# 胺基载体选择性渗透膜对西兰花品质的影响

万哲[1]，卢立新[1,2]，丘晓琳[1,2]
（1.江南大学，无锡 214122；2.江苏省食品先进制造装备技术重点实验室，无锡 214122）

**摘要：目的** 研究自制胺基载体选择性渗透膜对西兰花品质的影响。**方法** 以自制选择性渗透膜为包装材料，纯 LDPE 薄膜处理、硅藻土改性基膜处理、自然放置为对照，于室温密封储存，定期测定各种包装材料内西兰花的品质变化。根据贮存期间各包装材料内西兰花的质量损失率、色差、可溶性固形物含量、硬度、褐变度、维生素 C 含量等各项指标的变化来评价所制备选择性渗透膜的保鲜性能。**结果** 贮存 9 d 后，自制选择性渗透膜包装内西兰花的质量损失率、色差、可溶性固形物含量、硬度、褐变度、维生素 C 含量等指标均高于纯 LDPE 薄膜、基膜和自然放置对照组，但褐变度低于对照组。**结论** 自制选择性渗透膜能够通过调节包装中 $CO_2$ 和 $O_2$ 的选择性渗透，有效控制果蔬呼吸速率，以达到延长储存期的目的。

**关键词：**选择性渗透膜；西兰花；理化指标
**中图分类号：**TB484.3 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2017)17-0008-05

## Effects of Perm-selective Membranes of Amine Carrier on Quality of Broccoli

*WAN Zhe*[1], *LU Li-xin*[1,2], *QIU Xiao-lin*[1,2]
(1.Jiangnan University, Wuxi 214122, China;
2.Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Wuxi 214122, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the effect of perm-selective membranes of amine carrier on the quality of broccoli. With the perm-selective membrane as the packaging materials, and the pure LDPE membrane treatment, treatment of modified basement membrane with diatomite and natural placement as the control group, the above-mentioned membranes were stored at the room temperature, and the quality change of broccoli wrapped in all kinds of packaging materials was regularly measured. According to the change of mass loss rate, chromatic aberration, total soluble solid, hardness, browning, vitamin C and other indicators of the broccoli in various packaging materials during the storage, the fresh-keeping performance of perm-selective membranes prepared was evaluated. After the 9 days' storage, the mass loss rate, chromatic aberration, total soluble solid, hardness, vitamin C and other indicators of the broccoli packaged in the self-made perm-selective membranes were higher than those of the control group in question, but the browning was lower than that of the control group. The perm-selective membranes can effectively control the respiratory rate of fruits and vegetables by regulating the selective permeation of $CO_2$ and $O_2$ in the package, so as to prolong the storage period.

**KEY WORDS:** perm-selective membranes; broccoli; physical-chemical indicators

西兰花的营养价值非常丰富[1]，富含的营养成分十分全面，主要包括维生素、蛋白质、糖类及矿物质等[2—3]，而且含量远超过了其他同类蔬菜[4—5]。西兰花含多种有益成分，具有较高的营养和保健价值，是人们十分喜食的一种蔬菜[6—8]。由于采后的西兰花呼吸速率较高，导致其代谢十分旺盛，因此采后储存时很容易发生褐变褪绿、腐烂等现象，造成营养成分损失、功能下降等问题[9—13]。这里以西兰花为实验对象，以自制选择性渗透膜为包装材料，将纯 LDPE 薄膜处理、硅藻土改性基膜处理和自然放置作为对照，定期

**收稿日期：**2017-06-03
**基金项目：**国家重点研发计划（2016YFD0400701）
**作者简介：**万哲（1990—），男，江南大学硕士生，主攻包装材料。
**通讯作者：**卢立新（1966—），男，博士，江南大学教授、博导，主要研究方向为食品包装技术与安全、包装系统与装备等。

测定各种包装材料内西兰花的品质变化来评价所制备选择性渗透膜的保鲜性能。

## 1 实验

### 1.1 材料和仪器

主要材料：无水乙醇、乙酸钠、冰乙酸、偏磷酸、2, 6-二氯靛酚钠、二甲苯、抗坏血酸，均购自国药集团化学试剂有限公司；西兰花，购自天惠超市；选择性渗透膜、LDPE 薄膜、基膜，均采用共挤流延法自制。

主要仪器：JZL-C025 搅碎料理机，美的股份有限公司；SF-300B 连续封口机，中国华联机械有限公司；CR-400 色彩色差计，柯尼卡美能达办公系统（中国）有限公司；UV-1800 紫外分光光度计，日本岛津公司；PR-101α 数字式手持折光仪，上海光学仪器五厂；RJ-TDL-50A 台式大容量离心机，无锡市瑞江分析仪器有限公司；WH-3 漩涡微型混合仪，沪西上海仪器厂有限公司。

### 1.2 自制选择性渗透膜的制备

将硅藻土过筛，再与 LDPE 树脂共混后经过造粒机进行造粒，制备硅藻土改性的粒料，随后通过挤出流延机进行流延法制备硅藻土改性的基膜。其中造粒和流延成膜的温度区间设置为 170~185 ℃。配置质量分数为 11%的 PVA 水溶液，并在 60 ℃磁力搅拌器上搅拌 12 h，使得 PVA 完全溶解，随后在溶解的 PVA 溶液中分别加入乙二醇胺溶液，制备成 20%（PVA 与乙二醇胺的质量比为 5∶1）胺基载体涂膜液。在胺基载体的涂布液中加入质量分数为 0.7%的戊二醛溶液（以 PVA 的质量为参照），继续搅拌 48 h。然后冷却至室温，静置 24 h。将经电晕处理的基膜裁剪成 120 mm×120 mm 的大小。将涂布液与裁剪成规定大小的基膜进行旋转涂布复合，每次取 5 mL。最后将上述制备的自制选择性渗透膜（改性膜）放置在烘箱中处理 24 h 后待用。

### 1.3 性能测试方法

准备纯 LDPE 膜、基膜以及改性膜分别热封为大小为 150 mm×150 mm 的包装袋。装入分切好的质量控制在 50~60 g、大小差异较小的西兰花，另取一部分西兰花敞开静置作为空白对照组。

1）贮存期间西兰花质量损失率的测定。每隔 1 d 对各包装形式的西兰花质量进行称量，直到西兰花发生腐烂变质等现象。计算各包装形式中西兰花的质量损失率。

2）贮存期间西兰花的色差测定。标记每袋包装内西兰花的花蕊为色差测试点，每隔 1 d 分别对标记的色差测试点进行扫描测定，记录色差变化值。每袋包装选取 3 个点为色差测试点，并选取 3 个试样测试结果的平均值作为最终结果。

3）贮存期间西兰花可溶性固形物含量的测定。按照 GB/T 12295—1990[14]所述蔬菜制品可溶性固形物含量的测定方法进行测定。每袋包装取 15 g 西兰花与 30 g 水进行搅碎处理，过滤处理后用 PR-101α 型数字式手持折光仪进行测定，测试前需采用蒸馏水对仪器进行校准。每个样品测试 3 次，选取 3 个试样测试结果的平均值作为最终结果。

4）贮存期间西兰花硬度的测定。选取直径为 30 mm、高度为 25 mm 的西兰花花球茎测试样品，选取圆柱形探头 P/5 进行 TPA 测试，时间间隔为 3 s，测试速度为 180 mm/min，变形量为 60%。每组选取 5 个样品进行测试，并选取 5 个样品测试结果的平均值作为最终结果。

5）贮存期间西兰花褐变度的测定。取贮存期内的西兰花样品 10 和 50 g 以及体积分数为 95%的乙醇于搅碎料理机中进行搅碎处理。将混合的液体在高速离心机上以转速 1500 r/min 离心 10 min，上层清液用滤纸过滤。紫外分光光度计测试波长设置为 420 nm，在该波长下测定的吸光值即为褐变指数。每个样品测试 3 次，选取 3 个样品测试结果的平均值作为最终结果。

6）贮存期间西兰花维生素 C 含量的测定。按照 GB/T 6195—1986[15]所述 2, 6-二氯靛酚滴定法测定西兰花中维生素 C 的含量，用体积分数为 2%的偏磷酸溶液作为空白对照，西兰花样品测试时采用体积分数为 2%的偏磷酸溶液稀释 25 倍，每次染料吸取 3 mL，每个样品测试 3 次，选取 3 个试样测试结果的平均值作为最终结果。

## 2 结果与讨论

### 2.1 质量损失率

在整个贮存期间内，西兰花的质量损失率变化见图 1。4 个试验组的西兰花质量损失率均呈现增大的趋势。其中空白对照组的变化最剧烈，在第 3 天就达到了 2.28%，远高于其他 3 组，在第 9 天达到最大值 32.37%。空白对照组的西兰花在第 3 天已经开始发生大面积黄化的情况，商业价值严重受损，第 9 天时西兰花已经全面黄化，花蕾严重凋落和萎缩。这主要是因为在没有任何包装的情况下，西兰花的呼吸作用剧烈，失去大量水分。其他 3 组在试验的第 1 天质量损失率均较小，LDPE、基膜和改性膜处理组在第 9 天达到最大值，分别为 0.68%，0.58%，0.44%，远低于空白对照组。这主要是因为相比于空白对照组，包装膜的保护作用减少了水分的流失，降低了西兰花的呼吸作用。水分流失是导致质量损失率增大的最主要因

素，但是由于 3 个试验组包装膜在透湿性上的差异并不显著，因此试验组之间的质量损失率差异不显著。

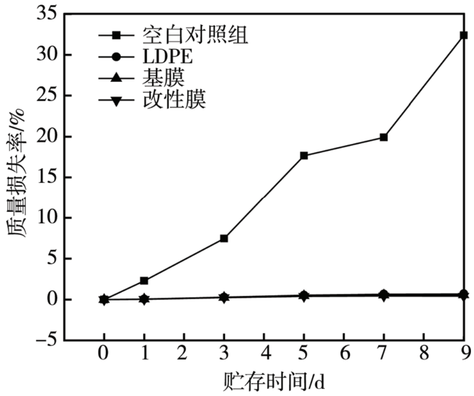


图 1 贮存期内西兰花质量损失率的变化
Fig.1 Change of weight loss rate in storage period

## 2.2 色差

在整个贮存期间西兰花色差的变化见图 2。西兰花的颜色变化与西兰花的品质有着密切的联系，当色差较大时，即西兰花出现大面积黄化时，整个西兰花的食用价值和商业价值都得到极大程度的降低。试验过程中，4 个试验组的西兰花色差变化均呈现逐渐增大的趋势。其中空白对照组的变化最剧烈，在第 3 天就达到了 13.98%，远高于其他 3 组，并在第 3 天出现了大面积变黄的现象，这主要是因西兰花中叶绿素的降解和维生素 C 的氧化所致。在第 7 天，空白对照组西兰花的色差达到最大值 17.71%，随后波动不显著。其他 3 组均在第 9 天达到最大色差，分别为 7.03%（LDPE），11.51%（基膜），4.58%（改性膜）。其中经 LDPE 膜和改性膜包装的西兰花试验期间的色差变化均小于 7%，即变化不显著，且经改性膜包装的西兰花色差变化优于 LDPE 膜。基膜包装的西兰花在第 5 天时色差超过了 7%，开始出现黄化的现象，这可能是因为基膜的氧气渗透系数高，呼吸作用强。

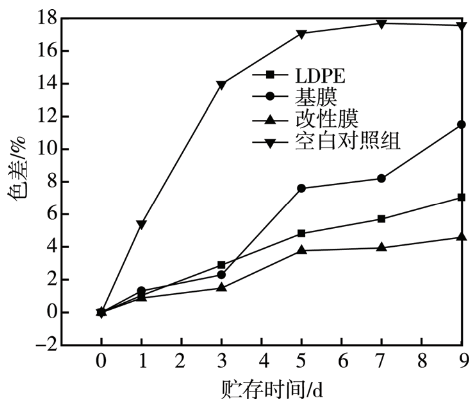


图 2 贮存期内西兰花色差的变化
Fig.2 Change of chromatic aberration in storage period

## 2.3 可溶性固形物含量

在整个贮存期间内，西兰花可溶性固形物含量的变化见图 3。西兰花的可溶性固形物主要反映西兰花的成熟程度。随着贮存时间的延长，4 个试验组的可溶性固形物含量均表现为减少的趋势，主要是因为西兰花的呼吸作用消耗了组织结构。其中空白组可溶性固形物含量变化最剧烈，由初始的 9.5%到第 9 天时下降为 5.0%，降幅达到 50%，营养损失最严重。其他 3 组在第 9 天时，分别下降了 34.21%（LDPE），28.95%（改性膜），44.74%（基膜），改性膜的保鲜效果最优，LDPE 膜次之，基膜最差，这一结果也与色差变化一致。3 个试验组的可溶性固形物含量整体呈下降的趋势，但在第 3 天出现了可溶性固形物含量略微升高或是不变的情况，这可能是因为西兰花果实得到进一步成熟，随后的下降主要是因为西兰花中的糖类物质与氨基类物质发生美拉德反应时被消耗。

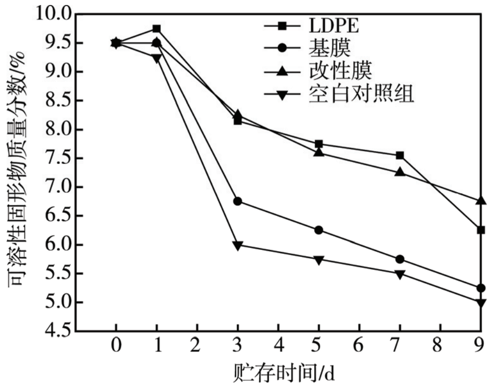


图 3 贮存期内西兰花可溶性固形物质量分数的变化
Fig.3 Change of TSS in storage period

## 2.4 硬度

在整个贮存期内，西兰花硬度的变化见图 4。西兰花的硬度与其咀嚼性密切相关，随着贮存时间的延长，4 个试验组的硬度均呈降低趋势，主要是因为西兰花的水分蒸发以及呼吸作用消耗了组织结构。其

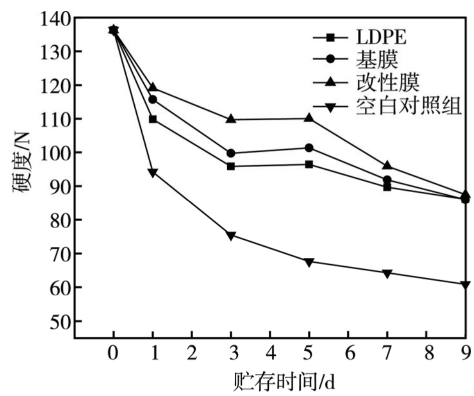


图 4 贮存期内西兰花硬度的变化
Fig.4 Change of hardness in storage period

中空白组硬度变化最剧烈，贮存期间硬度降低了55.35%。其他 3 组在第 9 天时分别下降了 36.82%（LDPE），35.83%（改性膜），36.91%（基膜），改性膜的咀嚼性最优，LDPE 膜次之，基膜最差。三者间的差异不是很显著，这一结果也与西兰花的质量损失率变化一致，这可能是因为西兰花硬度的变化主要是由西兰花失水所致。

### 2.5　褐变度

在整个贮存期间内，西兰花褐变度的变化见图 5。西兰花褐变度的变化主要来自于西兰花在贮存过程中氨基酸、糖类等物质发生了非酶褐变生成褐变素，从而导致西兰花的褐变程度加深。随着贮存时间的延长，4 个试验组的褐变度均表现为升高的趋势。其中空白组褐变度变化最剧烈，贮存期间升高了171.68%。其他 3 组在第 9 天时分别升高了 104.29%（LDPE），53.57%（改性膜），164.60%（基膜），改性膜的营养损失最少，LDPE 膜次之，基膜最差。

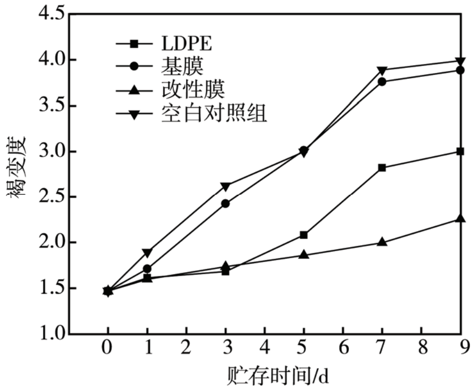


图 5　贮存期内西兰花褐变度的变化
Fig.5 Change of browning index in storage period

### 2.6　维生素 C 含量

在整个贮存期间内，西兰花维生素 C 含量的变化见图 6。维生素 C 含量是衡量果蔬的一项重要指标，西兰花中含有较多的维生素 C，因此将维生素 C 含量的变化作为衡量西兰花保鲜效果的评价指标。随着贮存时间的延长，4 个试验组的维生素 C 含量的变化均呈降低的趋势，主要是因为西兰花的呼吸作用消耗了组织结构中的维生素 C。其中空白组维生素 C 含量的变化最剧烈，贮存期间维生素 C 含量降低了 78.84%。空白组在第 3 天时维生素 C 含量变化最大，与西兰花出现大面积黄化的时间一致。其他 3 组在第 9 天时分别下降了 43.82%（LDPE），36.85%（改性膜），56.84%（基膜），改性膜的保鲜效果最优，LDPE 膜次之，基膜最差。这一结果也与西兰花的色差变化一致，有可能是因为西兰花呼吸作用的强弱对维生素 C 含量的变化影响最大。自制的选择性渗透膜对西兰花的呼吸作用抑制最显著，这可能是因为选择性渗透膜对 $CO_2$ 和 $O_2$ 的选择性渗透，可以有效控制果蔬呼吸速率，以达到延长储存期的目的。

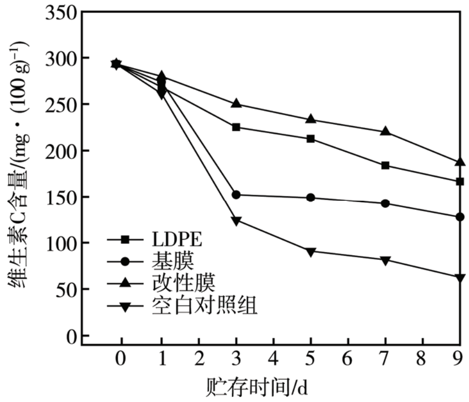


图 6　贮存期内西兰花维生素 C 含量的变化
Fig.6 Change of vitamin C in storage period

## 3　结语

以西兰花为实验对象，以改性膜为包装材料，将纯 LDPE 薄膜包装、基膜包装和自然放置作为对照组，于室温下密封储存，定期测定各包装材料内西兰花的品质变化。根据贮存期间各包装材料内西兰花的质量损失率、色差、可溶性固形物含量、硬度、褐变度、维生素 C 含量等各项指标的变化来评价所制备选择性渗透膜的保鲜性能。试验结果表明，贮存 9 d 后，改性膜包装内西兰花的质量损失率、色差、可溶性固形物含量、硬度、褐变度、维生素 C 含量等指标均高于纯 LDPE 薄膜、基膜和自然放置对照组，但褐变度低于对照组。改性膜能够通过调节包装中 $CO_2$ 和 $O_2$ 的选择性渗透，可有效控制果蔬呼吸速率，以达到延长储存期的目的。所制备的选择性渗透膜能够有效延长呼吸速率较高的果蔬的货架期。

**参考文献：**

[1]　王晓梅，崔坤，陆艳玲．中国西兰花应用价值及生产、出口前景分析[J]．中国农学通报，2008，24(11): 478—480.
WANG Xiao-mei, CUI Kun, LU Yan-ling. Overview of Applicable Value and Production and Export Prospect of Chinese Broccoli[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(11): 478—480.

[2]　王蓉，何磊．西兰花中的抗癌成分及其活性的初步研究[J]．食品科学, 2009, 30(7): 243—245.
WANG Rong, HE Lei. Primary Study on Anti-tumor Components in Broccoli and Their Bioactivity[J]. Food Science, 2009, 30(7): 243—245.

[3]　肖永清，田孟强．西兰花的高产栽培技术[J]．中国农技推广, 2004(4): 49—62.
XIAO Yong-qing, TIAN Meng-qiang. High Yield Cultivation Techniques of Broccoli[[J]. China Agricultural

Technology Extension, 2004(4): 49—62

[4] 罗勤. 蔬菜皇冠——西兰花[J]. 食品与健康, 2009(9): 34—35.
LUO Qin. Vegetable Crown: Broccoli[J]. Food and Health, 2009(9): 34—35.

[5] LI X Q, JI C, SUN Y Y, et al. Analysis of Synthetic Antioxidants and Preservatives in Edible Vegetable Oil by HPLC/TOF-MS[J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 692—700.

[6] 勾雪娇, 袁云香, 吴翠平, 等. 西兰花的实用价值分析[J]. 农产品加工, 2012(4): 72—73.
GOU Xue-jiao, YUAN Yun-xiang, WU Cui-ping, et al. Analysis of the Practical Value of Broccoli[J]. Farm Products Processing, 2012(4): 72—73.

[7] 丁云花, 简元才. 具有保健作用的营养蔬菜——青花菜[J]. 中国食物与营养, 2003(9): 47—49.
DING Yun-hua, JIAN Yuan-cai. Nutritious Vegetable with Health Care Function: Broccoli[J]. Food and Nutrition in China, 2003(9): 47—49.

[8] 孟丽媛, 王凤舞. 西兰花多酚提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2013(5): 62—68.
MENG Li-yuan, WANG Feng-wu. Study on Extraction Process and Antioxidant Activity of Broccoli Polyphenols[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013(5): 62—68.

[9] JONES R B, FARAGHER J D, WINKLER S. A Review of the Influence of Postharvest Treatments on Quality and Glucosinolate Content in Broccoli (Brassica Oleraea Var. Italiea) Heads[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(1): 1—8.

[10] MA G, WANG R, WANG C G, et al. Effect of 1-Methylcyclapropene on Expression of Genes for Ethylene Biosynthesis Enzymes and Ethylene Receptors in Post-Harvest Broccoli[J]. Plant Growth Regulation, 2009, 57(3): 223—232.

[11] 徐斐燕, 蒋高强, 陈健初. 臭氧在鲜切西兰花保鲜中应用的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(5): 254—257.
XU Fei-yan, JIANG Gao-qiang, CHEN Jian-chu. Study on Application of Ozone in Preservation of Fresh Cut Broccoli[J]. Food Science, 2006, 27(5): 254—257.

[12] 庄荣福, 胡维冀, 林光荣, 等. 辐照对青花菜生理生化指标及保鲜效果的影响[J]. 亚热带植物科学, 2002, 31(3): 16—18.
ZHUANG Rong-fu, HU Wei-ji, LIN Guang-rong, et al. The Effect of Irradiation on Physiological and Biochemical Indexes and Preservation of Broccoli[J]. Subtropical Plant Science, 2002, 31(3): 16—18.

[13] GNANASEKHARAN V, SHEWFELT R L, CHINNAN M S. Detection of Color Changes in Green Vegetables[J]. Journal of Food Science, 1992, 57(7): 149—154.

[14] GB/T 12295—1990, 水果, 蔬菜制品可溶性固形物含量的测定[S].
GB/T 12295—1990, Fruit and Vegetable Products: Determination of Soluble Solids Content[S].

[15] GB/T 6195—1986, 水果, 蔬菜维生素 C 含量测定法 (2, 6-二氯靛酚滴定法)[S].
GB/T 6195—1986, Fruits and Vegetables: Determination of Vitamin C Content (2, 6-Dichlorindophenol Titration)[S].