

4 种船载蔬菜硅窗与普通保鲜袋混装贮藏的环境 气体与营养品质变化比较研究

董朝贤¹, 张 慜^{*1}, 高中学², 过志梅²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 无锡德林船舶设备有限公司, 江苏 无锡 214191)

摘要: 以青菜、青甘蓝、西兰花和茭白这 4 种常用船载蔬菜作为混合保鲜的研究对象, 对硅窗保鲜与普通保鲜袋保鲜的保鲜效果进行对比研究。4 种蔬菜采用有硅窗的高密度聚乙烯袋(硅窗面积为 25 cm²)进行包装, 并于(2±0.5) °C 下储藏, 每 3 d 测定一次保鲜袋中的 O₂ 和 CO₂ 体积分数、失重率、呼吸强度、抗坏血酸质量分数、叶绿素质量分数、丙二醛质量分数、褐变度、可溶性固形物质量分数、可溶性糖质量分数。结果表明: 总体上对这 4 种蔬菜混装贮藏, 硅窗保鲜的保鲜效果优于普通保鲜袋保鲜的效果。

关键词: 硅窗保鲜; 蔬菜混装贮藏; 质量评价

中图分类号: TS 255.36 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2015)09—0978—08

Comparative Study on Gas Changes and Nutritional Quality of Four Kinds of Shipped Vegetables Mixed Storage with Silicone Window and Common Fresh-Keeping Bags

DONG Chaoxian¹, ZHANG Min^{*1}, GAO Zhongxue², GUO Zhimei²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi Delin Boat Equipment Co. Ltd., Wuxi 214191, China)

Abstract: A comparative study of the mixed storage effects with silicone window and common fresh-keeping bags was carried out on four kinds of common shipped vegetables, including pakchoi, green cabbage, broccoli and wild rice stem. The vegetables were packed by high density polyethylene bags with silicone window (its area was 25 cm²) and stored at 2 ±0.5 °C. The concentrations of O₂ and CO₂, the weight loss rates, respiratory intensities, the contents of ascorbic acid, chlorophyll and malondialdehyde (MDA), the browning degrees, the contents of soluble solids and soluble sugars were determined every three days. The result revealed that the storage effects of the four mixed vegetables with silicone window were better than that of common fresh-keeping bags.

Keywords: storage with silicone window, mixed storage of vegetables, quality evaluation

收稿日期: 2014-08-06

基金项目: 江苏省重点研发计划(现代农业)项目(BE2015310217)。

* 通信作者: 张 慜(1962—), 男, 浙江平湖, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事生鲜食品加工、贮藏保鲜机理和工程研究。

E-mail: min@jiangnan.edu.cn

蔬菜保鲜对于远洋航行非常重要。由于远洋航行周期较长,一般贮藏不能有效保持蔬菜的营养成分,所以远航船员极易面临营养缺乏,尤其是维生素^[1-3],而蔬菜富含维生素,因此采用有效的蔬菜保鲜技术是保障远洋航行的必要保证。

气调贮藏 (Modified Atmosphere Storage, MAP) 技术是远洋航行中的一种非常好的蔬菜保鲜技术,投资成本低,对包装环境的要求也较低^[4],并能最大程度保持蔬菜的食用品质。但是,远航船舶携带的蔬菜种类繁多,而保鲜库数量有限,因而在储藏过程中,需多种蔬菜放置于同一冷藏库中^[5]。由于蔬菜种类不同,其适宜的储藏条件差异较大,而不适宜的储藏条件会极大地缩短混藏蔬菜的储藏期,并加速主要营养物质的损失。因此,对于远洋航行而言,选择适宜的混合蔬菜保鲜条件非常重要。目前,船载蔬菜的混合保鲜技术是国内外一个全新的研究领域。

本课题主要对比研究多种混合蔬菜的硅窗保鲜与普通保鲜袋保鲜的差异,进而挑选出更适合于混合蔬菜保鲜的方式。选择4种常见船载蔬菜青菜、青甘蓝、西兰花和茭白,对比研究这4种蔬菜的硅窗保鲜与普通保鲜袋保鲜的差异,为远洋航行多种蔬菜混藏方式的选择提供理论与实验依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

青菜、西兰花、茭白、青甘蓝,购于无锡市雪浪农贸市场。青菜挑选颜色鲜绿、无黄叶、无褐变、无机械损伤,采收于当天早晨4:00—5:00的;西兰花挑选无病虫害、无开花散头,切割部位无褐变、无机械损伤,成熟度、大小基本一致的;茭白选取形状正常、新鲜、无机械损伤、无病虫害、色泽均一、无褐变、大小质量一致的,经清洗、沥干;青甘蓝挑选大小质量接近、无机械损伤、颜色正常、无变色的原料。将原料于当天运输至实验室,并尽快于1℃速冷,以保证实验过程中原料的品质处于较佳的状态。

包装材料选用高密度聚乙烯袋,其尺寸规格70 cm×80 cm,厚度为50 mm。窗口用FC-8硅橡胶膜覆盖(中国科学院兰州物理化学研究所研制),该膜的透气性指标是:在温度20℃,相对湿度90%时, O_2 透过率 4.08×10^{-9} mol/(s·m²·Pa); CO_2 透过率 12.24×10^{-9} mol/(s·m²·Pa)。试验用所有分析试剂均为国产分析纯。

搅拌器、紫外分光光度计、天平、冷藏库,均为作者所在实验室常用设备。

1.2 实验条件

先将青菜、西兰花、茭白与青甘蓝装入同一个保鲜袋中储藏,实验时将青菜、西兰花、茭白与青甘蓝4种蔬菜各均分成两部分,一部分用含硅窗的高密度聚乙烯袋保鲜,硅窗位置在袋子的从下至上的1/3均分处,并保持左右居中。硅窗大小尺寸为5 cm×5 cm,温度设定为(2±0.5)℃。另一部分用高密度聚乙烯袋保鲜,不开空隙,温度设定为(2±0.5)℃。两方法分别设置3个平行组别。以空气作为初始储藏气体组分。两种保鲜方式下的保鲜袋中的气体组分均通过蔬菜自身的呼吸作用以及保鲜袋的透气性能调节。

4种蔬菜在各个保鲜袋中的质量均衡接近。其中:青甘蓝质量1 200 g左右,青菜500 g左右,西兰花400 g左右,茭白400 g左右。将样品放置于同一冷库中。每隔3 d测定一次实验指标。

1.3 实验方法

1.3.1 气体组分测定 CO_2 和 O_2 浓度采用CYES II型气体分析仪测定。

1.3.2 失重率测定 采用称量法,用质量损失与初始称重(质量)相除即得失重率。

1.3.3 呼吸强度测定 呼吸强度测定采用静置法,参照文献[10]。用移液管移取10 mL 0.4 mol/L的NaOH溶液置于50 mL的小烧杯中,放入干燥器的底部,装入100 g左右的蔬菜样品,封盖,静置30 min后取出小烧杯,将碱液移入250 mL的锥形瓶中,每次用少量的重蒸馏水冲洗4~5次,加入饱和BaCl₂溶液5 mL、酚酞2滴,用0.1 mol/L草酸滴定(同时做空白试验)。每次试验进行3次空白试验。呼吸强度计算公式如下:

$$R = \frac{(V_1 - V_2)N \times 44}{WH} \quad (1)$$

式(1)中: R 为呼吸强度,mg/(kg·h); V_1 为空白试验消耗草酸体积,mL; V_2 为样液滴定消耗草酸体积,mL; N 为草酸的浓度,mol/L;44为 CO_2 的相对分子质量; W 为样品质量,kg; H 为测定时间,h。

1.3.4 抗坏血酸含量 测定方法采用2,6-二氯酚靛酚滴定法,参照文献[10]。称取10 g样品,加入20 g/L的草酸溶液,在冰浴条件下研磨成匀浆,转入到100 mL容量瓶中,用20 g/L草酸溶液定容至刻

RESEARCH ARTICLE

度,摇匀,提取 10 min,过滤。取 10 mL 滤液,用 2,6-二氯酚靛酚溶液滴定至微红色。以 20 g/L 草酸溶液滴定结果为空白对照,结果用 mg/hg 表示。平行试验 3 次。

1.3.5 叶绿素含量 测定方法参照文献[6]。

1.3.6 丙二醛(MDA)质量摩尔浓度 测定方法参照文献[10]。称取 3 g 左右蔬菜样品,加入 5.0 mL 100 g/L TCA 溶液,研磨匀浆后,于 4 ℃ 条件下过滤,取滤液,低温保存备用。取 2.0 mL 滤液(对照空白管中加入 2.0 mL 100 g/L TCA 溶液替代提取液),加入 2.0 mL 质量分数 0.67% TBA,混合后再沸水浴中煮沸 20 min,取出冷却后再离心一次。分别测定滤液在 450、532 nm 和 600 nm 波长处的吸光度值。重复试验 3 次。丙二醛的质量摩尔浓度(nmol/g)为

$$b_{MDA} = \frac{cV}{V_s m \times 1000} \quad (2)$$

式(2)中: c 为反应混合液中丙二醛浓度, $\mu\text{mol/L}$; V 为样品提取液总体积, mL; V_s 为测定时所取样品提取液体积, mL; m 为样品质量, g。

1.3.7 褐变度测定 测定方法参照文献[7]。

1.3.8 可溶性固形物含量 可溶性固形物含量采用 α 折光仪测定。

1.3.9 可溶性糖含量 测定方法采用蒽酮试剂法[10]。

2 结果与讨论

2.1 气体组分变化

图 1 同时显示了包装内的 O_2 和 CO_2 体积分数随储藏时间的变化关系。在整个储藏期内, O_2 体积分数不断下降,这主要是由于蔬菜的呼吸作用不断地消耗保鲜袋中的 O_2 。但是,硅窗保鲜的 O_2 下降速度较普通保鲜袋保鲜的慢($P < 0.05$)。这与硅橡胶膜的性能有着密切的联系。硅橡胶膜的透氧率要比聚乙烯材料的高[8],因而,硅窗保鲜的 O_2 体积分数高于普通保鲜袋保鲜的。

此外,在储藏期内,因为硅橡胶膜对 CO_2 的透性比聚乙烯薄膜大 200 倍以上[8],所以,硅窗保鲜袋内的 CO_2 向外扩散的速度更快。而在储藏期的前 9 d 内,保鲜袋中的 CO_2 都快速升高,这主要是由袋中的蔬菜旺盛的呼吸作用不断产生的 CO_2 所致。在 12 d 以后,硅窗保鲜与普通保鲜袋保鲜却表现出了相反的变化规律。在第 12 天时,硅窗保鲜袋内的 CO_2 体积分数已经达到了最大值,在随后的 6 天内,

袋中的 CO_2 开始不断下降。而普通保鲜袋保鲜的 CO_2 体积分数却缓慢增加。

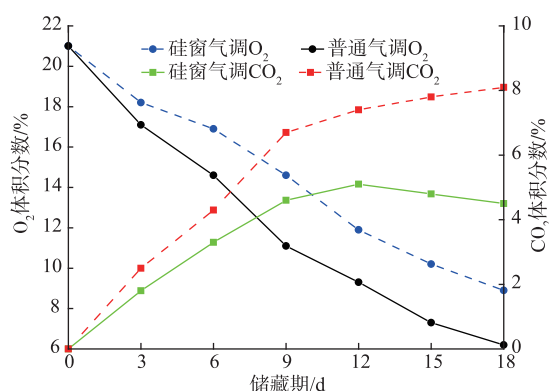
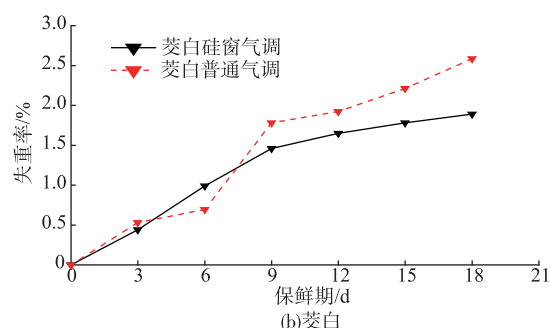
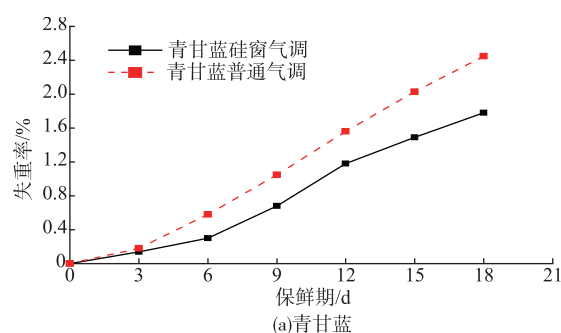


图 1 O_2 和 CO_2 体积分数随储藏时间的变化

Fig. 1 Change of the concentration of O_2 and CO_2 with the change of storage time

2.2 失重率指标

图 2 表示的是储藏期内的青菜、青甘蓝、西兰花的失重率随储藏时间的变化关系。在储藏期内,硅窗保鲜的失重率都较普通保鲜袋保鲜的低。这是因为普通保鲜袋保鲜的透气性过低,袋中的气体不断积累而加速了蔬菜的生理代谢。随着储藏期的延长,4 种蔬菜的质量损失下降。这是因为保鲜袋以及硅橡胶膜的透水性有限,蔬菜蒸腾作用散失的水分不断积累,进而保鲜袋中的相对湿度(数据未给出)增大,反而又抑制了蔬菜的蒸腾作用[13]。



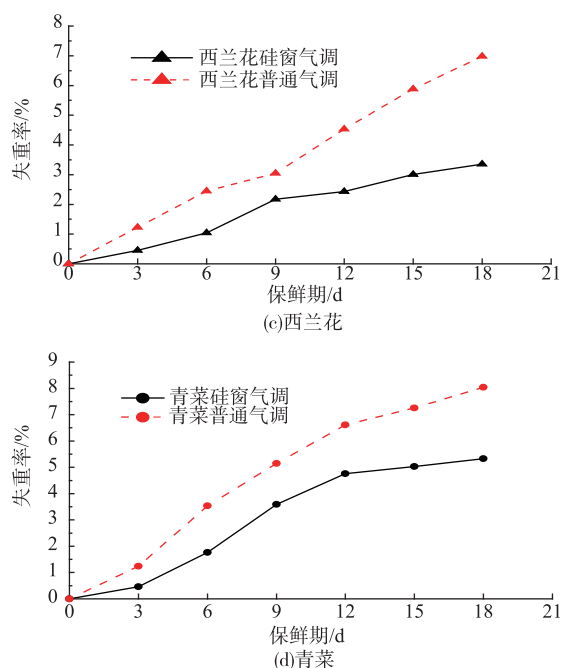


图2 失重率随储藏时间的变化

Fig. 2 Weight loss rate with the change of storage time

2.3 呼吸强度

图3表示的是青菜、青甘蓝、西兰花和茭白在储藏期内的呼吸强度变化情况。在储藏期内,4种蔬菜有呼吸速率下降的趋势。这主要是因为高体积分数 CO_2 限制了蔬菜的呼吸作用。此外,在储藏期的后期,4种蔬菜的普通保鲜袋保鲜的呼吸速率明显加强。其原因主要来自两个方面:高体积分数 CO_2 导致蔬菜抗逆性生理代谢,进而引起呼吸强度增加^[9];高密度聚乙烯袋中不断积累的乙烯加速了4种蔬菜的衰老进程。

2.4 抗坏血酸质量分数

抗坏血酸是蔬菜中的一种非常有效的抗氧化成分,它可以生成抗坏血酸自由基进而可以降低蔬菜代谢过程中产生的氧自由基^[10]。同时,抗坏血酸的烯醇式结构还有助于消除抗氧化过程中产生的自由基^[11]。图4表示了青菜、青甘蓝、西兰花和茭白的抗坏血酸在储藏期的变化趋势。由于抗坏血酸在储藏期内发生了氧化降解,所以,各样品抗坏血酸的质量分数都呈下降趋势。在储藏期的终点(第18天),4种蔬菜硅窗保鲜的均比普通保鲜袋保鲜的高。这一研究与陈小红^[12]和李铁华^[13]的研究结果一致。硅窗保鲜抗坏血酸含量减少量呈下降趋势是因为储藏过程中 O_2 体积分数下降。由于储藏过程中产生的乙烯等气体在高密度聚乙烯袋中的不断积累,普通保鲜袋保

鲜的抗坏血酸损失一直保持在相对较高的水平。

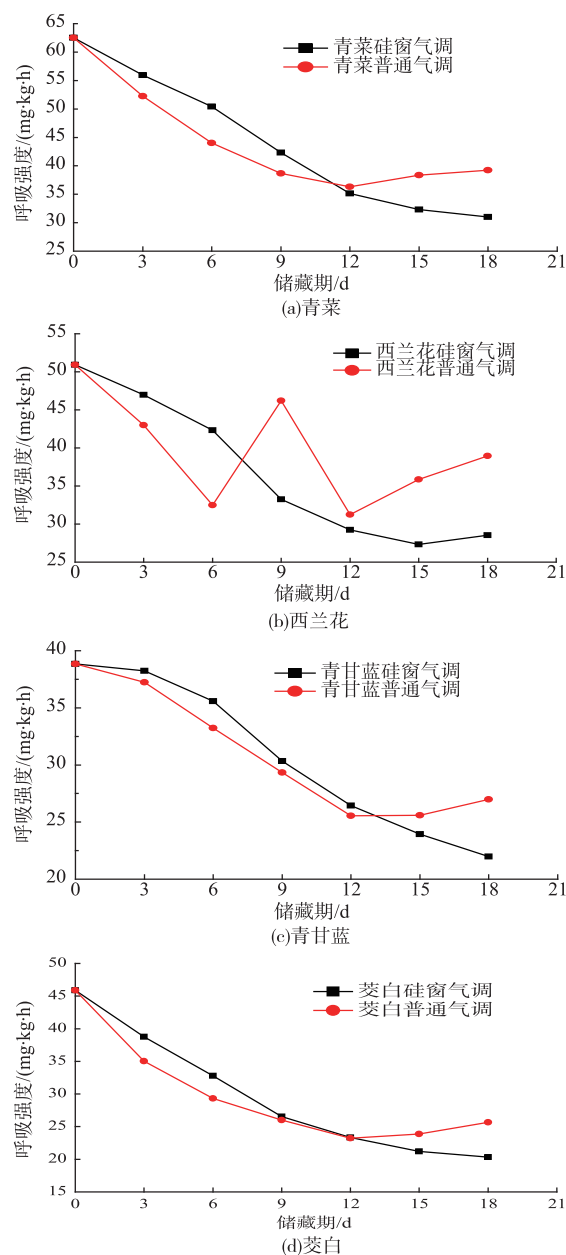
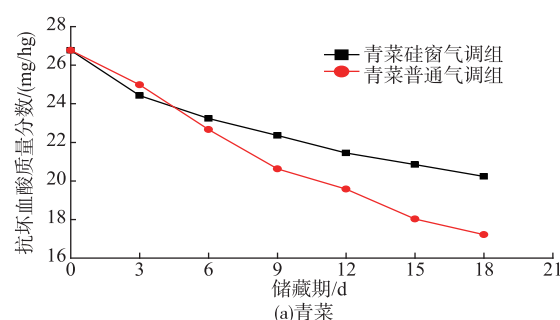


图3 呼吸强度随储藏时间的变化

Fig. 3 Rate of respiration with the change of storage time



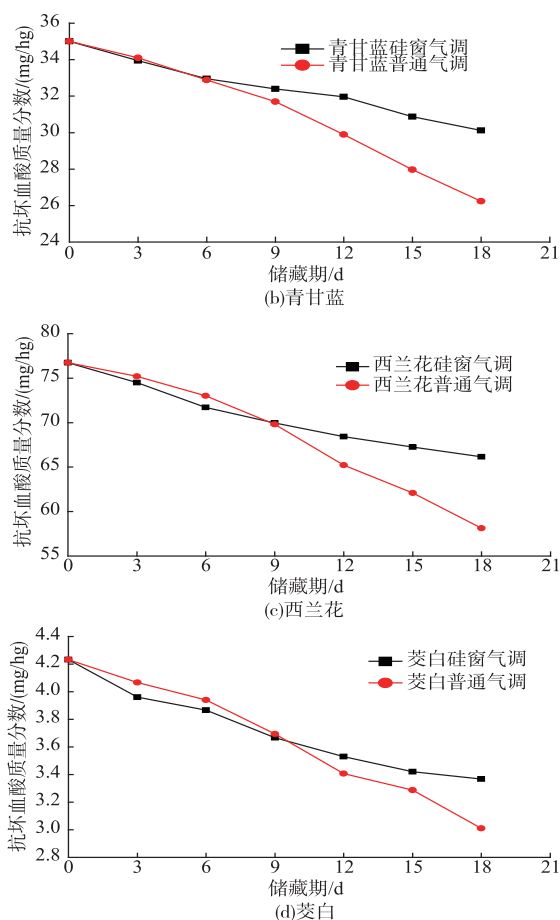


图4 抗坏血酸质量分数随储藏时间的变化

Fig. 4 Content of ascorbic acid with the change of storage time

2.5 叶绿素质量分数

图5表示的是储藏期内的青菜、青甘蓝、西兰花和茼蒿的叶绿素的变化情况。随着储藏期的延长,这4种蔬菜的叶绿素质量分数均呈下降趋势。在储藏期终点(第18天)时,硅窗保鲜的叶绿素质量分数明显高于普通保鲜袋保鲜的($P < 0.05$)。这与普通保鲜袋保鲜中蔬菜代谢产生的不适宜气体组分的不断积累有关。这一结果与陆东和的发现一致:硅窗保鲜可以抑制海芦笋叶绿素含量的下降^[14]。

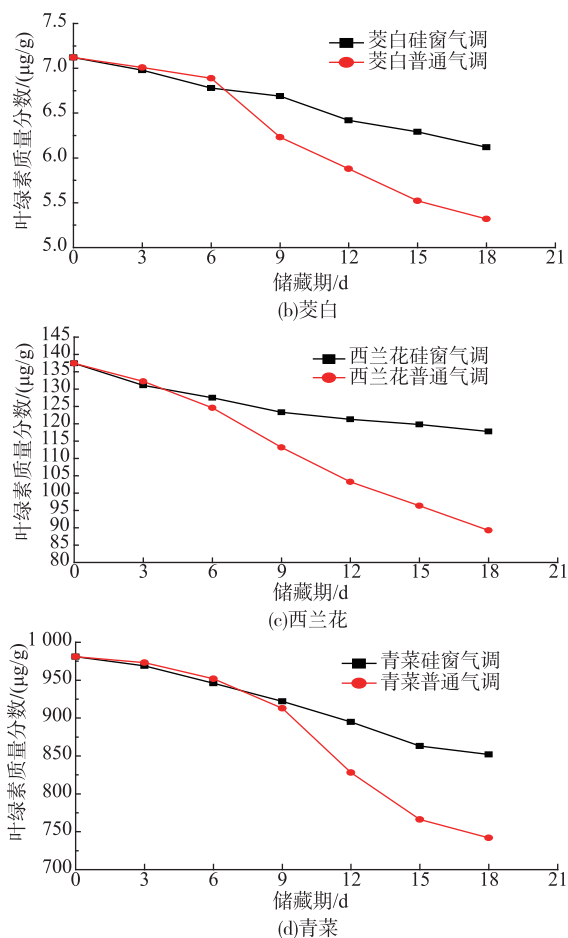
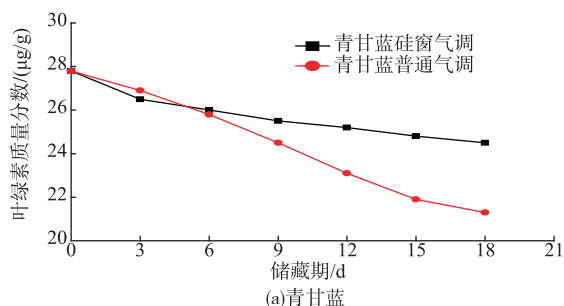


图5 叶绿素的质量分数随储藏时间的变化

Fig. 5 Content of chlorophyll with the change of storage time

2.6 丙二醛质量摩尔浓度

图6反映的是在储藏期内的青菜、青甘蓝、西兰花和茼蒿的丙二醛质量摩尔浓度变化。随着储藏期的延长,4种蔬菜的MDA质量摩尔浓度均呈现升高的趋势。总体上,硅窗保鲜的MDA质量摩尔浓度要明显低于普通保鲜袋保鲜的。但是,在储藏期的初期,硅窗保鲜的MDA产生量稍高于普通保鲜袋保鲜的,这说明储藏期的初期,硅窗的存在并未有效地抑制MDA的产生。这是因为普通保鲜袋保鲜中高体积分数的 CO_2 和低体积分数的 O_2 抑制了蔬菜的膜脂过氧化作用。但是,到了储藏期的后期,硅窗保鲜因为储藏条件较理想,蔬菜的膜脂过氧化受到很大程度的抑制,因而MDA产生速率很慢。而普通保鲜袋保鲜的MDA产生速率却相对较大,这主要是由于不适宜的气体储藏条件导致蔬菜异常生理代谢的产生,从而加速了MDA的生成。

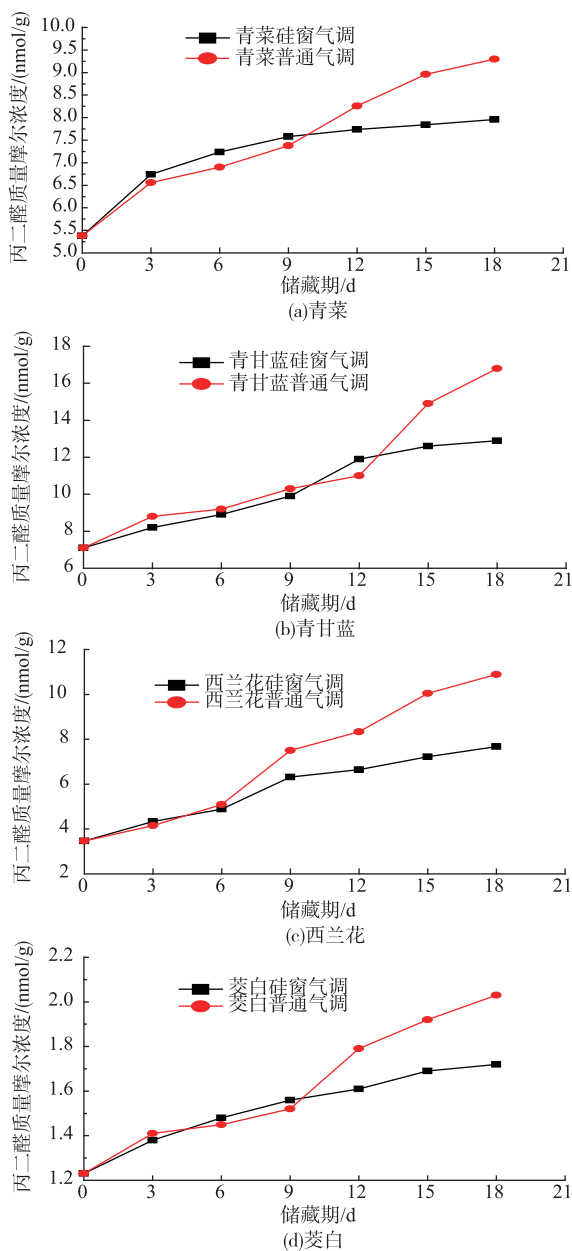


图6 丙二醛质量摩尔浓度随储藏时间的变化

Fig. 6 Content of MDA with the change of storage time

2.7 褐变度

褐变度可以反映蔬菜在保鲜过程中的多酚类物质的氧化情况。图7表示的是青菜、青甘蓝、西兰花和茭白在储藏期内的褐变度变化。随着储藏期的延长,青菜、青甘蓝、西兰花和茭白4种蔬菜都表现为褐变度增加。这与及华、关军锋等人对赞皇大枣的研究结果一致^[15], Li Tiehua 也在对蘑菇的硅窗保鲜中观察到了相同的现象^[16]。此外,硅窗保鲜的褐变度低于普通保鲜袋保鲜的($P<0.05$),这说明硅窗保鲜可以显著抑制褐变度的增加。这可能是由于在储

藏过程中,多酚类物质的氧化作用受到了抑制。此外,到储藏期的后期,普通保鲜袋保鲜的蔬菜褐变程度快速增加,这是由于过高体积分数的 CO_2 促进了蔬菜的生理代谢作用,进而引起了褐变度的增加。

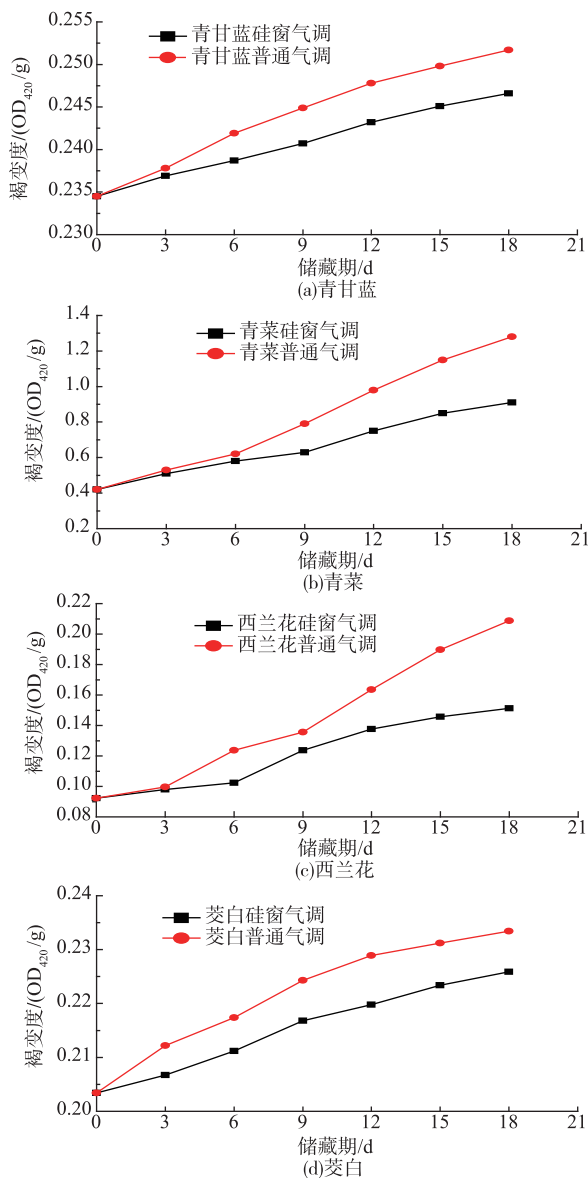


图7 褐变度随储藏时间的变化

Fig. 7 Browning degree with the change of storage time

2.8 可溶性固形物质量分数

图8表示的是青菜、青甘蓝、西兰花和茭白的可溶性固形物随储藏时间的变化关系。在储藏期的前期,西兰花(第6天)和茭白(第3天)的可溶性固形物质量分数增加。王英等人对赛买提杏的硅窗保鲜中也发现保鲜期内可溶性固形物含量增加的趋势^[17]。随着储藏期的延长,蔬菜的可溶性固形物

量分数不断下降。这主要是因为蔬菜在储藏过程中不断地消耗组织中的可溶性营养成分。

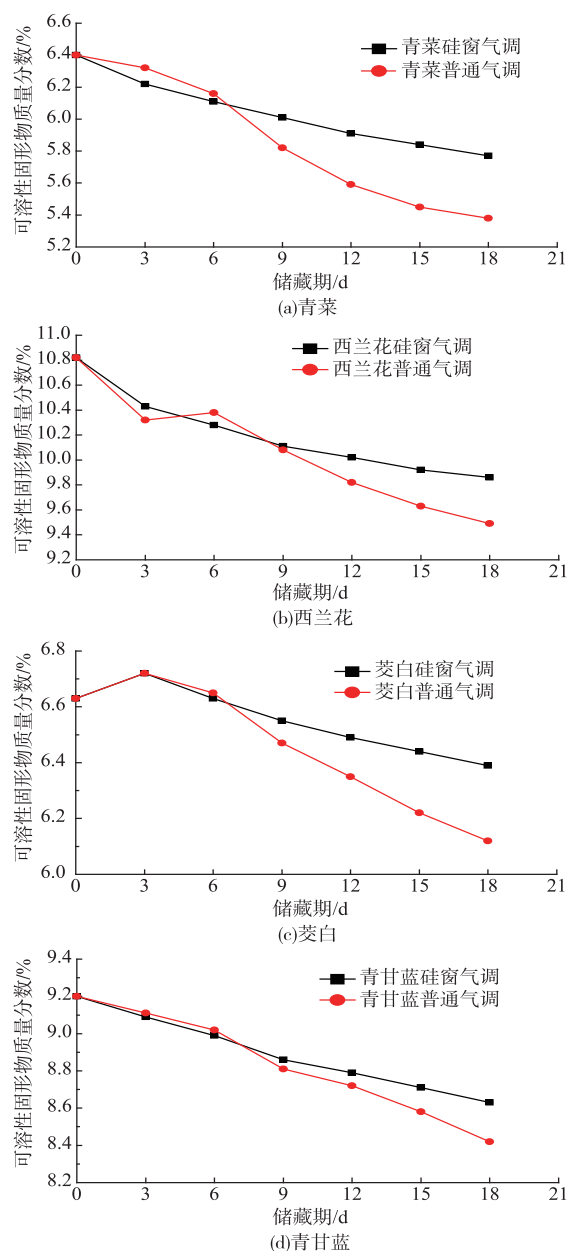


图8 可溶性固形物质量分数随储藏时间的变化

Fig. 8 Content of soluble solids with the change of storage time

2.9 可溶性糖质量分数

图9表示的是青菜、青甘蓝、西兰花和茭白在储藏过程中糖质量分数的变化趋势。随着储藏期的延长,蔬菜的糖质量分数呈下降的趋势。这主要是由于在储藏过程中,蔬菜以较旺盛的呼吸作用消耗着其组织器官中的糖分。此外,硅窗保鲜可以更好地保持蔬菜中的糖分($P < 0.05$)。这是因为硅窗保鲜

可以抑制蔬菜的呼吸作用,进而抑制糖质量分数下降。

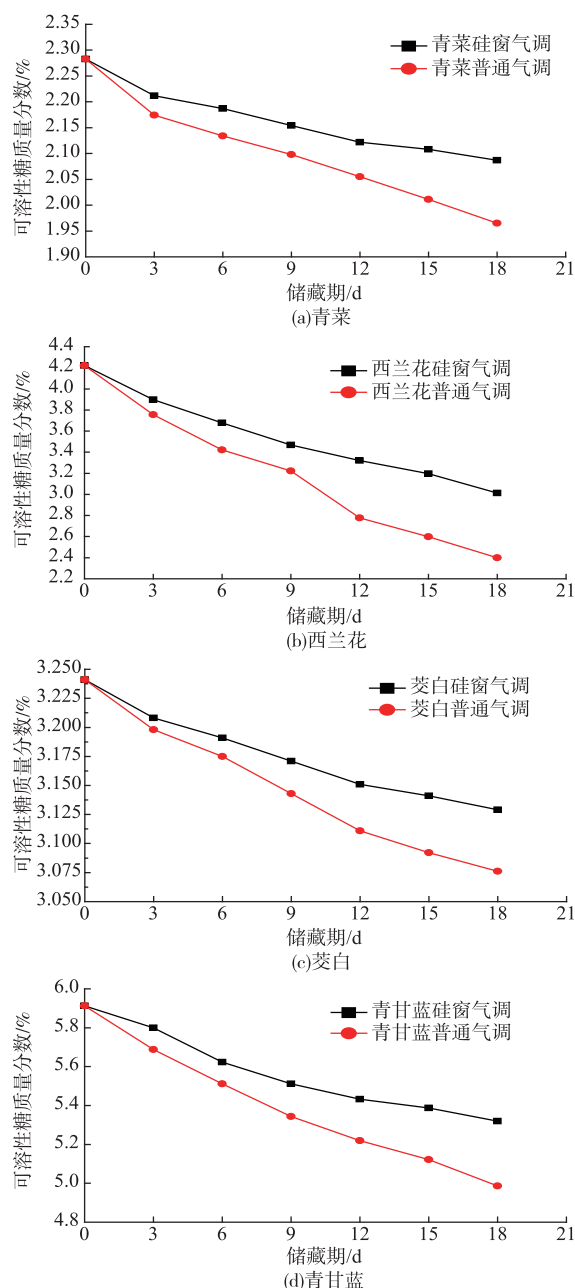


图9 可溶性糖质量分数随时间的变化

Fig. 9 Content of soluble sugar with the change of storage time

3 结语

本文中将硅窗保鲜与普通保鲜袋保鲜技术进行了对比,研究了青菜、青甘蓝、西兰花和茭白这4种常用船载蔬菜的混合保鲜技术。选用硅窗面积为 25 cm^2 ,储藏温度为 $(2 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。每隔3 d测定一次 O_2 和 CO_2 体积分数、失重率、呼吸强度、抗坏血酸和

叶绿素质量分数,丙二醛质量摩尔浓度,褐变度,可溶性固形物和可溶性糖质量分数等指标。研究表明,硅窗保鲜技术可以更好地保持青菜、青甘蓝、西兰花和茭白这4种蔬菜混藏时的品质。

参考文献:

- [1] 王海明,王恩美,俞宾炯,等. “云海”轮船船员营养调查[J]. 中国航海,1985(1):15-21.
WANG Haiming, WANG Enmei, YU Binjiong et al. 'Sea of clouds' ship's crew nutrition survey [J]. **China Navigation**, 1985(1):15-21.(in Chinese)
- [2] 叶雪梅,周德宏,曹国模,等. 远洋近航船员营养调查[J]. 南通大学学报:医学版,1987(3):18-20.
YE Xuemei, ZHOU Dehong, CAO Guomo, et al. Ocean aviation crew nutrition survey [J]. **Journal of Nantong University: Medical Science Edition**, 1987(3):18-20.(in Chinese)
- [3] 张燕滨,钟进义,孙锡章,等. 远洋船员航海期膳食分析及其改善建议[J]. 青岛医学院学报,1996,32(1-4):243-249.
ZHANG Yanbin, ZHONG Jinyi, SUN Xizhang, et al. Seafarers sailing period dietary analysis and improvement suggestion of[J]. **Journal of Qingdao Medical College**, 1996,32(1-4):243-249.(in Chinese)
- [4] 包骞,孙企达,兰秀凯,等. 远洋蔬果保鲜特性分析及复合气调保鲜的应用研究[J]. 农产品加工,2009(8):65-68.
Packet Qian, SUN Qida, LAN Xiukai, et al. Study on application of ocean vegetable & Fruit preservation characteristics analysis and modified atmosphere[J]. **Processing of Agricultural Products**, 2009(8):65-68.(in Chinese)
- [5] 张化南. MAP气调保鲜技术在现代船舶上的应用分析[J]. 船舶,2013,24(6):61-64,72.
ZHANG Huanan. Application of MAP CA technology in modern ship on the analysis[J]. **Ship**, 2013,24(6):61-64,72.(in Chinese)
- [6] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社,2007:1-176.
- [7] Coseteng M Y, Lee C Y. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning[J]. **Journal of Food Science**, 1987,52(4):985-989.
- [8] 程志明. 硅窗气调贮藏果蔬技术研究[J]. 北方园艺,1991(3):29-30.
CHENG Zhiming. Research window controlled atmosphere storage of fruit and vegetable technology [J]. **Northern Horticulture**, 1991(3):29-30.(in Chinese)
- [9] 陈琳. 植物生理学教程[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2010.
- [10] Yamaguchi F, Yoshimura F, Nnakazawa H, et al. Free radical scavenging activity of grape seed extract and antioxidants by electron spin resonance spectrometry in an H₂O₂/NaOH/DMSO System [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 1999,47(7):2544-2548.
- [11] Darkwa J, Mundomab C, Simoyi R H. Antioxidant chemistry reactivity and oxidation of DL-cysteine by some common oxidants [J]. **Faraday Transactions**, 1998,94(14):1971-1978.
- [12] 陈小红. 藜蒿硅窗气调保鲜研究[D]. 武汉:华中农业大学,2010.
- [13] 李铁华,张慙. 硅窗气调保鲜贮藏茶树菇的化学及生理变化研究[J]. 食品科学,2009,30(6):255-259.
LI Tiehua, ZHANG Min. Silicon window of atmosphere of Agrocybe chaxingu storage of chemical and physiological changes of [J]. **Food Science**, 2009,30(6):255-259.(in Chinese)
- [14] 陆东和. 海芦笋硅窗气调包装保鲜工艺、机理和模型研究[D]. 无锡:江南大学,2009.
- [15] 及华,关军锋,窦世娟,等. 采后赞皇大枣不同包装处理的生理生化性状差异[J]. 果树学报,2004,21(6):540-543.
JI Hua, GUAN Junfeng, DOU Shijuan, et al. Differences in physiological and biochemical characters of Postharvest Zanzhuang jujube in different package treatments[J]. **Journal of Fruit Science**, 2004,21(6):540-543.(in Chinese)
- [16] LI Tie-hua, ZHANG Min. The physiological and quality change of mushroom agaricus bisporus stored in modified atmosphere packaging with various sizes of silicone gum film window[J]. **Food Science and Technology Research**, 2013,19(4):569-576.
- [17] 王英,张欣茜,叶强,等. 硅窗气调包装对赛买提杏贮藏效果的影响[J]. 食品工业,2012,33(10):51-53.
WANG Ying, ZHANG Xinqian, YE Qiang, et al. Effects of silicon window modified atmosphere packaging on storage effect of Cemaati Hin[J]. **Food Industry**, 2012,33(10):51-53.(in Chinese)