

第 17 届全国包装工程学术会议专栏

功能集成保鲜包装设计在小油菜保鲜中的应用

李娟萍, 曹玥, 李东立, 许文才, 廖瑞娟, 石佳子

(北京印刷学院 印刷包装材料与技术北京市重点实验室, 北京 102600)

摘要: **目的** 以实验室自制功能薄膜 A (高透湿性薄膜) 和功能薄膜 E (高透氧、高透二氧化碳薄膜) 为原料, 运用多功能集成设计理论, 设计 2 种双功能集成保鲜包装袋, 探索评价这种功能集成保鲜包装对小油菜保鲜的影响。**方法** 以小油菜作为保鲜对象, 评价 2 款双功能集成保鲜袋对包装袋内顶空气体、小油菜外观品质、维生素 C 含量、总可溶性固形物含量、质量损失率的影响。**结果** 功能集成保鲜包装在常温下延长了小油菜的货架期, 货架期从裸放条件下的 2 d 延长到 4~5 d。**结论** 双功能集成保鲜袋可以有效减缓小油菜的呼吸速率, 减少营养成分的流失, 维持小油菜外观品质, 避免了凝露现象, 有效延长了小油菜的货架期。

关键词: 小油菜; 双功能集成; 保鲜包装; 功能薄膜; 高透湿薄膜

中图分类号: TS255.3; TB484.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)03-0001-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.03.001

Application of Design of Function Integrated Fresh-keeping Package in Preservation of Chinese Cabbage

LI Juan-ping, CAO Yue, LI Dong-li, XU Wen-cai, LIAO Rui-juan, SHI Jia-zi

(Beijing Key Laboratory of Printing and Packaging Materials and Technology, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The work aims to design two kinds of double function integrated fresh-keeping packages, and discuss and evaluate the effects of such function integrated fresh-keeping package on the Chinese cabbage by applying the multi-function integrated design theory, with the functional film A (film with high water vapor permeability) and functional film E (film with high oxygen permeability and carbon dioxide permeability) prepared by the laboratory as the raw materials. With the Chinese cabbage as the preservation object, the effects of two types of double function integrated fresh-keeping packages on the headspace gas, appearance quality of Chinese cabbage, contents of VC and total soluble solid, and the mass loss rate were evaluated. The double function integrated fresh-keeping package prolonged the shelf life of the Chinese cabbage at room temperature. The shelf life was extended from 2 d (when exposed) to 4~5 d. The double function integrated fresh-keeping package can effectively slow down the respiratory rate, reduce the loss of nutritional ingredient, maintain the appearance quality and avoid the condensation of Chinese cabbage, thus effectively prolonging its shelf life.

KEY WORDS: Chinese cabbage; double function integrated; fresh-keeping package; functional film; film having high water vapor transmission rates

收稿日期: 2017-11-13

基金项目: 国家自然科学基金 (31471653); 北京市教委 2011 协同创新项目 (04190116008); 北京印刷学院科研项目 (04190117019)

作者简介: 李娟萍 (1992—), 女, 北京印刷学院硕士生, 主攻材料科学与工程。

通信作者: 李东立 (1967—), 男, 北京印刷学院教授, 主要研究方向为材料加工。

小油菜又名青菜、小白菜等,其栽培历史悠久,种植地域广阔^[1],采摘后易发生褪绿黄化、失水萎蔫和霉变腐烂等问题^[2],很容易失去食用价值,因此其保鲜难度较大。如何降低小油菜的呼吸强度,输送适量的氧气供小油菜呼吸,及时排出其呼吸生成的二氧化碳和水分是实现保鲜的关键。低温保鲜是最广泛、最有效的保鲜方法^[3],贮存温度越低,果蔬的呼吸速率越慢,其水分和营养成分流失越慢。甲基环丙烯处理可以抑制小油菜的呼吸作用,降低其维生素C含量、可滴定酸含量、总可溶性固形物含量,延缓硬度降低等,具有更明显的保鲜效果^[1,4]。小油菜带根低温冷藏(0℃,相对湿度≥90%)保鲜,可延长小油菜贮藏期至42d,几乎为常规不带根贮存保鲜期的2倍^[5]。在LDPE树脂中添加抗菌剂OBPA(10,10'-氧代双吩恶砹)^[6],得到的保鲜膜可明显降低小油菜的黄化率。在聚乙烯中添加对羟基苯甲酸丙酯^[7]制备的保鲜袋具有明显的防霉效果,能有效减缓小油菜营养物质的损失。

气调包装MAP^[8-9]是目前最有效的油菜保鲜方法,其中CO₂体积分数为100%的主动气调包装^[10]显著降低了小油菜上的嗜温微生物的总量。Barbosa认为小油菜的最佳保存条件为体积分数为60%的O₂+体积分数为40%的CO₂,与目前使用的商业保存条件相比,其货架期延长了近12d^[11-12]。利用分子筛改变聚乙烯薄膜的透气性,形成一个较低氧气浓度(与空气相比)、较低二氧化碳浓度的气调组分,常温下小油菜货架期可达3d,在6℃冷藏下小油菜的保鲜期可达13d,但是该保鲜袋的透湿性较差,在薄膜表面有水雾出现^[13-14]。为了提高聚乙烯(PE)薄膜的透湿性,甚至在聚乙烯保鲜袋上开孔,防止袋内凝露^[15],但这些微孔也会让氧气进入,增加小油菜的呼吸强度,水量增加,不能从根本上解决保鲜袋的凝露问题。

综上所述,小油菜保鲜多使用PE保鲜袋,PE保鲜袋具有较高的透氧能力,厚度为10μm左右的PE薄膜的透氧率可以达到几万mL/(m²·Pa·d),完全可以满足保鲜袋内小油菜有氧呼吸的需求,但是这种薄膜的透湿性很低,一般小于20g/(m²·d),不能迅速从保鲜袋内移除小油菜呼吸产生的水分,造成水分蓄积,薄膜表面出现凝露现象,这种高湿度的环境大大提高了细菌的滋生速率,造成小油菜腐烂。

为了从根本上解决保鲜袋凝露问题,文中研究提出利用2种功能薄膜集成的方法解决这一难题,利用自制的高透氧功能薄膜E和一种高透湿性薄膜A,根据小油菜常温下的呼吸速率,依据文中提出的多功能集成设计理论,计算所需E和A这2种功能薄膜的面积,在计算出的EA功能薄膜面积比±20%的范围内,热拼接成2组EA双功能集成保鲜袋,并与裸放组进行对比,

评价该双功能集成保鲜袋对小油菜的保鲜效果。

1 实验

1.1 功能薄膜制备

A膜为高透湿功能薄膜,其水蒸气透过率(WVTR)为80g/(m²·d),氧气透过率(OTR)为5L/(m²·atm·d),1atm=101325Pa,A膜属于一种PE改性薄膜,薄膜的制备工艺参照ZL201010532453.0^[16]。E膜为高透氧、高透二氧化碳功能薄膜,薄膜的OTR达到170L/(m²·atm·d),二氧化碳透过率(CO₂TR)为1000L/(m²·atm·d),WVTR为9g/(m²·d),该功能薄膜的制备方法参照ZL201210363822.7^[17]。

1.2 小油菜呼吸强度测试

在25℃的室温条件下,用不锈钢金属罐(容积为V₂)密封小油菜(小油菜体积为V₁,质量为m)10min后,抽取罐内顶空气体,用PAC CHECK 450EC(Mocon, Minneapolis, MN, USA)顶空分析仪测试罐内气体体积分数。25℃室温条件下小油菜呼吸速率R的计算为:

$$R = \frac{\varphi_c \times (V_2 - V_1) / m}{10 / 60} \quad (1)$$

式中:φ_c为CO₂的体积分数(%)。根据式(1)可测得在25℃的空气环境下,小油菜的呼吸强度(CO₂)为42mL/(kg·h)。

1.3 小油菜品质的测试

1.3.1 质量损失率

采用差重法,小油菜保鲜前的质量为m₀,保鲜后的质量为m₁,质量损失率W的计算式为:

$$W = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.2 外观评价

从北京市新发地蔬菜批发市场购买新鲜小油菜,此时感官指数为10;小油菜无腐烂,叶片无黄边出现,质量损失率低于5%,此时感官指数为9;质量损失率低于10%时,感官指数为8;当质量损失率低于15%,且小油菜叶片出现低于10%面积的黄边时,此时的感官指数为7;如果质量损失率低于20%,且2片叶片出现低于10%面积的黄边,其他叶片仍然保持青绿色,有清香味,无腐烂,此时的感官指数为6,属于市场可接受的品质底线;低于6分则视为失去商业价值。

1.3.3 营养成分分析

利用匀质机(Beckman J20-2)将100g小油菜和100g去离子水的混合物在15000r/min的条件下剪

切 20 min, 然后利用 pH 计测试得到蔬菜汁的 pH 值, 利用糖度计 (PR-101 α , Japan Atago Company) 测试蔬菜汁的总可溶性固形物 (TSS) 含量; 利用 2, 6-二氯酚测定蔬菜汁内维生素 C 的含量。

2 双功能集成保鲜包装设计

小油菜在采摘后, 在 2~4 °C 的空气环境下, 随着储存时间的延长, 其呼吸强度 (CO_2) 从 12 mL/(kg·h) 上升到 6 d 后的 60 mL/(kg·h), 随后逐渐降低, 12 d 时其呼吸强度为 30 mL/(kg·h)^[1]。由相关文献可知, 小油菜属于呼吸跃变性蔬菜, 在常温下小油菜的呼吸速率会高于低温条件。经过测试, 在 25 °C 的空气环境下, 常温下小油菜的呼吸强度 (CO_2) 为 42 mL/(kg·h) (82 mg/(kg·h)), 如果利用市场上的 PE 包装袋装 0.5 kg 小油菜, 需要包装袋的尺寸在 20 cm×15 cm 左右, 包装袋的总面积为 0.06 m², 如果维持小油菜正常的呼吸, 需制造包装袋的 PE 薄膜具有的 OTR 经计算至少需要达到 42 L/(m²·atm·d), 此时油菜刚好不会发生无氧呼吸; 在该呼吸强度下, 包装袋内 0.5 kg 小油菜呼吸生成水分 34 mg/h, 为了不让包装袋内出现凝露现象, 控制包装袋内相对湿度在 95% 左右, 如果包装袋外空气环境下相对湿度为 60%, 需要 PE 薄膜具有的 WVTR 经计算 (假设夏季平均环境相对湿度为 60%) 至少需要达到 39 g/(m²·d)。

根据上面的计算可知, 在 25 °C 下, 利用 PE 薄膜保鲜小油菜, 需要薄膜的 OTR 为 42 L/(m²·atm·d), 且其 WVTR 达到 39 g/(m²·d), 但目前市场上没有任何一款薄膜可以同时满足油菜透氧和透湿的要求。由此, 这里可以利用 2 种功能薄膜来设计一款多功能集成保鲜包装设计, 利用高透氧功能薄膜为保鲜包装供应足够的氧气, 并利用高透湿薄膜排除生成的水汽, 如果使用的原料薄膜的透氧和透湿能力很强, 则维持蔬菜有氧呼吸所需的功能薄膜的面积很小, 这样就可以在总面积为 0.06 m² 的保鲜袋中引入一定面积的抗菌功能薄膜^[18]和乙烯抑制^[19]或乙烯吸附功能薄膜^[20]。四功能集成保鲜包装见图 1, 其中 A 为高透湿功能薄膜, E 为高透氧、高透二氧化碳功能薄膜; AT 为抗菌功能薄膜; MCP 为缓释 1-甲基环丙烯 (乙烯抑制) 功能薄膜。该保鲜包装除了可以满足高呼吸强度蔬菜透氧和透湿需求外, 还具有缓释气相抗菌剂和乙烯抑制剂功能, 这种保鲜包装可以最大限度地维持蔬菜品质, 防止腐烂, 避免凝露问题的发生。

如果利用研制的 EA 功能薄膜来保鲜 0.5 kg 油菜, 需要保鲜包装以 34 mg/h 的速率排出果蔬呼吸生成的水分, 假设这些水分完全靠 A 功能薄膜提供 (后面提供该假设成立的原因), 需要功能薄膜 A 的面积 (S_A) 为 0.026 m²。维持 0.5 kg 油菜有氧呼吸, 需要

以 21 mL/h 的速率 (CO_2) 持续从外界提供氧气, 假设这些水分完全靠 E 功能薄膜提供 (后面提供该假设成立的原因), 需 E 功能薄膜的面积 (S_B) 为 0.006 m²。

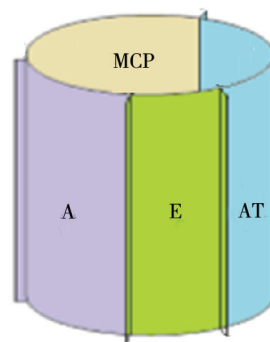


图 1 四功能集成保鲜包装

Fig.1 Four-function integrated fresh-keeping package

在该保鲜包装顶空中, 设定维持 O_2 的体积分数为 15%。功能薄膜 A 主要提供透湿性, 它对透氧也有贡献, 具体的贡献率经计算为 1.3%, 由此可见, 在多功能集成设计时, 计算保鲜包装的透氧能力只需考虑功能薄膜 E, 功能薄膜 A 对透氧的贡献可以忽略不计。功能薄膜 E 主要提供透氧性, 它对透湿也有贡献, 它对透湿的贡献率经计算为 2.4%, 由此可见, 在多功能集成设计时, 计算保鲜包装的透湿能力只需考虑功能薄膜 A, 功能薄膜 E 对透湿的贡献可以忽略不计。0.026 m² 的功能薄膜 A 和 0.001 m² 的功能薄膜 E 就可以满足 0.5 kg 油菜所需的透氧和透湿需求, 剩余 0.033 m² 可以用来设置其他功能薄膜 (AT, MCP)。AT 和 MCP 功能薄膜透氧和透湿能力均很小, 可以忽略不计, 因此在设计多功能集成保鲜包装时, 仅分别考虑 AT 的抗菌功能和 MCP 的抑制乙烯功能。

原料薄膜总面积为 0.06 m² 的保鲜袋, 保鲜 0.5 kg 油菜需要高透湿功能的 A 薄膜面积为 0.026 m², 约占总面积的 50%, 因此这里设计其中一款保鲜包装的原料薄膜组成为 50% 面积的 A 膜+50% 的 E 膜, 即由相同面积 (0.03 m²) 的 2 片薄膜 (A 和 E) 通过三边封制成保鲜袋, 标记为 A50E50。油菜的代谢发生跃变时, 其呼吸强度会是一般呼吸强度的 2 倍以上, 因此也可以考虑用 0.006 m² 的功能 E 薄膜+0.054 m² 的功能 A 薄膜组成另一款双功能集成保鲜包装, 标记为 A90E10。选择 A50E50 和 A90E10 这 2 款双功能集成保鲜包装 (袋) 来贮藏 0.5 kg 油菜, 测试对油菜的保鲜效果, 验证提出的多功能集成保鲜设计理论是否合理。

3 结果与讨论

3.1 顶空气体的变化

从北京市新发地蔬菜批发市场购买 50 kg 油菜, 去除病虫害、变色、带机械损伤的油菜, 将无机械损

伤、成熟度一致、着色均匀的油菜按 0.5 kg 标记为 1 个样品, 每 5 个平行样品为 1 组, 6 组为 1 个系列, 共设 3 个系列, 即 A90E10 和 A50E50 保鲜系列, 以及 1 个对照系列。将油菜装入 A90E10 和 A50E50 保鲜袋, 在 5 h, 1 d, 2 d, 4 d, 6 d 后取出 1 组 (5 个平行样品), 测试顶空气体组分, 观察各保鲜组薄膜内侧是否出现凝露现象。

对于 A50E50 保鲜组, 保鲜袋内氧气充足, 氧气体积分数稳定在 20.2%~20.4%之间, 接近外界的空气环境, 这与保鲜袋集成设计时的设想是一致的, 产生的二氧化碳也被迅速移除到保鲜袋外, 保鲜袋内二氧化碳体积分数维持在 0.5%左右, 在保鲜袋内装入油菜约 5 h 后, 氧气和二氧化碳浓度已经稳定, 在整个保鲜过程中, 没有出现呼吸跃变。油菜呼吸产生的水蒸气可以完全被占总面积 50%的 A 功能薄膜排除, 在保鲜袋的内侧始终没有发现水蒸气凝露现象, 油菜呼吸产生的水蒸气可以通过 A 膜完全移除到外界, 与集成设计时的设想一致。

对于 A90E10 保鲜组, 集成时设定保鲜袋顶空气体体积分数为 15%, E 功能薄膜的面积处于集成设计时 E 取值的底限。保鲜袋顶空气体浓度变化见图 2, 可以看出, 该保鲜袋内顶空气体浓度在第 1 天后趋于稳定, 以后一直维持在体积分数为 15.4%左右; 二氧化碳体积分数在第 1 天时趋于稳定, 第 2 天以后维持在 1.7%左右, 说明油菜的呼吸强度 (CO_2) 一直维持在 $42 \text{ mL}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 左右, 没有出现随贮存期延长油菜呼

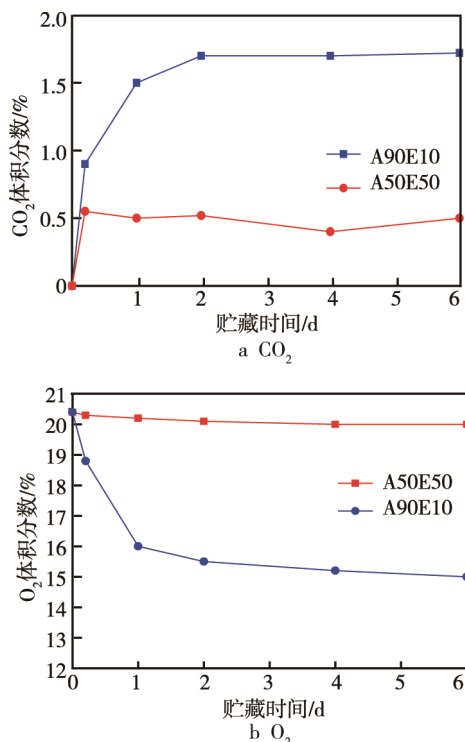


图2 保鲜袋顶空气体浓度变化
Fig.2 Headspace gas concentration changes in fresh-keeping package

吸强度缓慢提高^[1, 21]的现象。对于 A90E10 保鲜组, E 功能薄膜虽然仅占保鲜袋总面积的 10%, 但仍然能够提供足量的氧气供油菜进行有氧呼吸, 呼吸生成的二氧化碳也通过 E 薄膜排出。由于 A 功能薄膜面积占保鲜袋总面积的 90%, 呼吸产生的水蒸气可以完全排出, 保鲜袋内侧没有发生凝露现象, 与 A50E50 保鲜组相比, A90E10 保鲜组在保鲜袋内可形成较低的相对湿度环境。

3.2 油菜品质变化

采摘后的油菜仍然继续维持着代谢活动, 吸收保鲜袋顶空内的氧气, 利用机体内的水为代谢介质, 氧化机体内的糖类营养成分, 释放出更多的水分。在 25°C 下, 油菜的呼吸速率不受控制, 会缓慢增加, 并很快达到跃变期^[1, 21], 然后迅速成熟老化, 生成的水汽会通过油菜表面的气孔迅速挥发到周围环境中, 油菜的水分流失情况见图 3, 对于裸放对照组, 可以看出, 油菜的水分流失速率很快, 第 1 天时失水率为 8%, 第 2 天失水率为 18%, 萎蔫严重。

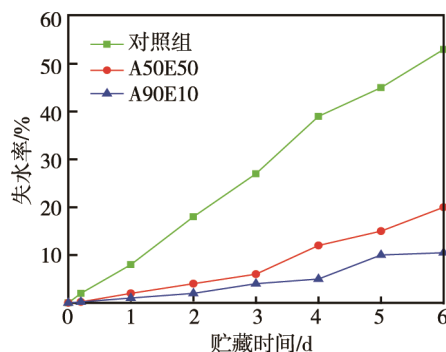


图3 油菜的水分流失情况
Fig.3 Water loss of Chinese cabbage

A90E10 保鲜组集成设计时透氧功能 E 膜的面积取设计值的低限, 油菜的呼吸速率 (CO_2) 控制在 $42 \text{ mL}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 达到平衡状态后保鲜袋顶空内氧气体积分数控制在 15.4%, CO_2 体积分数控制在 1.7%, 相对于裸放对照组和 A50E50 组, 油菜的呼吸速率控制得较低, 保鲜袋顶空中低浓度的二氧化碳会起到抑制油菜呼吸的作用, 且不会对油菜造成二氧化碳伤害, 因此该 A90E10 集成设计可有效减少油菜的水分损失。由图 3 可知, A90E10 保鲜组在第 1 天时水分仅损失 1.0%, 以后随保鲜时间的延长水分损失呈线性上升, 到第 5 天时, 仅损失 10%, 达到其货架期, 此时油菜保持青绿色, 有清香味, 无任何腐烂, 每颗油菜有 2 片叶片出现黄边 (黄边面积低于 10%)。

由图 3 可知, A50E50 组较 A90E10 组保鲜的油菜具有较高的失水率, 是 A90E10 组的 1.5~1.6 倍, 但是其失水速率明显低于裸放组。与 A90E10 组相比, A50E50 组具有更高的氧气供应能力, 使得油菜老化过程没有得到充分控制, 因此失水速率高于 A90E10

组，在第 1 天时损失 2.0%，并随保鲜时间的延长其水分损失呈线性上升，到第 4 天时，失水率 12%，达到其货架期，油菜外观见图 4。A50E50 组油菜的失水率仅为对照组的 1/2~1/4，很好地控制了油菜的失水速率，在保鲜袋内侧没有水雾生成。

保鲜袋内油菜外观品质的变化见表 1，可知 A90E10 保鲜组的货架期比 A50E50 组多 1 d，除了因为 A90E10 保鲜组油菜具有较低的呼吸速率之外，较高浓度的二氧化碳对于抑制小油菜上的总嗜温微生物的生长、防止小油菜腐烂具有明显的作用^[10]。



图 4 不同包装贮藏 4 d 后的小油菜外观
Fig.4 The appearance of Chinese cabbage after storage for 4 d in different packages

表 1 保鲜袋内油菜外观品质的变化
Tab.1 Changes in the appearance quality of Chinese cabbage in fresh-keeping package

保鲜时间/d	外观品质分数		
	对照组	A90E10	A50E50
0	10	10	10
1	7	9	9
2	6	9	8
3	无商业价值	8	7
4	无商业价值	7	6
5	无商业价值	6	无商业价值
6	无商业价值	无商业价值	无商业价值

油菜中 TSS 含量和维生素 C 含量随时间的变化曲线见图 5。裸放组的油菜失水严重，但不发生腐烂，因此它的营养成分一直可以被检测，由于在 2 d 的货架期内，油菜失水率为 8%~18%，因此在油菜机体内 TSS 含量稍有增加，但维生素 C 含量呈降低的趋势。在裸放的情况下，油菜体内的糖分和维生素 C 被氧化的速率较保鲜组高，营养成分快速流失。A90E10 保鲜组集成包装的透氧膜比例低于 A50E50 组，从外界输送到保鲜包装内部的氧气浓度低，机体内 TSS 和维生素 C 的氧化速率小，因此与 A50E50 组相比，减缓了营养成分的流失。在保鲜后期，A50E50 组失水率高于 A90E10 组，因此后期 A50E50 保鲜组维生素 C 含量稍高于 A90E10 组。

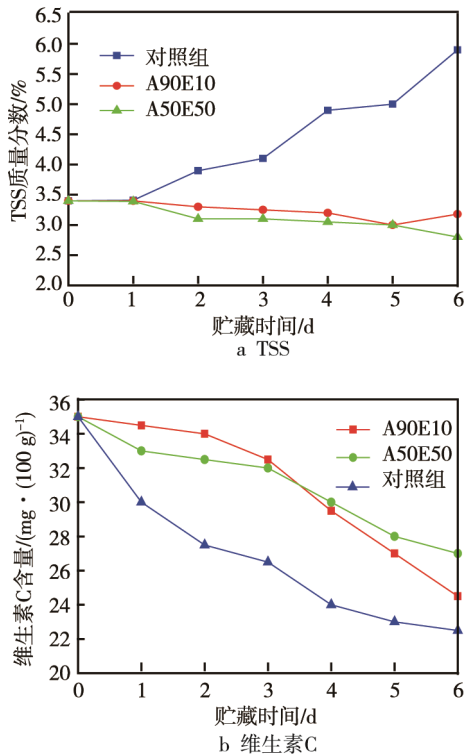


图 5 油菜维生素 C 含量随时间的变化
Fig.5 TSS and VC content of Chinese cabbage with the time

4 结语

与裸放对照组相比，A90E10 和 A50E50 组保鲜包装独特的双功能集成设计有效地减少了氧气供应，抑制了油菜的呼吸，遏制了油菜呼吸跃变的发生，减缓 TSS 和维生素 C 营养成分和水分的流失，保证了油菜外观品质，使油菜在常温下的保鲜期从裸放状态下的 2 d 分别延长到 5 d (A90E10 组) 和 4 d (A50E50 组)。通过油菜的保鲜评价验证了多功能集成保鲜包装设计理论的合理性，该设计彻底解决了保鲜袋内侧结雾问题，特别适合常温下跃变性水果和蔬菜的保鲜包装设计。

参考文献:

- [1] WANG Jian-gong, LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, et al. Effects of Different Concentrations of 1-Methacrylic Acid Treatment on Preservation of Rape[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(3): 40—45.
- [2] WANG Wen-sheng, YANG Shao-hui. Application Technology of Fresh-keeping Packaging for Fruits and Vegetables[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008.
- [3] LIU Xia. Study on Logistics Preservation and Logistics of Agricultural Products[J]. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2015, 30(3): 55—58.
- [4] CEFOLA M, AMODIO M L, RINALDI R, et al. Exposure to 1-Methylcyclopropene (1-MCP) Delays the Effects of Ethylene on Fresh-cut Broccoli Raab (*Brassica rapa L*)[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(1): 29—35.
- [5] ZHOU Ming, LIU Pang-yuan, LIU Ming-chi, et al. Effects of Root and Storage Temperature on Preservation of Rape[J]. Guangdong Agricultural Science, 2014, 20(20): 96—113.
- [6] DU Lin-xue, LI Xi-hong, LU Shu-lai, et al. Study on Anti-mildew Polyethylene Plastic Added with OBPA [J]. China Fruit & Vegetable, 2014, 34(4): 17—21.
- [7] 罗金山, 杜林雪, 李喜宏, 等. 对羟基苯甲酸丙酯防霉聚乙烯膜对油菜保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 30—33.
LUO Jin-shan, DU Lin-xue, LI Xi-hong, et al. Effect of Propyl P-hydroxybenzoate Anti-mildew Polyethylene Film on the Fresh-keeping of Rape[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(12): 30—33.
- [8] AHN H J, KIM J H, KIM J K, et al. Combined Effects of Irradiation and Modified Atmosphere Packaging on Minimally Processed Chinese Cabbage (*Brassica rapa L.*)[J]. Food Chemistry, 2005, 89(4): 589—597.
- [9] OLIVEIRA M, ABADIAS M, USALL J, et al. Application of Modified Atmosphere Packaging as a Safety Approach to Fresh-cut Fruits and Vegetables[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 46(1): 13—26.
- [10] HYUN J E, BAE Y M, YOON J H, et al. Preservative Effectiveness of Essential Oils in Vapor Phase Combined with Modified Atmosphere Packaging Against Spoilage Bacteria on Fresh Cabbage[J]. Food Control, 2015, 51: 307—313.
- [11] BARBOSA C, ALVES M, ROCHA S, et al. Modified Atmosphere Packaging of Precooked Vegetables: Effect on Physicochemical Properties and Sensory Quality[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 391—398.
- [12] MAKINO Y, HIRATA T. Modified Atmosphere Packaging of Fresh Produce with a Biodegradable Laminate of Chitosan-cellulose and Polycaprolactone[J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 10(3): 247—254.
- [13] 郭玉花, 黄震, 滕立军, 等. 纳米气调包装新鲜小油菜保鲜研究[J]. 北方园艺, 2008(6): 214—216.
GUO Yu-hua, HUANG Zhen, TENG Li-jun, et al. Study on Fresh-keeping of Fresh Rape with Nano-atmosphere Modified Packaging[J]. Northern Gardening, 2008(6): 214—216.
- [14] 郭玉花, 滕立军, 黄震, 等. PE/CaCO₃ 保鲜膜研制及其在小白菜保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2006, 44(5): 120—123.
GUO Yu-hua, TENG Li-jun, HUANG Zhen, et al. Development of PE/CaCO₃ Film and Its Application in Fresh-keeping of Chinese Cabbage[J]. Food Science and Technology, 2006, 44(5): 120—123.
- [15] 张蕾, 曹菲, 卢静. 孔径和开孔数目对打孔膜包装效果的影响[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 12—14.
ZHANG Lei, CAO Fei, LU Jing. Effect of Pore Size and Number of Hole on Patch Membrane Packaging[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 12—14.
- [16] 许文才, 李东立, 付亚波, 等. 具有高透气性功能的水果保鲜包装材料及其制备方法: 中国, 2010-10532453.0[P]. 2012-07-04.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo, et al. A Fresh Fruit Packaging Material with High Permeability and Its Preparation Method: China, 201010532453.0[P]. 2012-07-04.
- [17] 许文才, 李东立, 付亚波, 等. 一种番茄保鲜包装材料: 中国, 201210363822.7[P]. 2014-06-18.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo, et al. A Kind of Tomato Preservation Packaging Material: China, 201210363822.7[P]. 2014-06-18.
- [18] 许文才, 李东立, 付亚波. 可受控释放杀菌剂的果蔬保鲜包装复合膜及其制备和应用: 中国, 2009-10086775.4[P]. 2012-06-20.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo. A Membrane for Fresh and Frozen Packaging of Controlled Release Fungicide and Its Preparation and Application: China, 200910086775.4[P]. 2012-06-20.
- [19] 许文才, 李东立, 付亚波. 一种可释放 1-甲基环丙烯的果蔬保鲜包装材料及其制备方法: 中国, 2012-10364590.7[P]. 2015-05-13.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo. A Kind of Preservable 1-Methylcyclopropene Preservative Packaging Material and Its Preparation: China, 2012-10364590.7[P]. 2015-05-13.
- [20] 许文才, 李东立, 付亚波. 具有吸附乙烯功能的水果保鲜绿色包装材料及其制备方法: 中国, 2010-10522442.4[P]. 2012-08-15.
XU Wen-cai, LI Dong-li, FU Ya-bo. Green Preservative Packaging Material with Adsorbed Ethylene Function and Preparation Method: China, 20101052-2442.4 [P]. 2012-08-15.
- [21] 魏雯雯, 李艳杰, 冯建华, 等. 温度对油菜储存品质的影响[J]. 中国果蔬, 2013(8): 42—43.
WEI Wen-wen, LI Yan-jie, FENG Jian-hua, et al. Effect of Temperature on Rape Storage Quality[J]. Chinese Fruit and Vegetable, 2013(8): 42—43.