

聚乙烯抗菌膜的制备及其对草莓保鲜效果的研究

卢亚男, 赵美艳, 李立

(上海海洋大学 a.食品学院 b.食品热加工工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: **目的** 比较天然抗菌剂(生姜精油)和无机抗菌剂(改性纳米氧化锌)在贮藏过程中对草莓的保鲜效果。**方法** 分别添加抗菌剂质量分数为3%和4%的生姜精油和改性纳米氧化锌(ZnO)于低密度聚乙烯和茂金属乙烯-己烯共聚物中,通过共混挤出、流延工艺制备抗菌活性包装膜,对草莓进行保鲜贮藏。通过测定贮藏过程中草莓的质量损失率、腐败率、糖度、硬度、感官品质以及包装内气体成分等指标,探究草莓在 $(16\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 保存条件下不同抗菌活性包装膜对草莓保鲜品质的影响。**结果** 添加抗菌剂的保鲜膜均可有效减少草莓水分、硬度的下降,抑制草莓果实的腐败变质,提高草莓感官品质。**结论** 添加质量分数为4%的无机抗菌剂(改性纳米 ZnO)复合薄膜对新鲜采摘草莓保鲜效果更理想。

关键词: 生姜精油; 改性纳米氧化锌; 抗菌包装; 草莓; 保鲜

中图分类号: TB484 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)01-0195-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.01.022

Preparation of Antibacterial Polyethylene Films and Their Effect on Strawberry Preservation

LU Ya-nan, ZHAO Mei-yan, LI Li

(a. College of Food Science and Technology b. Engineering Research Center of Food Thermal-Processing Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to compare the preservation effects of natural antibacterial agents (ginger essential oil) and inorganic antibacterial agents (modified nano zinc oxide (ZnO)) on strawberry during storage. The low-density polyethylene and metallocene polyethylene was added with 3% antibacterial agent concentration of ginger essential oil and 4% antibacterial agent concentration of modified nano-ZnO. The antibacterial activity packaging films were paped by blending extrusion and flow casting process to keep strawberry in storage fresh. The weight loss ratio, spoilage rate, sugar content, hardness, sensory quality and gas composition in package of strawberry during storage were measured and the effects of different antibacterial activity packaging films on strawberry preservation were investigated at $(16\pm 1)^{\circ}\text{C}$. Results showed that the preservative film with antibacterial agent could effectively reduce the decrease of water content and hardness on strawberry, and inhibit the spoilage of strawberry fruit, and improve the sensory quality of strawberry. The ideal preservation effect is given by combining with 4% concentration of inorganic antibacterial agent (modified nano-ZnO) composite films on fresh picked strawberry.

KEY WORDS: ginger essential oil; modified nano-ZnO; antibacterial packaging; strawberry; preservation

收稿日期: 2022-06-16

基金项目: 上海市地方能力建设专项(19050502000)

作者简介: 卢亚男(1997—),女,硕士生,主攻食品加工与贮藏。

通信作者: 李立(1977—),男,博士,教授,主要研究方向为食品加工与贮藏。

中国是世界上种植草莓面积和产量最大的国家,草莓中含有丰富的营养物质和生物活性物质,如维生素、矿物质、纤维素E、花青素、类胡萝卜素以及萜类化合物等。除此之外,草莓果实中脂肪含量较低且不含胆固醇,口感很好,深受消费者喜欢^[1-3]。草莓属于蔷薇科常绿水果,其果实表皮组织较软、含水量高达90%~95%、且新鲜采摘后呼吸强度较大、在运输、售卖过程中易受到挤压碰撞造成机械损伤和微生物感染而发生腐烂变质^[4],它仅能在常温(16±1)℃下储存2d,使得水果商品价值变低^[5]。

食品表面微生物的生长繁殖是造成食品腐烂变质的主要原因,因此选用来源广泛、无毒无害且抗菌效果好的食品抗菌剂很有必要^[6]。抗菌剂(包括有机抗菌剂、无机抗菌剂、天然抗菌剂和高分子抗菌剂)能够抑制多类微生物生长发育。其中,天然和无机抗菌剂具有广谱抗菌性和较好的抗菌性能,且安全无毒无害无残留,因此被广泛地应用于抗菌保鲜膜的基础研究^[7-8]。生姜精油是从植物姜的根部提取的油性芳香和挥发性液体,是一类天然抗菌剂,耐热性较差,具有一定的不稳定性,它是世界上使用最广泛的香料之一,具有很强的抗菌和抗氧化活性^[9]。纳米ZnO是一类无机抗菌剂,由于其具有优良的抗菌性能和突出的耐热性(600~1000℃),在高温高压下显示出更好的稳定性,抗菌时效较长,已被广泛应用于食品包装材料^[10]。纳米ZnO的加入可以使得明胶膜的含水率、水接触角、透水性和断裂伸长率均有所提高,但拉伸强度和弹性模量均有所下降,在纳米ZnO表面产生的活性氧是使薄膜对致病菌抗菌作用增强的原因^[11-12]。

本实验是通过添加不同种类抗菌剂(生姜精油、改性纳米氧化锌)于低密度聚乙烯和茂金属乙烯-己烯共聚物中制备活性复合薄膜,然后对草莓进行常温(16±1)℃保鲜试验,每隔2d观察并记录经抗菌剂包装处理的草莓在保藏过程中的质量损失率、硬度、糖度、腐败率以及包装袋内气体含量等指标的变化,比较天然、无机抗菌剂处理对草莓的保鲜效果,以期为鲜食草莓贮藏保鲜提供参考依据。

1 实验

1.1 材料

主要材料:草莓购于生鲜果蔬批发市场,种于上海新港,品种为奶油草莓,当天新鲜采摘,挑选大小均一,无碰撞和机械损伤的草莓;生姜精油,吉安市中香天然植物有限公司;纳米ZnO(99.9%,30nm±10nm),上海麦克林生化科技有限公司;茂金属乙烯-己烯共聚物(Exceed 3518CB),埃克森美孚化工有限公司;低密度聚乙烯(LDPE2426H),余姚市玉昆龙塑化有

限公司。

主要仪器:LSSHJ-20双螺杆挤出机,上海科创像塑机械设备有限公司;LYJ-300流延机,上海科创像塑机械设备有限公司;XSS-300转矩流变仪,上海科创像塑机械设备有限公司;AC-220V热封机,上海科创像塑机械设备有限公司;L-0305电子数显螺旋测微仪,桂林广陆数字测控有限责任公司;XLW(EC)智能电子拉力试验机,济南兰光机电技术有限公司;T10高速搅拌机,德国IKA;G2-32气体渗透测试仪,济南兰光机电技术有限公司;PERMATRAN-W1/50G水蒸气透过率测试仪,美国膜康有限公司;BSM-220.3分析天平,上海卓精电子科技有限公司;CheckMate9900顶空气体分析仪,丹圣(上海)贸易有限公司;LH-T32手持式糖度测定仪,郑州南北有限公司;GY-4型果实硬度计,上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 纳米氧化锌改性

利用高速搅拌机的高剪切力,将硅烷偶联剂KH570加进纳米ZnO中充分混合均匀5min,使其更好地与其他物质附着,高速搅拌后的纳米ZnO具有更好的疏水性能,且分散性更好,以此达到表面改性的目的。将改性好的具有优异疏水性能的纳米ZnO粉末置于真空干燥箱中120℃下干燥2h备用。

1.2.2 2种抗菌膜的制备

称取质量分数为3%的生姜精油于特定比例的茂金属乙烯-己烯共聚物和低密度聚乙烯树脂中混合均匀。待混合均匀后经LSSHJ-20型双螺杆挤出机(上海,中国)造粒,加热温度为175℃,然后经LSJ-20型塑料挤出机(中国,上海)流延成膜,聚乙烯改性薄膜厚度为20~30μm。

称取质量分数为4%的上述改性好的纳米氧化锌粉末混于特定比例的茂金属乙烯-己烯共聚物和低密度聚乙烯树脂中,然后进行物理共混,使粉末与聚乙烯树脂搅拌均匀。待混合均匀后经LSSHJ-20型双螺杆挤出机(上海,中国)造粒,加热温度为175℃,然后经LSJ-20型塑料挤出机(中国上海)流延成膜,聚乙烯改性薄膜厚度为20~30μm。

双螺杆挤出装置各个区段温度为160、165、175、175、170、170、170℃,转速为120r/min,塑料挤出装置各个区段温度为150、165、170、175、170、170、170℃,转速为100r/min。

1.2.3 性能测试

1.2.3.1 力学性能测试

聚乙烯薄膜的拉伸强度(Tensile Strength, TS)和断裂伸长率(Elongation at Break, EAB)是使用智能电子拉伸试验机(XLW(EC),中国济南)在

温度为 25 °C 和相对湿度为 90% 的环境下采用拉伸试验测定的,具体参照《薄塑料薄膜拉伸性能的标准测试方法》^[13]。

1.2.3.2 氧气透过率测试

使用 PERME G2/132 差压式气体渗透计,采用 Jiang 等^[14]的测试方法,在温度为 23 °C 和相对湿度为 50% 的条件下进行测试,将薄膜样品裁成 $\Phi 97$ mm 圆形试样进行实验,将圆形样品薄膜密封贴于气体渗透测试仪的检测腔内,每组样品测定 3 次,取平均值,得出薄膜的氧气透过率。

1.2.3.3 水蒸气透过率测试

通过 PERMATRAN-W1/50G 水蒸气透过率测试仪,在相对湿度为 100%,温度为 37.8 °C 条件下测定,每组样品测定 3 次,取平均值,得出薄膜的水蒸气透过率。

1.2.4 样品制备

每组称取 250 g 草莓装入包装袋,厚度为 (28 ± 2) μm 并用热封机密封保存。草莓被随机分成 4 组,分别包括未包装的草莓(裸露组)和用低密度聚乙烯和茂金属乙烯-己烯共聚物为基材制备的空白薄膜、在基材基础上添加生姜精油的抗菌薄膜、在基材基础上添加改性纳米氧化锌的抗菌薄膜。样品在 (16 ± 1) °C 下保存 7 d,每隔 2 d 拆开薄膜测量一次,每组 3 个平行。

1.2.5 保鲜实验

1.2.5.1 腐败率测定

以果实外观有明显腐烂、霉变为腐烂的标准,记为该草莓腐烂。腐败率按照式(1)进行计算。

$$\text{腐败率}/\% = (\text{腐败果实数}/\text{果实总数}) \times 100\% \quad (1)$$

1.2.5.2 硬度测定

采用果实硬度计(GY-4,中国,上海)对草莓进行测量。从样品组中随机抽取 3 个草莓,在 3 个不同位置进行测量,计算平均硬度。

1.2.5.3 顶空测定

使用顶空气体分析仪(CheckMate9900,中国,上海),将测试针垂直插入袋中,测量并记录包装袋中的氧气(O_2)和二氧化碳(CO_2)含量。每组测量 3 个平行组,结果以百分比表示。

1.2.5.4 质量损失率测定

质量损失率(Weight Loss Ratio, RWL)测定:通过称量法称测量损失的质量。草莓样品在贮藏前和贮藏后每天各称量一次^[15]。

质量损失率使用式(2)计算。

$$R = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\% \quad (2)$$

式中: m_1 为草莓贮藏前的质量,g; m_2 为草莓贮藏后的质量,g。

1.2.5.5 糖度测定

采用手持式糖度测定仪(LH-T32,中国,郑州)

测量糖度。从样品组中随机抽取 3 个草莓,挤压成汁液滴于手持糖度计的载玻板上,对光观察并记录刻度线的数字即为糖度,计算平均糖度。

1.2.5.6 感官测定

按照表 1 中的草莓感官评价标准^[16]:新鲜度;色泽度(红度、亮度);光泽度;干缩度;腐烂面积和花萼萎蔫度,以实验者自身感官给草莓评分,把各项分数相加即为感官评价总分数。设定 65 分以上为及格,即具有商业使用价值。

1.2.6 统计分析

采用 SPSS 25 软件进行单因素方差分析,结果以平均数 $\pm$ 标准差表示。 $P < 0.05$ 表示差异显著,每组样品进行 3 次平行,用平均值进行统计分析数据曲线,利用 Origin 2019b 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 力学性能

从表 2 可以看出,将抗菌剂(生姜精油、纳米氧化锌)添加到空白聚乙烯树脂中一定程度上提高了薄膜的拉伸性能。对照组的横向抗拉强度为 5.48 MPa,生姜精油组的影响不显著($P > 0.05$),而经改性氧化锌组则使聚乙烯薄膜的抗拉强度明显增高($P < 0.05$)。原因可能是纳米氧化锌的加入干扰了聚乙烯分子链的结晶形式,且纳米氧化锌经高速搅拌滴加偶联剂改性后使得纳米级粒子更加均匀稳定地分散,能够很好地与膜基质相容。实验组断裂伸长率显著高于空白组,可能是由于生姜精油和纳米氧化锌对复合薄膜具有增塑作用,可以改善薄膜的延展性^[17]。纵向薄膜与空白组相比,抗拉伸强度均有一定变化,断裂伸长率变化不显著($P > 0.05$)。

2.2 氧气、水蒸气透过率

由表 3 可以看出,添加不同类别抗菌剂(生姜精油、改性纳米 ZnO)于聚乙烯薄膜中均可在一定程度上提高薄膜阻隔性能,即 O_2 透过率降低、水蒸气透过率减小。空白组的氧气透过率最高,生姜精油组薄膜较空白组降低了 4.12%,氧化锌组薄膜较空白组降低了 20.78%,相比之下,添加改性氧化锌组薄膜能够更好地改善聚乙烯薄膜的阻氧性能。

可以看出,随着纳米氧化锌的加入,水蒸气透过率明显降低,这是由于经偶联剂 KH570 改性后的纳米粒子的疏水性提高,能较好地分散于保鲜膜中,这使得水分子穿过薄膜的路径增加,因此,纳米氧化锌复合薄膜具有更好的水蒸气透过性能,能够一定程度上减少草莓的蒸腾作用,使其更适于草莓的保鲜。

表 1 草莓感官评价标准
Tab.1 Sensory evaluation criteria for strawberry

评价标准	1 级		2 级		3 级		4 级	
	得分	标准	得分	标准	得分	标准	得分	标准
新鲜度（30）	27~30	现摘草莓，无任何明显感官上的问题	21~27	开始有淡淡的萎蔫痕迹，但不明显	15~21	草莓饱满度下降，整体品质下降	<15	明显品质区别于新鲜草莓，失去光泽颜色变深
色泽度（10）	9~10	现摘草莓，无任何明显感官上的问题	7~9	颜色开始变暗，但不明显	5~7	色泽能明显看出发暗红色	<5	草莓颜色几乎完全变为暗红色
光泽度（10）	9~10	现摘草莓，无任何明显感官上的问题	7~9	光泽开始变淡，但不明显	5~7	光泽变差，明显看出失去部分光泽	<5	草莓几乎失去光泽，即使光照条件也很难看出光泽
干缩度（10）	9~10	现摘草莓，无任何明显感官上的问题	7~9	表面开始有萎缩痕迹，但不明显	5~7	开始有失水变小，表面有萎缩痕迹	<5	草莓明显失水变小，表面有因失水萎缩造成的皱纹
花萼萎蔫度（10）	9~10	现摘草莓，无任何明显感官上的问题	7~9	花萼开始有失水痕迹，但不明显	5~7	能够看出花萼萎缩失水变小	<5	花萼出现干燥卷曲现象，失水变小
腐烂面积（30）	27~30	现摘草莓，无任何明显感官上的问题	21~27	开始有很淡的水斑出现，但不明显	5~7	有菌斑及明显水浸斑等腐烂痕迹	<15	大面积（30%以上）出现菌斑及水浸斑

表 2 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜力学性能
Tab.2 Mechanical properties of different antibacterial polyethylene packaging films

组别	抗拉强度（TS）/MPa		断裂伸长率（EAB）/%	
	横向	纵向	横向	纵向
空白	5.48±0.07 ^b	15.70±0.84 ^a	133.57±26.88 ^c	156.40±12.68 ^{ab}
生姜精油	5.65±0.31 ^b	13.63±0.66 ^b	366.60±19.51 ^b	186.00±9.62 ^a
氧化锌	7.27±0.09 ^a	17.51±0.42 ^b	440.60±140.71 ^a	141.13±19.99 ^b

注：a、b、c 上标字母代表显著性差异，相同字母为不显著差异（ $P>0.05$ ），不同字母为显著差异（ $P<0.05$ ）。

表 3 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜氧气透过率、水蒸气透过率
Tab.3 Oxygen transmission rate and water vapor transmission rate of different kinds of antibacterial polyethylene packaging films

组别	氧气透过率/ [cm ³ ·(m ² ·24 h·0.1 MPa) ⁻¹]	水蒸气透过率/ [g·(m ² ·Pa·s) ⁻¹]
空白	5 736.10±62.52 ^a	55.81±0.99 ^a
生姜精油	5 465.63±25.66 ^a	51.11±0.05 ^b
氧化锌	4 543.89±361.35 ^b	39.50±1.41 ^c

注：a、b、c 上标字母代表显著性差异，相同字母为不显著差异（ $P>0.05$ ），不同字母为显著差异（ $P<0.05$ ）。

2.3 腐败率

腐烂率直接反映了草莓在贮藏过程中新鲜程度的变化，是评价草莓质量最直观、最明显的指标^[18]。由图 1 可以看出，空白组的草莓在第 1 d 就开始逐步发生腐烂，前 3 天腐烂趋势相对缓慢，但只能贮藏 3 d，之后腐烂加剧不可食用，而生姜精油和氧化锌组在第 1 d 未发生任何腐烂情况，果实色泽良好，5 d 后才开始有轻微腐烂，且腐烂面积低于空白组第 4 天的腐烂面积，主要原因是抗菌剂中的抗菌成分与草莓表皮接触，抑制了草莓表面腐败菌生长。3 组草莓腐烂率都呈逐渐增长趋势，且在第 3 天增长加剧。当草莓保存至第 7 天的时候，空白组、生姜精油、氧化锌组腐烂率分别约为 53%、30%、25%，可见无论是添加有天然抗菌剂还是有机抗菌剂聚乙烯薄膜保鲜效果均显著优于空白组，且无机抗菌剂即氧化锌组最佳，在常温（16±1）℃条件下延长了草莓货架期 4 d。

2.4 硬度

草莓硬度指果皮和纤维组织在外在压力下可承受的强度和压力，其指数大小与果实内部的果胶含量有关^[19]。如图 2 所示，草莓硬度随贮藏时间变化趋势先增大后减小。硬度的升高说明部分草莓因为采摘时并未完全成熟，细胞初生壁和中胶层的果胶含量仍处于增长阶段^[20-21]，因此在第 1 天时硬度值高于初始值，随后由

于草莓中果胶酶的作用使得果实硬度会逐渐降低^[22]。生姜精油和氧化锌组硬度总体来讲高于空白组, 是因为 2 组都具有抑制细菌增长的能力, 从而使果实产生软化变质的可能性减小, 维持硬度效果更明显。氧化锌膜包装的草莓硬度在 1 d 后变化相对较为平缓, 且相比于其他 2 组具有较好的硬度, 可能是因为草莓处于较适宜的气氛条件下, 有氧呼吸和果实成熟在一定程度上受到抑制。同时氧化锌具有一定的抗菌性, 一定程度上可以抑制细菌的数量, 使草莓维持在一个较好的硬度。

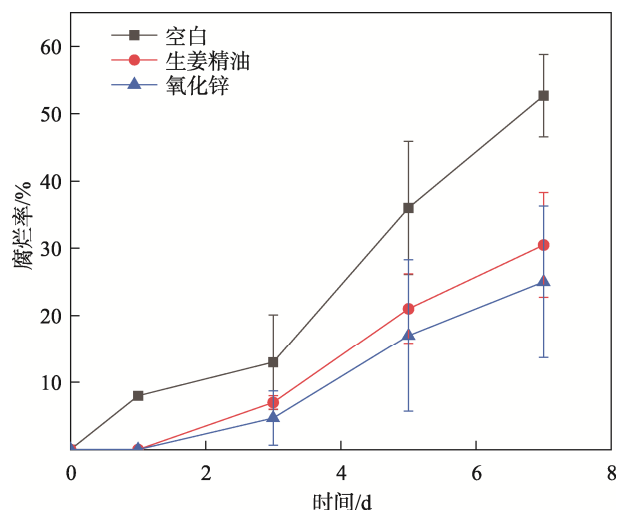


图 1 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜对草莓腐烂率的影响

Fig.1 Effects of different antibacterial polyethylene packaging films on decay rate of strawberry

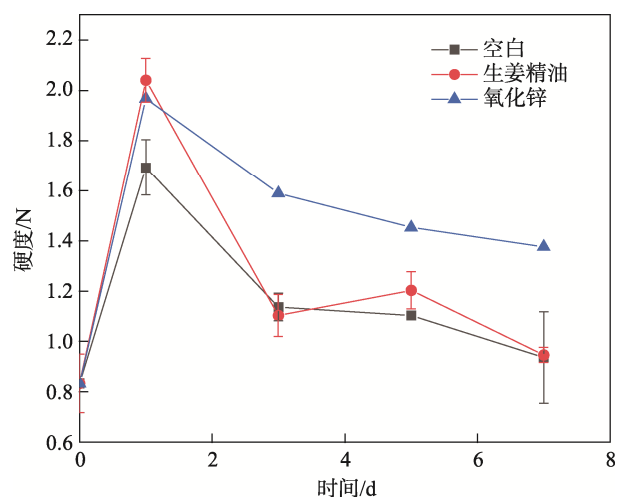


图 2 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜对草莓硬度的影响

Fig.2 Effects of different antibacterial polyethylene packaging films on hardness of strawberry

2.5 包装内气体成分

由图 3 可以看出, 在整个贮藏期间, 包装膜内整

体趋势为 O_2 体积分数下降、 CO_2 体积分数上升。这是因为新鲜采摘草莓的呼吸作用会消耗包装膜内的 O_2 , 产生的 CO_2 在包装膜内聚集, 使 CO_2 体积分数升高, O_2 体积分数下降。由图 3 可以看出, O_2 体积分数在 1 d 急剧下降, 3 d 后趋于平缓, 空白组 CO_2 体积分数在 1 d 后仍呈上升趋势, 而精油和氧化锌组呈下降趋势, 且明显高于生姜精油和氧化锌组 ($P < 0.05$), 可能是因为空白组 O_2 含量较低 (O_2 体积分数小于 0.5), 使得草莓一部分进行了无氧呼吸, 因此 CO_2 体积分数增高。无氧呼吸产生的中间产物积累过多会使果蔬变质。

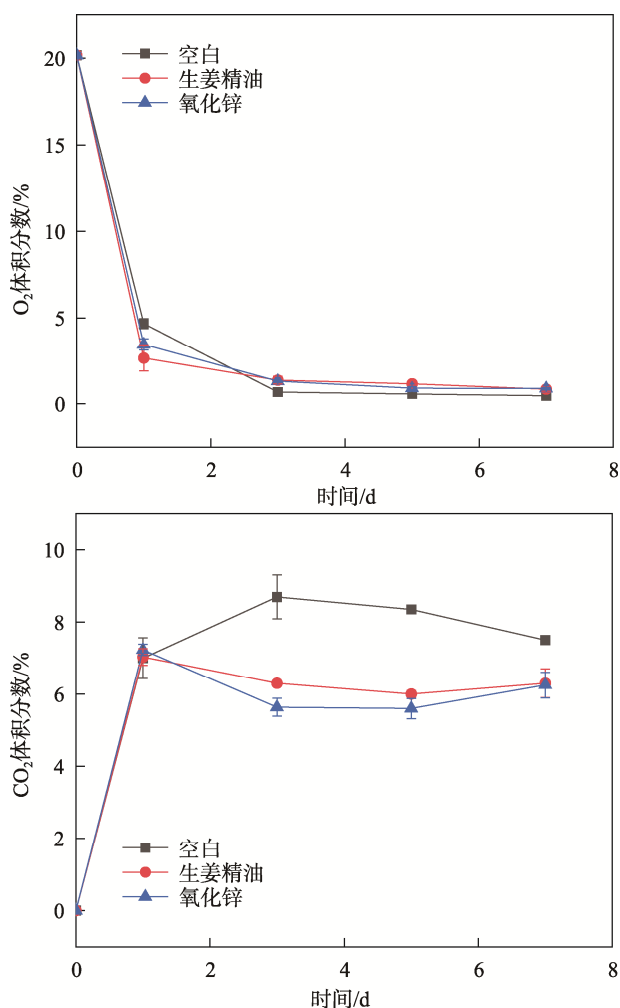


图 3 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜对草莓包装袋内 O_2 和 CO_2 体积分数的影响

Fig.3 Effects of different antibacterial polyethylene packaging films on oxygen content and carbon dioxide content in package of strawberry

2.6 质量损失率

草莓水分含量很高, 在贮藏期间容易因为蒸腾作用失水导致采后草莓质量减轻, 果实皱缩, 降低其经济价值。由图 4 可以看出, 质量损失率随贮藏时间的延长逐渐增大, 这是因为草莓富含大量水分因蒸腾作用而导致

失水增加。生姜精油和氧化锌组在1~5 d内质量损失率增长较为缓慢,保鲜效果基本一致,而空白组呈现较为明显的增长趋势。特别是在保鲜5 d后,生姜精油和氧化锌组质量损失率均显著低于空白组($P<0.05$),推测是因为生姜精油和改性纳米 ZnO 本身带有的抗菌性成分破坏了微生物细胞壁导致其丧失活性,抑制了微生物的生长,这是草莓由于病理性失水率显著降低的原因^[23]。在第7天,空白组、生姜精油组的质量损失率分别为2.4%、2.2%、氧化锌组的仅为1.8%,氧化锌组具有较好的保水性,保鲜效果也优于其他2组。可能是因为氧化锌粉末增加了薄膜的透气性,使草莓呼吸能力更强,减小了有毒物质在膜内的积累,且透水系数比其他2组更低,能更有效地阻止草莓水分的蒸发,加上其自身的抗菌性,因此保鲜效果更好。

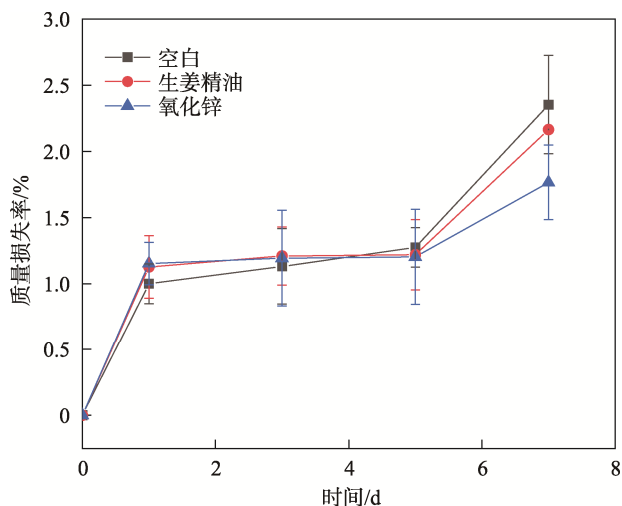


图4 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜对草莓质量损失率的影响

Fig.4 Effects of different kinds of antibacterial polyethylene packaging films on weight loss ratio of strawberry

2.7 糖度

草莓的糖度是评估草莓的一个重要指标,也是草莓在售卖过程中消费者比较关注的话题。由图5可以看出,各个组草莓的糖度变化趋势均为先下降再上升,空白组的糖度明显高于其他2组。草莓采后继续进行呼吸代谢,还原糖会被转化为能量、二氧化碳和水,果胶则在果胶酶的作用下降解为果胶酸,因此随着贮藏时间延长,糖含量降低。贮藏一段时间后果实中酸的含量会逐渐下降,这是因为一部分酸转化生成糖类,另一部分则为呼吸作用提供了底物,这也就是草莓的含糖量在第3天之后有所回升的原因。氧化锌组的糖度在第3天远低于空白组和生姜精油组的,可能是添加了氧化锌保鲜膜的水蒸气透过率较小,使得草莓由于呼吸和蒸腾作用产生的水分积聚在薄膜表面,稀释糖分浓度,导致糖度下降。

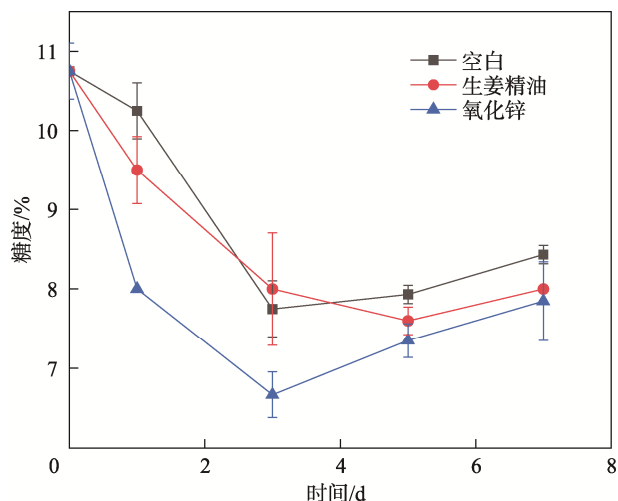


图5 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜对草莓糖度的影响

Fig.5 Effects of different antibacterial polyethylene packaging films on sugar degree of strawberry

2.8 感官

草莓的感官品质是通过评价人的感觉器官(包括味觉、嗅觉和视觉)对果实进行综合考量的指标,可作为影响其商业价值最为直观的因素^[24]。通过实验数据及图6可以看出,草莓的感官评价在不断降低,5 d后,空白组下降较为急剧,而精油组和纳米氧化锌组下降趋势较为缓慢。随着时间的推移,草莓腐烂程度明显增多,空白组在第5天后已经失去商业价值,出现不同程度的霉菌污染,而草莓经生姜精油和改性纳米氧化锌抗菌剂处理后,色泽、香味、干缩度、饱满度、腐烂面积均比空白组好,且没有明显的霉菌污染,其中改性纳米氧化锌组感官评价最好(见表3),这说明添加了抗菌剂的聚乙烯保鲜膜能明显改善草莓贮藏过程中的感官品质。

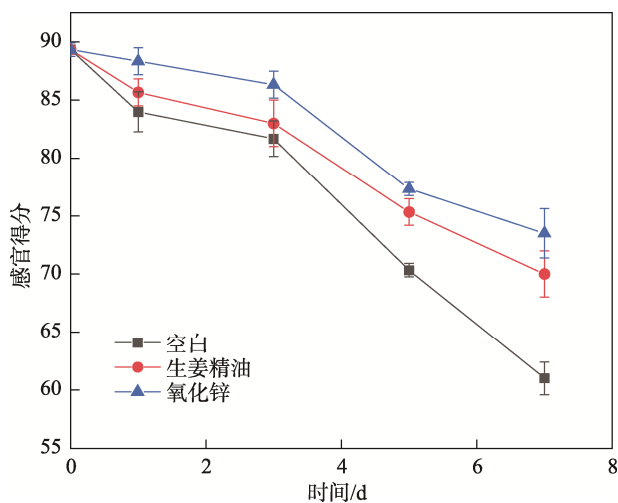


图6 不同种类抗菌包装聚乙烯薄膜对草莓感官评价的影响

Fig.6 Effects of different antibacterial polyethylene packaging films on sensory evaluation of strawberry

表 3 草莓贮藏期间形貌变化
Tab.3 Morphology changes of strawberry during storage

组别	1 d	3 d	5 d	7 d
空白				
生姜精油				
氧化锌				

3 结语

向聚乙烯薄膜中添加纳米 ZnO、生姜精油这 2 种抗菌剂对草莓进行常温保鲜,通过贮藏期间多个果实品质指标分析可知,天然抗菌包装和无机抗菌包装均对草莓具有一定的保鲜效果,能够有效抑制草莓水分损失,提高草莓感官品质以及表皮硬度和光泽度,从而延迟草莓的腐烂变质,保证了其商业价值。此外,将抗菌剂(生姜精油、纳米氧化锌)添加到空白聚乙烯树脂中,一定程度上提高了薄膜的拉伸性能和阻隔性能。

生姜精油中含有的挥发性抗菌成分可以缓慢释放到草莓表面,从而抑制其腐败变质。通过实验结果可看出,与空白组相比,添加质量分数为 3%生姜精油的聚乙烯抗菌薄膜在(16±1)℃时对新鲜采摘草莓具有较好的保鲜效果,草莓腐败率和水分损失均有所降低,提高了硬度和感官品质。

在机械作用下,采用滴加硅烷偶联剂 KH-570 对纳米 ZnO 进行表面改性技术,使得 KH-570 以化学键的方式附着在其表面,大大增加了纳米 ZnO 的分散性和疏水性,使其更好地应用于食品保鲜中。添加质量分数为 4%的改性纳米 ZnO 的聚乙烯薄膜对新鲜采摘草莓具有最佳的保鲜效果,最大程度地维持了草莓的硬度和感官质量,给包装袋内营造了一个较适宜的气氛条件,提高了草莓的贮藏质量,极大地降低其腐败率和营养价值的损失,2 组添加抗菌剂活性薄膜均可使其货架期延长 2 d。

参考文献:

[1] YUAN Y X. Research Progress on Storage and Preservation Technology of Strawberry[J]. Northern Horticulture, 2015(5): 332-339.

[2] 陈迪新, 邓元平, 李小静, 等. 茶叶水提取物对草莓保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 310-315.
CHEN Di-xin, DENG Yuan-ping, LI Xiao-jing, et al. Effects of Tea Water Extracts on Quality Maintenance of Strawberry[J]. Food Science, 2014, 35(2): 310-315.

[3] YANG C, LU J H, XU M T et al. Evaluation of Chitosan Coatings Enriched with Turmeric and Green Tea Extracts on Postharvest Preservation of Strawberries. LWT, 2022, 163: 113551.

[4] SUN Y, HUANG Y, WANG X Y et al. Kinetic Analysis of PGA/PBAT Plastic Films for Strawberry Fruit Preservation Quality and Enzyme Activity. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 108: 104439.

[5] 杜连超. 壳聚糖/可得然多糖/羧甲基纤维素复合膜制备及其在草莓保鲜中的应用[D]. 南京: 南京农业大学, 2016(4): 73.
DU Lian-chao. Preparation of Chitosan/Curran Polysaccharide/Carboxymethyl Cellulose Composite Film and Its Application in Strawberry Preservation[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016(4): 73.

[6] GE Li-ming, LI Zi-jing, HAN Miao, et al. Antibacterial Dialdehyde Sodium Alginate/ε-Polylysine Microspheres

- for Fruit Preservation[J]. Food Chemistry, 2022, 387: 132885.
- [7] 杨远谊. 壳聚糖/纳米二氧化钛抗菌保鲜膜的研制及性能研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 53.
YANG Yuan-yi. Preparation and Properties of Chitosan/Nano-TiO₂ Antibacterial Fresh-Keeping Film[D]. Chongqing: Southwest University, 2008: 53.
- [8] LU Ya-nan, LUO Qi-jun, CHU Yu-chan, et al. Application of Gelatin in Food Packaging: A Review[J]. Polymers, 2022, 14(3): 436.
- [9] 宋文龙, 李洋洋, 郜海燕, 等. 生姜精油微胶囊薄膜包装对秋葵保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(8): 142-148.
SONG Wen-long, LI Yang-yang, GAO Hai-yan, et al. Effect of Ginger Essential Oil Microcapsule Film Packaging on Okra Preservation[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(8): 142-148.
- [10] 王和平. 海藻酸钠/壳聚糖 ZnO 复合材料的制备及其在药物缓释、食品保鲜中的应用研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2019: 83.
WANG He-ping. Preparation of Sodium Alginate/ Chitosan ZnO Composite and Its Application in Drug Release and Food Preservation[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2019: 83.
- [11] SHANKAR S, TENG X, LI G, et al. Preparation, Characterization, and Antimicrobial Activity of Gelatin/ZnO Nanocomposite Films[D]. Food Hydrocolloids, 2015, 45: 264-271.
- [12] LA D D, NGUYEN T P, LE K H et al. Effects of Antibacterial ZnO Nanoparticles on the Performance of a Chitosan/gum Arabic Edible Coating for Post-harvest Banana Preservation. Progress in Organic Coatings, 2021, 151: 106057.
- [13] ASTM D882, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting[S].
- [14] JIANG J, GONG L, DONG Q, et al. Characterization of PLA-P3, 4HB Active Film Incorporated with Essential Oil: Application in Peach Preservation[J]. Food Chemistry, 2020, 313: 126134.
- [15] ZHAO Mei-yan, ZHANG Zhi-kun, CAI Hong, et al. Controlled Moisture Permeability of Thermoplastic Starch/ Polylactic Acid/ Poly Butylene Adipate-Co-Terephthalate Film for the Autolysis of Straw Mushroom Volvariella Volvacea[J]. Food Chemistry, 2022, 373: 131409.
- [16] 徐放, 赵鹏宇, 吴小虎, 等. 不同草莓保鲜方法的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(3): 1237-1239.
XU Fang, ZHAO Peng-yu, WU Xiao-hu, et al. Comparative Study of Different Preservation Methods of Strawberry[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(3): 1237-1239.
- [17] 王亚茹. 生姜精油对鱼肌浆蛋白-壳聚糖复合可食膜功能特性的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2020: 79.
WANG Ya-ru. Effect of Ginger Essential Oil on Functional Characteristics of Fish Sarcoplasmic Protein-Chitosan Composite Edible Film[D]. Jinzhou: Bohai University, 2020: 79.
- [18] 王岩, 翟硕莉, 苑园园, 等. 荷叶提取物的抑菌性及其在草莓保鲜中的应用研究[J]. 农业科技与装备, 2021(6): 62-64.
WANG Yan, ZHAI Shuo-li, YUAN Yuan-yuan, et al. Study on the Bacteriostasis of Lotus Leaf Extract and Its Application in Strawberry Preservation[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2021(6): 62-64.
- [19] 黎汉清, 罗文翰, 肖更生等. 丁香精油微胶囊的制备及其对草莓保鲜效果的研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(21): 191-196.
LI Han-qing, LUO Wen-han, XIAO Geng-sheng et al. Preparation of Microcapsule of Clove Essential Oil and Preservation Effect on Strawberry[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(21): 191-196.
- [20] 赵文哲, 陈修德, 邓文鹏, 等. 外源硅处理对草莓果实胶物质降解的影响[J]. 植物生理学报, 2021, 57(10): 1926-1936.
ZHAO Wen-zhe, CHEN Xiu-de, DENG Wen-peng, et al. Effect of Exogenous Silicon Treatment on Pectin Degradation of Strawberry[J]. Plant Physiology Journal, 2021, 57(10): 1926-1936.
- [21] GIONGO L, PONCETTA P, LORETTI P, et al. Texture Profiling of Blueberries (Vaccinium SPP.) during Fruit Development, Ripening and Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 34-39.
- [22] 李媛媛. 二氧化氯控释瓦楞纸箱和微胶囊的制备及其在水果保鲜中的应用[D]. 重庆: 西南大学, 2020: 80.
LI Yuan-yuan. Preparation of Chlorine Dioxide Controlled Release Corrugated Box and Microcapsule and Its Application in Fruit Preservation[D]. Chongqing: Southwest University, 2020: 80.
- [23] 张文勇, 陈瑶, 任文琪, 等. 柑橘精油和壳聚糖复合物对草莓保鲜效果的研究[J]. 山西化工, 2015, 35(6): 22-24.
ZHANG Wen-yong, CHEN Yao, REN Wen-qi, et al. Study on Fresh Keeping Effect of the Compound Liquid of Chitosan and Citrus Essential Oils on Strawberries[J]. Shanxi Chemical Industry, 2015, 35(6): 22-24.
- [24] 陶永元, 舒康云, 吴加美, 等. 茶多酚与壳聚糖复配对草莓保鲜效果的影响[J]. 中国食品添加剂, 2012(5): 224-230.
TAO Yong-yuan, SHU Kang-yun, WU Jia-mei, et al. Study on the Strawberry Preservation Effects of Tea Polyphenols and Chitosan Mixture[J]. China Food Additives, 2012(5): 224-230.