

食品保鲜包装技术专题

活性包装技术在果蔬保鲜上的应用研究进展

隋思瑶¹, 王毓宁¹, 马佳佳¹, 陆皓茜¹, 章建浩²

(1. 苏州市农业科学院, 苏州 215155; 2. 南京农业大学, 南京 210095)

摘要: **目的** 综述活性包装技术在果蔬保鲜上的应用和发展, 为进一步开发活性包装技术在果蔬保鲜中的应用提供研究基础。**方法** 针对我国目前果蔬贮运存在的问题, 介绍活性包装的分类及其在果蔬保鲜方面的应用。**结果** 活性包装在抗菌、脱氧、乙烯吸附、二氧化碳控制等方面已经取得了一定的研究成果, 并可用于果蔬保鲜领域。**结论** 活性包装具有可调节包装内产品所处环境, 进而更好地保存产品等优点, 从而成为保鲜包装的热点, 在果蔬保鲜方面的应用具有重要的现实意义。

关键词: 活性包装; 果蔬保鲜; 抗菌; 乙烯吸附; 二氧化碳控制

中图分类号: TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)09-0001-06

Research Advances of Application of Active Packaging Technology in Preservation of Fruits and Vegetables

SUI Si-yao¹, WANG Yu-ning¹, MA Jia-jia¹, LU Hao-qian¹, ZHANG Jian-hao²

(1. Suzhou Academy of Agricultural Sciences, Suzhou 215155; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

ABSTRACT: The work aims to review the application and development of active packaging technology in preservation of fruits and vegetables to provide the foundation for the research on the application of the further developed active packaging technology in preservation of fruits and vegetables. Targeting at the existing problems in preservation of fruits and vegetables in China, this review briefly described the classification and application of active packaging on the preservation of fruits and vegetables. Some research achievements of active packaging system had been acquired in the fields of antibacterial, deoxygenation, ethylene adsorption, control of carbon dioxide and so on, which could be applied in preservation of fruits and vegetables. Active packaging is characterized by such advantages as regulating the environment where the products were packaged, thus better preserving the products. Because of that, it has become the hot spot of preservation packaging and provides important practical significance for its application in fruit and vegetable preservation.

KEY WORDS: active packaging; fruit and vegetable preservation; antibacterial; ethylene adsorption; control of carbon dioxide

果蔬营养物质丰富, 为人们所喜爱, 但其具有季节性较强、地域局限性及易腐性, 这不仅与消费者对果蔬的多样性及淡季调节的迫切性相矛盾^[1], 也给果蔬的采后处理、贮运保鲜等环节带来极大困难。据不完全统计, 由于我国果蔬采后处理、包装、流通不当等问题, 使得果蔬采后损失率高达 20%~30%, 而联合国粮农组织这一指标仅为 5%^[2-3]。随着果蔬贮运一体化技术的大规模发展, 以及果蔬冷链物流体系、

果蔬电商销售模式的兴起, 果蔬的流通范围逐步扩大, 这不仅需要果蔬维持较长的货架寿命, 还要保持营养新鲜的品质, 同时又要确保果蔬不被有毒的防腐剂、化学添加剂、微生物等污染。目前使用的传统包装材料(塑料、玻璃、金属等)虽能达到一定的保鲜效果, 但它们的封闭性容易导致微生物滋长, 且不可降解、不可再生等诸多问题使其本身发展受到制约^[3-4], 因此, 在这种前提下具有特定功能的活性包

收稿日期: 2017-03-03

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划子课题(2015BAD16B05-5); 苏州市农业科学院科研基金(8111701)

作者简介: 隋思瑶(1989—), 女, 研究实习员, 主要研究方向为农产品贮运加工。

通讯作者: 章建浩(1961—), 男, 南京农业大学教授、博导, 主要研究方向为食品包装保鲜技术。

装就应运而生。

活性包装指在包装袋内加入各种气体吸收剂和释放剂,通过消除包装内氧气、二氧化碳等气液体,或控制温湿度或加入抑菌剂来延长食品保鲜期的包装^[5-7],是一种通过改变食品包装的存储环境来延长食品的货架寿命,改善食品的气味和口感,提高食品的卫生安全性,从而维持食品品质的包装技术^[8]。活性包装已经在日本、欧美市场逐步发展,但在我国食品包装中的应用却尚未普及^[9]。由此可见,活性包装在我国食品行业发展中具有广泛的研究和应用前景。活性包装有很多种分类,其中一种常用分类方法可将活性包装分为^[10]:抗菌包装系统,利用抗菌剂或抗菌材料来抑制微生物的生长;吸收系统,吸收包装内的氧气、水分、乙烯等容易导致食品腐败的物质;释放系统,在包装体系内释放一些如二氧化碳、防腐剂、抗氧化剂等能够抑制食品腐败变质的物质;其他活性包装系统,如时间温度指示系统等。

1 抗菌包装及在果蔬保鲜中的应用

抗菌包装是一种通过在包装材料内部或者表面添加抗菌剂或直接运用本身具有抗菌功能的聚合物^[11],直接或间接地抑制食品被腐败菌和病原微生物侵染^[12],延长食品的货架期,并最大限度地保持食品风味、质量和安全性,防止二次污染的活性包装^[13]。抗菌包装可以分为以下五大类^[14]。

1.1 混合抗菌剂包装

直接将抗菌剂与基材混合,通过熔融共混或溶剂流延工艺制成抗菌材料。Ferreira 等^[15]从加工果蔬饮料后剩余的果蔬残渣中提取了具有持久抗菌性能的果蔬残渣粉,其可以保存 90 d 不腐败。Fai 等^[16]利用这种果蔬残渣粉制成了可生物降解的薄膜和涂膜液(浸泡和喷雾),并对胡萝卜进行保鲜试验,结果显示薄膜包装的胡萝卜质量损失率降低,表面发白减少,在 5℃ 下保质期可达 12 d,而涂膜的胡萝卜保质期可达 15 d。周玲等^[17]制备了 PE/纳米 Ag₂O 保鲜袋,并用于鲜切苹果的保鲜,该保鲜袋不仅具有优良的保鲜特性和安全性,还可降低鲜切苹果的质量损失率、抑制果实的呼吸强度和表面褐变速度,维持鲜切苹果的感官品质。

1.2 涂布或吸附抗菌剂包装

若抗菌剂耐热性很差或较难溶解,可在包装材料成型后再进行涂布。Maneerat 等^[18]将 PE 膜涂布纳米 TiO₂ 并用于柠檬保鲜,使得柠檬在贮存过程中的褐变以及由青霉菌引起的腐烂有所降低。Li 等^[19]将纳米 ZnO 粉末涂布于 PVC 上制成新型抗菌保鲜膜,在 4℃ 下可保鲜鲜切富士苹果 12 d,抗菌膜比普通保鲜膜更

能降低鲜切苹果腐烂率,减缓丙二醛和乙烯的积累,维持可溶性多糖和可滴定酸的含量,并抑制过氧化氢酶和多酚氧化酶的活性。

1.3 固定抗菌剂包装

通过离子或共价连接将抗菌剂固定在聚合物包装材料上,这种方式要求抗菌剂和包装材料聚合物都必须具有彼此能够键合的官能团^[20]。经由离子键结合的抗菌物可缓慢析出到食品中,而共价键结合的抗菌物结合更为牢固,只有在加热或高酸环境下才发生水解作用。

郭韵恬^[21]将含 Ce⁴⁺-ZnO 的 PVA 纳米溶胶涂布于经甲基丙烯酸甲酯表面接枝改性和聚乙烯亚胺溶液底涂的 PE 薄膜上(涂布层干厚 8 μm),制成抗菌保鲜薄膜,并用于樱桃的保鲜。经包膜处理后,樱桃果实腐烂率、质量损失率等均显著降低,樱桃的保质期可延长至 19 d 以上。

1.4 含挥发性抗菌剂的小包装

Espitia 等^[22]将牛至油、肉桂醛和柠檬草精油与多孔树脂混合,用无纺布热封成小袋包装,置于纸包装袋中制成抗菌包装系统,并用于保鲜木瓜,包装后的木瓜霉菌和酵母菌大大减少,其中含肉桂醛的抗菌包装效果最明显,并且也未对木瓜的生理指标和感官品质产生不良影响,说明这种抗菌包装不影响木瓜的正常熟化。Sivakumar 等^[23]将在肉桂精油溶液中浸蘸过的吸水纸放入红毛丹销售包装内,可降低红毛丹采后病害的发生率,在温度 13.5℃、相对湿度 95% 条件下贮藏 14 d 后红毛丹品质、感官性状和颜色基本不变。

1.5 自身具备抗菌性的包装

一些天然或合成的聚合物分子本身具有抗菌活性,不仅安全无毒,而且抗菌效果优异,如壳聚糖、普鲁兰多糖、山梨酸等。Chiu 等^[24]将绿茶提取物溶于木薯淀粉/脱色仙草叶胶涂膜液中制成抗菌涂膜包装,并用于保鲜莴苣心,冷藏 48 h 后莴苣心依旧显示出明显的抗革兰氏阳性菌活性。Sangsuwan 等^[25]将壳聚糖/甲基纤维素膜中加入香兰素制成抗菌包装,明显抑制了鲜切菠萝的乙醇产生量和呼吸速率,以及大肠杆菌和酵母菌的繁殖,同时这种抗菌膜的保湿和护色效果也较好。彭勇^[26]研究发现壳聚糖涂膜可以有效抑制鲜切荸荠褐变的发生,维持鲜切荸荠较高的水分和可溶性固形物的含量。

2 乙烯吸附包装

果蔬呼吸作用吸收 O₂ 释放 CO₂ 的同时还产生少量乙烯,乙烯是一种植物内源激素,有促进果实成熟

的作用。当释放的乙烯在果蔬周围达到一定量（浓度很低）时，便会加速水果蔬菜的成熟与衰老，降低果蔬的商品价值。

2.1 乙烯吸附剂

高锰酸钾或者活性炭等具有活性表面的物质可对乙烯进行物理吸附。徐静等^[27]采用高锰酸钾、磷酸、磷酸二氢钠、沸石、膨润土自制成乙烯吸附剂并用于青菜的短期贮藏，研究结果显示乙烯吸附剂处理可有效减轻青菜黄化、延缓青菜叶绿素分解和减少青菜贮藏过程中亚硝酸盐的积累。用含氯化钯（作为催化剂）的活性炭吸附猕猴桃包装中的顶空乙烯，已经在美国、澳大利亚、韩国和以色列有成功的商业案例^[28]。

2.2 乙烯吸附薄膜

乙烯吸附保鲜薄膜一般使用多孔性的矿物质粉末，如沸石、方英石等混炼在塑料薄膜中，以吸附包装袋中的乙烯，可减缓袋内果蔬细胞的呼吸作用^[29]。许文才等^[30]将硅胶粉末熔融共混到 LDPE/LLDPE 树脂中，吹膜制备了活性保鲜袋，并在常温下对“早久保”桃子进行保鲜，结果该包装袋可将“早久保”桃子常温下的货架期延长到 12 d，桃子不发生任何腐烂，与对照组相比保鲜组营养成分下降的趋势明显变缓。虽然目前尚没有直接的科学证据可解释薄膜吸附乙烯的原理，因为细粒矿物可能吸附乙烯，但是它们同时也扩大了塑料层内的孔隙，可以假设这种孔隙也改变了膜的气体交换性，乙烯透过有开放孔隙的塑料膜比普通的塑料膜可能更迅速，因此乙烯扩散出这些袋子将比通过纯聚乙烯袋更快。

3 二氧化碳控制包装

二氧化碳控制包装系统指能吸收或释放二氧化碳的体系。当果蔬包装中的二氧化碳体积分数在 10%~80%之间时，会阻碍好氧微生物的生长，从而减缓生物化学反应，降低果蔬呼吸和衰老过程^[31]。因此通常在果蔬包装膜上装有二氧化碳释放系统来增加二氧化碳的浓度，但是果蔬的呼吸作用也会不断产生二氧化碳，过量的二氧化碳累积会促使果蔬糖酵解，病菌微生物大量繁殖，加速果蔬腐败，此时则需利用二氧化碳吸收系统降低包装中二氧化碳浓度^[32]。

3.1 二氧化碳释放包装

二氧化碳释放包装主要是将二氧化碳释放剂以小包装的形式附于果蔬包装中或直接共混到薄膜中。对二氧化碳有较高耐受能力的果蔬可使用二氧化碳释放包装来保鲜。此外，使用气体吸附剂的产品由于包装内气体的减少容易发生包装内缩，影响外观，因此可使用二氧化碳释放薄膜或者在包装中加入二氧

化碳释放剂^[7]。

3.2 二氧化碳吸附包装

常用的二氧化碳吸收剂有物理吸附的活性炭、沸石等，也有可进行化学反应的 NaOH, KOH, CaO 等。Aday 等^[33]制备了含 EMCO 二氧化碳吸附剂的活性包装，并对草莓进行了保鲜包装，当吸附剂中过碳酸钠：碳酸钠：氯化钠：膨润土的质量比为 5：2：1.4：1.6 时，可延缓草莓的糖代谢作用，延长其保质期至 1 个月。

4 果蔬保鲜中的其他活性包装

4.1 湿度控制包装

果蔬通过蒸腾作用产生水分，因此想要维持新鲜果蔬的高品质，就需要控制果蔬贮藏过程中的大气相对湿度，包装内的相对湿度过大会促进微生物的生长繁殖，过低也会导致果蔬的品质下降。在大多数情况下，包装材料本身就是负责调控包装内外环境之间的水分迁移，并提供足够的屏障，但在某些情况下，仍需对包装内的水分进行控制或者对湿度进行缓冲，以此来避免液态水的聚积。常用的除湿剂有硅胶、天然黏土矿物（如蒙脱石）、氧化钙、氯化钙、改性淀粉等，硅胶可吸收高达自身质量 35% 的水，因此可有效维持干燥食品包装内的干燥条件，而水分活度低于 0.2 时，沸石对水分的吸收也高达 24%^[28]。

常用的除湿包装通常采用将一种高吸水性聚合物放置于 2 层聚乙烯或聚丙烯等微多孔或无纺聚合物之间，吸水性聚合物有聚丙烯酸酯盐、淀粉的接枝聚合物等。另外在果蔬冷藏期间，由于温度波动往往会导致包装内表面上的水分凝结，因此为了避免这种情况的发生，常在包装聚合物膜添加防雾剂。例如非离子聚氧乙烯醚或亲水性脂肪酸酯类等，这样可降低冷凝水和促进液滴聚结形成透明水膜的塑料薄膜之间的界面张力。Mahajan^[34]等发明了一种可用于新鲜果蔬的干燥剂，该干燥剂由斑脱土（55%）、山梨糖醇（25%）和氯化钙（20%）组成，这种干燥剂具有持续吸水、吸湿缓慢的特点。Azevedo^[35]等制备了以氧化钙、氯化钙和山梨醇为原料的干燥剂，结果表明，3 种物质中氯化钙的水吸收能力最强，干燥剂最高持水力可达 0.813 g/g，并可用于平菇的保鲜包装。

4.2 脱氧包装

氧气是酶促褐变和叶绿素光敏氧化极为重要的反应物，并且有利于呼吸作用，促进微生物的生长繁殖，因此包装内氧气过多必然会大大降低果蔬的贮藏品质^[36]。常用的抽真空和气调包装并不能完全清除包装内的氧气，其余氧气可通过脱氧剂清除^[37]。脱氧包装是在包装材料中添加氧气吸附剂或者在包装内放

置脱氧剂小包装袋,通过物理吸附或者氧化还原反应来除氧^[38—39]。含氧气清除性能的可食涂膜也应用于果蔬保鲜,如将含芦荟和鞣花酸的小烛树蜡涂膜用于樱桃及葡萄等新鲜水果的保鲜,该涂膜可阻止水果失重和 pH 值的变化,在 5℃ 下新鲜度和颜色可以维持 6 d^[40]。

4.3 乙醇气体释放包装

乙醇作为一种抗菌剂已被广泛应用,这是因为高浓度的乙醇可抑制微生物营养细胞的生长。常用浸渍方法来控制采后果蔬的质量无法持久保证乙醇浓度,降低了乙醇利用率,因此带乙醇发生剂的包装系统应运而生。将粉末状的乙醇发生剂与包装基材制成香囊或衬垫,置于封闭的果蔬包装内部,可以起到乙醇长效释放的效果。一般乙醇发生剂使用的包装材料选择 KOP/CP, OPP 等乙醇阻隔性材料^[41]。

Mosayyebzadeh 等^[42]证明了乙醇气体发生剂可提高葡萄气调包装的效果,控制葡萄灰霉病的发生,减少葡萄的腐烂。Zhang 等^[43]研究了乙醇蒸汽处理对杨梅果实腐烂的影响,在 20℃ 用 10 mL/L 乙醇溶液或在 0℃ 用 40 mL/L 乙醇溶液预泡的滤纸片生成的乙醇蒸汽浓度在 1000 μ L/L 时,对采后杨梅果实腐烂的控制是最有效的,乙醇处理对果实品质无任何不良影响。Jin 等^[44]用乙醇蒸汽处理薄皮甜瓜,研究显示不论乙醇蒸汽的浓度高低,其对延缓甜瓜果皮颜色的褐变都是显著的 ($P \leq 0.5$),并且还可抑制果实的软化和腐烂。

4.4 时间温度指示系统 (TTI)

温度是影响果蔬活性代谢过程中呼吸作用、微生物和化学反应最有效的因素^[45]。一般每增加 10℃,果蔬呼吸速率就会增加 1 倍。时间-温度指示剂是用于监控和记录温度变化对贮藏过程中果蔬的质量影响及剩余货架信息的装置,一般用来指示产品是否过热或过冷。时间-温度指示剂可作为评估果蔬货架期和新鲜度的有效指标。Bionest 是西班牙最大的有机草莓生产商,其有效利用了活性 RFID 标签,可提供草莓剩余货架期的相关信息^[33]。

5 结语

包装作为果蔬保鲜中重要的一部分,不仅朝着多元化发展,也向着更环保、更健康的方向迈进,因而加强活性包装技术的研究也是果蔬包装产业发展的重要趋势。由于活性包装在国内的发展起步较晚,理论研究体系尚未成熟,这给其应用带来了一定的阻力,并且如何降低成本,如何规模化、标准化生产也是未来活性包装技术应用于果蔬保鲜的研发方向之一。

参考文献:

- [1] 单杨. 中国果蔬加工产业现状及发展战略思考[J]. 中国食品学报, 2010, 10(1): 1—9.
SHAN Yang. Current Situation and Development Strategic Consideration of the Fruits & Vegetables Processing Industry in China[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2010, 10(1): 1—9.
- [2] CAO F. The Application of Environment-friendly Antimicrobial Packaging Materials in Fresh Fruits and Vegetables[C]// Environmental Systems Science and Engineering. Dalian, China, Intelligent Information Technology Application Association, 2011: 221—226.
- [3] 黄家莉. 果蔬包装材料研究进展[J]. 包装工程, 2010, 31(1): 111—114.
HUANG Jia-li. Research Progress in New Packaging Materials of Fruit and Vegetable[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(1): 111—114.
- [4] KHALILA H P S A, DAVOUDPOURA Y, CHATURBHUIJ K, et al. A Review on Nanocellulosic-fibres as New Material for Sustainable Packaging: Process and Applications[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 64: 823—836.
- [5] 黄志刚, 刘凯, 刘科. 食品包装新技术与食品安全[J]. 包装工程, 2014, 35(13): 161—166.
HUANG Zhi-gang, LIU Kai, LIU Ke. New Technologies in Food Packaging and Food Safety[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(13): 161—166.
- [6] ROMAN M J, DECKER E A, GODDARD J M. Biomimetic Polyphenol Coatings for Antioxidant Active Packaging Applications[J]. Colloids & Interface Science Communications, 2016, 13: 10—13.
- [7] 许文才, 付亚波, 李东立, 等. 食品活性包装与智能标签的研究及应用进展[J]. 包装工程, 2015, 36(5): 1—10.
XU Wen-cai, FU Ya-bo, LI Dong-li, et al. Research and Application Progress of Food Active Packaging and Smart Labels[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(5): 1—10.
- [8] 贺琛, 王臻, 梅婷, 等. 食品活性包装研究的进展与趋势[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 40—44.
HE Chen, WANG Zhen, MEI Ting, et al. The Recent Research and Trend of Food Active Package[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(3): 40—44.
- [9] 赵艳云, 连紫璇, 岳进. 食品包装的最新研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(4): 1—10.
ZHAO Yan-yun, LIAN Zi-xuan, YUE Jin. Recent Development in Food Packaging[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(4): 1—10.
- [10] 刘欢. 聚 L 乳酸/壳聚糖抗菌膜的制备及性能研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
LIU Huan. Preparation and Research of Chitosan/poly (L-lactic acid) Antibacterial Film[D]. Hefei: Hefei

- University of Technology, 2015.
- [11] 赵俊燕, 罗世永, 许文才. 抗菌包装研究进展[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 132—137.
ZHAO Jun-yan, LUO Shi-yong, XU Wen-cai. Research Development of Antimicrobial Packaging[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 132—137.
- [12] BASTARRACHEA L, DHAWAN S, SABLANI S S. Engineering Properties of Polymeric-based Antimicrobial Films for Food Packaging[J]. Food Engineering Reviews, 2011, 3(2): 79—93.
- [13] 张春月, 焦通, 刘云, 等. 纳米氧化锌在抗菌食品包装中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 274—279.
ZHANG Chun-yue, JIAO Tong, LIU Yun, et al. Recent Advances in the Application of Nano Zinc Oxide in Antimicrobial Food Packaging[J]. Food Science, 2014, 35(11): 274—279.
- [14] OTONI C G, ESPITIA P J P, AVENA-BUSTILLOS R J, et al. Trends in Antimicrobial Food Packaging Systems: Emitting Sachets and Absorbent Pads[J]. Food Research International, 2016, 83: 60—73.
- [15] FERREIRA M S L, SANTOS M C P, MORO T M A, et al. Formulation and Characterization of Functional Foods Based on Fruit and Vegetable Residue Flour[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(2): 822—830.
- [16] FAI A E C, SOUZA M R A D, BARROS S T D, et al. Development and Evaluation of Biodegradable Films and Coatings Obtained from Fruit and Vegetable Residues Applied to Fresh-cut Carrot (*Daucus carota*, L)[J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 112: 194—204.
- [17] 周玲, 何贵萍, 阎梦紫, 等. PE/Ag₂O 纳米包装袋对苹果切块品质的影响[J]. 食品科技, 2010(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(6): 56—59.
- [18] MANEERAT C, HAYATA Y. Antifungal Activity of TiO₂ Photocatalysis Against *Penicillium expansum* in Vitro and in Fruit Tests[J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 107(2): 99—103.
- [19] LI X H, LI W L, JIANG Y H, et al. Effect of Nano-ZnO-coated Active Packaging on Quality of Fresh-cut 'Fuji' Apple[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(9): 1947—1955.
- [20] VELUCHAMY P, SIVAKUMAR P M, DOBLE M. Immobilization of Subtilisin on Polycaprolactam for Antimicrobial Food Packaging Applications[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(20): 10869—10878.
- [21] 郭韵恬. PE 基纳米包装材料的研制及其性能研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
GUO Yun-tian. Study on Preparation and Performance of PE-based Nano Packaging Material[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [22] ESPITIA P J P, SOARES N D F, BOTTI L C M, et al. Assessment of the Efficiency of Essential Oils in the Preservation of Postharvest Papaya in an Antimicrobial Packaging System[J]. Brazilian Journal of Food Technology, 2012, 15(4): 333—342.
- [23] SIVAKUMAR D, WIJERATNAM R S W, WIJESUNDERA R L C, et al. Control of Postharvest Diseases of Rambutan Using Cinnamaldehyde[J]. Crop Protection, 2002, 21(9): 847—852.
- [24] CHIU P E, LAI L S. Antimicrobial Activities of Tapioca Starch/decolorized Hsian-tsao Leaf Gum Coatings Containing Green Tea Extracts in Fruit-based Salads, Romaine Hearts and Pork Slices[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 139: 23—30.
- [25] SANGSUWAN J, RATTANAPANONE N, RACHTANAPUN P. Effect of Chitosan/methyl Cellulose Films on Microbial and Quality Characteristics of Fresh-cut Cantaloupe and Pineapple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3): 403—410.
- [26] 彭勇. 可食性壳聚糖活性包装膜成膜组分研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
PENG Yong. Study on The Critical Components of Active Chitosan-based Edible Packaging Films[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2014.
- [27] 徐静, 王小燕, 邹剑锋, 等. 青菜短期贮藏方法初步研究[J]. 江西农业学报, 2007, 19(4): 42—43.
XU Jing, WANG Xiao-yan, ZOU Jian-feng, et al. Studies on Methods of Short-term Storage for Greengrocery[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2007, 19(4): 42—43.
- [28] NAYIK G A, MUZAFFAR K. Developments in Packaging of Fresh Fruits- Shelf Life Perspective: A Review[J]. 2014, 1(5): 34—39.
- [29] GARCÍA-GARCÍA I, TABOADA-RODRÍGUEZ A, LÓPEZ-GÓMEZ A, et al. Active Packaging of Cardboard to Extend the Shelf Life of Tomatoes[J]. Food & Bioprocess Technology, 2013, 6(6): 754—761.
- [30] 许文才, 李东立, 付亚波, 等. 乙烯吸附活性包装对“早久保”桃子保鲜性能研究[C]// 2012 中国印刷与包装学术会议, 2012.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo, et al. The Ethylene Adsorption of Active Packaging Prolonging Shelf-life of “Early Kubo” Peaches [C]// 2012 China Academic Conference on Printing and Packaging, 2012.
- [31] SINGH S. Preservation Technologies for Fresh Fruits and Vegetables[J]. Stewart Postharvest Review, 2011, 7(1): 1—7.
- [32] LACOSTE A, SCHAICH K, ZUMBRUNNEN D, et al. Advancing Controlled Release Packaging through Smart Blending[J]. Packaging Technology and Science, 2005(18): 77—87.
- [33] ADAY M S, CANER C, RAHVALI F. Effect of Oxygen and Carbon Dioxide Absorbers on Strawberry Quality[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(2): 179—187.

- [34] MAHAJAN P V, RODRIGUES F A S, Motel A, et al. Development of a Moisture Absorber for Packaging of Fresh Mushrooms (*Agaricusbisporous*)[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2008, 48(3): 408—414.
- [35] AZEVEDO S, CUNHA L M, MAHAJAN P V, et al. Application of Simplex Lattice Design for Development of Moisture Absorber for Oyster Mushrooms[J]. *Procedia Food Science*, 2011, 1(1): 184—189.
- [36] BUSOLO M A, LAGARON J M. Oxygen Scavenging Polyolefin Nanocomposite Films Containing an Iron Modified Kaolinite of Interest in Active Food Packaging Applications[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012, 16: 211—217.
- [37] PEREIRA A D A, CRUZ J M, PASEIRO-LOSADA P. Active and Intelligent Packaging for the Food Industry[J]. *Food Reviews International*, 2012, 28(2): 146—187.
- [38] JOHANSSON K, WINESTRAND S, JOHANSSON C, et al. Oxygen-scavenging Coatings and Films Based on Lignosulfonates and Laccase[J]. *Journal of Biotechnology*, 2012, 161(1): 8—14.
- [39] ANTHIERENS T, RAGAERT P, VERBRUGGHE S, et al. Use of Endospore-forming Bacteria as an Active Oxygen Scavenger in Plastic Packaging Materials[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2011, 12(4): 594—599.
- [40] MARTÍNEZ-ROMERO D, ALBURQUERQUE N, VALVERDE J M, et al. Postharvest Sweet Cherry Quality and Safety Maintenance by Aloe Vera, Treatment: A New Edible Coating[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2006, 39(1): 93—100.
- [41] 马学芬, 王利强, 刘靖, 等. 乙醇气体发生剂在抗菌包装中的研究进展[J]. *包装工程*, 2012, 33(23): 144—149.
- MA Xue-fen, WANG Li-qiang, LIU Jing, et al. Research Progress of Ethanol Emitter in Antimicrobial Food Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(23): 144—149.
- [42] MOSAYYEBZADEH A, MOSTOFI Y, ERKAN M, et al. Ethanol Vapor Could Improve the Efficacy of Modified Atmosphere Packaging to Control Gray Mold in Iranian Table Grape (*Vitisvinifera* L. 'Shahroodi')[C]// X International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference, Antalya, Turkey, 2010: 217—220.
- [43] ZHANG W S, LI X, WANG X X, et al. Ethanol Vapour Treatment Alleviates Postharvest Decay and Maintains Fruit Quality in Chinese Bayberry[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2007, 46(2): 195—198.
- [44] JIN Y Z, LV D Q, WEN W L, et al. Ethanol Vapor Treatment Maintains Postharvest Storage Quality and Inhibits Internal Ethylene Biosynthesis during Storage of Oriental Sweet Melons[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2013, 86(3): 372—380.
- [45] ERTURK E, PICHA D H. The Effects of Packaging Film and Storage Temperature on the Internal Package Atmosphere and Fermentation Enzyme Activity of Sweet Potato Slices[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2008, 32(5): 817—838.