

改性新型薄膜气调包装对草莓贮藏的影响

包红艳, 董同力嘎, 宋静, 云雪艳, 额尔敦巴雅尔*

(内蒙古农业大学食品科学与工程学院, 内蒙古呼和浩特 010010)

摘要: 该研究以聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯 (PBAT) 和聚丁二酸丁二醇酯 (PBS) 对聚乙烯 (PE) 进行共混改性, 通过改善其气体透过性和防雾性, 使其适用于草莓的自发气调保鲜包装, 为草莓的贮藏以及运输提供更加优质的方法。该研究采用双螺杆挤出流延线制备 PE/PBAT/PBS 共混薄膜, 同时与市售 PE 膜作对比保鲜草莓并测定其理化指标并分析。通过测定贮藏期间包装内的气体浓度、感官评定、草莓的失重率、可溶性固形物、总酚和黄酮含量等指标, 评估 PE/PBAT/PBS 共混薄膜对草莓的自发气调保鲜效果。结果表明当 PE/PBAT/PBS 共混薄膜用于草莓包装时, 薄膜内的 CO₂ 体积分数和 O₂ 体积分数从第 3 天维持在 CO₂ 5%~7% 和 O₂ 3%~5% 的范围中, 在此条件下, 果实在 23 d 内维持了较好的感官品质, 失重率保持在质量分数的 5% 以下, Vc 含量在第 23 天达到 44.72 mg/100 g, 硬度下降到 2.83 kg/cm², 可溶性糖的质量分数下降到 8.47%, 色差值维持在 10 左右, 保持了果实中较高的黄酮和总酚含量, 证明了 PE/PBAT/PBS 共混膜可抑制草莓的呼吸作用, 为 PE/PBAT/PBS 共混薄膜可延长草莓保鲜期提供了理论支持。

关键词: 包装; 草莓; 保鲜; 气调

文章编号: 1673-9078(2024)12-162-169

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.12.1118

Effect of Applying a Novel Modified Film for Modified Atmosphere Packaging on Strawberry Storage

BAO Hongyan, DONG Tungalag, SONG Jing, YUN Xueyan, EERDUNBAYAER*

(College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China)

Abstract: For better storage and transportation of strawberries, polyethylene (PE) was modified with poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT) and poly(butylene succinate) (PBS) to produce a novel PE/PBAT/PBS blend film with improved gas permeability and antifogging ability suitable for modified atmosphere packaging of strawberries. The PE/PBAT/PBS blend film was prepared by a twin-screw extrusion line and compared with a commercial PE film by analyzing the physical and chemical indexes of strawberries preserved in bags made of both films. The effect of applying the PE/PBAT/PBS blend film for spontaneous modified atmosphere packaging on strawberry preservation was evaluated by measuring the gas concentrations, sensory scores, weight loss rate, soluble solids content, and total phenolic and flavonoid contents of strawberries. At the third day of storage, the CO₂ and O₂ concentrations in the PE/PBAT/PBS packaging bags were consistent between 5%~7% and 3%~5%, respectively. Under these conditions, the favorable sensory quality of strawberries was maintained for 23 days, with a weight loss below a mass fraction of 5%; on day 23 of storage, the vitamin C content,

引文格式:

包红艳,董同力嘎,宋静,等.改性新型薄膜气调包装对草莓贮藏的影响[J].现代食品科技,2024,40(12):162-169.

BAO Hongyan, DONG Tungalag, SONG Jing, et al. Effect of applying a novel modified film for modified atmosphere packaging on strawberry storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(12): 162-169.

收稿日期: 2022-09-06

基金项目: 内蒙古农业大学高层次人才引进科研启动项目 (DC1900007017)

作者简介: 包红艳 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品保鲜与安全控制技术, E-mail: 1360754270@qq.com

通讯作者: 额尔敦巴雅尔 (1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 功能性食品开发, E-mail: eerdun3@qq.com

firmness, and total soluble sugar of the strawberries only decreased to 44.72 mg/100 g, 2.83 kg/cm², and 8.47%, respectively, with a color difference of approximately ten and consistently high flavonoid and total phenolic contents. These findings demonstrate that the PE/PBAT/PBS blend film suppresses the respiration of strawberries, providing theoretical support for its ability to extend strawberry shelf life.

Key words: packaging; strawberry; preservation; modified atmosphere

草莓酸甜多汁, 营养丰富, 富含维生素 C、 β -胡萝卜素、维生素 E, 钾、磷、钙、铁等矿物质, 多酚、黄酮和绿原酸等多种抗氧化物质, 使其对消费者健康更有营养, 在提高人体机能免疫力、抗衰老、防止癌症发生、预防多种疾病、促进肠胃吸收等方面有很好的功效^[1]。草莓是一种含水量高达 95% 的小浆果, 但在贮藏与运输过程中水分极易损失, 表皮层极易受到破坏与损伤而腐烂变质^[2-4], 这一特点加大了草莓贮藏储运的难度。如何运用保鲜方法来延长草莓的保鲜期、减少经济损失、满足人们对果蔬的高品质要求成为当下研究的热点也是难点。如今市场上非常常见的草莓保鲜方式有低温、涂膜、辐射、气调保鲜等^[5-8]。

气调贮藏^[9,10]被认为是有效的防止果蔬腐烂变质的一种高效的保鲜技术。有相关文献报道, 草莓最适宜的贮藏条件是温度在 4~8 °C, CO₂ 体积分数为 3%~8% 和 O₂ 体积分数为 3%~5% 的环境^[11]。所以适宜草莓的气调包装应该选择气体透过性、透湿性能好的材料, 并且材料的 CO₂/O₂ 选择透过比在理想值 (8~10):1 范围内最好。云雪艳等^[12]通过合成 PLLA-PEG-PLLA 和 PLLA-PCL-PLLA 三嵌段共聚物对草莓进行气调保鲜试验, 其包装袋内 CO₂ 和 O₂ 的体积分数在 3%~5% 和 3%~4% 时, 草莓的贮藏期可达 20 d 以上。晋彭辉等^[13]通过研究不同比例气体对草莓贮藏保鲜效果的影响, 最终确定在 2.5 °C 条件下 5% O₂+10% CO₂ 气体环境最适合草莓的贮藏保鲜。张雷刚等^[14]研究发现, 草莓在 0 °C, 10% O₂+4% CO₂ 气氛环境下可以保存 15 d。现目前市场上草莓保鲜用的多的材料有聚乙烯 (PE) 和尼龙 (PA) 等。但 PE 材料的薄膜 CO₂/O₂ 的选择透过比是 (3~6):1, 水蒸气透过率仅为 41.8 g/(m²·d), 导致了包装袋里很容易就出现结露的现象, 这加速了草莓的腐烂变质。

因此添加一些亲水性较好的可降解材料不仅调节 PE 的气体透过性, 也能调节其防雾性能。聚对苯二甲酸己二酸丁二醇酯 (PBAT) 是可生物降解材料^[15,16], 最大的特性是它的透湿性和透气性好。

聚丁二酸丁二醇酯 (PBS), 它也是一种可生物降解的材料^[17], 具有力学性好、材料价格廉价等优点。通过双螺杆挤出流延机制备 PE/PBAT/PBS 共混薄膜, 利用 PBAT 和 PBS 对 PE 进行共混改性, 改善 PE 膜的气体透过性和透湿性。对 PE/PBAT/PBS 膜的 O₂、CO₂ 透过性能和水蒸气透过性能进行测试, 对草莓进行贮藏实验测定它的各项理化指标来探究薄膜的保鲜效果。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

供试草莓品种为红颜, 采自呼和浩特草莓种植基地。PBS、PBAT, 购于杭州市鑫富科技公司; 聚乙烯 (PE), 购于苏州塑其诺塑化有限公司; 超纯水, Millipore 纯水器制备。

1.2 主要仪器与设备

PPT-3/SJ 2-20-50 型双螺杆挤出流延机, 广州普同; AT201 型电子天平, 瑞士 Mettler 公司; SC-300 型立式冷藏柜, 青岛海尔特种电冰柜; 6600 型顶空气体分析仪, Systech Instruments; UV-2450 紫外分光光度计, 日本岛津; GY-2 型果实硬度计, 浙江托普; TD-45 糖度计, 北京时代恒宇。

1.3 试验方法

1.3.1 共混薄膜的制备

将 PE、PBS 与 PBAT 三种材料的母粒混合均匀, 按照 65 wt.%、5 wt.% 与 30 wt.% 的比例混合, 将混合好的物料添加至流延机中, 并控制螺杆挤出温度为 200 °C, 得到厚度为 (20±3) μm 的共混膜, 标记为 PE/PBAT/PBS 薄膜。

1.3.2 PE/PBAT/PBS 共混膜气体透过性测试

利用透湿仪对改性后的 PE/PBAT/PB 共混膜进行水蒸气的测试, 3 个平行样。计算薄膜水蒸气透过性能。

用压差法透气仪在 23 °C 的室温条件下对

PE/PBAT/PBS 共混膜的气体透过性进行测试, 5 组平行样, 直接测出样品的 CO₂ 透过率和 O₂ 透过率。

1.3.3 草莓的保鲜包装

草莓(品种:“红颜”)采于2018年3月份郊区草莓种植基地,以红颜草莓为试验材料,采摘回实验室,预冷2 h于4℃冷鲜柜中,预冷完毕后再进行分装^[18],选择大小均匀的草莓控制重量范围在105~120 g之间,放入10 cm×16 cm的PE包装袋;共混薄膜PE/PBAT/PBS包装袋中做真空密封处理。实验分组如下:CK组(不做任何处理);PE组;共混薄膜PE/PBAT/PBS组;贮藏在温度为4~8℃的立式冷藏柜中。分别在贮藏期间的0、3、6、10、14、18、23 d时取样,测定与分析样品的指标。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 失重率

根据贮藏前后的质量变化计算失重率^[19]。

$$B = \frac{M_0 - M_n}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

B——失重率(WL), %;

M₀——样品初始质量, g;

M_n——样品测定时的质量, g。

1.4.2 气体组分测定

对包装袋内的气体成分进行测定,每组平行测定3次,仪器直接显示CO₂和O₂两种不同气体的含量。

1.4.3 贮藏期间草莓感官的变化

感官评分选10个男生和10个女生共20名经过食品感官评定培训的食品专业研究生进行评定,草莓感官评分标准如表1所示。

表1 感官品质评分标准

Table 1 Evaluation criteria of sensory quality

评分	色泽	风味	新鲜程度	质地
8.1~10	色泽鲜艳	果香味浓	可销售	丰满有弹性
6.1~8	轻微颜色改变	有果香味	无腐烂	稍软
4.1~6	颜色加深	无果香味	个别腐烂出现软化	无弹性
2.1~4	颜色变暗	稍有酒精味	部分腐烂	变质
0~2	颜色暗红	严重酒精味	霉腐或干瘪	软烂或干瘪

1.4.4 Vc含量的测试

参考文献制定维生素C标准曲线测定草莓维生

素C的含量^[20],用紫外分光光度计进行测试。一次选取3个包装袋,每个袋子选3颗草莓称取5 g测试。

1.4.5 硬度的测试

采用硬度计测定草莓的硬度,三组包装各测3次,取平均值。

1.4.6 可溶性固形物的测试

随机选择3个包装袋,再从每个袋子中随机挑选3个草莓,使用研钵研碎,用快速滤纸过滤草莓汁,得到澄清的滤液。利用糖度计测定折光率,计算平均值。

1.4.7 色差的测试

手持色差仪CR-20测定草莓表皮的颜色值,每组选取3个平行样,结果以L*、a*、b*值的平均数表示。根据如下公式计算总色差ΔE:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (2)$$

式中:

ΔE——新鲜草莓和贮藏后草莓的色差值;

L*——新鲜草莓的亮度值;

L₀——贮藏后草莓的亮度值;

a*——新鲜草莓的红绿值;

a₀——贮藏后草莓的红绿值;

b*——新鲜草莓的黄蓝值;

b₀——贮藏后草莓的黄蓝值。

1.4.8 多酚与黄酮含量的测定

根据果蔬采后生理生化实验指导^[21],用紫外分光光度计对草莓的总酚和黄酮含量进行测试。没食子酸溶于蒸馏水中配置母液,制备成0.5、1、2、4、6、8、10 mg/mL的标准液,用紫外在280 nm处测试其吸收峰,建立标准曲线,计算得出标准方程式为y=0.284 4x+0.018 3, R²=0.993。

芦丁标准品用甲醇溶液溶解,制备不同浓度的标准液,在325 nm处测吸光度,以吸光度为纵坐标、芦丁标准液的浓度为横坐标,建立标准曲线,得回归方程y=0.019 7x+0.003 9, R²=0.997 7。计算草莓中总酚和黄酮的含量。

1.4.9 数据统计分析

采用Excel软件整理数据计算平均值和标准偏差值,用SPSS 20.0软件进行统计分析,采用单因子方差分析进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 薄膜力学性能的测试

表2为薄膜的力学性能测试结果。纯PE薄膜的拉伸强度和断裂伸长率分别为17.5 MPa和283.6%。相较PE薄膜，PE/PBAT/PBS薄膜的拉伸强度和断裂伸长率分别增加了2.1和2.0倍，薄膜表现出高柔韧性的特点。结构决定性能，PE薄膜力学性能的改变受到其链结构影响。PBAT和PBS改性组分的加入使得共混体系中PE链段的运动性增强，分子链变得柔顺。此外，PBAT和PBS的加入未明显降低薄膜的杨氏模量，PE薄膜良好的抵抗形变的能力得以保留。

表2 PE/PBAT/PBS共混膜的力学性能
Table 2 Mechanical properties of PE/PBAT/PBS blended film

样品	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 /%	杨氏模量 /MPa
PE	17.5 ± 2.1	283.1 ± 19.4	142.5 ± 16.2
PE/PBAT/PBS	36.7 ± 3.8	553.6 ± 57.2	141.8 ± 12.7

2.2 薄膜气体透过性的测试

气调包装的原理就是包装袋内气体的置换，对O₂和CO₂等混合气体进行调解。使袋内环境湿度、气体成分等达到较理想的状态，因此来抑制草莓的呼吸作用，加之有低温保藏条件，可抑制微生物的繁殖，使草莓在保证保鲜效果的同时贮藏天数还能更久。如表3所示，PE材料透湿性差，水蒸气透过率为42 g/(m²·d)，袋子内容易出现结露现象，湿度变大，滋生微生物，加速草莓的腐烂。而加入PBAT和PBS共混后薄膜的水蒸气透过率为142 g/(m²·d)，约为纯PE的3.5倍，有效改善了PE材料透湿性差的缺点。如图1a是PE薄膜包装草莓的18d图片，图1b是PE/PBAT/PBS薄膜包装草莓的18d图片，在第18天可以直观看出PE袋子的结露现象。PE、PE/PBAT/PBS共混薄膜CO₂和O₂透过性的测试结果显示，PE薄膜的CO₂透过率为26 893 cm³/(m²·d)，O₂的透过率为9 895 cm³/(m²·d)，CO₂/O₂选择透过比为2.7。而PE/PBAT/PBS膜的CO₂透过率为25 866 cm³/(m²·d)，O₂的透过率为5 950 cm³/(m²·d)，CO₂/O₂选择透过比为4.4。加入PBAT和PBS之后PE薄膜的CO₂、O₂透过率下降了，这说明了PBAT材料透气性比PE的要差，加入PBAT和PBS材料共混后提高了PE的气体阻隔性，CO₂/O₂选择透过比也提高了。

表3 PE/PBAT/PBS共混膜的气体透过性能

Table 3 Gas permeability of PE/PBAT/PBS blended film

样品	CO ₂ /[cm ³ /(m ² ·d)]	O ₂ /[cm ³ /(m ² ·d)]	CO ₂ /O ₂	H ₂ O /[g/(m ² ·d)]
PE	26 893 ± 1 332	9 895 ± 872	2.7	42 ± 3.6
PE/PBAT/PBS	25 866 ± 1 254	5 950 ± 497	4.4	142 ± 14.3



图1 贮藏第18天的草莓图片

Fig.1 Strawberries stored for 18 days

注：(a) PE薄膜包装，(b) PE/PBAT/PBS薄膜包装。

2.3 包装袋内气体成分分析

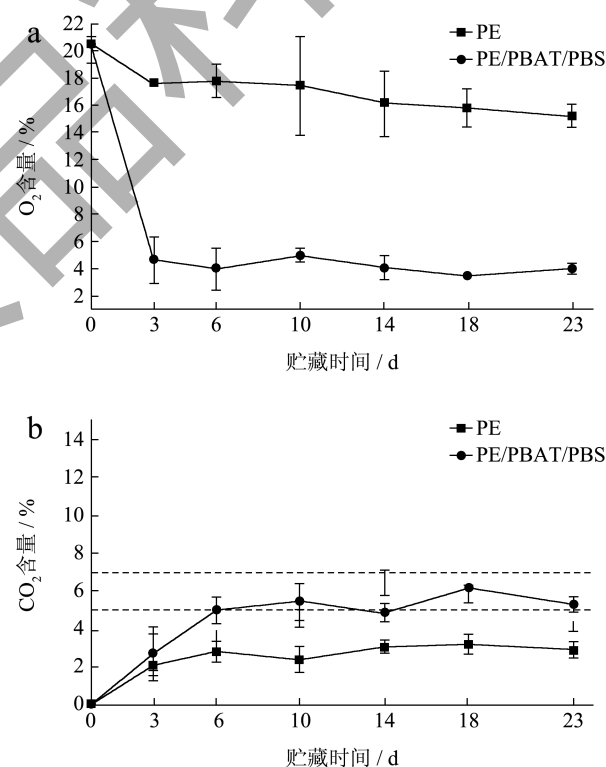


图2 贮藏期间包装袋内O₂ (a)和CO₂ (b)含量

Fig.2 O₂ (a) and CO₂ (b) concentration inside packaging during the storage

由图2a、2b可以看出，在整个贮藏期间PE组的氧气含量明显高于PE/PBAT/PBS组的氧气含量，PE材料透气性良好^[22,23]，因此袋内的CO₂大量的被排出到袋外，使得袋内的CO₂体积分数显著低于PE/PBAT/PBS组，加快了草莓的呼吸作用，导

致草莓营养物质流失,在贮藏第10 d时出现腐烂现象。PE/PBAT/PBS包装组在贮藏6 d后,包装袋内草莓的呼吸速率与薄膜的气体交换达到动态平衡,其包装内 O_2 含量的体积分数平衡于3%~5%范围内小幅度波动, CO_2 含量的体积分数则是在5%~7%的范围内波动至贮藏结束,袋中 CO_2 和 O_2 含量的比例达到了草莓贮藏较适宜的气氛条件,延长了草莓的保质期。

2.4 贮藏期间草莓感官的变化

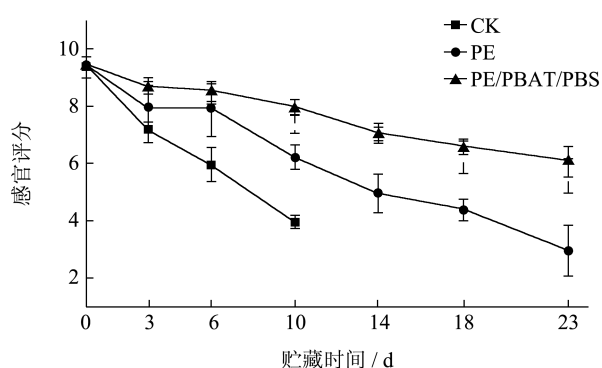


图3 贮藏期间草莓的感官评分

Fig.3 The variation of sensory scores of strawberry of each group during storage

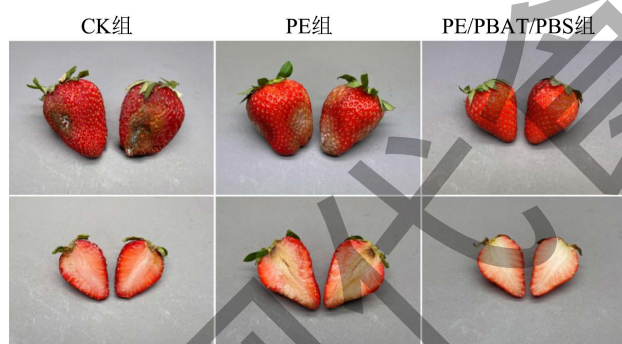


图4 贮藏第23天的草莓

Fig.4 Strawberries stored for 23 days

图3是草莓感官品质的变化趋势图,从图中可以看出CK组的草莓感官评分下降最快,在贮藏第6天时,感官评分已下降到了6分,已经失去了可食用价值^[23]。与其他包装组相比,差异显著。PE组贮藏前期评分较高,在贮藏第10天开始,其感官评分下降较快,且感官评分低于6分,失去了食用价值。这是由于在包装袋内出现结露现象,从而加快了草莓的腐烂变质。PE/PBAT/PBS组感官评分下降的趋势较缓,感官评分显著高于其他包装组,直至实验结束仍维持良好的感官品质。图4是贮藏23 d时草莓外观及内部状态的变化,CK组的草莓失水萎焉,

完全失去商品价值。PE组的草莓出现腐烂情况,而PE/PBAT/PBS组草莓以及切面图都呈现很好的色泽、很饱满。

2.5 失重率的测定

图5是草莓失重率的变化图。可以看出所有组的草莓失重率都随贮藏时间逐渐增加。CK组与PE组和PE/PBAT/PBS组有着非常显著的差异,产生此结果的原因是没有采取保护措施空白组,水分流失最迅速,在贮藏的最后一段时间里失水的比率高达质量分数的22%,草莓在贮藏期间失重率高出质量分数的5%就会失去食用价值,故CK组停止实验。而其他两组在失重率上没有明显的差别,是因为薄膜材料的阻碍与隔离作用让包装袋内的湿度渐渐变高,而且外部的空气流动及环境不会对包装袋内部产生显然的影响,因此呼吸作用及蒸腾作用全都比空白组低,说明保鲜效果良好。

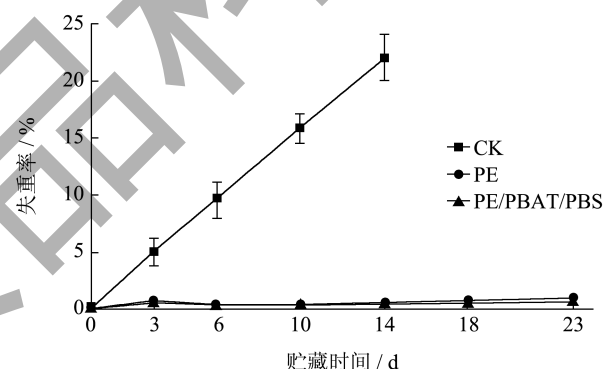


图5 贮藏期间草莓失重率的变化

Fig.5 Variation of weight loss rate of the strawberry in packages

2.6 Vc含量的测试

图6是贮藏期间内Vc含量的变化趋势图。抗坏血酸(Vc)在贮藏过程中会很容易受到水分和酶影响,从而发生氧化作用,使得Vc分解,导致含量的下降^[24]。本实验在低温度条件下,通过气调包装的调控作用使得草莓在最适宜的气体环境中贮藏。这种气体环境下草莓的生理活动会被抑制,Vc的分解会明显降低,最终使得草莓果实的衰老得到延缓。从图6中能够看出相较于其他实验组,CK组的Vc含量有明显的先上升后下降。贮藏第3天时,CK组的Vc含量达到最高值52.73 mg/100 g,是呼吸最高峰。随着贮藏期间的延长,Vc含量迅速下降,在贮藏第10天CK组的草莓出现腐败氧化分解,到14 d时,果实中的Vc含量下降至32.46 mg/100 g。

PE 包装组也在第 3 天时达到最大值 48.14 mg/100 g。而 PE/PBA/PBS 组在第 10 天时才出现最大值, 说明 PE/PBAPBS 组的草莓呼吸作用得到了抑制, 并且在整个贮藏期间内 PE/PBAPBS 组的抑制效果始终最好, 在贮藏后期 23 d 以后仍能保持着较高的含量 44.72 mg/100 g, 这是由于该组包装在贮藏期间保持草莓较为适宜的气氛浓度, 在一定程度上抑制了草莓果实的呼吸作用, 有效的推迟了呼吸高峰的出现, 放慢其果实的生理作用而引起的营养品质下降和衰老腐败。

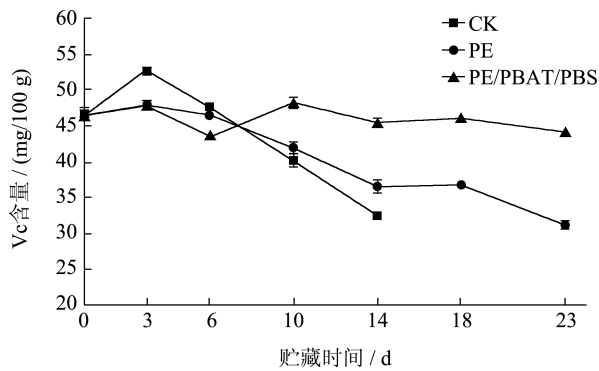


图 6 贮藏期间草莓 Vc 含量的变化

Fig.6 The variation of Vc of strawberry of each group during storage

2.7 硬度的测试

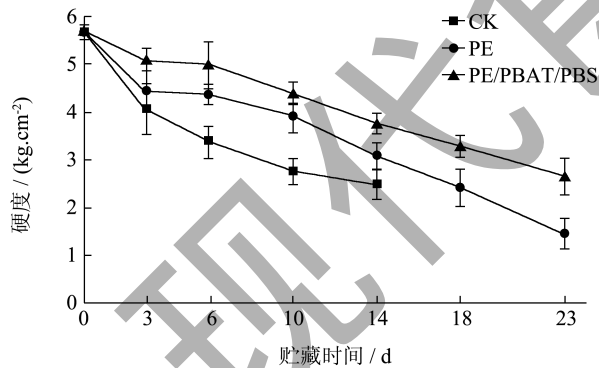


图 7 贮藏期间草莓硬度的变化

Fig.7 The variation of firmness of strawberry of each group during storage

贮藏期间草莓硬度的变化见图 7。新鲜的草莓质地紧密结合, 表皮结构较为坚硬。从图中可以看出各组草莓的硬度都呈现下降的趋势, 空白组尤为明显, 因失水严重, 下降速度快于其他组。PE 组因为袋内氧气含量过多, 二氧化碳含量太低而产生无氧呼吸, 破坏其细胞组织结构, 硬度迅速下降。在整个贮藏期内 PE/PBAT/PBS 组草莓的硬度都高于

其他组, 在第 23 天下降到 2.83 kg/cm² 这是因为 PE/PBAT/PB 组包装内的气氛环境更适合于草莓的保鲜。

2.8 可溶性糖的测试

图 8 为贮藏期可溶性糖 (TSS) 含量的变化趋势图。在贮藏 3 d 时, 因草莓的后熟作用, 淀粉转化成可溶性糖, 因此各组 TSS 含量都上升。CK 组 TSS 含量上升最为明显, 其质量分数达到了 11.21%。PE 组 TSS 含量从第 14 天开始迅速下降, 出现严重的结露现象, 以至于微生物迅速繁殖, 消耗了可溶性糖^[25]。PE/PBAT/PBS 组的可溶性固形物含量变化没有太大的波动, 质量分数从第 0 天的 9.58% 下降到了 8.47%。说明这组对草莓品质的保存起到了较好的作用, 利于长时间保存。

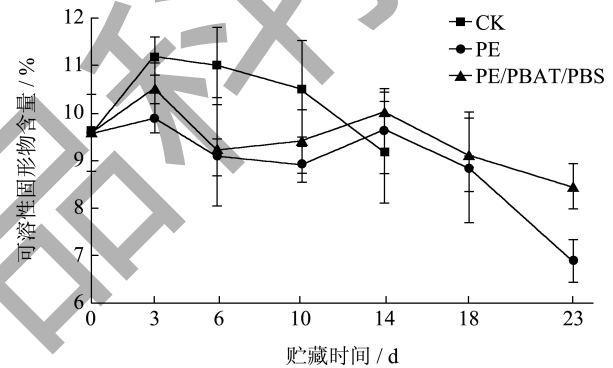


图 8 贮藏期间草莓 SSC 含量的变化

Fig.8 The variation of total soluble solid of strawberry of each group during storage

2.9 色差的测试

图 9a~9d 分别为贮藏期间的 L*、a*、b* 和 ΔE 值的变化。从图 9a 中可以发现, 对照组和所有实验组中的 L* 值都呈现下降的趋势。其中 CK 组的 L* 值下降最为明显, 说明该组草莓果实的褐变较为严重。市售包装 PE 组在贮藏期间由于包装袋内出现严重的结露现象, 在贮藏 10 d 起果实的 L* 值开始快速下降, 与其他包装组呈现差异显著 (P<0.05); PE/PBAT/PBS 组的 L* 值也逐渐开始下降, 在贮藏 23 d 仍保持着较高的 L* 值, 这与草莓的感官评分的变化规律一致。表明 PE/PBAT/PBS 组的草莓维持相对较好的亮度, 抑制了果实的衰老褐变。

图 9b 表明了草莓果实的 a* 值变化。在整个贮藏期间, CK 组的 a* 值变化较大, 随着草莓果实的成熟, 在贮藏初期 a* 值出现升高现象, 剩余组先后达到 a* 值高峰, 随后便逐渐开始下降。PE 组在

贮藏第 6 天起差异显著；PE/PBAT/PBS 组在贮藏期间 a^* 值的下降较慢。

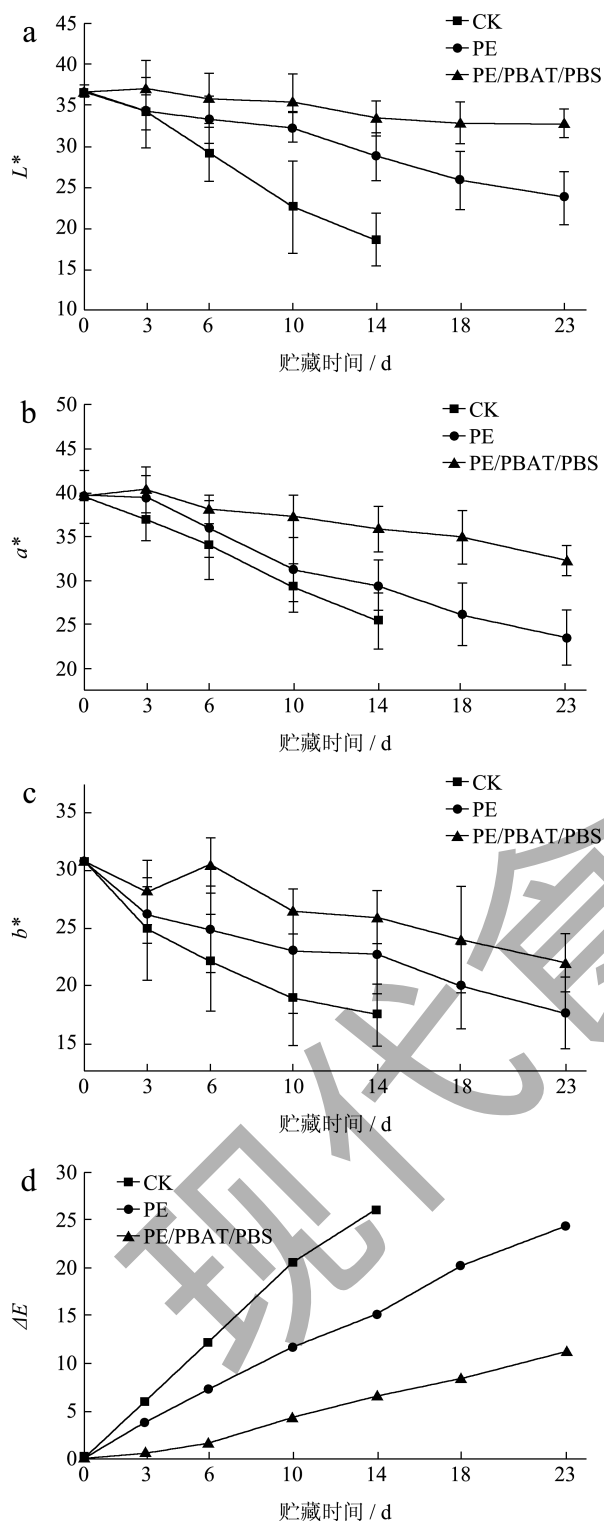


图 9 贮藏期间草莓的色差变化

Fig.9 The variation of color of strawberry of each group during storage

图 9c 显示，贮藏期间草莓的 b^* 值也出现类似的变化趋势。CK 组在无任何保护的作用下，色差

b^* 值下降的最快；PE 组的下降速度仅次于 CK 组；在贮藏到了 23 d 时，它的 b^* 值下降到了 17；随着草莓果实的成熟衰败，PE/PBAT/PBS 组的 b^* 值也逐渐下降，在贮藏结束时它的 b^* 值约为 22。

图 9d，草莓果实的色度变化可用 ΔE 值来反映。在贮藏第 5 天时，CK 组果实的 ΔE 值达到了 10 左右（差异明显），在贮藏第 14 天时果实的 ΔE 值高到 25。说明空白组的果实已经腐烂褐变，其草莓的颜色变化很大，色差极为明显。PE 组因包装袋内出现结露等现象在贮藏第 6 天起 ΔE 值迅速升高，在贮藏末期高达 24 左右；PE/PBAT/PBS 组在贮藏第 10 天为止，较好的维持相对平稳的 ΔE 值，随后便开始缓慢增大，在贮藏第 23 天后将 ΔE 值控制在 10 左右，说明该组包装较好的减慢了草莓果实色度的分解，有效维持了草莓果实的新鲜度。

2.10 草莓贮藏过程中的总酚、黄酮含量的变化

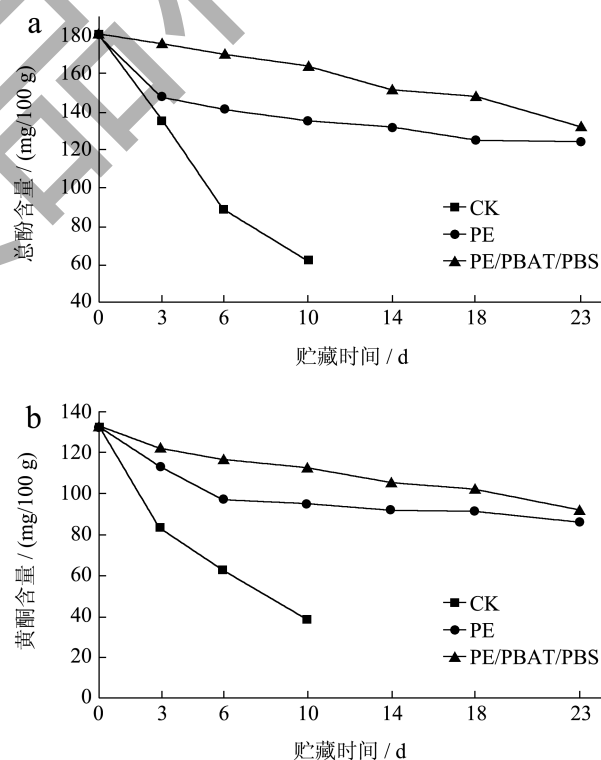


图 10 贮藏期间草莓总酚 (a)、黄酮 (b) 含量的变化

Fig.10 Changes of polyphenols (a) and flavonoids (b) in strawberry during storage

草莓在贮藏期内总酚和黄酮的变化如图 10 所示，从图 10 可以看出，草莓中总酚和总黄酮的含量都随天数的增加而降低。其中，CK 组的总酚和黄酮含量下降最快，在贮藏到第 10 天时下降到了

62.17 mg/100 g 和 37.22 mg/100 g。整个贮藏期间, PE/PBAT/PBS 组始终保持了果实中较高的总酚含量, PE/PBAT/PBS 组在一定程度上可延缓草莓中总酚和总黄酮的减少速度, 提高其清除自由基的能力^[26,27]; 提高它的抗氧化活性。

3 结论

通过双螺杆挤出流延法制备出不同共混比例的 PE/PBAT/PBS 薄膜, 用于草莓的低温自发气调保鲜。加入 PBAT 和 PBS 改善了 PE 薄膜的透湿性还有气体阻隔性, 使共混后的薄膜 CO₂ 和 O₂ 选择透过比显著提高, 更适于草莓的包装贮藏。PE 薄膜在贮藏 10 d 后, 感官评分下降至 6 分以下。失去食用价值。与 PE 相比, PE/PBAT/PBS 组薄膜可以在袋内维持比较适宜的高 CO₂ 低 O₂ 体积分数, 保持了果实较高的感官评分, 失重率保持在质量分数的 5% 以下, Vc 含量在第 23 天达到 44.72 mg/100 g, 硬度下降到 2.83 kg/cm², 可溶性糖的质量分数下降到 8.47%, 色差值维持在 10 左右, 保持了果实中较高的黄酮和总酚含量, PE/PBAT/PBS 薄膜可有效延长草莓的贮藏期, 在草莓贮藏以及运输提供了良好方案, 减少草莓在贮藏以及运输方面的损失。同时也为水果贮藏提供了新的方向, 减少果农、商家以及顾客的经济损失, 有效延长货架期。同时使用可降解材料, 人们的生活水平越来越好, 对食品的要求从最初的保鲜到后来的高品质要求, 还有对环保意识的增强, 可降解材料成为人们所关注的热点, 减少白色污染, 保护自然环境已是大势所趋。

参考文献

- [1] FVDVA B, DEC D, MHG C, et al. Anti-inflammatory and wound healing properties of polyphenolic extracts from strawberry and blackberry fruits [J]. Food Research International, 2019, 121: 453-462.
- [2] YAN J Q, WU H, SHI F. Antifungal activity screening for mint and thyme essential oils against rhizopus stolonifer and their application in postharvest preservation of strawberry and peach fruits [J]. Journal of Applied Microbiology, 2020, 43(2): 52-56.
- [3] 唐甜甜, 解新方, 任雪, 等. 草莓贮藏保鲜技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(5): 332-339.
- [4] 刘祎, 蒋悦, 马仁泽, 等. 聚乙烯醇复合材料在草莓保鲜领域中的应用[J]. 塑料工业, 2019, 47(S1表示增刊): 16-19.
- [5] 贾权, 刘斌, 韩馨仪. 低温贮藏对草莓品质影响研究[J]. 冷藏技术, 2020, 43(2): 25-29.
- [6] 谢晶, 张利平, 王金锋. 贮藏温度对草莓理化性质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 307-310.
- [7] 王兢业. 1-MCP与壳聚糖/纳米SiO₂复合涂膜处理对草莓冷藏品质和生理代谢影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
- [8] PARK J E, KIM H M, HEANG S J. Changes in marketability of strawberry 'Maehyang' for export as affected by harvest time of the day and temperature of precooling and storage [J]. Protected Horticulture and Plant Factory, 2020, 29(2): 153-160.
- [9] 郭慧媛, 吴广枫, 曹建康. 冰箱气调贮藏对水果的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2020, 39(2): 41-45.
- [10] 丁华, 王建清, 王玉峰, 等. 不同气体比例对草莓气调包装保鲜效果的影响[J]. 包装与食品机械, 2016, 34(3): 15-19.
- [11] 杨洲. 草莓保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(2): 133-138.
- [12] 云雪艳. 高韧性、高选择透过性聚乳酸薄膜的制备及其对果蔬的气调保鲜效果[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [13] 晋光辉, 王福东, 郑丽静, 等. 不同比例气体对草莓贮藏保鲜效果的影响[J]. 蔬菜, 2020, 7: 67-70.
- [14] 张雷刚, 马艳弘, 张映瞳, 等. 气调保鲜对草莓贮藏期品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2019, 39(2): 41-45.
- [15] 郑拓. 生物可降解聚(己二酸丁二醇酯-对苯二甲酸丁二醇酯)的纤维成型及紫外交联研究[D]. 上海: 东华大学, 2016: 13-15.
- [16] 杨菁卉, 杨福馨, 李绍菁, 等. PBAT/淀粉填充可降解薄膜的制备及降解性能的研究[J]. 功能材料, 2020, 51(10): 10075-10080.
- [17] 魏风军, 李莹. 可生物降解PBS薄膜在果蔬保鲜包装中的研究进展[J]. 今日印刷, 2020, 12: 60-62.
- [18] 于天颖, 陈玉成, 张锐. 草莓贮藏保鲜技术[J]. 农业科技与装备, 2012, 8: 77-79.
- [19] YANG M Y, BAN Z J, LUO Z S, et al. Impact of elevated O₂ and CO₂ atmospheres on chemical attributes and quality of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) during storage [J]. Food Chemistry, 2020, 307: 125550.
- [20] 张冰, 张会娟, 张全盛, 等. 樱桃中花色苷、Vc及其蛋白提取工艺的优化[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 37-41.
- [21] 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.
- [22] 李海朝, 赞青公, 杨斯乔. 甲壳素/明胶复合膜与PE保鲜膜性能对比[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2019, 35(6): 1-4, 76.
- [23] LI W F, WUFUER R, DUO J. Microplastics in agricultural soils: Extraction and characterization after different periods of polythene film mulching in an arid region [J]. The Science of the Total Environment, 2020, 749(20): 141420.
- [24] 谭福能, 金梦飞. 羧甲基壳聚糖/海藻酸钠/纳米二氧化硅涂膜保鲜草莓[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 155-158.
- [25] YAN Y S, DUAN S Q, ZHANG H L. Preparation and characterization of konjac glucomannan and pullulan composite films for strawberry preservation [J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 243(1): 116446.
- [26] 郑凌云, 周秋菊, 王玲玲. UPLC-Q-ToF/MS非靶向快速筛查野樱莓冻干粉中的多酚类化合物[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2020, 33(2): 276-280.
- [27] 雷云琛. 贮藏条件对浓缩果汁主要色素成分及其抗氧化能力变化的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.