全球辐照食品量逐年上升, 在 2006 年已达 40 万 t 左右^[5], 食品辐照加工已经被 FAO/IAEA/WHO 推荐为国际重点推广项目。我国食品辐照加工的研究工作始于 20 世纪 50 年代, 产业化应用开始于 20 世纪的 80 年代。近年来, 我国辐射加工产业增幅显著, γ 辐照装置获得了日益广泛的应用。至 2008 年底, 我国适于商用的设计装源能力在 1.11×10^{16} Bq (30 万居里) 以上的 γ 辐

照装置已达 140 余座, 其中设计装源能力 400 万居里 5 座, 设计装源能力 500 万居里 1 座, 实际装源量为 4000 万居里^[6]。中国是世界上辐照食品的第一大国, 2008 年我国辐照食品产量达到 17 万 t, 对国民经济贡献超过 150 亿元。本文结合长期从事食品辐照技术研究经历与商业化应用中的实例, 就食品辐照技术及 γ 辐照技术保证食品质量安全方面作一简要综述。

1 γ 辐照食品技术简介以及在食品加工中的作用

1.1 食品辐照技术原理

食品辐照技术是利用 ^{60}Co 、 ^{137}Se 等放射源产生的 γ 射线、5MeV 以下的 X 射线及电子加速器产生的 10MeV 以下的高能电子束, 对食品进行非热加工的新技术。目前食品辐照加工中, 无论是基础研究还是商业化应用大多是利用 γ 射线辐照技术, 其原理是 γ 射线与物质相互作用后, 将其部分能量传递给物质的原子或分子, 这个原子就变成离子, 而离子就生成了一对阳离子和阴离子, 这些离子通过电离辐射在食品中产生的辐射物理、化学和生物学效应, 达到杀虫、灭菌、抑制发芽、延长生理过程, 进一步达到延长食品货架期或保证食品质量安全的目的。

1.2 食品辐照技术特点

a. 食品辐照属于“冷加工”技术, 辐照在常温下进行, 能很好地保持食品的内外在品质; b. γ 射线穿透力强, 食品辐照加工操作简便、快捷; c. 辐照食品没有化学药物残留, 不污染环境; d. 辐照食品杀虫、杀菌彻

收稿日期: 2011-03-17

作者简介: 宋卫东 (1965-), 男, 本科, 总工程师, 研究方向: 民用非动力核技术。

底,卫生安全性高;e.食品辐照加工处理成本低,能耗少,节省能源。

1.3 辐照食品的卫生安全性

辐照食品的卫生安全性,是人们最为关心的问题。几十年来,国际上反复进行的辐照食品安全性实验表明,经过辐照的食品在营养价值、感官性状、安全性上与非辐照食品基本相同。食用辐照食品对人类的生长、生育、寿命均无不良影响,且不会致癌、致畸,也未发现因辐照而产生的有害物质。1980年FAO/WHO/IAEA宣布“任何食品当其总体平均吸收剂量不超过10kGy时没有毒理学危险,不再要求做毒理学实验,同时在营养学和微生物学上也是安全的”^[7]。1997年FAO/WHO/IAEA提出没有必要设定食品辐照剂量的上限。1999年FAO/WHO/IAEA做出结论:超过10kGy剂量的辐照食品也是安全卫生的^[8]。

1.4 控制食品中的害虫

1.4.1 γ 射线辐照处理可以杀灭粮食及其制品中各个虫态的害虫,能够彻底解决化学熏蒸剂防治中存在的害虫抗性、虫卵、虫蛹难杀等难题,可以有效替代化学熏蒸技术,消除化学熏蒸带来的残留和污染,确保粮食及其制品安全贮藏、运输和销售。

1.4.2 γ 射线辐照处理可以使水果中的果实蝇等害虫致死或不育,延长其货架期。

1.4.3 γ 射线辐照处理可以有效杀灭香辛料、脱水蔬菜等干制食品中的螨类害虫。

1.4.4 γ 射线辐照处理可以有效控制食源性寄生虫对人体健康和食品质量安全产生的威胁。

1.4.5 γ 射线对粮食、水果、蔬菜等进行辐照检疫处理,可防止外来生物入侵。

1.5 控制食品中的有害微生物

γ 射线辐照加工技术能杀灭食品和农产品中各种腐败微生物和致病微生物。食品辐照杀菌可分选择性辐照灭菌、针对性辐照灭菌和辐照灭菌。选择性辐照灭菌就是利用一定剂量的电离辐射使食品中腐败微生物的数量降低,以防止食品变质,延长货架期。针对性辐照灭菌就是利用一定剂量的电离辐射,杀死食品内除病毒以外的无孢子病原细菌。辐照灭菌是利用电离辐射消灭食品中全部微生物,经过这样处理的食物可以保证其在室温条件下长期储藏不会腐败,也不会因微生物而引起食物中毒,要达到此目的就需要较高的辐照剂量,一般采用12倍的 D_{10} 值。经过彻底灭菌的辐照食品可在常温下保藏较长的时间,适宜为特殊人员(如地质勘探人员、登山人员、军人和宇航员等)以及器官移植病人、免疫缺陷病人、白血病患者提供无菌食品。另外,目前辐照处理是唯一可以对冷冻、冷鲜食品进行有效杀菌的技术^[9]。

1.6 辐照可延缓植物性食品的生理代谢,减少其腐烂变质,延长货架期

辐照能通过影响果蔬的生理代谢和生长点的结构,干扰生理活性物质的正常合成,达到有效抑制发芽的目的。新鲜蔬菜、水果、蘑菇等经射线辐照后,其代谢速度得到延缓,细胞分裂受到抑制,正常生长和衰老均被阻止。如辐照可以抑制大蒜、土豆、马铃

薯、洋葱等发芽,延缓香蕉、木瓜的成熟,防止蘑菇开伞。

1.7 降解食品中的有害化学残留物,保证食品质量安全

食品中农药、兽药等有害化学污染物残留是影响食品质量安全的一个重要因素,辐照是降解这些有害残留物降低其危害的唯一有效方法。

1.8 降解食品本身存在的有害成分,提高食品质量安全

辐照处理能够降解去除谷物及制品中的各种霉菌、黄曲霉毒素、伏马菌素等生物毒素。辐照处理还对牛奶、蛋和虾等食物中的过敏原有破坏作用,可有效降低过敏原的致敏性,保证食用安全。

2 γ 射线辐照技术在食品加工中的应用

2.1 辐照杀虫

危害食品的害虫包括仓储害虫、检疫性害虫、螨类及寄生虫。害虫侵蚀不仅可以造成食品数量的损失,而且害虫的分泌物、排泄物、吐丝结茧、虫尸引起发霉发热等都会降低食品的质量,尤其是赤拟谷盗、螨类的分泌物和排泄物不但有很重的异味,而且会产生对人体有害的物质,降低食品品质。寄生虫还会通过食物传染给人类,给人体健康造成危害。害虫对辐照比较敏感,因此,可以将辐照作为控制食品中害虫侵蚀的有效手段。大量研究表明,用较低的剂量(200~1000Gy)辐照处理,能使害虫在一定时间内死亡或无繁殖能力,达到减少食品损失、保证食品质量与安全的目的。

辐照杀虫的剂量包括最低有效剂量和最高耐受剂量两个概念。最低有效剂量指保证达到辐照杀虫目的的工艺剂量下限;最高耐受剂量指不影响产品品质和功能特性的工艺剂量上限^[10]。辐照杀虫工艺剂量的设定必须满足这两个要求,才能保证食品的质量与安全。2001年12月我国颁布了《谷类及其制品杀虫工艺标准》,该标准适用于包装大米、面粉、高粱米、玉米渣、黄米、燕麦片、小米的辐照杀虫。标准中规定工艺剂量设定为最低有效剂量0.3kGy到各种谷类制品的最高耐受剂量0.5~1.0kGy之间^[10]。例如,小麦及面粉的最高耐受剂量为1kGy,经1kGy以上辐照后的小麦及面粉,粘度值显著下降^[11]。稻谷超过0.5kGy的辐照以后,口感发生明显变化,支链淀粉含量下降,饭质变软,就我国的饮食习惯而言,口感下降^[12],因此我国将0.5kGy设定为稻谷和大米的最高耐受剂量,但有些国外学者认为这恰恰改善了蒸煮品质。0.8kGy辐照对各种杂粮的颜色、口感和香味均无明显影响,但对玉米渣、高粱米、燕麦片等的粘度产生明显的影响,且辐照剂量增加,粘度则下降^[13],因此将0.8kGy设定为杂粮的最高耐受剂量。0.25~0.45kGy的辐照处理可以使香辛料、脱水蔬菜等干制食品中螨类产生不育,0.5~0.7kGy的剂量能够使其死亡,并且对干制食品的内外在品质没有影响。美国食品和药物管理局(FDA)批准了猪肉中的旋毛虫辐照的最低吸收剂量为0.3kGy,最高辐照剂量不得超过1kGy。研究表明^[14],感染了旋毛虫的猪

肉经 0.15~0.3kGy 辐照后能够导致旋毛虫不育, 3~5kGy 就可以使其立即致死, 超过 1kGy 的剂量辐照将会对猪肉的色泽风味产生不良影响, 低于 1kGy 的剂量就能控制旋毛虫对人体健康的危害, 保证猪肉质量安全。

检疫处理是促进食品正常贸易和保证食品质量的重要措施。目前, 化学熏蒸处理是国际贸易中应用最广泛的检疫措施, 但由于熏蒸处理引起的环境污染等一系列不良影响, 近年来辐照检疫技术已成为国际社会研究的热点, 被认为是替代化学熏蒸处理的最有应用前景的检疫方法之一。美国是最早批准辐照检疫的国家, 在新鲜水果和蔬菜的辐照检疫上做了大量研究。包括果实蝇在内的主要经济和检疫害虫的辐照检疫最低有效剂量为 0.15~0.3kGy, 最大允许辐照剂量为 1kGy^[14]。

2.2 辐照杀菌

采用辐照不但杀菌范围广, 而且对细菌的破坏力也很强, 只有极少的病菌在辐照后能够存活下来, 其数量已不足以对人体构成危害。我国自 1958 年以来数百个科研单位和大专院校, 先后进行了辐照豆类、谷类、水果蔬菜类、中药材类、畜禽肉类及其制品等辐照处理的实验研究, 结果发现, 经过一定剂量辐照后, 微生物含量大大降低, 有的甚至被全部杀灭。河南省科学院同位素研究所利用 γ 射线辐照杀菌技术在脱水蔬菜、香辛料、低温肉制品、大豆蛋白、核桃粉、红曲米粉等产品中的商业化应用表明, 6kGy 的辐照处理后, 可以杀灭脱水蔬菜的各类致病菌, 并且对其理化指标无不良影响, 不影响其正常食用及商品价值。3~7kGy 的辐照剂量能够使微生物数量达到可接受水平, 同时不会导致香辛料的感官品质发生明显变化。6kGy 以上剂量的 γ 辐照可以杀灭低温肉制品中的细菌, 其感官品质、营养品质与冷藏对照无明显差异, 卫生指标优于冷藏对照。采用 3~5kGy 剂量的辐照处理, 大豆蛋白可以在保持原有的各项理化指标、功能性和感观的前提下, 卫生学质量得到大幅度提高。当控制的辐照杀菌剂量在 8~9kGy 时, 辐射不仅对核桃粉中的菌落总数、耐热芽孢和耐热杆菌芽孢等都具有很好的杀灭效果, 而且其对产品的外观不产生影响。6kGy 以上的 γ 射线可以有效杀灭红曲米粉中的微生物, 辐照红曲米粉的感官指标、主要营养成分与未辐照无明显差异, 但辐照剂量超过 8kGy 会导致色价明显降低。商业化应用效果表明, 采用静态堆码辐照, 工艺剂量上限和下限分别为 6kGy 和 8kGy, 总体平均吸收剂量控制在 7kGy, 可确保红曲米粉的卫生质量、色价损失率在 2% 以下。

2.3 抑制发芽、延迟成熟和延长储藏期

大蒜、洋葱、马铃薯等鳞茎和块茎类蔬菜在采摘后有休眠期, 它们在休眠期内生长暂停, 内部代谢维持在很低的水平。休眠期一过, 其呼吸强度加强, 生理代谢加剧。这类蔬菜在休眠期过后极易发芽, 引起腐烂变质, 马铃薯发芽后还会产生有毒物质, 使其丧失食用价值。因此, 必须采取有效措施控制鳞茎

和块根类蔬菜在储藏期间的发芽问题。应用辐照技术处理抑制鳞茎和块茎类食品发芽非常有效, 辐照处理已经成为抑制鳞茎和块茎类食品发芽的一项成熟技术, 并在许多国家得到商业化应用。我国是开展辐照抑制鳞茎与块根作物发芽研究和商业化应用较早的国家之一。1977 年河南省科学院同位素研究所承担了国家科委“马铃薯、洋葱和大蒜辐射贮藏研究”项目, 该项目于 1981 年通过了国家科委组织的技术鉴定。在此基础上, 国家科委于 1982 年在郑州投资建立了第一个商业化的辐照装置。目前河南省辐照大蒜量约 3 万 t/年, 相当于全国食品辐照加工总量的一半, 创直接经济效益 300~400 万元。

2.4 辐照降解食品中的抗生素、农药残留、兽药残留等有害残留物

射线辐照在降解食品中化学污染物残留方面表现出良好的应用前景, 利用辐照技术降解食品中的化学污染物残留保证其质量安全已成为国际社会近期的研究热点。国内已开展了辐照降解氯霉素、盐酸克林特罗、呋喃唑酮、呋喃妥因、磺胺等抗生素类药物残留^[4, 15]、茶叶^[16]、干枸杞^[17]、苹果汁^[18] 中有机磷类、菊酯类、氨基甲酸酯类等农药残留的研究。结果表明, 农药残留不仅可以被有效降解, 而且降解产物安全。

2.5 辐照降解食品中存在的致敏物质、生物毒素等有害物

近年来, 国内外在辐照脱敏的生物化学效应及免疫学效应方面做了一些探索性的研究。2002 年美国研究发现, 辐照对螨、链格孢菌等致敏原有破坏作用, 并进一步做了免疫机理研究, 证明辐照对几种过敏原的抗原表位均有破坏作用, 使其丧失了致敏活性^[19]。韩国、德国、加拿大等的研究小组也做了相关的研究^[15], 证实辐照对牛奶、蛋和虾等食物中的过敏原有破坏作用, 并从免疫反应的角度进行了初步的机理研究。张明琦^[20]、王烁^[21] 等研究辐照对蟹、花生致敏蛋白生化性质和抗原性的影响, 证明辐照技术可以有效降低致敏蛋白的致敏性。

我国对辐照降解食品中生物毒素的研究刚刚起步, 国外一些发达国家已经有实际应用。 γ 射线对生物毒素的辐射降解因其高效、快速和可避免二次污染等优点, 正逐步在毒素降解领域内得到广泛应用。杨静^[22] 采用 10kGy 和 20kGy 剂量辐照污染黄曲霉毒素 B₁ 的花生, 黄曲霉毒素的化学结构被破坏, 进一步分析证实降解产物的毒性很低。尹青岗^[23] 研究表明, 利用 5kGy 剂量辐照 30.0mg/kg 的玉米赤霉烯酮水溶液, 其降解率达到了 90%。哈益明^[24] 等采用 2~10kGy 的 γ 射线辐照处理玉米中的伏马菌素 B₁ 后, 伏马菌素 B₁ 得到有效降解, 当辐照剂量为 10kGy 时, 其降解率达到 63.47% 左右。

3 结论

食品辐照加工技术是一项绿色高新技术, 和其他加工技术比较, 具有技术渗透率高, 发展潜力大, 产值增长率高, 投资回收期短等特点, 并且在生产加工上具有技术成熟、方便、快捷、经济、较安全等优

点。食品辐照加工技术在解决食品质量安全问题中具有独特的技术特色和优势,在控制仓储物害虫危害、食源性致病微生物污染及抑制植物性食品发芽、延缓成熟方面已经成功的进行了商业化应用,在降解和破坏食品中有害化学残留物、致敏物质和生物毒素以及食品进出口检疫等方面具有很大的应用潜力。

参考文献

- [1] 梅子熙(美).食品与农产品的辐照杀虫[M].北京:原子能出版社,1989.
- [2] 赵文彦.辐照加工技术及其应用[M].北京:兵器工业出版社,2003.
- [3] 付立新.食品辐照加工技术的现状与展望[J].黑龙江农业科学,2005(2):49-51.
- [4] 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.
- [5] 高美须,陈浩,刘春泉,等.食品辐照技术在中国的研究和商业化应用[J].核农学报,2007,21(6):606-611.
- [6] 刘戈,唐在民,刘奇峰.关于进一步提高辐照装置安全性的探讨[C].全国辐照食品技术创新与商业化研讨会论文集,2009:11.
- [7] 施培新.食品辐照加工原理与技术[M].北京:中国农业科学出版社,2004.
- [8] 哈益明.辐照食品及其安全性[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [9] Tarte RR, Murano EA, Olson DG. Survival and injury of *Listeria monocytogenes*, *Listeria innocua* and *Listeria ivanov* in ground pork following electron beam irradiation [J]. *N J Food Protect*, 1996, 59(6):596-600.
- [10] GB/T 18525.2-2001 谷类制品辐照杀虫工艺[S].北京:中国标准出版社,2001.

(上接第424页)

拟合,得到其定量检测区间的拟合方程,以5ng/mL和50ng/mL两个添加水平进行加标回收实验,其平均回收率为97.0%和100.1%。

2.5 重复性研究

按照芯片反应流程,测试了芯片系统的点间相对偏差、矩阵间相对偏差和片间相对偏差。根据芯片信号强度的数据,点间CV 2.98%,矩阵间CV 7.13%,片间CV 10.19%。

3 结论

本实验利用免疫竞争原理建立的蛋白质芯片经过优化后,可以对AOZ进行定量分析。对系统稳定性以及回收率的检测,证实了该系统不仅稳定性好,而且定量分析准确,达到了实验的预期效果。随着蛋白质芯片技术的不断完善,将会在抗生素检测中发挥更重要的作用。

参考文献

- [1] 邵德佳.鸡蛋中呋喃唑酮残留检测方法的研究[D].南京农业学院,2005.
- [2] 王庆伟,刘雪英,李平,等.呋喃唑酮的不良反应及防治[J].中国医院药学杂志,2000,20(3):183-184.

- [11] 朱承相.伽马辐射对稻谷-小麦品质的影响[J].粮食储藏,1981(1):10-19.
- [12] 林音,李香玲.大米商业化辐照有关技术的研究[J].核农学报,1994,8(3):177-179.
- [13] 刘宏跃,林音,李香玲. γ 射线辐照对豆类发芽和谷物类食用品质的影响[J].核农学报,2004,18(2):128-130.
- [14] 汪勤清,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.
- [15] 顾可飞,赵志辉,高美须,等.电子束辐照技术在食品安全控制中的应用[J].中国食物与营养,2008(3):11-14.
- [16] 张继彪,郑正,徐悦,等. γ 辐射对水中敌草隆的降解研究[J].环境化学,2007,26(6):745-748.
- [17] 陈梅红,张艳,程淑华.电离辐射降解农药残留研究[J].宁夏农林科技,1999(2):44-35.
- [18] 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.
- [19] Rohit k k atial, MD Thomas J Grie, PhD Dawn M Hazelhurst. Deleterious affects of electron beam radiation on allergen extracts [J]. *Journal Allergy Clinical Immunology*, 2002(8):276-280.
- [20] 张明琦,高美须,支玉香,等.辐照对蟹过敏蛋白生化性质和抗原性的影响[J].中国农业科学,2009,42(9):3259-3264.
- [21] 王烁,张春红,李淑荣.辐照处理对花生致敏蛋白的影响[J].花生学报,2009,38(2):1-5.
- [22] 杨静.农产品中真菌毒素污染辐射降解效应研究[D].北京:中国农业科学院,2009.
- [23] 尹青岗.玉米中玉米赤霉烯酮辐照降解技术研究[D].北京:中国农业科学院,2009.
- [24] 王锋,哈益明,周洪杰,等.降解伏马菌素的方法:中国,200910078702.0. [P/OL]. 2009-03-02 [2009-07-22].

- [3] Home E, Cadogan A O, Keefe M, et al. Analysis of protein-bound metabolites of furazolidone and furaltadone in pig liver by high performance liquid chromatography and liquid chromatography mass spectrometry [J]. *The Analyst*, 1996, 121:1463-1468.

- [4] MaCracken R J, Kennedy D G. Determination of furazolidone in animals feeds using liquid chromatography with UV and thermospray mass spectrometric detection [J]. *J Chromatogr A*, 1997, 771:349-354.

- [5] Pimpitak U, Putong S, Komolpis K, et al. Development of a Monoclonal Antibody - Based Enzyme - Linked Immunosorbent Assay for Detection of the Furaltadone Metabolite, AMOZ, in Fortified Shrimp Samples. *Food Chemistry*, 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.03.028.

- [6] 罗惠明,庄逸林,陈燕勤,等.水产品中呋喃唑酮代谢物残留量的酶联免疫分析[J].华南预防医学,2006,32(6):60-61.

- [7] Robin L Stears, Todd Martinsky, Mark Schena. Trends in microarray analysis [J]. *Nature Medicine*, 2003, 9(1):140-145.

- [8] Zuo P, Ye B C. Small mol croarrays for dmg residue detection in foodstuffs [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2006, 54:6978-6983.