

## 不同类型包装膜对胡萝卜的保护效果研究

张婉莹, 顾文娟, 李遇贤, 胡阳, 潘书秀  
(昆明理工大学 机电工程学院, 昆明 650500)

**摘要:** **目的** 以鲜切胡萝卜作为包装对象, 研究聚乙烯 (PE) 薄膜、聚乳酸 (PLA) 薄膜、笼型聚倍半硅氧烷 (POSS) 改性 PLA 薄膜、硅橡胶 (SR) 薄膜以及改性 SR 薄膜对胡萝卜保护效果的差异。**方法** 通过傅里叶红外技术和紫外-可见光谱技术对包装膜的结构和性能进行检测, 并测定不同包装下胡萝卜素含量的变化及胡萝卜的质量损失率。**结果** 不同类型的包装膜对鲜切胡萝卜的保护效果不同, 尤其是胡萝卜素的保留率有较大差异。改性 SR 膜的紫外光谱透过率低, 其对鲜切胡萝卜的胡萝卜素的保护功能最佳, 水分保有率也较高; PE 薄膜的紫外透过性高, 对胡萝卜素的保护功能较差, 但包装的鲜切胡萝卜质量损失率最小; POSS-PLA 薄膜和 PLA 薄膜对胡萝卜素的保护作用居中, 鲜切胡萝卜质量损失率高。**结论** 在实际包装应用中可以考虑将改性 SR 薄膜与 PE 薄膜组合使用。

**关键词:** 薄膜; 胡萝卜; 胡萝卜素; 质量损失率

**中图分类号:** TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)21-0111-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.020

### Protective Effect of Different Types of Packaging Film on Carrot

ZHANG Wan-ying, GU Wen-juan, LI Yu-xian, HU Yang, PAN Shu-xiu  
(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology,  
Kunming 650500, China)

**ABSTRACT:** The paper aims to research effects of polyethylene (PE) film, polylactic acid (PLA) film, polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS) modified PLA film, silicone rubber (SR) film and modified SR film on carrot protection were studied with freshly cut carrots as packaging objects. The structure and properties of the packaging film were tested by Fourier transform infrared spectroscopy and ultraviolet-visible spectroscopy, and the change of carotene content and the weight loss rate of carrot in different packaging were determined. Different packaging films had different protection effects on freshly cut carrots, especially on the retention rate of carotene. The modified SR film had a low UV spectrum transmittance. It had the best protection function for the freshly cut carrot carotene and a high water retention rate. The PE membrane had high UV permeability and poor protection for carotene, but the weight loss rate of freshly cut carrots in packaging was the smallest. POSS-PLA membrane and PLA membrane had a moderate protective effect on carotene, and high weight loss rate of freshly cut carrots. In the actual packaging application, the combined use of modified SR film and PE film can be considered.

**KEY WORDS:** film; carrot; carotene; weight loss rate

包装是将产品不改变质量地从生产者转移到消费者的流通过程中的重要保证。塑料包装薄膜对商品有良好的展示效果, 且具有较好的阻隔性和加工性能, 深受消费者喜爱, 广泛应用于水果蔬菜的包装,

在我国占有重要地位<sup>[1-2]</sup>。

胡萝卜是一种味道鲜美、营养丰富的家常蔬菜。鲜切胡萝卜可拓宽胡萝卜原料的应用范围, 实现其综合利用, 具有很大的市场前景和开发潜力<sup>[3]</sup>, 但切割

收稿日期: 2018-06-05

基金项目: 昆明理工大学分析测试基金 (2016T20050042)

作者简介: 张婉莹 (1994—), 女, 昆明理工大学硕士生, 主攻食品包装。

通信作者: 顾文娟 (1985—), 女, 博士, 昆明理工大学讲师, 主要研究方向为食品包装。

会使胡萝卜营养物质流出,造成营养损失,并引发大量的贮藏物质和营养成分的消耗、组织结构解体、自身对逆境的抵抗力降低,从而加速鲜切果蔬的衰老进程<sup>[4-6]</sup>。目前,国内外关于鲜切胡萝卜保鲜包装的研究已有很多,但大都是通过控制包装环境的温度和湿度、调节包装袋内的气体比例以及使用新型包装材料保护鲜切胡萝卜的品质,以达到保鲜效果<sup>[7-10]</sup>。田欣等<sup>[11]</sup>通过优化包装条件保持过氧化氢酶的活性,任丽芳等<sup>[12]</sup>研究了包装内不同氧分压条件对鲜切胡萝卜保鲜效果的影响,得出氧气体积分数为100%的包装下胡萝卜保鲜效果最好,可有效抑制鲜切胡萝卜呼吸强度以及PPO, POD, PAL的活性。Du等<sup>[13]</sup>研究了几种可食用膜对鲜切胡萝卜的影响,为鲜切水果和蔬菜加工业提供了一些有用的参考。胡萝卜的营养价值在于含有大量的胡萝卜素,但胡萝卜素易氧化,尤其是在紫外线下可加速氧化作用<sup>[14-16]</sup>,因此包装的防紫外性能是影响被包装胡萝卜品质的重要因素。

聚乙烯(PE)包装是使用量最大的一类塑料包装制品,具有优异的透明性、热封性以及较宽的热封范围,被广泛用于果蔬包装<sup>[17-18]</sup>;聚乳酸(PLA)是一种环境友好的高分子材料,无毒、无味,具有良好的生物相容性,其加工成的薄膜可应用于水果保鲜包装。目前,PLA的改性方法主要有化学改性和物理改性,将POSS-NH<sub>3</sub>Cl用于聚乳酸的改性,分别以共混和接枝的方式进行添加,提高聚乳酸膜的透明度<sup>[19-20]</sup>;硅橡胶(SR)具有耐热、耐寒、透气性优良的特点,其制备成的膜材料可调节透气性能,广泛用于食品气调包装<sup>[21]</sup>。毕大鹏等<sup>[22]</sup>通过实验提出在结构上使硅橡胶能够贯穿聚乙烯基体膜,提高聚乙烯/硅橡胶共混膜透气性的推断。文中以PE薄膜、PLA薄膜、笼型聚倍半硅氧烷(POSS)改性PLA薄膜、SR薄膜以及改性SR薄膜作为研究对象,对鲜切胡萝卜进行包装。通过傅里叶红外技术和紫外-可见光谱技术分析不同包装膜的结构以及对紫外线的吸收性能和透光性,在此基础上,研究不同类型包装膜保护作用下胡萝卜素的含量变化及胡萝卜失水率的差异。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料:POSS-NH<sub>3</sub>Cl、除水L-乳酸、辛酸亚锡、氯仿、107胶(HO(Me<sub>2</sub>SiO)<sub>n</sub>H)、催化剂101#(Bu<sub>2</sub>Sn(OCOC<sub>11</sub>H<sub>23</sub>)<sub>2</sub>)、交联剂WD921等,购于国药集团化学试剂有限公司;新鲜的胡萝卜,购于昆明市呈贡区吴家营市场;PE薄膜、PLA薄膜、SR薄膜,均购于宁波环球塑料制品有限公司;POSS改性PLA

薄膜、改性SR薄膜,实验室自制。

主要仪器: EQUINOX55型傅里叶变换红外光谱仪,德国Bruker公司;WD-9403C紫外仪(反射紫外光源波长为254,365 nm,透射紫外光源波长为300 nm),北京六一仪器厂。

### 1.2 仪器与方法

1)依据课题组之前的报道<sup>[23]</sup>,将1.00 g POSS-NH<sub>3</sub>Cl、20.00 g除水L-乳酸和0.02 g辛酸亚锡加入100 mL三口烧瓶中,搅拌使其充分溶解,将混合物加热到130 °C真空氛围下反应4 h,然后再升温到预定的温度(如150,160,170,180 °C)反应8 h。将得到的产物加入适量的氯仿进行溶解,得到均匀溶液,然后加入一定量的乙醇,得到白色沉淀物,抽滤提纯,并用去离子水和乙醇分别洗涤3次,产物在70 °C下真空干燥(真空度<133 Pa)至少12 h,得到POSS改性PLA薄膜。称取100 g的107胶(HO(Me<sub>2</sub>SiO)<sub>n</sub>H),将设定配比的填料倒入捏合机中,抽真空至胶液中的气泡被完全抽出,加热至120 °C,倒入捏合机中混合4 h;保持真空状态(真空度<133 Pa),降温至25 °C;待温度稳定后,加入10 g交联剂WD921和0.25 g催化剂101#(Bu<sub>2</sub>Sn(OCOC<sub>11</sub>H<sub>23</sub>)<sub>2</sub>)的混合液,室温下倒入捏合机中混合0.5 h后出料,倒入事先准备好的已清洁的聚四氟乙烯模具中,硫化2周以上,待胶液完全交联后进行后续测试,取设定配比的改性填料、SR薄膜在一定条件下制备改性SR薄膜<sup>[24]</sup>,反应过程见图1。

2)使用傅里叶变换红外光谱仪分析PLA薄膜、POSS改性PLA薄膜、SR薄膜、改性SR薄膜的结构特征。将样品与溴化钾以1:200左右的质量比混合研磨后压片,固定在样品架上,在室温下采集光谱,光谱分辨率为0.4 cm<sup>-1</sup>,波数范围在4000~400 cm<sup>-1</sup>的中红外光谱区域。红外光谱是由于化合物分子振动时吸收特定波长的红外光而产生的,属于吸收光谱,利用特征吸收谱带的频率推断分子中存在某一基团或键,由特征吸收谱带频率的变化推测邻近的基团或键,进而确定分子的化学结构。

3)使用WD-9403C紫外仪测定PE薄膜、PLA薄膜、POSS改性PLA薄膜、SR薄膜、改性SR薄膜的紫外-可见光谱的透过性能。校准后设置参数,测试薄膜的透过率T(%),取样间隔3 nm,速度选择快速,波长范围选择190~900 nm,将样品放入样品室后进行测量。

4)将新鲜的胡萝卜洗净擦干后切成厚度为5 mm的薄片,取等量的鲜切胡萝卜分别使用PE薄膜、PLA薄膜、POSS改性PLA薄膜、SR薄膜、改性SR薄膜进行包装,置于室外阳光直射条件下。

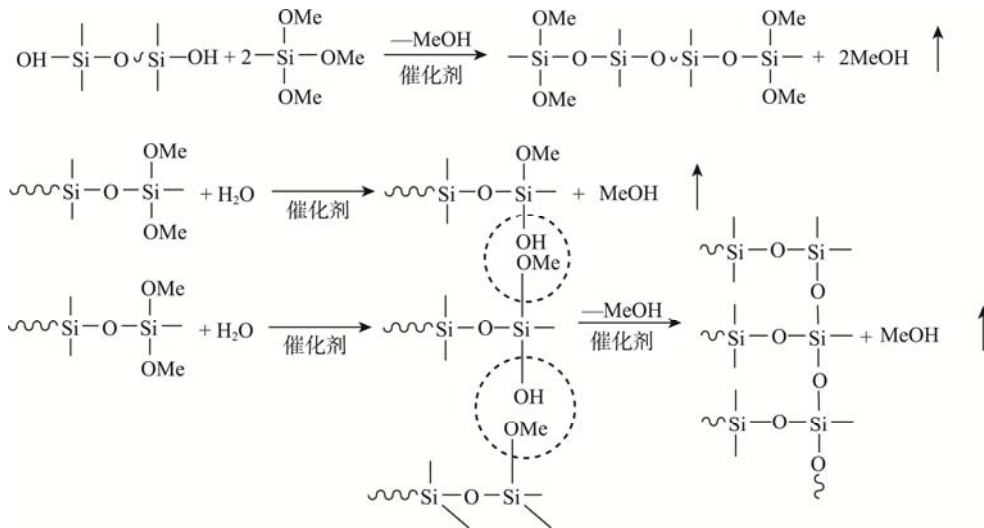


图 1 改性硅橡胶薄膜的反应过程  
Fig.1 Reaction process of modified silicone rubber film

5) 分别于实验前、实验第 3 天、实验第 7 天取出部分样品,使用 GB 5009.83—2016《食品中胡萝卜素的测定方法》测定胡萝卜素的含量,结果以每 100 g 胡萝卜所含胡萝卜素毫克数表示。

6) 在实验前与实验第 7 天使用电子计量秤对胡萝卜进行称量,采用称量法和质量损失率公式,计算得到 5 种包装下胡萝卜的质量损失率。

$$\text{质量损失率} = \frac{\text{实验前质量} - \text{实验第7天质量}}{\text{实验前质量}} \times 100\%$$

## 2 结果与分析

通过傅里叶红外方法对 SR 薄膜及改性 SR 薄膜的结构进行测定,结果见图 2。在改性硅橡胶的红外吸收光谱中,波数 860  $\text{cm}^{-1}$  处有个较弱的峰,归属于硅橡胶中的二甲基硅氧链节(D);波数 1020  $\text{cm}^{-1}$  处为硅橡胶以及填料中 Si—O—Si 的反对称伸缩振动吸收峰;波数 1087  $\text{cm}^{-1}$  处为 Si—O—C 的振动吸收;波数 1262 和 1410  $\text{cm}^{-1}$  处分别为 Si—C 面内和面外弯曲振动;波数 1635  $\text{cm}^{-1}$  处为 Si—OH 的弯曲振动;波数 2963  $\text{cm}^{-1}$  为 C—H 的伸缩振动;波数 2905  $\text{cm}^{-1}$  为硅橡胶链段上 Si—CH<sub>3</sub> 中的 C—H 振动峰<sup>[25-26]</sup>。

通过傅里叶红外方法对 PLA 薄膜及 POSS 改性 PLA 薄膜的测试结果见图 3。比较聚乳酸及 POSS 改性聚乳酸的红外吸收谱可知,与纯 PLA 的红外吸收光谱相比,经 POSS-NH<sub>3</sub>Cl 改性后,PLA 的 C=O 伸缩振动吸收峰从原来的波数 1760  $\text{cm}^{-1}$  处移至波数 1751  $\text{cm}^{-1}$  处,POSS-NH<sub>3</sub>Cl 的—NH<sub>3</sub><sup>+</sup> 的伸缩振动吸收峰从原来的波数 3020  $\text{cm}^{-1}$  处移至波数 3009  $\text{cm}^{-1}$  处,并且其吸收峰变宽,说明 PLA 的 C=O 与 POSS-NH<sub>3</sub>Cl 的—NH<sub>3</sub><sup>+</sup> 形成了氢键,波数 1604  $\text{cm}^{-1}$  处为 N—H 的弯曲振动吸收峰<sup>[27-28]</sup>。

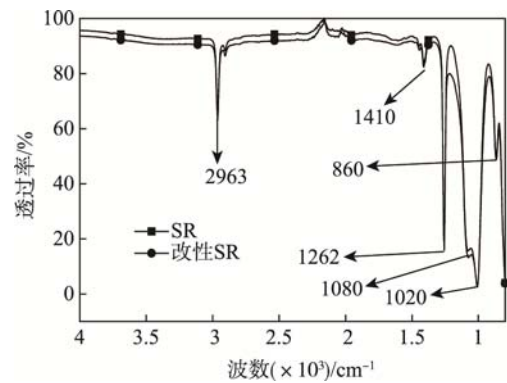


图 2 硅橡胶薄膜及改性硅橡胶薄膜的红外吸收谱  
Fig.2 Infrared absorption spectrum of silicone rubber film and modified silicone rubber film

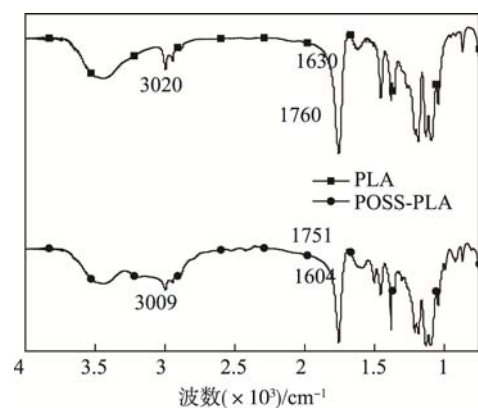


图 3 聚乳酸薄膜及 POSS 改性聚乳酸薄膜的红外吸收谱  
Fig.3 Infrared absorption spectrum of PLA film, POSS-PLA film

通过紫外-可见光谱技术分别对实验所用的 5 种包装膜进行测定,结果见图 4。由图 4 可知,实验所用 5 种包装膜在紫外光谱范围内(波长 200~400 nm)的透过率差异显著。

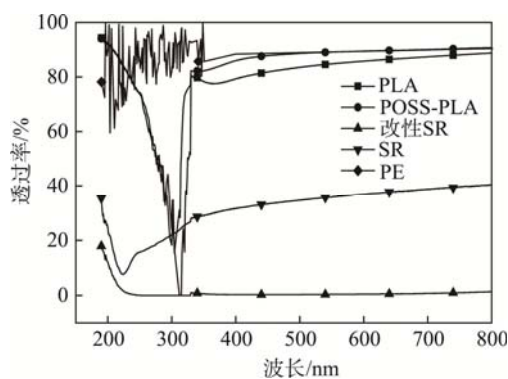


图4 5种包装膜的紫外光谱  
Fig.4 UV spectrum of PE film, PLA film,  
POSS-PLA film, SR film, M-SR film

改性 SR 薄膜的紫外光透过率很低,对波长 240 nm 以上的紫外光的透过率为 0,对紫外光的阻隔性能较优。普通 SR 薄膜与改性 SR 薄膜相比,对紫外光的透过率更高,改性填料在波长 200~240 nm 范围内对 SR 薄膜的紫外光透过率影响较小,在波长 240 nm 以上的范围对 SR 薄膜的紫外光透过率影响较大。由此可以看出,改性填料的添加显著提高了 SR 薄膜的抗紫外性能。

PLA 薄膜与 POSS 改性 PLA 薄膜对紫外光的透过率在波长 300~330 nm 处最小,透过率低于 20%,POSS 改性 PLA 薄膜在波长 310 nm 处透过率为 0;在波长 200 nm 处最高,透过率高于 80%,在波长 340~400 nm 的长波紫外光处透过率随波长的增大而增大,对紫外光的透过率大于 80%。PLA 薄膜与 POSS 改性 PLA 薄膜在可见光谱范围内(波长 400~800 nm)具有高透明性。这是因为聚合物的透过率主要与其结构、结晶度等有关,POSS-NH<sub>3</sub>Cl 是纳米级材料,与聚合物之间具有很好的相容性,POSS-NH<sub>3</sub>Cl 与乳酸进行聚合生成的 POSS-g-PLLA 具有笼型结构,使得光容易通过,从而增加其透明度<sup>[22]</sup>。POSS 改性 PLA 薄膜与 PLA 薄膜相比,对紫外光的透过率略有增加,这说明 POSS-NH<sub>3</sub>Cl 的增加使 PLA 薄膜的紫外光透过率增大,但影响并不显著。

PE 薄膜对紫外光的阻隔效果最差,明显低于其他 4 种薄膜,在紫外光谱范围内(波长 200~400 nm)的透过率基本超过 80%,在可见光谱范围内(波长 400~800 nm)也具有高透明性。

在分析了不同类型包装膜的紫外透过特性的基础上,室外阳光直射条件下,对不同类型的包装膜所包装的鲜切胡萝卜片中胡萝卜素含量的变化进行 5 次测量,将测量结果去除最大值与最小值后取平均值,见表 1。

由表 1 可以看出,实验开始前,胡萝卜中胡萝卜素的含量为 3.98 mg/(100 g)。经过 7 d 的实验放置,5 种包装膜中胡萝卜的胡萝卜素均有所下降。对实验

表 1 胡萝卜素含量的变化  
Tab.1 Changes of carotene content mg/(100 g)

薄膜种类	实验前	实验第 3 天	实验第 7 天
PE	3.98	3.11	2.05
PLA	3.98	3.53	3.02
POSS-PLA	3.98	3.59	3.07
SR	3.98	3.64	3.23
改性 SR	3.98	3.77	3.39

结果进行方差分析,得到  $F$  值为 175.71,  $F_{0.01}$  为 5.99,  $F$  值大于  $F$  临界值,因此包装膜的不同对胡萝卜素含量的影响极显著。其中 PE 薄膜包装下胡萝卜的胡萝卜素下降最为明显,从 3.98 mg/(100 g)减少到了 2.05 mg/(100 g);PLA 薄膜包装下的胡萝卜,其胡萝卜素从 3.98 mg/(100 g)减少到 3.02 mg/(100 g);POSS 改性 PLA 薄膜包装胡萝卜的胡萝卜素减少到 3.07 mg/(100 g);SR 薄膜包装胡萝卜的胡萝卜素减少到 3.23 mg/(100 g);改性 SR 薄膜保护下胡萝卜的胡萝卜素下降最少,从 3.98 mg/(100 g)减少到了 3.39 mg/(100 g),存放 7 d 后胡萝卜素的流失并不明显。由此得出,改性 SR 薄膜对胡萝卜素的保护效果最好,PE 薄膜对胡萝卜素的保护效果最差,PLA 薄膜、POSS 改性 PLA 薄膜、SR 薄膜对胡萝卜素的保护效果依次增强。这一结果与包装膜的紫外透过特性基本一致,再次证明紫外线是导致胡萝卜素含量下降的重要因素。对紫外光阻隔效果好的包装材料,胡萝卜中胡萝卜素的下降较少。

通过观察还发现,胡萝卜原本呈鲜亮的橙黄色,放置后颜色逐渐变暗,PE 薄膜包装下的胡萝卜颜色最暗,另外 4 种包装的胡萝卜颜色差异不大。5 种包装下的胡萝卜在实验期间白度值均逐渐增加,其中 PLA 薄膜包装下的胡萝卜白层最为明显,PE 薄膜包装下的胡萝卜白层最少,另外 3 种包装下的胡萝卜均有白层形成,但相差不大。阳光直射加速了胡萝卜的失水以及褐变,且随着放置时间的延长,胡萝卜均出现了不同程度的果肉老化、咀嚼性降低、硬度降低等现象。

采用称量法分别测得第 7 天 5 种包装下胡萝卜的质量损失率,结果见表 2。对实验结果进行方差分析,得到  $F$  值为 150.91,  $F_{0.01}$  为 11.39,  $F$  值大于  $F$  临界值,因此包装膜的不同对胡萝卜的质量损失率影响显著。由表 2 可知,PE 薄膜对鲜切胡萝卜的保湿性能好,胡萝卜的质量损失率仅为 0.3%,明显优于其他 4 种包装。PLA 薄膜及 POSS-PLA 薄膜失水率最高,其包装的胡萝卜质量损失率分别为 0.87%和 0.8%。SR 薄膜和改性 SR 薄膜保湿率居中,其包装的胡萝卜质量损失率分别为 0.71%和 0.66%。POSS-PLA 薄膜和改性 SR 薄膜对水分的保有率优于未改性的 PLA 薄



膜和 SR 薄膜, 这可能是由于改性剂的加入提高了高分子膜的交联密度, 减少了通道数目或者延长了通道的长度, 这 2 个因素均能抑制小分子的通过, 从而有效提高了包装材料的保湿效果, 使其能更好地防止水分流失。

表 2 5 种包装膜下胡萝卜的质量损失率  
Tab.2 Weight loss rate of carrot under five kinds of packaging film

薄膜种类	质量损失率/%
PE	0.30
PLA	0.87
POSS-PLA	0.80
SR	0.71
改性 SR	0.66

### 3 结语

通过实验证明, 在同一测试条件下, 5 种不同类型的包装膜对鲜切胡萝卜的保护效果有显著差异。紫外线是导致胡萝卜素含量变化的重要因素, 因此包装膜的紫外透过特性影响鲜切胡萝卜的胡萝卜素保留情况, 对紫外光阻隔效果好的包装材料, 胡萝卜中胡萝卜素的保有率较高。通过对比实验所选用的 5 种包装膜的紫外光谱发现, SR 薄膜的抗紫外光性能优于 PLA 薄膜和 PE 薄膜, 能对胡萝卜素进行更好的保护, 因此其胡萝卜素含量变化最小。由以上内容可推断, 添加改性填料的 SR 薄膜抗紫外性能显著提高, 对紫外光的阻隔性更好, 可用于胡萝卜等对紫外光敏感的产品包装。在对比不同包装膜保护作用下鲜切胡萝卜的质量损失率后发现, PE 薄膜的保湿效果最佳。文中研究仅得出改性 SR 薄膜的抗紫外性能优良、PE 薄膜对水蒸气的阻隔性最佳的结果, 实际包装应用中可以采取改性 SR 薄膜与 PE 薄膜组合使用的方法, 从而更好地保护鲜切胡萝卜的性质。

### 参考文献:

[1] 高学文. 新型塑料包装薄膜[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.  
GAO Xue-wen. New Plastic Packaging Film[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

[2] 李锦花, 陈丹超, 马明. 透明食品包装材料防紫外性能的检测与评价[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 10—12.  
LI Jin-hua, CHEN Dan-chao, MA Ming. Test and Evaluation of UV-shielding Performance for Transparent Food Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 10—12.

[3] 马跃, 胡文忠, 程双, 等. 鲜切胡萝卜的生理生化及品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2009(12): 352—355.

MA Yue, HU Wen-zhong, CHENG Shuang, et al. Study on the Changes in Physic-biochemistry and Quality of Fresh-cut Carrot[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009(12): 352—355.

[4] OU Y, HU Y, GUO K. The Study of Physiological Change in Fresh-cut Carrot[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(11): 71—73.

[5] 郑林彦, 韩涛, 李丽萍. 国内切割果蔬的保鲜研究现状[J]. 食品科学, 2005, 26(S): 125—127.  
ZHENG Lin-yan, HAN Tao, LI Li-ping. The Present Situation of Study on Fresh-cut Products[J]. Food Science, 2005, 26(S): 125—127.

[6] PERKINS-VEAZIE P, COLLINS J K. Flesh Quality and Lycopene Stability of Fresh-cut Watermelon[J]. Postharvest Biology & Technology, 2004, 31(2): 159—166.

[7] 杨娜, 王清, 郭李维, 等. 不同包装处理对胡萝卜贮藏期间品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(8): 1649—1653.  
YANG Na, WANG Qing, GUO Li-wei, et al. The Effect of Different Packaging on Quality of Carrot during Storage[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(8): 1649—1653.

[8] 任丽芳, 李军. 贮藏温度对鲜切胡萝卜品质的影响[J]. 食品科技, 2014, 35(5): 30—33.  
REN Li-fang, LI Jun. Effect of Storage Temperature on Quality of Fresh-cut Carrots[J]. Food Science and Technology, 2014, 35(5): 30—33.

[9] 李帅, 钟耕辉, 刘玉梅. 多糖类可食性膜的研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(3): 309—316.  
LI Shuai, ZHONG Geng-hui, LIU Yu-mei. Progress in Edible Films Prepared with Polysaccharides[J]. Food Science, 2018, 39(3): 309—316.

[10] 任丽芳. 鲜切胡萝卜贮藏期间品质变化及其保鲜技术研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2014.  
REN Li-fang. Study on the Storage Qualities and Preservation Technology of Fresh-Cut Carrots[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science and Technology, 2014.

[11] 田欣, 陈斌, 王勇, 等. 不同温度和薄膜包装对鲜切胡萝卜货架期品质变化的影响[J]. 食品工业科技, 2007(7): 184—185.  
TIAN Xin, CHEN Bin, WANG Yong, et al. Effect of Different Temperature and Film Packaging on the Quality Change of Fresh-cut Carrot during Shelf Life[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007(7): 184—185.

[12] 任丽芳, 李军, 国石磊, 等. 高氧气调包装对鲜切胡萝卜的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 254—257.  
REN Li-fang, LI Jun, GUO Shi-lei, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Quality of Fresh-cut Carrots[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(9): 254—257.

- [13] DU W X, AVENA-BUSTILLOS R J, MCHUGH T H. Effect of UV-B Light and Different Cutting Styles on Antioxidant Enhancement of Commercial Fresh-cut Carrot Products[J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(4): 1862—1869.
- [14] KIM S H, LEE J M, KIM S C, et al. Proposed Cytotoxic Mechanisms of the Saffron Carotenoids Crocin and Crocetin on Cancer Cell Lines[J]. *Biochemistry and Cell Biology*, 2014, 92(2): 105—111.
- [15] WANG C C, CHANG S C, BSTEPHEN I, et al. Isolation of Carotenoids, Flavonoids and Polysaccharides from *Lycium Barbarum L.* and Evaluation of Antioxidant Activity[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(1): 184—192.
- [16] 肖春玲. 加工对食品中维生素的影响[J]. *中国食物与营养*, 2002(2): 31—32.  
XIAO Chun-ling. The Impact of Processing on the Vitamins in Food[J]. *Chinese Food and Nutrition*, 2002(2): 31—32.
- [17] 郜海燕, 陈杭君, 穆宏磊, 等. 生鲜食品包装材料研究进展[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(10): 1—10.  
GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun, MU Hong-lei, et al. Research Progress of Fresh Food Packaging Materials[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2015, 15(10): 1—10.
- [18] 吴海清, 甄润英, 何新益, 等. 对比 PE 膜与微孔膜对冷藏青萝卜品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016(3): 127—130.  
WU Hai-qing, ZHEN Run-ying, HE Xin-yi, et al. A Comparative Study on Quality of Green Radish Treated by PE Film and Micro-perforated Film at Cold Storage[J]. *Food and Machinery*, 2016(3): 127—130.
- [19] 李宣, 杜纪富. 聚乳酸膜的研究进展[J]. *广州化工*, 2017, 45(15): 21—23.  
LI Xuan, DU Ji-fu. Research Progress on Polylactic Acid Film[J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2017, 45(15): 21—23.
- [20] 宋晓丽, 张晓惠, 黄媚章. 聚乳酸改性研究及其在包装领域的应用[J]. *包装世界*, 2013(6): 26—28.  
SONG Xiao-li, ZHANG Xiao-hui, HUANG Meizhang. Polylactide Modification and Its Application in Packaging[J]. *Packaging World*, 2013(6): 26—28.
- [21] 周晓媛, 蔡佑星, 邓靖, 等. 果蔬保鲜膜的保鲜机理与研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(11): 148—152.  
ZHOU Xiao-yuan, CAI You-xing, DENG Jing, et al. Advance and Mechanism of Preservative Film for Fruit and Vegetable[J]. *Food Research and Development*, 2008, 29(11): 148—152.
- [22] 毕大鹏, 李家政, 潘明旺. 聚乙烯/硅橡胶共混膜的制备及其透气性能[J]. *材料科学与工程学报*, 2011, 29(6): 935—939.  
BI Da-peng, LI Jia-zheng, PAN Ming-wang. Preparation and Gas Permeability of Polyethylene/Polydimethylsiloxane Blend Film[J]. *Journal of Materials Science & Engineering*, 2011, 29(6): 935—939.
- [23] GU Wen-juan, HE Zi-fen, ZHANG Xiao-hui. POSS Modified Polylactic Acid Film[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2014, 41(S): 1—5.
- [24] GU Wen-juan, GUO Zhi-min, NAN Peng-tao, et al. Hollow Silica Sphere as Filler for RTV-1 Silicone Rubber[J]. *Emerging Materials Research*, 2017, 6(1): 55—59.
- [25] 孟令芝, 龚淑玲, 何永炳. 有机波谱分析[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2010.  
MENG Ling-zhi, GONG Shu-ling, HE Yong-bing. *Organic Spectrum Analysis*[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2010.
- [26] 周宁琳. 有机硅聚合物导论[M]. 北京: 科学出版社, 2000.  
ZHOU Ning-lin. *Introduction to Silicone Polymers*[M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [27] HOBZA P, HAVLAS Z. Improper, Blue-shifting Hydrogen Bond[J]. *Theoretical Chemistry Accounts*, 2002, 108(6): 325—334.
- [28] CUSTELCEAN R, JACKSON J E. Dihydrogen Bonding: Structures, Energetics, and Dynamics[J]. *Chemical Reviews*, 2001, 101(7): 1963—1980.