

生物保鲜技术在果蔬防腐中的应用及研究进展

王刚霞¹, 席冬华¹, 吴忠红³, 高 晶², 张正方², 吴 斌^{3*}

1.新疆大学化学化工学院, 乌鲁木齐 830041;

2.新疆大学理化测试中心, 乌鲁木齐 830046;

3.新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 乌鲁木齐 830091

摘 要:随着人们对食品安全问题的普遍关注,果蔬保鲜技术发展迅速,寻求一种更安全、高效的生物保鲜剂成为食品保鲜领域的研究趋势。本文介绍了生物保鲜技术的基本原理;总结了三类主要生物保鲜技术在果蔬防腐中的应用,包括利用微生物菌体及其代谢产物的保鲜、天然提取物的保鲜以及基因工程保鲜技术;最后讨论了各种生物保鲜技术的不足及今后发展的方向。

关键词:生物保鲜技术;果蔬;研究进展

DOI:10.3969/j.issn.2095-2341.2014.01.03

Development of Biological Technology on Fruit and Vegetables Preservation

WANG Gang-xia¹, XI Dong-hua¹, WU Zhong-hong³, GAO Jing², ZHANG Zheng-fang², WU Bin^{3*}

1.College of Chemistry & Chemical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830041, China;

2.Center for Physics and Chemistry Analysis, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3.Institute of Agro-products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China

Abstract:With great concern on food security, fresh-keeping technology developed rapidly, and it became a research trend to seek safe and efficient biopreservation technologies. This paper introduced the principle of biological preservation; reviewed the application of biological technology on fruites and vegetables preservation, including the microognisms and their metabolites, the natural extract and genetic engineering technology; then discussed the deficiencies and development directions of biological preservation technology.

Key words:biological preservation technology; fruits and vegetables; progress

近年来,我国果蔬产业发展较快,市场货源充足,但是由于果蔬生产的季节性和地域性的限制,果蔬在运输或贮存期间容易发生腐烂。果蔬腐烂受三个因素的影响,即果品品质、运输过程的机械损伤和贮藏期间采后病害的侵染^[1],其中,采后病害是导致果蔬腐烂最主要的原因^[2]。据统计,发达国家中由于采后病害导致的果蔬腐烂占10%~25%,发展中国家中这个比例则高达40%~50%。目前,我国每年约有8 000万t的果蔬腐烂,造成近800亿元的经济损失。因此,通过发展贮藏或防腐技术以延长或保持果蔬品质,已成为

重要的食品研究课题^[3]。

目前,控制果蔬采后贮藏的最有效手段是冷藏结合化学杀菌处理,但是这两种方法存在很大的不足。低温贮藏成本高、耗能大、质量不稳定;而化学杀菌处理会使果蔬表面有化学药剂的残留,危害人类健康,并且化学杀菌剂的长期使用会使植物病原菌产生抗药性^[4],从而降低化学杀菌剂的作用。因此,新型生物保鲜技术成为人们关注的热点。本文重点阐述了生物保鲜技术的一般机理、分类及其在果蔬保鲜中的应用及研究进展,为研究新型果蔬生物保鲜技术提供借鉴。

收稿日期:2013-10-08; 接受日期:2013-11-05

基金项目:“十二五”农村领域国家科技计划课题子项目(2011BAD27B01-01-02)资助。

作者简介:王刚霞,硕士,研究方向为果蔬采后贮藏保鲜技术的研究与应用。*通信作者:吴斌,副研究员,博士,主要从事农产品贮藏与加工研究。E-mail: xjuwubin0320@sina.com

1 生物保鲜技术的一般机理

生物保鲜技术的一般机理为隔离果蔬与空气的接触,延缓氧化作用,或者是生物保鲜剂本身具有良好的抑菌作用,从而达到保鲜防腐的效果。生物保鲜剂是指从动植物和微生物中提取或利用生物工程技术改造而获得的对人体安全的具有保鲜作用的产品^[5]。不同的生物保鲜剂对果蔬的保鲜机理也不尽相同,有些生物保鲜剂能够抑制或杀死果蔬采后病原菌,保持果蔬的鲜度^[1];有些生物保鲜剂具有酶抑制活性,防止果蔬褐变,保证果蔬良好的感官品质^[2];有些生物保鲜剂具有诱导果蔬自身产生防御能力,防止果蔬中脂肪的氧化酸败,避免造成果蔬品质的劣变^[3]。此外,经涂膜生物保鲜剂的果蔬,能减缓水分散失,防止微生物的侵害,有效清除自由基^[4]。

2 生物保鲜技术在果蔬防腐中的应用

生物保鲜技术具有处理费用低、贮藏条件易控制和符合绿色环保要求的优点,主要分为三类,包括:利用微生物菌体及其代谢产物的保鲜、天然提取物的保鲜以及基因工程保鲜技术。

2.1 利用微生物及其代谢物保鲜果蔬

2.1.1 利用微生物拮抗菌及其保鲜果蔬 20世纪80年代中期,国外研究人员发现从苹果、柑橘、梨、桃等水果中筛选出拮抗菌对水果采后主要病害有明显的防治作用^[6,7],可用于果蔬保鲜。国内研究起步较晚,多集中在土壤和植物病害防治方面,2000年以后,逐步在柑橘^[8]、葡萄以及草莓^[9]等大宗水果上展开微生物拮抗菌采后保鲜的研究。

微生物可以产生抗生素、溶菌酶、细菌素、蛋白酶、过氧化氢和有机酸等生物活性物质,这些产物都具有很好的抗菌效果,故利用具有拮抗作用的微生物可以抑制或杀死果蔬其他微生物的生长,从而达到防腐保鲜的目的^[7]。Ippolito等^[10]研究发现,黑酵母菌可作为一种生物保鲜剂控制苹果采后病原菌灰葡萄孢和扩展青霉,同时其还可降低葡萄糖酶和过氧化酶的活性,延缓果实衰老。Sharma等^[11]也提出酵母可作为潜在的微生

物拮抗剂。Patricia等^[12]采用Hyicin 3682葡萄球菌素去抑制不同来源的21株细菌株,结果表明,Hyicin 3682葡萄球菌素几乎可以抑制所有待测菌株,包括蜡样芽胞杆菌、单增性李斯特菌和金黄色葡萄球菌等,说明Hyicin 3682葡萄球菌素可作为生物保鲜剂在食品防腐领域具有较好的应用潜力。Liu等^[13]用拮抗酵母菌对采后葡萄的灰霉病进行控制,结果表明,在没有损害葡萄果实营养成分(可溶性固形物、抗坏血酸等)的情况下,拮抗酵母菌可较好的控制采后葡萄的灰霉病害。

2.1.2 利用菌体次级代谢产物保鲜果蔬 微生物能够产生多种次级代谢产物,包括抗生素、激素、生物碱、毒素和维生素等,其中很多物质具有抑菌、抗氧化等功能,可应用于果蔬保鲜。通过微生物发酵获得次级代谢产物具有生产周期短、不受季节、地域和病虫害条件的限制等特点。因此,从微生物的次生代谢产物中研制生物保鲜剂,具有广阔的发展前景。

陈峥等^[14]筛选出的一株具有龙眼保鲜功能的微生物 *Brevibacillus brevis* FJAD0809-GLX生产的龙眼微生物保鲜剂“果立鲜”,不仅对龙眼等多种水果具有很好的保鲜作用,同时具有特殊的香气。Rosalia等^[15]研究发现从新鲜果蔬中分离得到乳酸菌可以抑制多种食源性病菌,比如大肠杆菌、绿脓杆菌以及金黄色葡萄球菌。结果表明,经过乳酸菌处理的苹果能有效地降低被沙门氏菌和大肠杆菌感染的几率,同时单核增生李斯特菌被完全抑制。因此,乳酸菌可作为一种有效控制食源性病菌的生物保鲜剂,应用于鲜食水果和蔬菜产品。Gustavo等^[16]采用植物乳杆菌对鲜荔枝进行保鲜作用研究,将一定浓度的细菌喷洒到荔枝上,结果表明,经植物乳酸菌处理的荔枝失重率明显降低、色泽度较好,同时在处理过的荔枝皮中发现了高含量的酚类化合物。杨胜远等^[17]对芒果病原菌的拮抗微生物芽胞杆菌 *Bacillus* sp. X-98-2产抑菌活性物质的发酵条件及其对芒果保鲜作用进行了研究。结果表明,其发酵液对芒果炭疽病原菌和蒂腐病原菌都有抑制作用,可防止芒果果柄脱落、延缓果皮转黄,抑制新陈代谢,降低呼吸强度和延长保存期。

2.1.3 利用抗菌肽保鲜 抗菌肽是由多种生物细胞特定基因编码经外界条件诱导产生的一类具有广谱抗细菌、真菌、病毒、原虫、抑杀肿瘤细胞等

活性作用的多肽,尤其对部分真菌具有极强的杀伤力^[18]。乳酸链球菌素,亦称乳链菌肽(nisin)是一种天然生物活性抗菌肽,利用生物技术提取的一种纯天然、高效、安全的多肽活性物质。杨霞等^[19]用不同浓度的nisin溶液结合柠檬酸在低温下对鲜莲藕片进行处理。结果表明,用0.5%柠檬酸和250 mg/kg nisin混合保鲜液对鲜莲藕片进行处理,保鲜效果良好。邱芳萍等^[20]从吉林林蛙干皮中纯化得到抗菌肽,对草莓具有良好的保鲜效果。刘毅等^[21]比较了不同来源的抗菌肽的分子结构和作用方式,展望了抗菌肽在食品保鲜中的应用前景。

2.2 天然提取物质及其复合保鲜剂

天然提取物保鲜剂是利用天然提取物中的活性物质来抑制果蔬表面微生物的活性^[22]以及果蔬中酶的活力,从而降低果蔬的生理活动强度。早期对天然提取物保鲜的研究应用主要集中于普通的天然植物水提液对水果蔬菜浸泡后的保鲜效果^[23~26]。天然提取物保鲜剂无毒无害,从而起到绿色保鲜的效果^[27]。天然提取物与其他有效活性物质进行复配,使其既具有良好的成膜性,形成复合保鲜剂,不仅可以抑制采后病菌,还可防止水分散失,延缓果实衰老^[28~31]。

天然提取物及其复合保鲜剂应用的主要方式包括:用保鲜剂浸泡、涂膜、熏蒸、喷洒和保鲜纸等。何首林等^[32]采用浸泡法研究了28种植物提取物对苹果、番茄的采后防腐保鲜效果,结果表明,八角茴香油对富士苹果具有显著的防腐保鲜效果;肉桂醛、八角茴香油、香叶醇及薄荷、丹参提取物对番茄的防腐保鲜效果显著优于对照药剂1-MCP 0.25 $\mu\text{L/L}$ 。胡军华等^[33]报道了47种植物提取物对3种柑橘常见贮藏病害病原菌活性抑制的研究。Ana等^[34]研究了绿茶提取物对现摘莴苣的保鲜作用,采用了不同的浓度和温度进行处理。研究表明,在绿茶提取物浓度为2.5 g/L(20℃)时,其对莴苣的保鲜效果与120 mg/L的二氧化氯(20℃)相当,同时经绿茶提取物处理的莴苣还保持了较强的抗氧化活性;高浓度的绿茶提取物反而促进了样品的褐变,可能与其含有的多酚物质有关。Asgar等^[35]将阿拉伯树胶配制不同浓度的保鲜液,对现摘的番茄进行处理,贮藏(20℃, RH为80%~90%)20 d后,发现不同浓度的阿拉伯树胶保鲜液对番茄均有保鲜效果,以10%的阿

拉伯树胶溶液对番茄的保鲜效果最好,可明显提高采后番茄的品质,延长保质期。Meng等^[36]以具有成膜效果和抑菌效果的壳聚糖溶液为保鲜剂,分别在采前和采后对葡萄进行了喷洒,然后进行保鲜效果的评估。结果表明,采前喷洒和采后喷洒壳聚糖溶液对葡萄均有较好的保鲜效果,采后喷洒保鲜效果更佳;经处理葡萄的腐烂率、超氧化物歧化酶等明显降低,可溶性固形物和可滴定酸的含量较高,说明壳聚糖在葡萄采后贮藏中有良好的防腐效果。Xu等^[37]以葡萄籽提取物对现摘绿色蔬菜的保鲜效果进行了研究。A. Perdones等^[38]采用壳聚糖(1%)与柠檬精油(3%)复配保鲜剂对草莓的贮藏保鲜效果(贮藏温度为5℃)进行了研究,同时测定了保鲜液的粘度、透湿性及其抑菌性。结果表明,复合保鲜剂抑菌、保湿效果良好,对其可溶性固形物和酸度没有明显的影响,说明这种复合保鲜剂可降低腐烂率,防止水分散失,延缓草莓果实的衰老。Chauhan等^[39]选用虫胶和芦荟凝胶溶解在柠檬酸中配制保鲜剂,并对苹果进行了贮藏保鲜试验。结果表明,用该保鲜剂保鲜的苹果在感官品质、色泽等方面明显优于空白对照,同时降低了乙烯、多酚氧化酶、过氧化物酶等,可见虫胶-芦荟凝胶保鲜剂对保鲜苹果有明显的效果。

2.3 基因工程保鲜剂技术

近年来,利用基因工程技术对果蔬进行保鲜的应用已经取得了显著的成效,其保鲜机理是控制果蔬生理成熟期内源乙烯的生成^[40]。乙烯是国际公认的果实成熟衰老激素,在许多果蔬的成熟及衰老过程中起重要的调控作用,是造成果蔬采摘后腐烂的根本原因。

乙烯能够促进细胞壁降解酶即纤维素酶的合成,并且控制纤维素酶由原生质体释放到细胞壁中,从而促进细胞衰老和细胞壁的分解。1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)是植物体内乙烯生物合成的直接前体,阻止或降低ACC的产生,就能抑制乙烯的生物合成,进而减少纤维素酶的合成,从而延缓果蔬在后期成熟过程的软化使得果实延熟保鲜。因此,利用基因工程控制内源乙烯的生成和抑制乙烯的作用成为农产品采后贮藏保鲜的重要研究课题^[41]。

刘菊花等^[42]对经乙烯和1-甲基环丙烯处理的香蕉果实采后乙烯释放量、Ⅲ类酸性几丁质酶

基因(*MaCH III*)表达以及几丁质酶活性进行了测定。研究表明,*MaCH III*基因可能与香蕉果实采后成熟呈负相关。Munoz-Robredo 等^[43]为了研究杏子果实中乙烯合成过程关键基因的表达,将黄绿期的杏子采用乙烯抑制剂甘氨酸和 1-MCP 处理,测定其基因表达。结果表明,乙烯抑制剂的使用显著的影响了 *ACS2* 基因的表达,因此 *ACS2* 被认为是乙烯合成过程中最关键的基因。Klee 等^[1]培育出一种抑制 ACC 合成酶的转基因番茄,乙烯的生物合成被抑制了 97% 左右,其果实成熟比对照推迟了至少 6 周。Yin 等^[44]研究了乙酰水杨酸(ASA)对猕猴桃果实中乙烯生物的合成和信号表达的影响。结果表明,ASA 可抑制果实成熟主要是抑制了乙烯生物的合成,影响乙烯合成的关键基因 *AdERF1*、*AdERF3* 和 *AdERF12* 的表达。国内选育成功的“华番一号”番茄品种在常温下可贮藏 45 d 左右,宋俊岐等^[1]研究发现,利用基因工程技术将 ACC 脱氨酶基因转入番茄内,乙烯合成量降低了 80%,采后果实能保鲜 75 d 左右。目前,研究人员已成功地从南瓜、番茄、拟南芥等多种植物中分离出乙烯合成的关键酶 ACC 合成酶基因,控制 ACC 合成酶基因的表达或其降解,从而抑制乙烯的生物合成。

3 存在的问题及展望

随着越来越多的消费者拒绝具有化学残留的果蔬产品,生物保鲜剂的需求量将会大幅度增长。目前,国内外已研制出多种生物保鲜专利产品,但是这些生物保鲜技术还存在着很大的局限性。

目前对微生物拮抗保鲜技术的研究还处于初始阶段,尽管乳酸菌细菌素的研发取得了突破性的进展,但细菌素具有交叉性,限制了其应用范围,另外,微生物拮抗菌受果蔬基体环境(成分、温度和酶活性等)的影响,许多微生物拮抗菌在果蔬保鲜应用中抑菌活性不太稳定。因此,今后对微生物拮抗保鲜菌技术的研究可致力于开发广谱、高效和稳定的细菌素。

我国在天然提取物保鲜剂作用机理的研究上仍存在较大的问题,首先在提取方面的研究相对落后,多针对天然动植物的粗提取物,对有效保鲜成分的提取和纯化都不够精细。其次,目前天然提取物保鲜剂研究较多的是植物精油,而对动物

提取物、植物生物碱酚类和抗生素的研究比较欠缺,且精油使用量的确定还有待完善。因此,将来研究者将致力于寻求高效、便捷、环保的分离技术对成分复杂的原料进行有效的纯化,同时还应减少研究的盲目性。

基因工程在保鲜方面的应用具有无可比拟的优势,但是也存在着不足,例如基因操作往往很难直接提高果蔬的风味和口感。尽管乙烯生物合成基因工程的研究非常活跃,但是真正实现商品化生产的基因工程品种却又少之又少。

综上所述,我国生物保鲜技术的开发和应用仍然任重道远,将各种生物保鲜技术结合起来,发展新型的、无污染的、可降解的生物保鲜技术,将是人们研究的一个重要方向。

参 考 文 献

- [1] Ramos B, Miller F A, Brandão T R S, *et al.*. Fresh fruits and vegetables-An overview on applied methodologies to improve its quality and safety [J]. *Inno. Food Sci. Emerg. Technol.*, 2013, DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002.
- [2] Giuseppe A, Di Renzo G C, Genovese F, *et al.*. A new method for the postharvest application of imazalil fungicide to citrus fruit [J]. *Biosyst. Engin.*, 2013, 115(4):434-443.
- [3] Ersus B S, Turantaş F. Decontamination efficiency of high power ultrasound in the fruit and vegetable industry [J]. *Inter. J. Food Microbiol.*, 2013, 166 (1):155-162.
- [4] Sunil P, Yahia E M, Pareek O P, *et al.*. Postharvest physiology and technology of *Annona* fruits [J]. *Food Res. Inter.*, 2011, 58(1):1741-1751.
- [5] Luca S, Corsetti A. Application of bacteriocins in vegetable food biopreservation [J]. *Inter. J. Food Microbiol.*, 2008, 121 (2):123-138.
- [6] Antonio I, Nigro F. Impact of preharvest application of biological control agents on postharvest diseases of fresh fruits and vegetables [J]. *Crop Protect.*, 2000, 19:715-723.
- [7] Jennifer C, Montville T J, Nes I F, *et al.*. Bacteriocins: safe, natural antimicrobials for food preservation [J]. *Inter. J. Food Microbiol.*, 2001, 71(4):1-20.
- [8] 黄丽婵, 欧阳莲, 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, 28(11):641-644.
- [9] 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, (4):334-336.
- [10] Antonio I, Ghaouth A E, C L Wilson, *et al.*. Control of postharvest decay of apple fruit by *Aureobasidium pullulans* and induction of defense responses [J]. *Postharv. Biol. Technol.*, 2000, 19(1):265-272.
- [11] Sharma R R, Singh D, Singh R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists [J]. *Biol. Control*, 2009, 50(1):205-221.
- [12] Carlin F P, Ceotto H, Potter A, *et al.*. Hyicin 3682, a bioactive peptide produced by *Staphylococcus hyicus* 3682 with

- potential applications for food preservation [J]. Res. Microbiol., 2011, 162(10):1052-1059.
- [13] Liu H M, Guo G H, Cheng Y J, *et al.*. Control of gray mold of grape by *Hanseniaspora uvarum* and its effects on postharvest quality parameters [J]. Ann. Microbiol., 2010, 60(1):31-35.
- [14] 陈 峥, 刘 波, 车建美, 等. 龙眼微生物保鲜剂挥发性物质分析[J]. 中国农学通报, 2011, 27(20):115-118.
- [15] Rosalia T, Bañeras L, Badosa E, *et al.*. Bioprotection of golden delicious apples and iceberg lettuce against foodborne bacterial pathogens by lactic acid bacteria [J]. Int. J. Food Microbiol., 2008, 123(2):50-60.
- [16] Gustavo M C, Pelayo-Zaldívar C, Pérez-Flores L J, *et al.*. Postharvest litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) quality preservation by *Lactobacillus plantarum* [J]. Postharv. Biol. Technol., 2011, 59(2):172-178.
- [17] 杨胜远, 陈桂光, 肖功年, 等. 芽孢杆菌 *Bacillus* sp.X-98-2 对芒果保鲜作用[J]. 食品科学, 2004, 25(3):180-183.
- [18] Hou L X, Shi Y H, Zhai P, *et al.*. Inhibition of foodborne pathogens by Hf-1, a novel antibacterial peptide from the larvae of the housefly (*Musca domestica*) in medium and orange juice [J]. Food Control, 2007, 18(1):1350-1357.
- [19] 杨 霞, 王大平. 天然生物保鲜剂 Nisin 不同处理对鲜切莲藕的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(12):178-180.
- [20] 邱芳萍, 周 杰, 李向晖, 等. 天然食品保鲜防腐剂-林蛙皮抗菌肽[J]. 食品科学, 2002, 23(8):279-282.
- [21] 刘 毅, 宁正祥. 天然食品防腐剂抗菌肽[J]. 食品与机械, 1999, (3):9-11.
- [22] Robya M H H, Mohamed A S, Khaled A H S, *et al.*. Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) [J]. Ind. Crops Prod., 2013, 44(2):437-445.
- [23] 吴小虎, 艾启俊, 肖 艺. 天然中草药果蔬防腐保鲜剂的研究与应用[J]. 保鲜与加工, 2006, 4(2):4-6.
- [24] 关文强, 李淑芬. 天然植物提取物在果蔬保鲜中应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7):200-204.
- [25] 马丽娜, 胡军华, 雷慧德. 草本植物提取物在果蔬贮藏中的研究进展[J]. 农药, 2009, 48(4):239-241.
- [26] 高桂丽, 冀晓磊, 刘心雨, 等. 不同保鲜剂对圣女果保鲜效果的研究[J]. 农产品加工, 2008, (9):68-69.
- [27] Hannah C, Noll U, Stormann J, *et al.*. Broad-spectrum activity of the volatile phytoanticipin [J]. Physiol. Mol. Plant Pathol., 2004, 65(2):79-89.
- [28] Ji L L, Luo Y M, Yan G L. Studies on the antimicrobial activities of extracts from *Eupatorium lindleyanum* DC against food spoilage and food-borne pathogens [J]. Food Control, 2008, 19(2):995-1001.
- [29] González-Gómez D, Cardoso V, Bohoyo D, *et al.*. Application of experimental design and response surface methodology to optimize the procedure to obtain a bactericide and highly antioxidant aqueous extract from orange peels [J]. Food Control, 2014, 35(2):252-259.
- [30] 杨永利, 郭守军, 陈涌程, 等. 刺槐豆胶复合涂膜保鲜剂低温保鲜荔枝的研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(2):150-153.
- [31] Krishna D D, Dutta H, Mahanta C L. Development of a rice starch-based coating with antioxidant and microbe-barrier properties and study of its effect on tomatoes stored at room temperature [J]. LWT-Food Sci. Technol., 2013, 50(1):272-278.
- [32] 何首林, 何 军, 高保卫, 等. 28 种植物提取物对苹果、番茄防腐保鲜活性研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6):115-119.
- [33] 胡军华, 马丽娜, 贺 磊, 等. 47 种植物提取物对 3 种柑桔常见贮藏病害病原菌活抑制作用研究[J]. 中国南方果树, 2010, 39(2):1-48.
- [34] Barry-Ryan C, Martín-Diana A B, Rico D. Green tea extract as a natural antioxidant to extend the shelf-life of fresh-cut lettuce [J]. Innov. Food Sci. Emerg. Technol., 2008, 9(3):593-603.
- [35] Asgar A, Maqbool M, Ramachandran S, *et al.*. Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit [J]. Postharv. Biol. Technol., 2010, 58(1):42-47.
- [36] Meng X H, Li B Q, Liu J, *et al.*. Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage [J]. Food Chem., 2008, 106(2):501-508.
- [37] Xu W T, Qu W, Huang K L, *et al.*. Antibacterial effect of grapefruit seed extract on food-borne pathogens and its application in the preservation of minimally processed vegetables [J]. Postharv. Biol. Technol., 2007, 45(1):126-133.
- [38] Perdonesa A, Sánchez-González L, Chiralta A, *et al.*. Effect of chitosan-lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry [J]. Postharv. Biol. Technol., 2012, 70(1):32-41.
- [39] Chauhan O P, Raju P S, Singh A, *et al.*. Shellac and aloe-gel-based surface coatings for maintaining keeping quality of apple slices [J]. Food Chem., 2011, 126:961-966.
- [40] Saltveit M E. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables [J]. Postharv. Biol. Technol., 1999, 15:279-292.
- [41] Yang X T, Song J, Campbell-Palmer L, *et al.*. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit [J]. Postharv. Biol. Technol., 2013, 78:55-66.
- [42] 刘菊华, 徐碧玉, 张建斌, 等. 香蕉一个Ⅲ类酸性几丁质酶基因与果实成熟关系的研究[J]. 西北植物学报, 2010, 30(10):2022-2027.
- [43] Muñoz-Robredo P, Rubio P, Infante R, *et al.*. Ethylene biosynthesis in apricot: identification of a ripening-related 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase (ACS) gene [J]. Postharv. Biol. Technol., 2012, 63(1):85-90.
- [44] Xue-Ren Y, Zhang Y, Zhang B, *et al.*. Effects of acetylsalicylic acid on kiwifruit ethylene biosynthesis and signaling components [J]. Postharv. Biol. Technol., 2013, 83(2):27-33.