

果蔬保鲜新技术研究进展

励建荣^{1,2,3}, 朱丹实^{1,2,3}

(1. 渤海大学 化学化工与食品安全学院, 辽宁 锦州 121013; 2. 辽宁省食品安全重点实验室, 辽宁 锦州 121013; 3. 辽宁省食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心, 辽宁 锦州 121013)

摘要: 近年来, 中国的果蔬产业取得了巨大成就, 果蔬保鲜技术也得到了长足发展。然而随着人们生活水平的不断提高以及对食品安全问题的普遍关注, 对果蔬保鲜产业也提出了新的要求: 即天然、安全、营养, 因而果蔬保鲜新技术研究很受关注。作者分析了国内外果蔬保鲜技术的综合情况和安全状况, 提出了中国果蔬保鲜新技术的研究方向, 旨在为同行提供一定的借鉴和参考。

关键词: 果蔬; 保鲜; 新技术; 研究进展

中图分类号: TS255.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-1689(2012)04-0337-11

Research Progress of New Postharvest Technology on Fruits and Vegetables

LI Jian-rong^{1,2,3}, ZHU Dan-shi^{1,2,3}

(1. College of Chemistry, Chemical Engineering and Food Safety, Bohai University, Jinzhou 121013, China; 2. Food Safety Key Lab of Liaoning Province, Jinzhou 121013, China; 3. Engineering and Technology Research Center of Food Preservation, Processing and Safety Control, Jinzhou 121013, China)

Abstract: In recent years, fruits and vegetables industry had got great success in china, and fresh-keeping technology also developed rapidly. However, with the rising of people's living standard ceaselessly, as well as the widely attention to the food safety, new requirements for fruits and vegetables were put forward to fresh-keeping industry, which was natural, safety and nutritive. Therefore, the development of new fresh-keeping technology had been paid great attention. In this paper the comprehensive situations and safe conditions of fresh-keeping technology on fruits and vegetables were analyzed domestic and abroad. The research directions of fresh-keeping in China were indicated. These could provide some reference for other researchers.

Key words: fruits and vegetables, postharvest, new technology, research progress

中国是果蔬生产大国, 近 10 年来水果产量一直稳居世界第一, 水果总产量连年攀升, 由 2000 年的 6225 万 t 上升到 2010 年的 2.14 亿 t^[1], 同比上升 3.4 倍。蔬菜产业也已成为中国农业和农村经

济发展的支柱产业, 种植面积仅次于粮食, 成为中国第二大农作物。据农业部统计, 2009 年中国蔬菜播种面积和产量分别占世界的 43% 和 49%, 均居世界第一。

收稿日期: 2011-02-01

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(30425040); 辽宁省教育厅项目(L2010008)。

作者简介: 励建荣(1964-), 男, 浙江慈溪人, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事果蔬、水产品贮藏加工与安全控制, 食品生物技术等方面的研究。E-mail: lijr6491@yahoo.com.cn

虽然中国果蔬产量很高,然而果蔬采收前后由于生理衰老、微生物侵害及机械损伤等多种原因,易腐烂变质,不耐贮藏。据相关统计,现阶段中国新鲜果蔬的腐烂损耗率较高,水果为30%左右,蔬菜为40%~50%,而发达国家平均损耗率不到7%^[2]。因此加强果蔬保鲜技术的研究和应用,对发展农业、提高人民生活水平有重要意义。

1 果蔬保鲜技术概况

目前国内外的果蔬采后贮藏保鲜技术方法主要分为3类:即物理方法、化学方法和生物方法。

其中物理方法可分为两类:一是针对微生物控制的手段,主要包括热处理、冷激、脉冲光、超高压、减压、辐照、超声波、臭氧等。另一类是控制环境条件的物理手段,目的是保持果蔬采后较佳品质,如控制温度方面的冰温贮藏、低温胁迫和变温贮藏;控制气体成分的CA、MA;以及控制湿度的窖藏、聚乙烯薄膜等高阻湿材料的包装贮藏等。

化学方法保鲜果蔬是目前国内采用较多的一种手段。化学保鲜剂种类繁多,采用较多的有1-MCP、SO₂、硅酸钠/钾、H₂O₂、次氯酸等。虽然化学保鲜效果显著,但会带来潜在的健康危害和环境污染等问题,因此在选择保鲜剂的种类和剂量方面需要慎重。

生物保鲜技术具有贮藏环境小,贮藏条件易控制,处理费用低,污染小等优点^[3],目前受到人们的普遍关注。生物保鲜技术总体可分为3类:一是利用拮抗菌来保鲜。微生物拮抗保鲜主要利用菌体次生代谢产物或直接利用微生物菌体和抗菌肽对食品进行保鲜^[4]。二是利用天然提取物及仿生保鲜剂进行保鲜处理。主要利用中草药植物浸提液保鲜、利用天然植物精油的防腐保鲜以及利用动物源提取物的防腐保鲜,如壳聚糖^[5]、蜂胶^[6]等。三是利用基因工程将果蔬采前与采后相结合的保鲜技术,例如:采前和采后的抗性诱导、采前利用转基因技术抑制采后乙烯的合成^[7]、利用转基因技术控制果蔬细胞壁降解酶的活性等技术^[8]。

由于果蔬品种多样,生理差异性显著,应针对不同的原料结合不同的技术手段,采取相应的保鲜处理,才能达到最佳的保鲜效果。

2 果蔬保鲜中新技术的发展方向

国内外关于果蔬保鲜技术的研究较多,研究方向已逐渐向材料学、食品化学、有机化学、遗传生物学、机械工程等诸多领域发展。为提高保鲜效果、延长保鲜时间、降低成本、提高综合效益,果蔬保鲜技术正在由单一技术向复合技术方向发展。研究各种保鲜技术的综合应用是国际保鲜的流行趋势。同时,采用安全、有效、无害的果蔬保鲜技术将是今后的发展趋势。

2.1 临界低温高湿保鲜技术

果蔬在贮藏期间发生的生理生化变化与环境条件密切相关^[9-10]。温度、湿度作为最主要的环境因子,应受到普遍关注。20世纪80年代,日本北海道大学率先开展了临界低温高湿保鲜研究,此后国内外研究和开发的趋势是采用临界点低温高湿贮藏(CTHH),即控制在果蔬冷害点温度以上0.5~1℃左右和相对湿度为90%~98%左右的环境中贮藏保鲜果蔬^[2]。Min Zhang采用CTHH保鲜巨峰葡萄取得了良好的效果^[11-12]。临界点低温高湿贮藏的保鲜作用体现在两个方面:1)果蔬在不发生冷害的前提下,采用尽量低的温度可以有效地控制果蔬在保鲜期内的呼吸强度,使某些易腐烂的果蔬品种达到休眠状态;2)采用湿度相对高的环境可以有效降低果蔬水分蒸发,减少失重^[13]。从原理上说,CTHH既可以防止果蔬在保鲜期内的腐烂变质,又可以抑制果蔬的衰老,是一种较为理想的安全保鲜手段。临界低温高湿环境下结合其他保鲜手段仍今后安全保鲜的一个研究方向。

2.2 结构化水保鲜技术

结构化水技术是指利用一些非极性分子(如:某些惰性气体)在一定的温度和压力条件下,与游离水结合的技术^[14]。通过结构化水技术可使果蔬组织细胞间水分参与形成结构化水,使整个体系中的溶液黏度升高,从而产生两个效应:1)酶促反应速率减慢,实现对有机体生理活动的控制;2)果蔬水分蒸发过程受抑制。这为植物的短期保鲜贮藏提供了一种全新的原理和方法^[13]。20世纪90年代,日本东京大学学者用氙气制备甘蓝、花卉的结构化水,并对其保鲜工艺进行了探索,获得了较为满意的保鲜效果^[15]。Rahman^[16]用氙气保鲜茄子,

可以明显降低其呼吸速率和腐败、褐变的程度。

但使用高纯度氩气成本太高,研究者往往通过惰性气体的混合加压来另寻其保鲜方法,以降低其成本^[17]。詹仲刚采用氮气、氦气和氩气与氙气的对照,结果表明,这几种惰性气体对黄瓜的多酚氧化酶和过氧化物酶活性的影响差异性不大^[18]。单良研究了低氧条件下,加压 CO₂/Xe/O₂ 混合气体对芦笋的保鲜效果,优化了保鲜条件,并进一步对其保鲜机制进行了初步探讨^[19]。M Zhang 采用氩气和氙气的混合气体保鲜芦笋取得了良好的效果,可以有效的延长芦笋的保鲜期至 12 d^[20]。结构化水保鲜技术作为一种新型保鲜手段,在技术和机理方面仍需要进行更加深入的研究。

2.3 气调及气调包装保鲜技术

气调贮藏是指在一定的温度和湿度条件下,通过调节贮藏环境中气体成分来达到保持果蔬品质、延长果蔬贮藏保鲜期的方法(通常是增加 CO₂ 体积分数和降低 O₂ 体积分数以及根据需要调节其气体成分体积分数)。改善和控制气氛包装也称气调包装,是很有发展前景的食品保鲜包装技术,根据包装后对材料内部气氛的控制程度可分为 CAP(controlled atmosphere packing)和 MAP(modified atmosphere packing)。

Solomos 等人在 1982 年研究表明,低 O₂ 和高 CO₂ 对呼吸速率的抑制作用是低 O₂ 下呼吸链中氧化酶活性降低的缘故;Suzhuki 等人发现,气调贮藏可以减少果蔬中氨基酸、VC、果胶物质等的损失;Siriphanich 等人认为,气调也影响着许多参与新陈代谢的酶系统,低 O₂ 和高 CO₂ 可以抑制与后熟有关的酶,这些酶与有机酸、糖类、脂肪酸等的代谢有关,决定着植物的衰老进程^[21]。气调保鲜能够在维持果蔬采后正常生理活动前提下,有效抑制其呼吸作用和蒸发作用,最大限度减少激素和微生物作用等不良影响,延缓果蔬的生理代谢过程,推迟后熟衰老和腐败变质发生,延长保鲜期^[22]。对于易腐果蔬的保鲜方面,气调贮藏取得了显著效果。Min zhang 和 Gongnian Xiao 等研究了 MAP 对草莓、平菇、香菇、芦笋等易腐果蔬进行保鲜研究,探讨了包装材料的影响,建立了相应的呼吸速率模型,得到了各种易腐果蔬的最佳气调保鲜条件,取得了良好的保鲜效果^[23-25]。

包装膜材料是气调保鲜包装的基础,为保持或

维持包装容器内的气氛状态,对包装材料提出不同的要求,小型充气包装材料通常选用 PET、PA、PVDC、EVAL 等为基材的复合包装薄膜^[26]。目前采用的新型硅橡胶膜做成气体交换窗,镶嵌在气调库的墙上或封闭塑料薄膜上用于果蔬贮藏。由于其较高的选择透气性,可以起到容器内外自动调气的作用,相对稳定容器内气调组成。李铁华等用硅窗气调保鲜贮藏茶树菇,有硅窗和没有硅窗存在对茶树菇的呼吸强度、VC 含量、总酸、可溶性固形物含量、电导率及蛋白质含量等检测指标有显著差异,硅窗有良好的气体交换性能,能保证茶树菇贮藏适宜的气体环境中,化学和生理变化缓慢,有利于茶树菇品质的保存^[27-29]。

气调保鲜作为一种安全有效的保鲜手段,在国外发达国家已得到广泛应用,而在中国尚处于起步阶段。近年来,经过中国科研工作者的不断努力,某些新鲜食品采用气调包装已达到 5~14 d 保鲜期^[30],基本达到国外同类食品气调包装的保鲜期,但大范围的推广应用还需要进一步的技术支撑。总体来看气调包装在中国具有广阔的应用前景。

2.4 可食性涂膜保鲜技术

可食膜是指以天然可食性物质(如多糖、蛋白质等)为原料,添加可食性增塑剂、交联剂等物质,通过不同分子间相互作用而形成的无毒可食的薄膜^[31-32]。果蔬的涂膜技术是在果蔬的表面通过喷涂或浸渍等手段以形成一层极薄的膜,以此来抑制果蔬的呼吸作用,阻止果蔬水分散失,防止外界氧气与果蔬内部成分发生氧化作用^[33],提高果蔬抗机械损伤的能力及抵御病菌侵蚀的能力^[34],从而提高果蔬的贮藏性能,进而保护果蔬的营养成分、色、香、味、形,延长果蔬的货架期^[35]。

可食性涂膜保鲜技术的关键是涂膜剂的选择,它是影响涂膜效果的首要因素。各国已经开发出多种新型可食性膜材料,已被确认具有良好涂膜效果的涂膜剂有淀粉、果胶、壳聚糖、乳清蛋白、醇溶蛋白等^[36-40],它们在涂膜保鲜中具有各自的特点并且应用安全^[41]。目前,可食性膜正在由过去的单一膜逐渐向复合膜的方向发展。可食性涂膜保鲜技术作为一种无污染、安全、简单易行的保鲜技术,越来越受到国内外同行的关注。

2.5 真空预冷及减压保鲜技术

减压保鲜技术的一般过程是将果蔬置于密闭

容器内,抽出容器内部分空气,使内部气压降到一定程度,同时经压力调节器输送新鲜湿空气,整个系统不断地进行气体交换,以维持贮藏容器内压力的动态恒定和保持一定的湿度环境^[42]。由于降低了空气的压力,使果蔬长期处于休眠状态,因此能够降低果蔬的呼吸强度,并抑制乙烯、二氧化碳、乙醛、乙醇的生物合成,从而可以达到延长果蔬货架期的效果^[43]。真空预冷技术的工作原理是将果蔬原料放在真空室内,通过抽真空,造成一个低压环境,使物料内部的水分迅速蒸发,由于水分的蒸发吸热导致物料本身温度迅速下降(一般在0~10℃)^[44]。陶菲研究了白蘑菇的真空预冷的工艺并对白蘑菇进行保鲜研究,结果表明,真空预冷可以有效抑制了白蘑菇相关生理指标的变化,改善白蘑菇的感官品质,并延长期的货架期^[45-46]。

将真空预冷和减压保鲜联用,保鲜效果进一步提升。李文香对水蜜桃和绿芦笋进行不同过程的真空预冷后,进行三阶段减压贮藏保鲜试验,在贮藏初期绝对压力较低,可以达到快速降温和减少田间热的目的;贮藏中期采用中度真空度,减少乙烯积累和水分散失;贮藏后期,进一步提高绝对压力,进一步减少失水并恢复果蔬的鲜味状态和风味物质^[47-50]。这种分阶段减压贮藏工艺,能明显抑制果实呼吸强度、膜透性的增加,减缓果实相关生理指标的变化,而且能很好的很好的控制普通减压贮藏的失水严重和风味减少的问题,明显提升了保鲜效果。

真空预冷及减压贮藏对果蔬原料无污染及残留,是一种理想的安全保鲜手段。国内已研制成功真空冷却气调保鲜设备,其保鲜技术装备在杨梅、黄桃、龙眼、荔枝、河北鸭梨、山东大樱桃、辽西冬枣等特色果品保鲜中,取得了理想效果。应用该技术后,最难保存的江浙杨梅第一次批量进入美国、法国、意大利和新加坡市场。使用真空保鲜装置保鲜,一般可以比冷藏延长保鲜时间至少2~4倍^[51]。

2.6 臭氧保鲜技术

臭氧(O₃)是一种常温下不稳定的淡蓝色气体,易分解产生具有强氧化能力的原子氧,其在水中的氧化还原电位为2.07 eV,仅次于氟,因此具有很强的消毒、灭菌功能。同时,臭氧气体能快速氧化分解果蔬呼吸释放的乙烯,延缓果蔬的成熟,减慢生理老化过程,从而起到果蔬保鲜作用^[52]。臭氧作为

一种高活性、无残留、高渗透性的强氧化剂,已在果蔬贮藏的应用中受到重视并迅速发展。Tzortzakakis等^[53]对番茄、草莓、葡萄、李子接种灰葡萄孢菌,13℃分别保存于空气(对照)和低浓度的臭氧富集气体0.1 μmol/mol中,臭氧保存可以有效减少孢子数量。对罗马甜瓜进行水热激处理后再进行臭氧处理,能有效减少果皮表面总菌数,而且保留了甜瓜最初的质构和芳香物^[54]。

臭氧处理时要注意通过一些环境条件来提高处理效果。当贮藏温度低于10℃时,杀菌能力较强,因为在高温条件下,臭氧易分解成氧气。臭氧杀菌能力在空气中比在水中明显减弱,所以应在相对湿度较高的贮藏环境中进行,果蔬利用臭氧保鲜处理的最佳湿度是90%~95%^[55]。贮藏室存放的果蔬要留有一定间隙,有利于臭氧发挥作用。

虽然臭氧保鲜安全、无残留,但是由于臭氧有强氧化性,臭氧处理不可避免的是在杀菌、降解农药的同时,无选择地破坏易被氧化的营养物质,具有强还原性的VC容易被臭氧氧化,而弱还原性的还原糖则不会与臭氧发生反应。臭氧使用浓度过大,还会引起果蔬表面质膜损害,使其透性增大、细胞内物质外渗,导致品质下降,甚至加速果蔬的衰老和腐败等。因此一定要选择合适的臭氧剂量。

2.7 超声波处理保鲜技术

超声波多用于鲜切果蔬的清洗,是利用低频高能超声波的空化效应在液体中产生瞬间高温高压造成温度和压力变化,使液体中某些细菌致死、病毒失活,甚至使体积较小的一些微生物的细胞壁破坏,从而延长果蔬的保鲜期^[56-57]。高翔^[58]等用超声波气泡清洗鲜切西洋芹10 min后再用0.4% CaCl₂溶液处理,微生物菌落去除80%,呼吸作用明显受到抑制,PPO活性一直处于较低水平,且对VC无明显的破坏作用,感官品质良好。陈育彦^[59]等采用超声波、臭氧及两者相结合处理鲜切韭薹,结果表明,4℃冷藏货架下,采用超声波和臭氧处理鲜切韭薹可以有效抑制韭薹的呼吸强度,对VC有很好的保护作用,对细菌增殖也有较好的抑制作用,较好地保持了鲜切韭薹的品质,特别是两者结合,可将韭薹的保鲜期延长至11 d。Kuldiloke^[60]将超声波技术应用于柠檬汁加工中,发现经过处理的柠檬汁的色泽、口味和其中的营养物质被破坏程度极小。

超声波消毒速度较快,对人无害,对果蔬无损害,但消毒不彻底。因此常考虑将其与其他冷杀菌技术联合使用,如超声波-磁化联合杀菌、超声波-紫外线联合杀菌、超声波-巴氏杀菌等^[61]。

2.8 辐照保鲜

食品辐照保鲜技术是20世纪发展起来的一种灭菌保鲜技术,是以辐射加工技术为基础,运用X射线、 γ 射线或高速电子束等电离辐射产生的高能射线对食品进行加工处理,产生强大的物理效应和生物效应,达到杀虫、杀菌、抑制生理过程,提高食品卫生质量、保持食品原有的成分及风味和延长货架期的目的。目前农产品辐照保鲜处理以 γ 射线应用最多,⁶⁰Co作为辐射源最普遍^[62],其原因在于⁶⁰Co制备相对容易,释放出的 γ 射线能量大,穿透力强,半衰期较适中。水果种类不同,其所采用的辐照剂量有所差异,柑橘类所需剂量为0.3~0.5 kGy,蔬菜处理剂量为0.05~0.15 kGy^[63]。

辐照食品的安全性一直是人们所关注的问题。消费者担心使用电离辐射,导致辐照食品不安全。FAO、WHO和IAFA三个权威机构组成的联合专家委员会,根据长期以来毒理学、营养学、辐射化学以及微生物资料,认为辐射总平均剂量不超过10 kGy的食品是安全的,不存在毒理学危害^[64]。1990年5月美国已批准3 kGy辐照肉、禽制品供应市场。目前,有40多个国家和地区,批准80多种辐照食品上市。

2.9 拮抗菌保鲜技术

国外拮抗菌用于果蔬采后保鲜的研究起步于20世纪80年代中期,主要是从苹果、柑橘、梨、桃等水果筛选拮抗菌,它们对水果采后主要病害具有明显的拮抗作用。很多拮抗菌已经进行了半商业化的实验,有的拮抗菌已经处于商品化应用阶段。在国内,这方面的研究起步比较晚,20世纪90年代关于拮抗菌的研究主要集中在土壤及植物病害防治方面,而运用拮抗菌来进行果蔬采后保鲜的研究主要开始于2000年以后。研究领域主要集中在柑橘^[65]、苹果^[66]、草莓^[67-68]、葡萄^[69]等大宗水果的拮抗菌生物保鲜方面。

拮抗菌的保鲜机理是由于其可以产生抗菌物质:抗生素、细菌素、溶菌酶、蛋白酶、过氧化氢和有机酸等;重寄生作用;竞争性生长抑制作用;诱导果蔬抗性等。这种具有拮抗作用的微生物可以抑制或

杀死果蔬中的有害微生物,或与有害微生物竞争果蔬中的糖类等营养物质,阻止储存期间果蔬VC、糖含量和SOD活力的下降^[70],从而达到防腐保鲜的目的。

国内外研究者近年来研究发现了一些具有发展潜力的果蔬保鲜拮抗菌^[71]:酵母菌,如汉逊德巴利酵母、假丝酵母、隐球酵母、红酵母、丝孢酵母、柠檬形克勒克酵母、膜醭毕赤酵母等;细菌,如芽孢杆菌、假单胞杆菌、放线菌等;霉菌,如木霉、青霉等。

2.10 纳米保鲜技术

纳米材料科学的进步催生了这种新型的保鲜技术。将纳米无机抗菌材料通过特殊工艺添加到包装材料中,用该材料制作的容器具备长效的杀菌性能。纳米材料具有抗菌杀毒、低透氧率、低透湿率、阻隔二氧化碳、吸收紫外线、自洁功效与良好的阻隔性及力学性能等优良特性^[72]。应用于果蔬保鲜方面的纳米材料主要有纳米氧化硅、纳米二氧化钛、银系纳米材料等^[73]。

纳米材料主要通过两种技术手段作用于果蔬保鲜:一是作为抑菌剂涂被于果蔬表面,另一是作为果蔬的包装材料。“纳米保鲜果蜡”应用于水果的保鲜,发现保鲜果蜡具有保护果面、增加果品色泽和亮度、抑制呼吸、延缓衰老、保持硬度等特点,能够延长水果贮藏期限^[74]。将纳米材料制备成保鲜袋,发现纳米袋具有良好的透氧性能,能在贮藏期内通过缓慢的自发气调形成低氧、高二氧化碳的微环境,抑制呼吸强度,减少自由基生成,延缓衰老;同时其良好的透湿性能显著降低鲜切果蔬的水分蒸腾,减少失水率,保持果蔬的鲜活状态^[75-76]。

纳米技术是一种全新的技术,如同转基因食品一样,其安全性方面引起的争议使大部分消费者都持保守的态度。2003年Robert F. Service^[77]在Science上,Geoff Brumfiel^[78]在Nature上相继发表编者文章,讨论了纳米尺度物质与生物环境相互作用,及可能产生的生物效应问题。由于纳米物质可以通过多种途径进入自然环境产生多种环境行为,还可能引起生物体的毒性效应,因此纳米技术和纳米材料的应用和开发,既提出了全新的食品保鲜概念,也引发了人们对其安全性的普遍担忧。随着纳米技术的发展以及安全评价手段的完善,相信这一谜题会得到解决。

2.11 基因工程保鲜技术

基因工程保鲜技术,主要通过减少果蔬生理成

熟期内源乙烯的生成、控制细胞壁降解酶的活性,以及延缓水果在后期成熟过程中的软化,来达到保鲜的目的^[79]。

抑制果实乙烯合成与乙烯合成相关的酶基因主要包括 ACC 合成酶 (1-amino-cyclopropane-1-carboxylate synthase, ACS) 基因^[80]、ACC 氧化酶 (1-amino-cyclopropane-1-carboxylate oxidase, ACO) 基因^[81] 和 ACC 脱氨酶 (1-amino-cyclopropane-1-carboxylate deaminase, ACCD) 基因^[82]。ACS 是乙烯形成的关键酶,由多基因家族编码,各个基因协同表达,每个基因都有自己的转录特性,近年来不断揭示出果实中 ACS 基因家族中的新成员^[83];ACO 是一种与膜结合的酶,此酶具有结构上的立体专一性,其内部存在正反馈调控,ACO 和 ACS 基因协同表达影响乙烯的形成,进而控制着果实的成熟过程。ACCD 可将 ACC 降解为丁酮酸和氨,从而降低植物体内乙烯的合成量。

抑制细胞壁的降解与细胞壁降解有关的酶多聚半乳糖醛酸酶 (polygalacturonases, PG)、果胶甲酯酶 (pectin methylesterase, PME 或 PE)、纤维素酶 (cellulase)^[84, 85]。通常认为 PG 是果实软化的主要酶,PG 位于植物细胞壁中,其功能是使细胞壁中的多聚半乳糖醛酸降解为半乳糖醛酸,导致果实由硬变软。反义 PG 基因的转入可以降低 PG 活性,减弱了外源乙烯的作用,延缓了果实的衰老,从而提高了耐贮性能,达到果实保鲜作用^[86-87]。Tucker 克隆到 PME 基因 cDNA 并构建了 35S 启动子控制下的反义基因^[84]。此种反义基因在转基因番茄中表达后果实中的 PME 活性大大降低,低 PME 活性的果实与非转基因的果实相比,其果胶分子量较大,甲酯化过程和番茄红素堆积不受影响,表明 PME 在果实细胞壁代谢中可延缓果实的衰老,延长

贮藏期。纤维素酶的内切-1,4- β -葡聚糖酶 (EG) 是细胞壁代谢酶类之一,它是由一类多基因家族成员编码的水解酶^[88-89]。近期,吴富旺^[90]从荔枝果实上分离得到两个 EG 基因,并分别命名为 LcEG1 和 LcEG2。通过信号肽及跨膜结构预测分析表明,这两个基因在荔枝果实的生长发育过程中起着不同的作用:LcEG1 的表达可能跟荔枝果皮和果肉的发育有关,而 LcEG2 可能只跟果肉的早期生长相关。

利用基因工程保鲜果蔬,弄清与乙烯代谢、果实成熟软化以及细胞壁降解有关的每个基因的具体功能和它的时空表达模式及调控因子,还需要我们做大量的基础研究工作。

3 展望

目前中国的低温贮藏、化学贮藏、减压贮藏和气调贮藏等技术都取得了重大突破,有些水果已基本达到了周年供应。然而,随着生活水平的提高,人们对食品卫生的要求越来越高,希望能吃到天然、安全、营养的食品,因此采用无毒、无害的物理和生物保鲜技术以防止果蔬的腐烂变质显得尤为重要。同时,鉴于国内外食品安全的严峻形势以及国际市场对农产品监测指标的逐步完善,应用新型、安全、无污染的、可降解的保鲜技术,将是今后研究的一个重要方向。

随着改革开放和经济的飞速发展,中国的果蔬市场必将会越来越繁荣,果蔬贮藏保鲜业既是果蔬种植业和采后加工业的桥梁,也是农业产业化的重要内容。发展果蔬贮藏保鲜可以使工农业总产值成倍增长,特别是对于中国目前日益增长的人口和日益减少的耕地的严峻形势,增进果蔬保鲜业的发展,减少果蔬等农作物的损耗和浪费,更具有特殊而深远的意义。

参考文献 (References):

- [1] 张芃,钟守洋. 中国统计摘要[M]. 北京:中国统计出版社,2011.
- [2] 朱宏莉,杨彬彬,张秀齐,等. 果蔬保鲜加工现状及发展浅析[J]. 食品科学, 2006, 27(10):596-600.
ZHU Hong-li, YANG Bin-bin, ZHANG Xiu-qi, et al. The present situation and development of fresh maintaining and processing technology of fruit and vegetable[J]. *Food Science*, 2006, 27(10):596-600. (in Chinese)
- [3] 王曙文,代永刚,牛红红,等. 国内外果蔬生物保鲜技术的研究进展[J]. 农产品加工·学刊, 2008, 157(12):110-113.
WANG Shuwen, DAI Yonggang, NIU Honghong, et al. Research progress on fruit and vegetable preservation of biological technology at home and abroad[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2008, 157(12):110-113. (in

Chinese)

- [4] 熊涛, 乐易林. 生物保鲜技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(2):111—114.
XIONG Tao, LE Yi-lin. The advance of biological technique of preserving fresh produce[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2004, 30(2):111—114. (in Chinese)
- [5] F Devlieghere, A Vermeulen, J Debevere. Chitosan; antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables[J]. **Food Microbiology**, 2003, 21(6):703—714. (in Chinese)
- [6] Clara Pastor, Laura Sánchez-González, Alicia Marcilla, et al. Quality and safety of table grapes coated with hydroxypropylmethylcellulose edible coatings containing propolis extract[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2011, 60(1):64—70.
- [7] Lucille Alexander, Don Grierson. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening[J]. **Journal of Experimental Botany**, 2002, 53(377):2039—2055.
- [8] David A. Brummell, Mark H. Harpster. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants [J]. **Plant Molecular Biology**, 2001, 47(1—2):311—339.
- [9] 朱丹实, 刘贺, 李颖畅, 等. 浅析环境条件对鲜食葡萄采后贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(增刊):191—194.
ZHU Dan-shi, LIU He, LI Ying-chang, et al. Effects of ambient conditions on preservation of postharvest table grape [J]. **Food Science**, 2011, 32(S1):191—194. (in Chinese)
- [10] Zhang M, Chen D W. Effects of low temperature soaking on color and texture of green eggplants[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 74(1):54—59.
- [11] Min Zhang, Qian Tao, Yanjun Huan, et al. Effect of temperature control and high humidity on the preservation of JUFENG grapes[J]. **Int Agrophysics**, 2002, 16:277—281.
- [12] Zhang M, Huan Y, Tao Q. Studies on preservation of two cultivars of grapes at controlled temperature[J]. **LWT-Food Science and Technology**, 2001, 34(8):502—506.
- [13] 张愨, 范柳萍, 王秀伟. 国内外水果保鲜技术发展状况及趋势分析[J]. 保鲜与加工, 2003, 3(1):3—6.
ZHANG Min, FAN Liu-ping, WANG Xiu-wei. Developmental status and trends of fruit preservation in the world[J]. **Storage and Process**, 2003, 3(1):3—6. (in Chinese)
- [14] Hideki Tanaka, Koichiro Nakanishi. Hydrophobic hydration of inert gases; thermodynamic properties, inherent structures, and normal mode analysis [J]. **Journal of Chemical Physics**, 1991, 95(5):3719—3727.
- [15] Hashimoto A, Oshita S. Storage of vegetables by structured water[J]. **Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery**, 1996, 58(5):35—41.
- [16] Rahman M A, Khair A, Bala B K, et al. Influence of intracellular structured water formed by Xe gas on the shelf life of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) [J]. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 2001, 4(12):1543—1546.
- [17] Min Zhang, Zhonggang Zhan, Shaojin Wang, et al. Extending shelf-life of asparagus spears by pressured mixed gases of argon and xenon[J]. **LWT -Food Science And Technology**, 2008, 41:686—691.
- [18] 詹仲刚, 张愨. 惰性气体对黄瓜酶活和呼吸强度的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3):16—18.
ZHAN Zhong-gang, ZHANG Min. Effects of inert gases on enzyme activity and inspiration of cucumber[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2005, 24(3):16—18. (in Chinese)
- [19] 单良, 单美, 田瑛, 等. 加压 CO₂/Xe/O₂ 混合气体对芦笋贮藏特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4):43—48.
SHAN Liang, SHAN Mei, TIAN Ying, et al. Effects of pressurized CO₂/Xe/O₂ mixture on the storage quality of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spear[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2008, 27(4):43—48. (in Chinese)
- [20] M Zhang, Z G Zhan, S J Wang, et al. Extending the shelf-life of asparagus spears with a compressed mix of argon and xenon gases[J]. **LWT -Food Science and Technology**, 2008, 41(4):686—691.
- [21] 刘颖, 邬志敏, 李云飞, 等. 果蔬气调贮藏国内外研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4):94—97.
LIU Ying, WU Zhi-min, LI Yun-fei, et al. The study developments of controlled and modified atmosphere storage for fruits and vegetables in China and abroad[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2006, 32(4):94—97. (in Chinese)
- [22] Jianshen An, Min Zhang, Zhonggang Zhan. Effect of packaging film on the quality of 'Chaoyang' honey peach fruit in

- modified atmosphere packages[J]. *Packaging Technol Sci*, 2007, 20:71-76.
- [23] Min Zhang, Gongnian Xiao, Vilas M Salokhe. Preservation of strawberries by modified atmosphere packages with other treatments[J]. *Packaging Technol Sci*, 2006, 19(4):183-191.
- [24] Gongnian Xiao, Min Zhang, Liang Shan, et al. Extending shelf-life of fresh oystermushrooms (*Pleurotus ostreatus*) by modified atmosphere packaging with chemical treatments[J]. *African Journal of Biotechnology*, 2011, 10(46):9509-9517.
- [25] 肖功年, 张懋, 汤坚. 气调包装条件下草莓、平菇呼吸特性变化规律[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, 22(5):25-33.
XIAO Gong-nian, ZHANG Min, TANG Jian. Respiration characteristics research of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) and mushroom (*Pleurotus ostreatus*) under modified atmosphere packaging[J]. *Journal of Wuxi University of Light Industry*, 2003, 22(5):25-33. (in Chinese)
- [26] 章建浩. 生鲜食品贮藏保鲜包装技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [27] Li T, Min Zhang, Shaojin Wang. Effects of modified atmosphere packaging with a silicon gum film as a window for gas exchange on agrocybe chaxingu storage[J]. *Postharvest Biol Technol*, 2007, 43(3):343-350. (in Chinese)
- [28] Tiehua Li, Min Zhang. Effects of modified atmosphere packaging with various sizes silicon gum film window on the storage of agrocybe chaxingu huang and modeling of its respiration rate[J]. *Packaging Technol Sci*, 2008, 21:13-23.
- [29] 李铁华, 张懋. 硅窗气调保鲜贮藏茶树菇的化学及生理变化研究[J]. 食品科学, 2009, 30(6):255-259.
LI Tie-hua, ZHANG Min. Chemical and physiological changes of agrocybe chaxingu huang during controlled atmosphere storage with silicon gum film window[J]. *Food Science*, 2009, 30(6):255-259. (in Chinese)
- [30] 张懋, 肖功年. 果蔬 MAP 保鲜技术研究进展[J]. 中国食物与营养, 2003(3):36-38.
ZHANG Min, Xiao Gong-nian. Research progress of MAP technology on fruit and vegetable preservation[J]. *Food and Nutrition In China*, 2003(3):36-38. (in Chinese)
- [31] 张贇彬, 江娟. 可食膜的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2011, 1:191-198.
ZHANG Yun-bin, JIANG Juan. Research progress of edible films[J]. *China Food Additives*, 2011, 1:191-198. (in Chinese)
- [32] Banielle D, Katia G, Maria H. Ascorbic acid retaining using a new calcium alginate-capsul based edible film[J]. *Journal of Microencapsulation*, 2009, 26(2):97-103.
- [33] Peressini D, Bravin B, Sensidoni A. Tensile properties, water vapour permeabilities and solubilities of starch-methylcellulose-based edible films[J]. *Ital J Food Sci*, 2004(16):5-16.
- [34] Cheng-Pei C, Be-Jen W, Yih-Ming W. Physiochemical and antimicrobial properties of edible aloe/gelatin composite films [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 45(5):1050-1055.
- [35] Abayomi P A, Ayobamitale O A, Dong-Hao J, et al. Rice bran protein-based edible films[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2008, 43(3):476-483.
- [36] Javier O, Sandra N, Khalid Z, et al. Potato starch edible films to control oxidative rancidity of polyunsaturated lipids: effects of film composition, thickness and water activity[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44(7):1360-1366.
- [37] Ellen H, Sverrea S. Effect of pectin type and plasticizer on in vitro mucoadhesion of free films[J]. *Pharmaceutical Development and Technology*, 2008, 13(2):105-114.
- [38] Pierro D, Mariniello L, Giosafatto C V L, et al. Solubility and permeability properties of edible pectin-soy flour films obtained in the absence or presence of transglutaminase[J]. *Food Biotechnology*, 2005, 19:37-49.
- [39] Li L, John F K, Joe P K. Effect of food ingredients and selected lipids on the physical properties of extruded edible films/casings[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2006, 41(3):295-302.
- [40] 朱丹实, 郭小飞, 刘昊东. 可食性大豆皮果胶膜的制备及膜性质研究[J]. 食品科学, 2011, 32(8):116-120.
ZHU Dan-shi, GUO Xiao-fei, LIU Hao-dong, et al. Preparation and physiochemical prosperities of soy hull pectin-based edible film[J]. *Food Science*, 2011, 32(8):116-120. (in Chinese)
- [41] Pornpimon M, Sakamon D. Comparative evaluation of physical properties of edible chitosan films prepared by different drying methods[J]. *Drying Technology*, 2008, 26(1):176-185.

- [42] 康明丽,张平. 减压贮藏理论及技术研究进展[J]. 食品与机械, 2001, 82(2):9-10.
KANG Ming-li, ZHANG Ping. Research progress in the theory and technology of hypobaric storage[J]. **Food and Machinery**, 2001, 82(2):9-10. (in Chinese)
- [43] 生吉萍,申琳. 果蔬安全保鲜新技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
- [44] H P Cheng, C F Hsueh. Multi-stage vacuum cooling process of cabbage[J]. **Journal of Food Engineering**, 2007, 79(1): 37-46.
- [45] Fei Tao, Min Zhang, Yu Hangqing, et al. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 77(3):545-549.
- [46] Fei Tao, Min Zhang, Hang-Qing Yu. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions[J]. **Journal of Food Engineering**, 2007, 79(4):1302-1309.
- [47] Li WX, Zhang M, Yu Hq. Study on hypobaric storage of green asparagus[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 73(3): 225-230.
- [48] Wenxiang Li, Min Zhang. Effect of Three-stage hypobaric storage on cell wall components, texture and cell structure of green asparagus[J]. **Journal of Food Engineering**, 2006, 77(1):112-118.
- [49] Wenxiang Li, Min Zhang, Shaojin Wang. Effect of three-stage hypobaric storage on membrane lipid peroxidation and activities of defense enzyme in green asparagus, LWT -Food science and technology[J]. **LWT -Food Science And Technology**, 2008, 41(10):2175-2181.
- [50] 李文香,张懋,陶菲,等. 真空预冷结合减压贮藏保鲜水蜜桃[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(5):42-46.
LI Wen-xiang, ZHANG Min, TAO Fei, et al. Study of vacuum precooling combined with hypobaric storage on keeping fresh of honey peach[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2005, 24(5):42-46. (in Chinese)
- [51] 张懋. 易腐生鲜食品保鲜学理论和实践[M]. 北京:中国农业出版社, 2007.
- [52] Jianshen An, Min Zhang, Qirui Lu. Changes in some quality indexes in fresh-cut green asparagus pretreated with aqueous ozone and subsequent modified atmosphere packaging[J]. **Journal of Food Engineering**, 2007, 78(1):340-344.
- [53] Tzortakis N, Singleton J, Barnes J. Deployment of low-level ozone-enrichment for the preservation of chilled fresh produce[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2007(43):261-270.
- [54] María V Selma, Ana M Ibáñez, Ana Allende, et al. Effect of gaseous ozone and hot water on microbial and sensory quality of cantaloupe and potential transference of *Escherichia coli* O157:H7 during cutting[J]. **Food Microbiology**, 2008, 25(1):162-168.
- [55] 郑雁月. 臭氧在采后果蔬保鲜的应用研究进展[J]. 园艺与种苗, 2011(4):122-125.
ZHENG Yan-yue. Research advance of ozone application on postharvest fruits and vegetables preservation[J]. **Horticulture & Seed**, 2011(4):122-125. (in Chinese)
- [56] 王静,韩涛,李丽萍. 超声波的生物效应及其在食品工业中的应用[J]. 北京农学院学报, 2006, 21(1):67-75.
WANG Jing, HAN Tao, LI Li-ping. Study and applications of ultrasound wave in biological and food technology[J]. **Journal of Beijing Agricultural College**, 2006, 21(1):67-75. (in Chinese)
- [57] Dietrich Knorr, Marco Zenker, Volker Heinz, et al. Applications and potential of ultrasonics in food processing[J]. **Trends in Food Science & Technology**, 2004, 15(5):261-266.
- [58] 高翔,陆兆新,张立奎. 超声波气泡清洗鲜切西洋芹的应用研究[J]. 食品工业科技, 2003, 24(11):27-29.
GAO Xiang, LU Zhao-xin, ZHANG Li-kui. Study on the application of ultrasonic-bubbling in cleaning of freshly-cut celery[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2003, 24(11):27-29. (in Chinese)
- [59] 陈育彦,屠康,施建辉. 超声波和臭氧在鲜切韭薹保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(9):110-112.
CHEN Yu-yan, TU Kang, SHI Jian-hui. Application of ultrasound and ozone treatments on fresh-cut scape of Chinese chive[J]. **Food and Fermentation Industries**, 2005, 31(9):110-112. (in Chinese)
- [60] Kuldiloke J. Effect of ultrasound, temperature and pressure treatments on enzyme activity and quality indicators of fruit and vegetable juices[D]. Berlin: Technische Universität Berlin, 2002.
- [61] 闫坤,吕加平,刘鹭. 超声波对液态奶中枯草芽孢杆菌的杀菌作用[J]. 中国乳品工业, 2010(2):4-6.
YAN Kun, LV Jia-ping, LIU Lu, et al. Sterilization of ultrasound on liquid milk in bacillus subtilis[J]. **China Dairy In-**

- dustry, 2010(2):4-6. (in Chinese)
- [62] 肖锡湘, 上官新晨. 辐照保鲜技术及其应用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10):2193-2195.
XIAO Xi-xiang, SHANGGUAN Xin-chen. Radiation technology and its application on agricultural food preservation[J]. **Journal of Anhui Agricultural Sciences**, 2006, 34(10):2193-2195. (in Chinese)
- [63] 王良玉, 郑朕, 熊波, 等. 几种新型食品保鲜技术的研究进展[J]. 农产品加工· 学刊, 2011, 250(7):134-140.
WANG Liang-yu, ZHENG Zhen, XIONG Bo, et al. Research progress of several new kinds of food preservation technology[J]. **Academic Periodical of Farm Products Processing**, 2011, 250(7):134-140. (in Chinese)
- [64] 李龙, 何思安, 李立炜, 等. 辐照食品保鲜技术的现状与前景[J]. 韶关学院学报: 自然科学版, 2003, 24(3):111-115.
LI Long, HE Si-an, LI Li-wei, et al. Situation and prospects of food irradiation preservation technology[J]. **Journal of Shaoguan University**, 2003, 24(3):111-115. (in Chinese)
- [65] 黄丽婵, 欧阳涟, 刘文群, 等. 拮抗菌对柑橘霉变及其抗性的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(11):641-644.
HUANG Li-chan, OU Yang-lian, LIU Wen-qun, et al. Effects of inoculating biocontrol microbes on decay and resistance of citrus fruits[J]. **Food Science**, 2008, 29(11):641-644. (in Chinese)
- [66] Janisiewicz W J, Conway W S, B Leverentz. Biological control of postharvest decays of apple can prevent growth of *Escherichia coli* O157:H7 in apple wounds [J]. **Journal of Food Protection**, 1999, 62(12):1372-1375.
- [67] Guinebretiere M H, Nguyen-the C, Morrison N, et al. Isolation and characterization of antagonists for the biocontrol of the postharvest wound pathogen botrytis cinerea on strawberry fruits [J]. **Journal of Food Protection**, 2000, 63(3):386-394.
- [68] Yan Fan, Ying Xu, Dongfeng Wang, et al. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria ananassa*) preservation quality[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2009, 53(1-2):84-90.
- [69] 缙继斌, 常永义, 靳小刚, 等. 拮抗菌 P1、P5 对采后红地球葡萄灰霉病的抑制及贮藏品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(5):131-135.
GOU Ji-bin, CHANG Yong-yi, JIN Xiao-gang, et al. Effect of antagonistic bacteria on botrytis cinerea and storage quality of grape[J]. **Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica**, 2010, 19(5):131-135. (in Chinese)
- [70] 王林, 胡云, 胡秋辉. 食品的微生物保鲜技术[J]. 食品科学, 2005, 26(2):242-244.
WANG Lin, HU Yun, HU Qiu-hui. Advance in microbial preservation technology for food[J]. **Food Science**, 2005, 26(2):242-244. (in Chinese)
- [71] 裘纪莹, 王未名, 陈建爱, 等. 拮抗菌在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2009, 30(5):334-336.
QIU Ji-ying, WANG Wei-ming, CHEN Jian-ai, et al. Research progress of antagonist application to the preservation of fruits and vegetables[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2009, 30(5):334-336. (in Chinese)
- [72] 周武艺. 荔枝纳米保鲜剂研究及应用进展[J]. 北方园艺, 2011(1):185-187.
ZHOU Wu-yi. Progress on the application of keeping fresh nano-materials for lichi[J]. **Northern Horticulture**, 2011(1):185-187. (in Chinese)
- [73] Maurizio Avella, Jan J De Vlieger, Maria Emanuela Errico, et al. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications[J]. **Food Chemistry**, 2005, 93(3):467-474.
- [74] 许志, 曾柏全, 赵莹, 等. 壳聚糖添加纳米碳酸钙助剂涂膜对葡萄品质的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(9):177-180.
XU Zhi, ZENG Bai-quan, ZHAO Ying, et al. Effect of chitosan coating added nano-calcium carbonate on quality of grapes [J]. **Journal of Central South University of Forestry & Technology**, 2010, 30(9):177-180. (in Chinese)
- [75] 周玲, 何贵萍, 阎梦萦, 等. PE/Ag₂O 纳米包装袋对苹果切块品质的影响[J]. 食品科技, 2010, 35(6):56-59.
ZHOU Ling, HE Gui-ping, YAN Meng-ying, et al. Effect of PE/Ag₂O nano-packaging on the quality of apple slice[J]. **Food Science and Technology**, 2010, 35(6):56-59. (in Chinese)
- [76] 黄凌燕, 陈正行. 纳米抗菌包装对鲜切马铃薯薯丝保鲜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11):274-250.
HUANG Ling-yan, CHEN Zheng-xing. Effect of nanocomposites on preservation of fresh-cut potatoes[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2009, 30(11):274-250. (in Chinese)
- [77] Robert F Service. Nanomaterials show signs of toxicity[J]. **Science**, 2003, 300(11):243.

- [78] Geoff Brumfiel. Nanotechnology: A little knowledge. [J]. **Nature**, 2003, 424(17):246—248.
- [79] 张平. 农产品保鲜新技术研究动态与发展趋势[J]. **农机质量与监督**, 2005(5):19—23.
ZHANG Ping. Research trend and development of new preservation technology on agriculture products[J]. **Agricultural Machinery Quality & Supervision**, 2005(5):19—23. (in Chinese)
- [80] 魏绍冲, 朱本忠, 罗云波, 等. 乙烯受体基因 LeETR₁ 和 LeETR₄ 的克隆及在番茄果实中的表达[J]. **农业生物技术学报**, 2003, 11(2):127—130.
WEI Shao-chong, ZHU Ben-zhong, LUO Yun-bo, et al. Cloning of ethylene receptor genes LeETR₁ and LeETR₄ and their expression in tomato fruit[J]. **Journal of Agricultural Biotechnology**, 2003, 11(2):127—130. (in Chinese)
- [81] Ricardo Ayub, Monique Guis, Mohamed Ben Amor, et al. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits[J]. **Nature Biotechnology**, 1996, 14(7):862—866.
- [82] Klee H J, Hayford M B. Control of ethylene synthesis by expressing of bacterial enzyme in transfer gene in tomato plant [J]. **Plant Cell**, 1991(3):1187—1193.
- [83] 张竞秋, 武泰存, 王景安. 果实保鲜的基因工程[J]. **植物生理学通讯**, 2006, 42(4):790—794.
ZHANG Jing-Qiu, WU Tai-Cun, WANG Jing-An. Gene engineering of fruits fresh keeping[J]. **Plant Physiology Communications**, 2006, 42(4):790—794. (in Chinese)
- [84] Tucker G, Zhang J. Expression of polygalacturonase and pectinesterase in normal and transgenic tomatoes [J]. **Prog Biotech**, 1996, 14:347—354.
- [85] 王奇. 果实保鲜技术研究进展[J]. **辽宁师专学报**, 2009, 11(3):94—100.
WANG Qi. Research progress of fruit preservation technology[J]. **Journal of Liaoning Teachers College**, 2009, 11(3):94—100. (in Chinese)
- [86] 李曜东, 顾淑荣, 魏玉凝, 等. 转反义 PG 基因番茄果实细胞结构变化的研究[J]. **植物学通报**, 2002, 19(3):348—353.
LI Yao-Dong, GU Shu-Rong, WEI Yu-Ning, et al. A study on changes in cell structure of antisense PG transgenic tomato fruit[J]. **Chinese Bulletin of Botany**, 2002, 19(3):348—353. (in Chinese)
- [87] 寇晓虹, 罗云波, 田慧琴, 等. 多聚半乳糖醛酸酶(PG)反义基因转化加工番茄[J]. **食品科学**, 2007, 28(3):187—191.
KOU Xiao-hong, LUO Yun-bo, TIAN Hui-qin, et al. Genetic transformation processing of tomatoes with anti-pG gene [J]. **Food Science**, 2007, 28(3):187—191. (in Chinese)
- [88] Silvia Spolaore, Livio Trainotti, Anna Pavanello, et al. Isolation and promoter analysis of two genes encoding different endo- β -1,4-glucanases in the non-climacteric strawberry[J]. **Journal of Experimental Botany**, 2003, 54(381):271—277.
- [89] Livio Trainotti, Silvia Spolaore, Anna Pavanello, et al. A novel E-type endo- β -1,4-glucanase with a putative cellulose-binding domain is highly expressed in ripening strawberry fruits [J]. **Plant Molecular Biology**, 1999, 40(2):323—332.
- [90] 吴富旺, 邝健飞, 陆旺金, 等. 荔枝果实内切-1, 4- β -葡聚糖酶基因(EG)的克隆及其表达分析[J]. **园艺学报**, 2009, 36(12):1733—1740.
WU Fu-wang, KUANG Jian-fei, LU Wang-jin, et al. Cloning and expression analysis of EG genes in litchi fruit[J]. **Acta Horticulturae Sinica**, 2009, 36(12):1733—1740. (in Chinese)