

果蔬贮藏辐照保鲜技术研究进展

赵喜亭^{1,2}, 周颖媛¹, 邵换娟¹

(1. 河南师范大学 生命科学学院, 河南 新乡 453007; 2. 河南省高校道地中药材保育及利用工程技术研究中心, 河南 新乡 453007)

摘 要:果蔬贮藏辐照保鲜技术是一项利用电离辐射抑制果蔬的某些生理活动从而延长其贮存期的一种保鲜方法。该方法不仅能对果蔬进行杀虫灭菌, 防止腐烂变质, 而且还能抑制一些休眠块根块茎类蔬菜的发芽。与传统方法相比, 它有着能耗低、无毒物残留、无污染等优点, 已成为国际上常用的一种保鲜方法。该文对其历史发展、保鲜原理、应用和安全性进行了综述, 并对其前景进行了展望。

关键词:辐照; 保鲜; 果蔬; 研究进展

中图分类号:S 609⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)20-0169-04

传统果蔬贮藏保鲜的主要方法是使用化学杀菌剂, 但长期使用化学药剂会导致病菌产生抗药性而降低化学药剂的防病效果, 同时频繁和高浓度使用化学药剂会造成农药在果蔬上的残毒量增加而威胁人类的健康。因此, 迫切需要寻求新的安全高效的保鲜技术以逐步取代化学杀菌剂在果蔬保鲜上的使用^[1]。辐照保鲜技术是人类利用核技术开发出来的一项新型的果蔬贮藏保鲜技术。该技术是 WTO 认可的一项技术, 目前全世界已有 40 多个国家和地区批准了 80 多种辐照食品。土豆、洋葱、大蒜、冻虾、调味品等 10 多个品种已实现了商业化, 取得了明显的经济效益^[2]。我国也于

1958 年开始食品辐照加工研究, 20 世纪 70 年代开展了辐照杀虫, 抑制发芽, 鱼、肉、蛋的辐照保藏, 水果保鲜及葡萄酒促进陈化等研究工作^[3]。现对果蔬贮藏辐照保鲜技术的历史发展、原理及应用等方面进行概述, 以期果蔬贮藏辐照保鲜技术提供参考。

1 辐照保鲜技术的历史发展

辐照保鲜技术是 1905 年申请专利, 并于 20 世纪发展起来的一种保鲜技术。该技术的发展和激光器的出现密不可分。自 20 世纪 50 年代激光器问世以来, 辐照保鲜的研究已逾 50 a 的历史。在 20 世纪 50~60 年代, 许多国家开展了食品辐照技术和效果研究; 20 世纪 70 年代各国致力于证实辐照食品的卫生安全性; 20 世纪 80 年代确立了辐照食品的国际标准; 20 世纪 90 年代辐照食品正在稳步地向商业化发展。正如世界卫生组织所做出的结论: 辐照食品就像用巴斯德杀菌法消毒的食物一样安全, 而且有益健康。据 2011 年的统计, 全球已有

第一作者简介:赵喜亭(1971-), 女, 河南洛阳人, 博士, 副教授, 现主要从事植物生理学和植物生物技术的教学与科研工作。
E-mail: zhaoxt0411@126.com

基金项目:河南省重点科技攻关资助项目(112102210300)。

收稿日期:2012-05-20

Developing Current Situation and Suggestion on Vegetable Industry in Hangzhou City

WU Ye-dong

(Hangzhou Wanxiang Polytechnic, Hangzhou, Zhejiang 310023)

Abstract: Vegetable industry is one of the six agricultural industries in Hangzhou City. Its products are related to daily life. Based on current situation of vegetable industry, some advantages are as follows: marketing multi-function in vegetable industry is analysed in this paper, direct marketing style progressed, urgent production and products appearing in the market will be gradually perfect. The ability of meeting emergency production promoted. New variety and new technology are put into use, the improvement of quality and quantity for vegetable products has its path to realize, etc. This paper emphasized in how to promote the industrilization and big scale production, improve industry management, make sure marketing circulate and improve the quality of vegetable products in the future.

Key words: vegetable industry; development situation; suggestion

70 个国家和地区批准了 548 种食品和调味品可用辐照处理,其中 1986 年以后辐照食品被批准的总数达到 392 种。1983 年联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)的食品法典委员会(CAC)正式颁发了《辐照食品通用法规》和《食品辐照设施推荐规程》,从法律上消除了辐照食品国际贸易上的障碍。

中国从 1958 年就开始了食品保鲜辐照研究^[4]。1984 年 11 月 30 日中华人民共和国卫生部公布了我国花生、马铃薯、大米、大蒜、洋葱、蘑菇 6 种辐照食品的卫生标准,这是我国第一次允许使用辐照食品^[4]。到 1997 年我国已批准了 24 种辐照食品的卫生标准,包括大蒜、花生、蘑菇、马铃薯、大米、洋葱、香肠、苹果、扒鸡、花粉、果脯、生杏仁、番茄、猪肉、荔枝、密桔、薯干、熟肉制品、干果果脯、香辛料、新鲜水果、新鲜蔬菜、冷冻包装禽肉类、豆类、谷类、及其制品等^[5];到 2001 年,我国批准的辐照工艺近 20 种^[6]。

2 辐照保鲜技术的原理

辐照保鲜技术是食品经过一定剂量的电离射线(⁶⁰Co γ 射线或¹³⁷Cs γ 射线或电子加速器产生的电子束-最大能量 10 MeV 或 X 射线-最大能量 5 MeV)的辐照,杀灭食品中的害虫,消除食品中的病原微生物及其它腐败细菌或抑制某些食品中的生物活性和生理过程,从而达到食品贮藏保鲜的目的^[6]。辐照对生物体的效应主要表现为热、压力、光和电磁场等几方面,对于低功率电离射线特别是可见光范围的电离射线,其产生的热和压力很少,因此,这些电离射线对生物体效应主要表现为光和电磁场效应^[7]。一方面电离射线可以直接影响蛋白、酶及生物分子的结构,从而导致酶活性的变化^[8];另一方面也可通过这些酶直接作用于细胞中 DNA,诱导抗性基因的表达,使转录活动增强,从而产生新的酶或其它蛋白质分子来提高生物体的抗逆性。基于此,电离射线可以用于食品的辐照贮藏保鲜。辐照线主要包括红外线、紫外线、X 射线和 γ 射线等。其中的短波射线辐照(如紫外线辐照)易使食品中的脂肪氧化,产生臭味,蛋白质也容易变质,产生色变等现象;一些食品的有益成分如维生素、叶绿素也易受紫外线照射而分解。另外 X 射线和 γ 射线辐照由于要避免对操作人员的伤害而所需的基建费用比较高,因此均不易于普及。

目前,“红外线杀菌”已成为国外食品保鲜十项新技术之一,这方面以日本的研究较为成熟,国内的报道还处于加热杀菌的初步应用阶段^[9]。但是通过其与物质作用的机理分析,认为红外线有其更合适保鲜应用的若干优势,如光子能量小,不易使食物的内部突变和分解。同时它的作用大部分是基于细胞物质的机械振动和电子转移来改变细胞的防御能力和活性。其作用机理如下:当红外线作用于植物细胞时,植物细胞有效的吸收红外线,这一方面促使共振效应的产生,增强酶的活性

以及细胞的弹性,打破多种成分变化的动态平衡,使细胞活性得以维持,延缓组织的衰老。另一方面,红外线的介入,可适当地引起细胞表面水分子的微弱电离和细胞膜上电荷的重新分布,这一作用中和了细胞表面多余的有害电荷,使反应向电荷积累的逆过程进行,此外红外线可还原紫外线光氧化作用产生的有害产物,达到修复细胞损伤的光复活作用。崔强等^[10]研究表明很多生命物质都对红外线有十分敏感的吸收性质。因此用红外线激光保鲜,可以在某些方面弥补短波射线的缺点,大大降低成本,提高使用的安全程度。目前,红外线激光辐照技术已成功用于怀山药的贮藏抑芽上^[11]。

3 辐照保鲜技术在果蔬贮藏保鲜中的国内外应用

辐照处理在对果蔬的生理生化方面产生重要影响的同时并不改变其营养成分,可保持果蔬原有的口感质量,而且射线穿透能力比较强,可以连带包装一并处理,减少污染机率,还能大批量的自动监控,因此备受青睐。

近几十年来国内外许多学者对多种新鲜果蔬产品的辐照保鲜技术进行了研究,取得了可喜进展。赵晓南等^[12]研究表明,辐照能够抑制果蔬的呼吸作用,限制果蔬乙烯的产生,杀灭害虫及寄生虫,杀死微生物,抑制发芽,延长果蔬的贮藏时间,从而达到保鲜目的。

3.1 延缓果实的成熟和衰老

水果、蔬菜通过一定剂量的辐照后,新陈代谢和呼吸代谢就会受到抑制,膜脂过氧化作用减轻,延迟成熟,延长贮藏周期乃至货架期^[13-14]。国内外许多学者已经对多种新鲜果蔬产品,如桃^[15]、梨^[16-17]、芒果^[18-19]、葡萄^[20]、番茄^[8,21]、西兰花^[22]、食用菌^[23-24]等的辐照保鲜技术进行了广泛研究,并制定了相关产品的辐照加工工艺。王秋芳等^[20]研究发现 700 Gy 高能电子束能显著延缓葡萄在贮藏期间营养物质的消耗,减轻 MDA 积累造成的伤害,有效地控制葡萄采后的成熟与衰老进程。用 1.2 kGy 的⁶⁰Co γ 射线辐照结合 4℃ 的低温,能有效抑制双孢蘑菇的后熟作用,使双孢菇保鲜贮藏 30 d 左右^[23],而草菇的有效辐照剂量为 0.8 Gy^[24]。

3.2 灭菌及杀虫

果蔬采后贮藏时易引起微生物生长繁殖而腐败变质,从而降低产品的质量,缩短其货架期。辐照在解决食品安全问题中具有独特的技术特色和优势,特别是在防止食品中食源性致病微生物污染和进出口检疫方面存在着巨大的应用潜力^[25]。低剂量的辐照能较强杀灭微生物,已被广泛用于果蔬采后抑菌处理,尤其是鲜切果蔬上。研究发现,1.5 kGy 和 3.0 kGy 分别是草莓和柑橘采后抑菌的有效辐照剂量^[26-27],0.45~3.15 kJ/m² UV-C 辐照也可有效抑制草菇的病菌数量^[28]。在鲜切果蔬上,周任佳等^[29]发现在 0.5~2.0 kGy 高能电子束范围内随辐照剂量增大,抑制鲜切哈密瓜病原微生物的生长的效果越好,鲜切西洋芹^[30]、芹菜和花生^[31]上也得到了类似

结果。而对鲜切西瓜来说,1.4 kJ/m² UV-C 对微生物的抑制效果较好,高于该剂量的效果并不明显^[32]。

另外,辐照也可以杀灭害虫,这方面的研究主要集中在板栗和柑桔等上,在板栗经过低剂量长时间或者高剂量短时间的辐照之后,板栗的蛀食害虫死亡率可达100%^[33]。90 Gy 是辐照柑桔、解决柑桔大实蝇检疫问题的应用剂量,0.5 kGy 的辐照处理可以在辐照 10 d 后有效地控制栗象^[34]。

3.3 抑芽

利用一定的辐照剂量,可以使植物萌芽的生长点细胞在休眠期受到抑制而不萌芽。辐照处理可以使诸如大蒜、马铃薯等具有休眠期的块根块茎类果蔬不致因萌芽而损耗养分。从 20 世纪 60 年代开始科学家们就辐照技术在大蒜上的抑芽研究展开了广泛研究,至今大蒜辐照技术已经非常成熟,被广泛应用于抑制大蒜萌芽。1996 年邹伟民等^[35]发现辐照大蒜可达到完全抑制发芽的目的,使贮藏期延长至 4 个月。王守经等^[36]用 0.05 kGy 的剂量辐照山东白皮大蒜,使其贮藏期延长至 10 个月。谢宗传等^[37]对辐照抑制大蒜萌芽的敏感期试验中发现不同品种的敏感期不同,江苏太仓蒜为 9 月 15 日、河南郑州蒜和山东金乡蒜为 8 月 22 日、江苏邳州蒜为 8 月 15 日,在敏感期之前进行辐照均可抑制萌芽、延长贮藏期,之后抑制效果不明显。激光辐照在大蒜上的成功运用又被借鉴到洋葱^[38-39]、土豆^[40-41]、生姜^[42-44]、甘薯^[45]等产品中,辐照从此成为一个抑芽的物理措施被人们广泛应用^[15,46-48]。最近辐照也作为板栗采后贮藏抑制发芽的有效手段^[49]。

综上所述,辐照保鲜技术以其独有的优势在果蔬贮藏保鲜中发挥着重要作用。对辐照射线类型的选择、剂量和时间确定及保鲜机理进行更为深入的研究,必将对更为广泛的、合理的利用提供理论和技术指导。

4 辐照果蔬的卫生安全性及前景展望

辐照果蔬对人类的影响以其毒理学、微生物学、营养学、辐射化学等方面的广泛内容去衡量,这方面的研究 30 a 来从未间断。从 1970“国际食品辐照研究计划(IFIP)”开始启动,到 1981 年进行了长达 10 a 的辐照食品卫生安全性研究,期间各国也独自进行探究辐照食品健全性的计划试验,IFIP 亦进行一些相关的委托试验,在保持统一性的前提下定期交换各国的各种生物试验结果和讯息资料。根据 IFIP 的 10 a 研究成果和各国的研究结果数据显示,没有得出任何关于辐照食品有害的证据^[50],1980 年 11 月 FAO、国际原子能机构(IAEA)和 WHO 3 个国际组织的联合专家委员会,联合发表调查结论:“任何食品总体平均剂量低于 10 kGy,没有毒理学危险,用此剂量辐照的食品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”^[51]。许多国家和地区对辐照食品的卫生安全性研究也得到同样的结论。

至今尚未看到否定辐照食品卫生安全性的试验结果。

综上所述,辐照技术在果蔬贮藏保鲜方面,有着其它方法难以比拟的优越性^[14]。它将电离辐射对物质作用的物理效应、化学效应和生物效应用于果蔬贮藏,是一种“冷处理”,处理过程中不会引起被处理果蔬的温度大幅升高,能保持果蔬的香味和外观品质;在安全剂量范围内也不会有感生放射性,能避免环境污染;并且处理之后的辐照产品能立即被运输、储备,或者立即进食,也不会对身体有害。因此,该技术不仅方便快捷,而且卫生安全性高,不存在化学残留和环境污染问题。另外,相对于植物生长抑制物质青鲜素(MH)等可能造成果蔬残留和动植物的致突变与致癌作用等不安全因素的存在,该项技术在抑制休眠块根块茎类蔬菜的发芽上将具有更大的优势和应用前景。随着研究的深入和科技知识的普及,人们对果蔬辐照保鲜技术的认同感会逐渐加大,也必将促使辐照技术在果蔬贮藏保鲜中的大力应用。

参考文献

- [1] 李永才,毕阳,葛永红,等. 电离辐射对果蔬采后病害的控制[J]. 食品工业科技,2011,32(9):443-445,449.
- [2] 刘北辰. 辐照食品保鲜技术的现状及前景[J]. 湖南包装,2007(2):9-11.
- [3] 唐超. 辐照食品国内外发展现状[J]. 品牌与标准化,2011(2):19.
- [4] 施培新,谢宗传. 辐照食品商业化在中国的进展[J]. 核农学通报,1995,16(6):251-255.
- [5] 陈殿华. 中国辐照食品的产业化发展[J]. 核农学报,2004,18(2):81-88.
- [6] 内山贞夫. 照射食品的检知法及国际的动向[J]. Radioisotopes,1991,40(7):302-311.
- [7] 向洋,金明明. 激光的生物学效应研究[J]. 光电子·激光,1994,3(1):423-425.
- [8] Prakash A, Manley J, DeCosta S, et al. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2002, 63: 387-390.
- [9] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京:中国轻工业出版社,1989:15-20.
- [10] 崔强,李永强,王京,等. 红外线植物保鲜机理的研究及应用[J]. 激光与光电子学进展,2004,41(10):47-51.
- [11] 赵喜亭,王会珍,李明军,等. 激光辐照对铁棍山药块茎贮藏保鲜的生理效应初探[J]. 植物生理学通讯,2007,43(6):1093-1096.
- [12] 赵晓南,王成波,胡少新. 果蔬辐照保鲜技术应用[J]. 黑龙江农业科学,2011(8):151-153.
- [13] Kume T, Furuta M, Todoriki S, et al. Status of food irradiation in the world [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2009, 78(3): 222-226.
- [14] Farkas J. Irradiation for better foods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(4): 148-152.
- [15] Hussain P R, Meena R S, Dar M A, et al. Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2008, 77(4): 473-481.
- [16] Wani A M, Hussain P R, Meena R S, et al. Effect of gamma-irradiation and refrigerated storage on the improvement of quality and shelf life of pear (*Pyrus communis* L., Cv. Bartlett/William) [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2008, 77(8): 983-989.
- [17] Wani A M, Hussain P R, Dar M A, et al. Shelf life extension of pear cv.

- William by gamma irradiation[J]. Journal of Food Science and Technology, 2007, 44 (2):138-142.
- [18] Spalding D H, Reeder W F. Decay and acceptability of mangoes treated with combinations of hot water, imazalil and gamma irradiation [J]. Plant Disease, 1986, 70 (12):1149-1151
- [19] Lacroix M L, Jobin M, Latreille B, et al. Hot water immersion and irradiation effect on mangoes keeping quality after air shipment from Thailand and Canada [J]. Microbiologie Aliments Nutrition, 1991, 9 (2):155-160.
- [20] 王秋芳, 乔勇进, 乔旭光. 高能电子束辐照对巨峰葡萄生理品质的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(3):571-577.
- [21] Assi N E, Huber D J, Brecht J K. Irradiation-induced changes in tomato fruit and pericarp firmness, electrolyte efflux, and cell wall enzyme activity as influenced by ripening stage[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1997, 122(1):100-106.
- [22] Costa L, Vicente A R, Civello P M, et al. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 39:204-210.
- [23] 刘超, 徐宏青, 王宏, 等. 蘑菇辐照保鲜贮藏技术的研究[J]. 核农学报, 2003, 17(5):363-366.
- [24] 叶惠, 陈建勋, 余让才, 等. γ 辐照对草菇保鲜及其生理机制的研究[J]. 核农学报, 2000, 14(1):24-28.
- [25] 哈益明, 施惠栋, 王峰, 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.
- [26] Vachon C, D'Aprano G, Lacroix M, et al. Effect of edible coating process and irradiation treatment of strawberry *fragaria* spp. on storage-keeping quality [J]. Journal of Food Science, 2006, 68(2):608-612.
- [27] 罗美雨, 李文革. 辐照对柑橘保鲜效果的研究[J]. 湖南农业科学, 2009(6):137-138, 142.
- [28] Guan W Q, Fan X T, Yan R X. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads, and quality of button mushrooms [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2012, 64:119-125.
- [29] 周任佳, 乔勇进, 王海宏, 等. 高能电子束辐照处理对鲜切哈密瓜品质及微生物控制效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(6):27-30, 36.
- [30] 高翔, 陆兆新, 张立奎, 等. 鲜切西洋芹辐照保鲜的研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(7):32-35.
- [31] 李淑荣, 高美须, 李春红, 等. 芹菜花生冷食菜的辐照杀菌研究[J]. 核农学报, 2007, 21(6):593-596.
- [32] Fonseca J M, Rushing J W. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2006, 40:256-261.
- [33] 路明, 张立新, 陈海涛. 板栗辐照冷藏保鲜技术研究[J]. 河北果树, 2010(5):5-6.
- [34] 高美须, 王传耀, 李淑荣, 等. 辐照柑桔和板栗害虫的研究[J]. 植物检疫, 1999, 13(4):197-199.
- [35] 邹伟民, 郑世火, 操君喜, 等. 辐照大蒜保鲜技术的生产应用[J]. 核农学报, 1996, 17(3):113-114.
- [36] 王守经, 孙守义. 山东白皮大蒜辐照保鲜技术试验[J]. 山东农业科学, 1996(4):38-39.
- [37] 谢宗传, 陈忠海, 邢小黑, 等. 辐照大蒜抑制发芽的敏感期试验[J]. 核技术, 1999, 22(12):775-778.
- [38] 董华强, 郭定成, 陈文铨. 辐照萌动洋葱保鲜生化机理[J]. 北方园艺, 1999(3):5-6.
- [39] Kalman B, 刘绍德. 洋葱大规模辐照和销售试验[J]. 核农学报, 1983(3):21.
- [40] 王来顺. 用钴 60 辐照贮藏土豆[J]. 上海蔬菜, 1987(3):39.
- [41] 任铁华, 王来顺. 土豆、葱头、蒜头辐照商业化探讨[J]. 上海蔬菜, 1989(4):4-6.
- [42] 王守经, 冯双庆, 于子厚, 等. 生姜辐照抑制发芽贮藏工艺研究[J]. 核农学报, 2003, 17(2):115-118.
- [43] 王守经, 冯双庆, 于子厚, 等. 辐照生姜贮藏效果研究[J]. 山东农业科学, 2003(2):30-32.
- [44] 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.
- [45] 刘红锦, 王伟, 李鹏霞, 等. 辐照处理对 2 种甘薯的保鲜效果[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1):160-163.
- [46] 张璇, 鲜瑶. 脉冲强光杀菌技术及其在果蔬上的应用[J]. 农产品质量与安全, 2011(3):44-47.
- [47] Pellegrini C N, Croci C A, Orioli G A. Morphological changes induced by different doses of gamma irradiation in garlic sprouts [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2000, 57:315-318.
- [48] Pérez M B, Avelaño M I, Croci C A. Growth inhibition by gamma rays affects lipids and fatty acids in garlic sprouts during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 44(2):122-130.
- [49] 刘超, 汪晓鸣, 张福生. 辐照对板栗冷藏后期生理的影响[J]. 核农学报, 2007, 21(3):281-282.
- [50] 林彻. 世界的食品照射的现状与课题[J]. 原子力工业, 1995, 41(9):13-21.
- [51] 刘琼英. 国外辐照食品最新进展[J]. 国外科技, 1987(10):29-32.

Advances of Irradiated Technology in Storage and Fresh-keeping of Fruits and Vegetables

ZHAO Xi-ting^{1,2}, ZHOU Ying-yuan¹, SHAO Huan-juan¹

(1. College of Life Science, Henan Normal University, Xinxing, Henan 453007; 2. Engineering Technology Research Center of Nursing and Utilization of Genuine Chinese Crude Drugs of Henan Province University, Xinxing, Henan 453007)

Abstract: The irradiated technology is a fresh-keeping method of fruits and vegetables, which applies ionizing radiation to kill microbe and pest, inhibit sprout and physiological activity for extending storage period. It has many advantages, such as lower energy consumption, no toxic residues and non-pollution compared with tradition methods and has become a common preservation method at home and abroad. The historical development, the principle, application and security of irradiated technology in the keeping fresh on fruits and vegetables were reviewed in this article. At the same time, the developing status also were taking.

Key words: irradiation; fresh-keeping; fruit and vegetable; advances