

## 食品冷杀菌技术研究进展

夏文水 钟秋平

(江南大学食品学院,江苏 无锡 214036)

**摘要:**食品冷杀菌技术是指不用热能杀死微生物,不影响食品营养、质构、色泽和风味的新兴杀菌技术。通过介绍超高压杀菌、射线杀菌、超高压脉冲电场杀菌、脉冲强光杀菌、磁力杀菌、紫外线杀菌和二氧化钛光催化杀菌技术,详述其基本原理及其在食品工业中应用研究进展。

**关键词:**灭菌;食品;研究技术

### Research progress in cold sterilization of foods

Xia Wenshui, et al.

(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Jiangsu Wuxi 214036, China)

**Abstract:** Food cold sterilization is a new and developing technology, which kills microorganism without heating and does not affect the nutrient, texture, color and flavor of food. This technology includes ultra-high pressure processing (UHP), irradiation, high-voltage pulsed electronic field, pulse light, magnetic sterilization, ultra-violet and titanium dioxide light-catalyzed sterilization. The principles and research progresses of cold sterilization in food industries are discussed in detail.

**Key Words:** Sterilization; Food; Investigative Techniques

食品工业中采用的杀菌方法主要有加热杀菌和非加热杀菌两大类。非加热杀菌是指不用热能来杀死微生物,故又称为冷杀菌。热杀菌法比较古老,目前已臻完善。传统的热杀菌法虽然能保证食品在微生物方面的安全,但热能会破坏对热敏感的营养成分,影响食品的质构、色泽和风味。冷杀菌技术虽然起步较晚,但由于消费者要求营养、原汁原味的食品的呼声日益高涨,冷杀菌技术受到日益重视并进展很快。冷杀菌技术不仅能保证食品在微生物方面的安全,而且能较好地保持食品的固有营养成分、质构、色泽和新鲜程度。冷杀菌技术近来成为国内外食品科学与工程领域的研究热点。

本文综述了国内外在冷杀菌技术方面的研究进展,主要介绍超高压杀菌、辐射杀菌、超高压脉冲电场杀菌、脉冲强光杀菌、磁力杀菌、紫外线杀菌和二氧化钛光催化杀菌技术的基本原理及其在食品工业中的应用。

### 1 超高压杀菌技术<sup>[1,2]</sup>

作者简介:夏文水 男 教授 博士生导师

**1.1 超高压杀菌技术的原理** 食品超高压技术(Ultra-High Pressure processing, UHP)简称高压技术(High Pressure Processing, HPP)或高静水压技术(High Hydrostatic Pressure, HHP)。食品超高压杀菌,即将包装好的食品物料放入液体介质(通常是食用油、甘油、油与水的乳液)中,在100~1000 MPa压力下处理一段时间使之达到灭菌要求。其基本原理就是利用压力对微生物的致死作用,主要通过破坏细胞膜、抑制酶的活性和影响DNA等遗传物质的复制来实现。

**1.2 超高压杀菌技术在食品加工中的应用** 日本的Meidi-Ya公司于1990年4月生产了第一个高压食品—果酱,之后又有果味酸奶、果冻、色拉和调味料等面市,日本的Pokka和Wakayama公司用半连续高压杀菌方法处理橙汁。明治屋食品公司将草莓、猕猴桃、苹果酱软包装后,在室温下以400~600 MPa的压力处理10~30 min,不仅达到了杀菌的目的,而且促进了果实、砂糖、果胶的胶凝过程和糖液向果肉的渗透,保持了果实原有的色泽、风味、具有新鲜水果的口感,维生素C的保留量也大大提高。日本的松本正等人对5种小菜采用塑料袋真空包装后以300~400 MPa的压力处理,杀死酵母菌,提高了产品

的保存性,实现了腌菜向低盐化方向发展。有人将磨碎的鳕鱼肉用塑料袋包装,在 300 MPa 下处理 10 min,糊状的碎鱼肉在高压下凝胶化成鱼糕状,与加热杀菌的同种鱼肉相比,外观细腻,吃起来富有弹性,有咬头,味也好。对果汁施以 400 MPa 10 min 的处理,可保持果汁的天然香味,果汁的质量得到提高。1995 年角田伸二指出,日本已就与高压杀菌相关的技术对乳制品(乳酸饮料)、鸡蛋、水产类(贝类)、高粘食品(蜂蜜)等进行了广泛的研究。王雪青等<sup>[3]</sup>对猕猴桃酱进行了高压处理,经高压处理的猕猴桃酱较传统热处理的酱体色泽翠绿,维生素含量高,而且在 700 MPa 的高压下杀菌,稳定色泽和防止维生素 C 氧化的作用最佳。Boyton 等人<sup>[4]</sup>将切片芒果真空包装后,于 300 MPa 和 600 MPa 处理后置于 3 下贮藏,在贮藏期间鲜芒果的风味下降、异味增加,但色泽、质构及其他感官指标基本没有变化,经 9 周的贮藏后,微生物指标分别为  $10^2$  CFU/mL 和  $10^3$  CFU/mL。压力处理鲜芒果,风味只轻微降低,异味和甜度略有增加。他们将阳桃用同样的方法处理,在 600 MPa 和 800 MPa 压力下处理一段时间后,贮藏在 3 ~ 4 周,将阳桃暴露在空气中后颜色会加深,800 MPa 压力处理的阳桃,能降低褐变。He 等人<sup>[5]</sup>利用高压进行牡蛎去壳及延长其货架寿命的研究,结果表明压力 207 ~ 310 MPa 经不同时间处理后,贮藏在 4 以下,27 d 后,样品的 pH 只降低 0.5,水分含量略有上升,不仅可减少 2 ~ 3 个对数的微生物的数量,且牡蛎有较高的品质。而手工去壳的牡蛎 pH 下降了 2.2,水分含量轻微下降。

1.3 高压技术与其他技术相结合在食品加工中的应用 从目前对高压技术的研究来看,主要是研究在低温范围内的高压技术及应用高压技术与其他技术相结合来处理食品<sup>[6]</sup>。

Schlueter 等人<sup>[7]</sup>提出用高压冻结和高压解冻的方法来取代现有食品冻结和解冻的方法,生产出高品质的冻藏食品。神田幸忠采用此方法在 -18 ~ 200 MPa 冻结豆腐在常温下形成的冰晶较普通空气鼓风冻结法形成的冰晶小得多,此豆腐在常温下自然解冻也不会出现普遍冻结法所发生的汁液流失和豆腐变形,保持了豆腐原有的感官品质。Fuchigami 等人<sup>[8-10]</sup>对不同压力条件下的高压冻结豆腐的质构和品质进行了研究,结果表明在 200 ~ 400 MPa 的高压下可有效地改善冻结豆腐的质构。研究高压冻结果蔬时发现,压力和温度对冻结果蔬的品质有明显的影响,这是由于不同压力和温度下冰晶的种类和密度不同所造成的。对胡萝卜和大白菜的研究结果表明在 200 MPa (液体)、340 MPa (冰 ) 和 400 MPa

(冰 ) 条件下冻结时对样品的质地和组织结构没有什么损害,品质较常压下 -30 冻结的要好。

Zhao 等人<sup>[11]</sup>研究了影响高压解冻牛肉的条件,得出有效的解冻压力范围为 210 ~ 280 MPa,最低的有效解冻温度为  $(-24 \pm 2)$ ,且能改善解冻牛肉的品质的结论。有人还比较了高压解冻和常压解冻金枪鱼背肌和鲤鱼肉,发现高压解冻能更好地保证鱼肉的品质。<sup>[7]</sup>

相关研究<sup>[11-14]</sup>表明高压技术和其他技术相结合,更能有效地杀灭微生物,破坏酶,延长货架寿命。Corwin 等人<sup>[13]</sup>把 2 mmol/L 的  $\text{CO}_2$  充入橙汁,用 500 MPa 的压力处理,果胶甲酯酶的活性比单独用 500 MPa 压力的能更进一步地钝化,在 500 ~ 800 MPa 下, $\text{CO}_2$  也同样能显著地降低多酚氧化酶的活性。Park 等人<sup>[12]</sup>进一步利用高压  $\text{CO}_2$  和高压技术相结合的方法处理胡萝卜汁,结果表明 4.9 MPa 二氧化碳和 300 MPa 高静水压结合处理可使需氧菌完全失活,多酚氧化酶、脂肪氧化酶、果胶甲酯酶残留活性分别低于 11.3%、8.3%、35.1%,高静水压并不影响胡萝卜汁的浊度和色泽,但这种结合处理对胡萝卜汁的品质有些影响。Krebbbers 等人<sup>[15]</sup>将绿豆用 2 次脉冲高压处理,经 1 个月的贮藏后,与常规保藏方法相比,绿豆的硬度和维生素 C 保留较好,且能使 99% 以上的过氧化物酶失活。

2 辐射杀菌<sup>[2]</sup> 辐射(或辐照)杀菌是利用一定剂量的波长极短的电离射线对食品进行杀菌。在食品杀菌中常用的射线有  $\gamma$ -射线、 $\beta$ -射线和电子射线。电子射线主要由电子加速器中获得, $\gamma$ -射线由  $\beta$ -射线发生器产生, $\beta$ -射线主要由放射性同位素获得,常用的放射线同位素有<sup>60</sup>Co 和<sup>137</sup>Cs。 $\gamma$ -射线的穿透力很强,适合于完整食品及各种包装食品的内部杀菌处理,电子射线的穿透力较弱,一般用于小包装食品或冷冻食品的杀菌,特别适用于对食品的表面杀菌处理。

2.1 辐射杀菌的机理 射线辐射对食品的作用分为初级和次级,初级是微生物细胞间质受高能电子射线照射后发生的电离作用和化学作用,次级是水分经辐射和发生电离作用而产生各种游离基和过氧化氢再与细胞内其它物质作用。这两种作用会阻碍微生物细胞内的一切活动,从而导致微生物细胞死亡。

食品辐射杀菌的目的不同,采用的辐射剂量也不同,完全杀菌的辐照剂量为 25 ~ 50 kGy,其目的是杀死除芽孢杆菌以外的所有微生物。消毒杀菌的辐射剂量为 1 ~ 10 kGy,其目的是杀死食品中不产芽孢的病原体 and 减少微生物污染,延长保藏期。总之,对

于不同的微生物,需要控制不同的辐射剂量和电子能量。

2.2 辐射对食品营养成分的影响<sup>[16]</sup> 食品在正常推荐的剂量辐照后其营养成分,如蛋白质、糖类、微量元素及矿物质的损失很少,但维生素和脂肪对辐照敏感。维生素经辐照后的损失程度与食品种类、辐照剂量、温度、氧量及维生素的种类有关,一般来说,脂溶性维生素较水溶性维生素对辐照敏感。用杀菌剂量比较辐照处理与加热处理食品的水溶性维生素的破坏作用,可以发现两者几乎没有差别,而脂溶性维生素损失较大,尤以维生素 E、K 损失最大。在水溶性维生素中维生素 C 损失最大,烟酸损失最小。脂肪经高剂量辐照后,因氧化反应产生的自由基及其衍生物会促进脂肪的氧化而使其发生酸败变性,导致脂肪的消化吸收率降低。

2.3 辐照处理对食品色香味和质地的影响<sup>[17]</sup>

2.3.1 色泽 辐照处理对各种食品色素的影响不同。植物性色素对辐照处理较稳定,动物性色素对辐照敏感。辐照的水解物能导致肌红蛋白和脂肪的氧化,引起褪色。辐照能加深冷冻禽胸肉稳定的红色或粉红色,红色的加深依据于肉的种类、肌肉的类型、辐照的剂量、包装材料的不同而不同。根据 Nhm 等人的报道,经辐照的肉,其还原性增加,产生 CO,CO 与血红素强烈亲和,提高了红色或粉红色的强度。据相关的研究报道,<sup>[18-20]</sup> 用低于 1% 的 CO 辅以气调包装可以保持肉稳定的草莓红色,红色保持 8 周,并延长了其货架寿命。Kusmider<sup>[21]</sup> 进一步研究指出,包装时添加低于 1% 的 CO 能大大地改善新鲜牛肉末的色泽和风味,在 4.5 kGy 剂量辐照时,CO 能降低脂肪氧化,并提供一种稳定的草莓红颜色。也就是说,用 CO 包装并辅以低或中剂量的辐照,能给鲜牛肉末带来怡人的安全的颜色,且品质损害最小。

2.3.2 气味 辐照处理一般都会使食品特有的香气损失,同时也产生令人不愉快的“辐射臭气味”,尤其是肉类食品。Pratl 报道,用 24 kGy 剂量辐照处理生火腿有臭味产生。Nam 等人<sup>[16]</sup> 比较了火鸡鸡胸肉的有氧包装和真空包装的辐照效果,实验指出:辐照时会产生挥发性的异味,伴随着脂肪的氧化和挥发性硫的生成,有氧包装的异味较大。有氧包装的火鸡鸡胸肉的挥发性物质的形成随着辐射剂量的增加和贮藏时间的延长而增加。Ahn 等人<sup>[22]</sup> 指出,含硫化物是辐照冷冻猪肉产生异味的根源。蛋白质的辐照水解物在辐照肉产生异味方面起着重要作用<sup>[23]</sup>。

2.3.3 质地 低剂量辐射处理食品不会对食品质

地产生明显的影响,相反还可以抑制软化,破坏一些引起果实后熟的有关酶的活性,延缓一些水果的后熟。高剂量辐照处理食品时,都会有不同程度的软化作用,这种软化是由食品大分子物质的解聚而引起的。Setsuko 等人<sup>[24]</sup> 实验指出:用具有 300 kV 或低一些的电子辐照干物料的表面能去除污染(如豆子、香辛料、脱水蔬菜和茶叶),不会产生有害作用。用 170 kV 的电压处理大豆,可减少微生物的数量到不可检测的水平。用软电子处理的大豆,其豆乳的胶凝性质比高压杀菌的豆乳要好,用软电子杀菌能改善大豆用于加工豆乳和豆腐的品质。Mckenna 等人<sup>[14]</sup> 指出,辐照能增加鲑鱼的感官嫩度和汁液评分,增加鳕鱼片的风味强度。

2.3.4 辐射杀菌在食品工业中的应用 水产品、肉制品、蛋类、蜂花粉经射线辐照后能较长时间保存。肉类制品经预处理后,真空密封包装和冷冻,-40 辐照,对肉制品无不良影响。经辐照完全杀菌的牛肉、鸡肉、火腿、香肠、鱼虾在常温下皆可贮藏较长时间,若在低氧或无氧条件下处理则贮藏时间更长。蛋类辐照杀菌一般用 10 kGy 左右的剂量便可杀灭沙门氏菌,鲜蛋若用 80 kGy 的电子射线照射后,涂上聚乙烯醇塑料薄层,于 28 ~ 30 贮存一个多月,好蛋率达 91.0% ~ 91.3%。蛋液及冰冻蛋液可用  $\gamma$  射线辐照,灭菌效果良好。蜂花粉用 1.0 kGy 的剂量照射,能有效地杀灭花粉中的微生物,花粉的温升也不明显,这对保存花粉的营养成分是十分有好处的。除此之外,辐照还广泛用于包装材料和包装容器的表面杀菌,一般剂量为 20 ~ 30 kGy 便可达到杀菌要求。高压电子束则适用对单层薄膜进行杀菌处理。

3 超高压脉冲电场杀菌<sup>[25,26]</sup>

3.1 超高压脉冲电场杀菌机理 超高压脉冲电场杀菌是采用高压脉冲器产生的脉冲电场进行杀菌的方法。其基本过程是用瞬时高压处理放置在两极间的低温冷却食品。其机理基于如下假设:细胞膜穿孔效应、电磁机制模型、粘弹极性形成模型、电解产物效应、臭氧效应等。归纳起来,超高压脉冲电场杀菌作用主要表现在 2 个方面:(1)场的作用 脉冲电场产生磁场,细胞膜在脉冲电场和磁场的交替作用下,通透性增加,振荡加剧,膜强度减弱,从而使膜破坏,膜内物质容易流出,膜外物质容易渗入,细胞膜的保护作用减弱甚至消失。(2)电离作用 电极附近物质电离产生的阴阳离子与膜内生命物质作用,从而阻碍了膜内正常生化反应和新陈代谢过程等的进行。同时,液体介质电离产生臭氧的强烈氧化作

用,使细胞内物质发生一系列的反应。通过场和电离的联合作用,杀灭菌体。

3.2 高压电场脉冲的处理效果 国内外研究人员使用高压脉冲电场对培养液中的酵母、革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌、细菌孢子以及苹果汁、香蕉汁、菠萝汁、橙汁、桔汁、桃、牛奶、蛋清液等进行了研究。研究结果显示抑菌效果可达4~6个对数级,其处理时间极短,最长不超过1s,该处理对食品的感官质量不造成影响,其货架期一般都可延长4~6周。1997年,陈键用22.5 kV/cm的电场,脉冲50次,使脱脂乳中的99%的大肠杆菌失活。为了提高脉冲的杀菌效果,Iu等人<sup>[27]</sup>指出,高压脉冲与中等程度的热处理相结合或与溶菌酶、乳链球菌素等天然抗微生物制剂相结合处理苹果汁,能有效地减少O157:H7大肠杆菌。Hodgins等人<sup>[28]</sup>用低能脉冲电场处理苹果汁,结果表明:用80 kV/cm的电场,脉冲20次,pH 3.5,44℃,添加100 U/mL乳链球菌素能减少微生物 $10^6$  CFU/mL,维生素C保留97.5%,果胶甲酯酶的活性减少92.1%,橙汁的货架寿命得到延长,气相色谱显示芳香物质在脉冲前后无显著差别。Mingyu等人处理香蕉汁时也有相似的结论。高压脉冲电场对未过滤的苹果汁、果浆含量高的菠萝汁、桔汁、天冬甜素液的感官特性没有影响,桔汁中的维生素C含量不改变,处理过的苹果汁比新鲜的苹果汁味道更好。<sup>[29]</sup>脉冲杀菌与低浓度的杀菌剂如臭氧和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>结合,杀菌效果将更显著,有望在食品工业中得到应用。<sup>[30]</sup>

4 脉冲强光杀菌<sup>[25,31]</sup> 脉冲强光杀菌是利用脉冲的强烈白光照射而使惰性气体灯发出与太阳光谱相近,但强度更强的紫外线至红外线区域光来抑制食品和包装材料表面、固体表面、气体和透明饮料中的微生物的生长繁殖。Juse Dunn等的研究表明脉冲强光对多数微生物有致死作用。周万龙设计的脉冲强光技术对微生物和钝化酶的效果显著,其研究结果表明:(1)随着闪照次数的增加,残余菌数明显减少。枯草芽孢杆菌起始浓度 $2 \times 10^5$  个/mL时,输入190 V电压,闪照间隔为6 s,高压脉冲触发宽度为20  $\mu$ s,闪照30次后,残余菌数为0。(2)脉冲强光对微生物致死作用明显,可进行彻底杀菌。对不同的食品,不同种类的微生物,需要控制不同的条件。光照脉冲还可钝化液态淀粉酶和蛋白酶,其活力随闪照次数的增加而降低。

5 磁力杀菌技术<sup>[2,32]</sup> 磁力杀菌是将食品放在N极和S极之间,用6 000的磁力强度连续摆动,不需

要加热,即可达100%的灭菌效果,对食品的成分和风味无任何影响。日本三井公司将食品放在0.6 T磁密度的磁场中,在常温下48 h,达100%灭菌效果。磁杀菌可用于饮料、调味品及各种包装的固体食品的杀菌。目前国内已对水、酸奶等制品进行了磁场杀菌的研究。

但是食品中微生物的失活与磁场强度的关系,磁场与食品营养成分变性的关系,磁场能量效率与延长食品货架期的关系,磁场对食品质量的影响和微生物失活机理等等,目前尚不清楚,还有待于进一步研究与探索。利用磁场杀菌技术要求食品材料有较高的电阻率,一般大于10  $\Omega$ cm,以防材料内部产生涡流效应而导致磁屏蔽。金属包装的食品不能用此法来杀菌。因磁力杀菌对包装材料的要求高,因而限制了其应用范围。

6 紫外线杀菌<sup>[33]</sup> 紫外线杀菌主要是由于其辐射性能可以破坏有机物的分子结构。微生物受紫外线照射时最容易受影响的是其体内的蛋白质和核酸。尤其是可诱导DNA中的胸腺嘧啶二聚体的形成,从而抑制DNA的复制和细胞分裂,乃至使其受伤甚至死亡。波长250~260 nm的紫外线杀菌效果最佳,其杀菌效果比近紫外线(波长300~400 nm)要大1 000倍以上。不同种类的微生物抗紫外线的的能力不一样,酵母菌和丝状菌抗紫外线的的能力比细菌强,病毒和细菌的抗紫外线的的能力基本相同。

国内外紫外线杀菌的场合主要有食品厂用水的杀菌、液状食品杀菌、固体表面杀菌、食品包装材料杀菌及食品加工车间、设备器具、工作台的杀菌。但在这些场合,对霉菌的杀菌效果较差,常需配合酒精消毒来加强杀菌效果。

由于紫外照射会破坏有机物分子结构,所以会给某些食品的加工带来不利的影响,特别是含脂肪和蛋白质丰富的食品经紫外线照射会促使脂肪氧化、产生异臭,蛋白质变性,食品变色等。此外,食品中所含的有益成分如维生素、叶绿素等易受紫外线照射而分解,因此紫外线照射杀菌的应用受到一定程度的限制。

7 二氧化钛光催化杀菌<sup>[1,34]</sup> 二氧化钛光催化以前用于水解水制氢、探讨光电化学理论、有机合成、矿化有机物及临床抗癌实践。二氧化钛光催化杀菌时,当光照射到较大聚集体的TiO<sub>2</sub>表面时,激发产生光电子和光生空穴对。由于光生电子迁移速度比光生空穴快得多,所以可将光生电子和光生空穴分开。光生空穴有很强的得电子能力,这样产生的光

生电子-空穴对与细胞壁、细胞膜以及细胞内组分作用,导致酶失活。另一方面光生电子-空穴对与水或水中溶解氧发生作用形成氢氧自由基,它们与细胞壁、细胞膜或细胞内物质作用,使细胞功能单元失活。

目前在食品工业领域中,二氧化钛光催化杀菌技术仅应用于水的处理,其它方面的应用有待于进一步探索。

与传统的杀菌技术相比,以上食品杀菌新技术对食品的营养成分、风味、质地、感官影响较小。但单一的杀菌技术尚存在某一方面的欠缺或不足。因此,为了进一步提高杀菌效率,把对食品的营养成分、风味、感官的有害作用降到最低,利用两种或两种以上的杀菌方式串联或并联使用或与天然杀菌剂配合使用是今后杀菌技术研究的一个重要方向。

#### 参考文献:

- [1] 邱伟芬,江汉湖. 食品超高压杀菌技术及其研究进展[J]. 食品科学, 2001, 22(5): 81—83.
- [2] 张铁华,陈琦昌. 冷杀菌技术在食品加工保藏中的应用[J]. 食品工业科技, 1999, 20(4): 63—65.
- [3] 王雪青,兰风英,邵茹梅. 高压对猕猴桃酱质量的影响[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(8): 28—30.
- [4] Boynton B B, Sims C A, Sargent S, et al. Quality and stability of pre-cut mangos and carambolas subjected to high-pressure processing[J]. J of Food Sci, 2002, 67: 409—415.
- [5] He H, Adams R M, Farkas D F, et al. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension[J]. J of Food Sci, 2002, 67: 640—645.
- [6] 李沛生,曾庆孝. 食品的低温高压处理技术及其研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2000, (1): 59—64.
- [7] Fuchigami M, Koto N, Teramoto A. High-pressure-freezing effects on textural quality of carrots[J]. J of Food Sci, 1997, 62: 804—808.
- [8] Fuchigami M, Miyazaki K, Koto N, et al. Histological changes in high-pressure-frozen carrots[J]. J of Food Sci, 1997, 62: 809—812.
- [9] Fuchigami M, Koto N, Teramoto A. High-pressure-freezing effect on textural quality of Chinese cabbage[J]. J of Food Sci, 1998, 63: 122—125.
- [10] Zhao Y, Flores R A, Olson D G. High hydrostatic pressure effects on rapid thawing of frozen beef [J]. J of Food Sci, 1998, 63: 272—275.
- [11] Park S J, Lee J I, Park J. Effects of a combined process of high-pressure carbon dioxide and high hydrostatic pressure on the quality of carrot juice [J]. J of Food Sci, 2002, 67(5): 1827—1834.
- [12] Corwin H, Shellhammer T H. Combined carbon dioxide and high pressure inactivation of pectin methylesterase, polyphenol oxidase, *Lactobacillus plantarum* and *Escherichia coli* [J]. J of Food Sci, 2002, 67(2): 697—701.
- [13] McKenna D R, Nanke K E, Olson D G. The effects of irradiation, high hydrostatic pressure and temperature during pressurization on the characteristics of cooked-reheated salmon and catfish fillets [J]. J of Food Sci, 2003, 68(1): 368—377.
- [14] Krebbers B, Master A M, Koets M, et al. Quality and storage stability of high-pressure preserved green beans [J]. J of Food Engineering, 2002, 54: 27—33.
- [15] 廖小军. 冷杀菌技术在食品中的应用 [J]. 加工技艺, 1999, 11: 35—37.
- [16] Nam K C, Hur S J, Ismail H, et al. Lipid oxidation, volatiles, and color changes in irradiated raw turkey breast during frozen storage [J]. J of Food Sci, 2001, 67(6): 2061—2066.
- [17] Sorheim O, Aune T, Nesbakken T. Technological, hygienic and toxicological aspects of carbon monoxide used in modified-atmosphere packaging of meat [J]. Trends Food Sci Technol, 1999, 8: 307—312.
- [18] Luno M, Beltran J A, Roncales P. Shelf-life extension and color stabilization of beef packaged in a low O<sub>2</sub> atmosphere containing CO<sub>2</sub> in steaks and ground meat [J]. Meat Sci, 1996, 8: 75—84.
- [19] Jayasingh P, Cornforth D P, Carpenter C E, et al. Evaluation of carbon monoxide treatment in modified atmosphere packaging or vacuum packaging to increase color stability of fresh beef [J]. Meat Sci, 2001, 59: 317—324.
- [20] Kusmider E A, Sebranek J G, Lonergan S M, et al. Effects of carbon monoxide packaging on color and lipid stability of irradiated ground beef [J]. J of Food Sci, 2002, 67(4): 3463—3468.
- [21] D U Ahn, Jo C, Du M, et al. Quality characteristics of pork patties irradiated and stored in different packaging and storage conditions [J]. Meat Sci, 2000a, 56(2): 203—209.
- [22] Jo C, Ahn D U. Production of volatile compounds from irradiated oil emulsions containing amino acids or proteins [J]. J of Food Sci, 2000, 65(4): 612—616.
- [23] Setsuko Todoriki, Olivia Kimiko Kikuchi, Motoko Nakaoka, et al. Soft electron (low energy electron) processing of foods for microbial control [J]. Radiation Physics and Chemistry, 2002, 63: 349—351.
- [24] 吴肖,刘通讯. 物理杀菌技术 [J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(2): 65—67.
- [25] 孙学兵,方胜,陆守道. 高压脉冲电场杀菌技术研究进展 [J]. 食品科学, 2001, 22(8): 84—86.
- [26] Iu J, Mittal G S, Griffiths M W J. Reduction in levels of *Escherichia coli* O157:H7 in apple cider by pulsed electric fields [J]. Food Prot, 2001, 64(7): 964—969.
- [27] Hodgins A M, Mittal G S, Griffiths M W. Pasteurization of fresh orange juice using low-energy pulsed electrical field [J]. J of Food Sci, 2002, 67(6): 2294—2299.

- [28] Jia M, Zhang Q B, Min D B. Effect of pulsed electric field processing on orange juice flavour analyzed by dynamic headspace gas chromatography [Z]. Annual IFT Meeting, 1996.
- [29] Takayuki Ohshima, Kenichi Sato, Hisao Terauchi, et al. Physical and chemical modifications of high-voltage pulse sterilization[J]. J of Electrostatic, 1997, 42:159—166.
- [30] 梅从笑, 方远超. 新兴的冷杀菌技术在食品工业中的应用研究[J]. 江苏食品与发酵, 2001, 2:31—33.
- [31] 周宇英, 唐伟强. 压力与电磁技术在食品杀菌上的研究进展[J]. 粮油与食品机械, 2001, 5:9—10.
- [32] 野口明德. 最近的物理杀菌技术[J]. 中国食物与营养, 1998, 5:19—21.
- [33] 宋承辉, 刘希真. 二氧化钛光催化氧化机理及杀菌效果[J]. 中国消毒学杂志, 2001, 18(3):169—173.
- [收稿日期:2003-08-27]

中图分类号:R15;TS201.6 文献标识码:E 文章编号:1004-8456(2003)06-0539-06

## 番茄红素的抗氧化及抗肿瘤作用

隋海霞 徐海滨 严卫星

(中国疾病预防控制中心营养与食品安全所, 北京 100021)

**摘要:**为促进番茄红素在保健食品中的应用,对番茄红素的抗氧化和抗肿瘤作用进行了论述。番茄红素是最主要的类胡萝卜素。几乎存在于所有的番茄和番茄类制品中。体外实验证明,在饮食胡萝卜素中,番茄红素是最强的单线态氧捕捉剂。已有实验证明番茄红素摄入量或血清中番茄红素水平与患癌风险有显著的负相关关系。

**关键词:**番茄;类胡萝卜素类;抗氧化;抗肿瘤

### Effect of lycopene on antioxidant and antitumor

Sui Haixia, et al.

(National Institute of Nutrition and Food Safety, China CDC, Beijing 100021)

**Abstract:** Lycopene is one of the major carotenoids and is found naturally almost exclusively in tomatoes and tomato products. Among the common dietary carotenoids, lycopene has the highest singlet-oxygen quenching capacity in vitro. Remarkable inverse relationships between lycopene intake or serum lycopene level and cancer risk have been observed. This paper is aimed to dissertate the role of lycopene in antioxidation and anticarcinogenesis.

**Key Words:** Tomatoes; Carotenoids; Antioxidant; Antineoplastic

番茄红素, 化学名:Lycopene, 分子式  $C_{40}H_{56}$ , 分子量 536.85。性状为深红棕色粘性液体。番茄红素由自然界红色株西红柿 (*Lycopersicon esculentum L.*) 经溶剂提取, 挥去溶剂而得。另外, 番茄红素也可经化学方法合成。通过质谱、核磁共振技术、紫外光谱和红外光谱分析, 合成番茄红素具有与天然番茄红素相同的化学特性。番茄红素是形成西红柿果体的主要颜色, 西红柿成熟时, 诱导番茄红素的合成。1975年研究者首次从西红柿中分离出番茄红素。在1910年其结构被鉴定后, 人们根据西红柿的拉丁名 (*Solanum Lycopersicum L.*) 把这种类胡萝卜素称为番茄红素。在

20世纪初的十年间, 在不同种植物和动物(如瓢虫)体内分离鉴定出番茄红素, 尤以在西红柿中含量最高。其后不同学者又在其它植物如玫瑰蔷薇果、藏红花、黑莓和葡萄的果实中发现番茄红素。该物质不仅已从诸如番石榴、番木瓜、棕榈油等热带植物中分离出来, 而且也存在于人体组织特别是肝脏中。番茄红素的广泛存在是因为它在 - 胡萝卜素和其它类胡萝卜素的合成过程中起着关键作用。<sup>[1]</sup>

番茄红素是成熟番茄的主要色素, 属烃类胡萝卜素, 其化学结构与大多数类胡萝卜素共同的是均有两个20碳原子尾尾相连的四萜类结构, 不同的是多数类胡萝卜素是尾部呈单环或双环的化合物, 而番茄红素是一个非环的含有11个共轭双键的线

作者简介:隋海霞 女 硕士