

DOI: 10.13475/j.fzxb.20210203207

复合水凝胶非织造布保鲜材料的制备及其性能

王晨玫^{1,2}, 王玲¹, 张庆乐¹, 王颖¹, 夏鑫^{1,2}

(1. 新疆大学 纺织与服装学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;
2. 东华大学 纺织面料技术教育部重点实验室, 上海 201620)

摘要 为扩展非织造布在保鲜包装材料中的应用,以具有药用价值的沙棘作为抗氧化保鲜成分原料,通过负载不同体积分数的沙棘提取物(SBT)制备罗布麻纳米纤维素/壳聚糖基水凝胶,并与聚酯非织造布复合制备复合水凝胶非织造布保鲜材料,对其阻隔性能、释放行为、抗氧化活性、抗菌性以及保鲜性能进行分析。结果表明:随着 SBT 体积分数的增加,复合水凝胶非织造布的阻隔性增强且抗氧化活性显著提高;在 18 d 的释放行为测试中,复合水凝胶非织造布在酸性条件下 SBT 的最大累计释放率可达 67.84%,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌带宽度均超过 1 mm,有较好的抗菌性能;添加体积分数为 30% SBT 的复合水凝胶非织造布综合保鲜能力最佳,可储存鲜切苹果时间最长达 9 d。

关键词 壳聚糖基水凝胶; 沙棘提取物; 阻隔性; 释放行为; 非织造布; 保鲜材料

中图分类号: TS 176 文献标志码: A

Preparation and property of composite hydrogel nonwoven based fresh-keeping material

WANG Chenmeizi^{1,2}, WANG Ling¹, ZHANG Qingle¹, WANG Ying¹, XIA Xin^{1,2}

(1. College of Textile and Clothing, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;
2. Key Laboratory of Textile Science & Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In order to expand the application of nonwovens as fresh-keeping packaging materials, using sea buckthorn as the raw material for antioxidant fresh-keeping ingredients, a composite hydrogel nonwovens fresh-keeping material was prepared by loading different volume fractions of sea buckthorn extract (SBT) to prepare apocynum nanofibers/chitosan based hydrogels and compounding with polyester nonwovens. The blocking effect, release behavior, antioxidant properties, antibacterial and fresh-keeping performance of the engineered material were analyzed. The results show that as SBT volume fraction increases, the blocking effect of the composite hydrogel nonwoven is enhanced and the oxidation resistance is significantly improved. In the 18 d release test, the maximum cumulative SBT release percentage from the fresh-keeping material under the acidic condition reaches 67.84%, and the width of the inhibition zone against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* is more than 1 mm, indicating good antibacterial performance. The composite hydrogel nonwoven with 30% SBT has the best comprehensive freshness preservation ability for 9 d.

Keywords chitosan-based hydrogel; sea buckthorn extract; barrier property; releasing behavior; nonwoven; fresh-keeping material

非织造布作为新一代环保材料,具有质轻、无毒及可生物降解等优良性能,是一种理想的包装材料,被广泛地应用于食品包装领域,但传统非织造布并

不具备保鲜食品、延长产品上架期的能力,为了扩展非织造布在保鲜包装材料中的应用,对传统非织造布进行改性势在必行^[1]。

收稿日期: 2021-02-15 修回日期: 2021-09-29

基金项目: 新疆维吾尔自治区研究生教育教学改革项目(XJ2019GY10)

第一作者: 王晨玫(1996—),女,硕士生。主要研究方向为纺织品功能性设计。

通信作者: 夏鑫(1980—),女,教授,博士。主要研究方向为功能性纺织材料的开发与应用。E-mail: xjxiixin@163.com。

水凝胶是一种通过大分子交联的方式在天然或合成聚合物中产生三维网络结构的材料,具有膨胀和保留大量水而不溶于水的能力。近年来,基于水凝胶材料的食品无菌保鲜材料引起了人们的关注,其中纳米纤维素增强壳聚糖水凝胶不仅利用纳米纤维素弥补了壳聚糖水凝胶的力学缺陷,且可利用自身良好的吸水性有效调控保鲜包装内部的湿度,同时吸收食品因长期储存渗出的组织液体。通过添加功能性成分改善保鲜微环境(如抗氧化性、抑菌性等),以减缓霉菌、酵母菌和食物上的腐坏细菌的生长,从而达到延长保鲜时间的目的。Zhang等^[2]通过加入具有抗氧化性的辣椒素,增强了保鲜材料的抗菌能力,且针对苹果的保鲜达到了较好的效果。Prodyut等^[3]利用芦丁诱导制备壳聚糖基保鲜材料,有效延长了被保鲜食品的上架销售周期,改善了食品储存期质量。Narasagoudr等^[4]利用壳聚糖对包装材料聚乙烯进行改性发现,壳聚糖直接涂覆于传统包装材料表面有利于提高包装材料的阻隔性能,有效延长保鲜时间和增加食品的上架销售周期。

食品保鲜方法主要分为2种:一是将保鲜成分(如抗氧化剂)直接涂覆^[5]在水果外表面,对水果本身会造成影响;二是使用石油副产物(如聚乙烯)或具有保鲜能力的膜作为保鲜材料,这类材料通常不易降解且力学性能不佳。本文通过向罗布麻/壳聚糖水凝胶中加入抗氧化性能优异的沙棘提取物作为保鲜成分,制备复合水凝胶非织造布用于鲜切水果的保鲜包装,并对材料的结构和性能进行分析。

1 试验部分

1.1 试验材料

罗布麻秆,新疆尉犁县野生植物;沙棘果,新疆野生植物(产地为新疆阿勒泰市);苹果(产地为新疆阿克苏地区);次氯酸钠(NaClO_2)、氢氧化钾、硫酸、甲苯、壳聚糖、戊二醛、石油醚、盐酸、香草醛(纯度 $\geq 99.8\%$)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、亚硫酸铁、乙醇、醋酸、牛肉提取物、蛋白胨、琼脂和氯化钠(NaCl),上海阿拉丁试剂有限公司;金黄色葡萄球菌、大肠杆菌,南通凯恒生物科技发展有限公司;聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)非织造布(面密度为 30 g/m^2)、去离子水和磷酸盐(PBS)缓冲液(pH值为4.01)实验室自制。

1.2 试样制备

1.2.1 罗布麻纳米纤维素的制备

按文献[6]采用的酸水解法对罗布麻秆进行预处理

并提取纤维素。用70%硫酸于 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 将罗布麻秆纤维素水解直至完全溶解,用10倍冰水稀释终止水解。然后将罗布麻纤维素溶液在 $8\ 000\text{ r/min}$ 转速下离心3~5次形成均匀的悬浮液,将悬浮液透析3~4 d,至pH值达到中性。最后,用细胞粉碎机对悬浮液进行超声波处理,得到罗布麻纳米纤维素,记为CNFs。

1.2.2 沙棘提取物的制备

取洗净烘干后的沙棘果研磨成粉,精确称取 5.00 g 以1:5的料液比加入石油醚中,于室温下浸泡48 h,使用布氏减压抽滤将滤饼置于烧杯中,以前期正交试验获得的最优提取条件(提取温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,乙醇质量分数为70%,提取时间为30 min和超声波处理功率为200 W)进行初次提取。然后将提取液在 $4\ 000\text{ r/min}$ 转速下离心15 min,取离心管的上清液继续离心3次,随后将上清液过滤,用乙醇定容至50 mL,得到沙棘保鲜成分提取物,记为SBT。

1.2.3 复合水凝胶聚酯非织造布的制备

参照文献[7]中罗布麻纳米纤维素增强壳聚糖水凝胶的制备流程,将沙棘提取物SBT(体积分数分别为0%、10%、20%和30%)和罗布麻纳米纤维素CNFs(体积分数为1.5%),依次加入至体积分数为2%的壳聚糖/醋酸溶液中,室温搅拌2 h后,向混合悬浮液中加入体积分数为0.3%的戊二醛超声波处理5 min。采用溶液共混和表面延流法,以PET非织造布作为基底共同成形脱模,室温下静置24 h脱模后用去离子水清洗多次,制备得到涂覆不同体积分数(0%、10%、20%和30%)SBT的复合水凝胶非织造布,依次记为SHP0、SHP1、SHP2和SHP3。

1.3 测试与表征

1.3.1 形貌结构观察

将复合水凝胶非织造布剪裁成 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 大小,用基恩士VH950型三维显微镜观察其表面形貌。

1.3.2 阻隔性能测试

复合水凝胶非织造布的阻隔性能由其透气率决定。根据GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》采用YG(B) 461E型全自动织物透气量仪测量各非织造布样品的透气率。在测试之前先将复合水凝胶非织造布在干燥器中于25%和55%的相对湿度下平衡至少12 h;随后将干燥后的非织造布剪裁成 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的正方形,选用面积为 20 cm^2 的孔口在压降为100 Pa的条件下对其进行透气率测试。

1.3.3 保鲜成分释放测试

使用PBS缓冲液作为释放介质,评估负载SBT的复合水凝胶非织造布的释放行为。在测试之前,将剪切好的质量为1 g的样品浸入到盛有10 mL PBS的加盖玻璃烧瓶中,并置于 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 的烘箱中温

育。每间隔 3 d 将释放介质完全清除,并用等量的新鲜 PBS 代替。使用 UV-1200 型紫外分光光度仪在波长为 517 nm 下测量每个样品中 SBT 的吸光度,并以吸光度为纵坐标,SBT 中主要成分原花青素浓度为横坐标绘制标准曲线。根据标准曲线计算初始 SBT 浓度、封装量 c_a (非织造布样品制备时的实际封装量) 和实际 SBT 释放量 c_n ($n = 1, 2, \dots, 7$)。每个样品设置 3 组平行实验。SBT 累计释放率 c 的计算公式为

$$c = c_n / c_a$$

1.3.4 抗氧化活性测试

参照文献 [8-10] 中的测试方法对复合水凝胶非织造布中 SBT 的抗氧化活性进行测试,用复合水凝胶非织造布对 DPPH、OH⁻ 和 ABTS⁺ 的清除率来表征。在测试之前,将质量为 1 g 的复合水凝胶非织造布分别浸入盛有 10 mL PBS 缓冲液的加盖玻璃烧瓶中,并将其置于 25 °C 的烘箱中温育 5 h,作为样品溶液。

1.3.5 保鲜性能测试

储存办法:将 5 cm×10 cm 大小的复合水凝胶非织造布沿长边对折,并用灭菌后的棉线紧密缝制成 5 cm×5 cm 的保鲜口袋,留一边作为被测苹果样品的出口,在保鲜储存时将出口封闭。

感官评价:参考 GB/T 25006—2010《感官分析包装材料引起食品风味改变的评价方法》,在第 1 天观察每组苹果样品,及时记录每组样品的感官评价,并将保鲜口袋再次密封;然后每隔 3 d 针对每组试样,随机抽取 1 组苹果样品观察其具体变化情况,并统计记录。

可滴定酸含量^[11]的计算:称量苹果样品的质量后将其搅碎至匀浆质,用浓度为 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液分别对每个样品进行滴定,当溶液颜色变为粉色且持续 30 s 不褪色时停止滴定,每组试验分别测试 3 次,取平均值。空白对照样选用实验室自制的蒸馏水作为滤液对其进行滴定测试,按照下式^[12]计算可滴定酸含量:

$$S = \frac{cVk}{V_0} \times \frac{250}{V_1} \times 100\%$$

式中: c 为 NaOH 的浓度, mol/L; V 为滴定 NaOH 溶液的体积, mL; k 为酸度换算系数; V_0 为滤液的体积, mL; V_1 为样品匀浆体积, mL。

质量损失率^[13]的计算:分别称取每组苹果储存前的质量 (m_1) 和检测当天的实时质量 (m_2),按照下式计算每组苹果的质量损失率:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

1.3.6 抗菌性能测试

根据 GB/T 20944.1—2007《纺织品 抗菌性能的评价 第 1 部分:琼脂平皿扩散法》评估复合水凝胶非织造布的抗菌性能。将未处理非织造布和复合水凝胶非织造布置于高压反应釜中,在 120 °C、103 kPa 条件下灭菌处理 20 min。将金黄色葡萄球菌和大肠杆菌接种到配制好的液体培养基中,并放在温度为 37 °C 的摇床中持续振荡 14 h。随后,分别将复合水凝胶非织造布样品与 $2.5 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ CFU/mL 细菌稀释液 (2 mL) 共同孵育 16 h,之后将制备好的菌液与生理盐水按体积比为 1:9 混合稀释,用移液枪吸取 200 μL 稀释好的悬浮液均匀涂在琼脂培养基上,置于 37 °C 培养箱中培育 18 h,取出并及时测量抑菌带宽度大小。

2 结果与讨论

2.1 形貌结构分析

利用三维显微镜对 PET 非织造布和涂覆 SBT 水凝胶后的复合水凝胶非织造布的微观形貌进行观察,结果如图 1 所示。

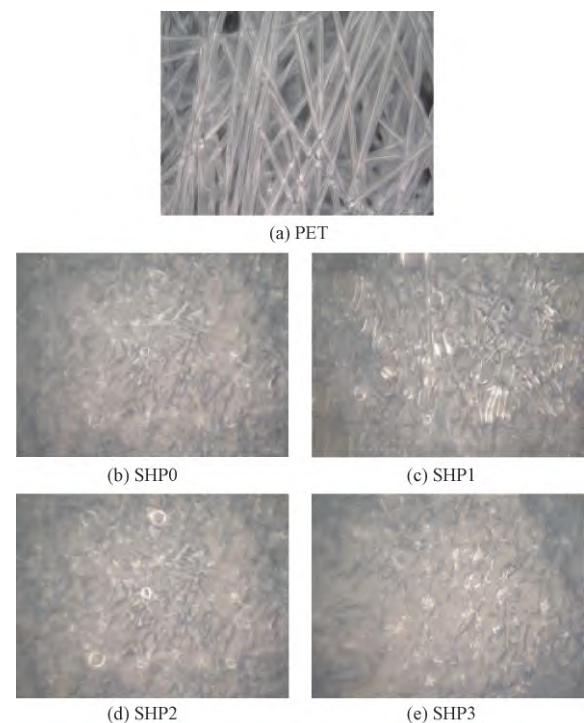


图 1 三维显微镜下 PET 非织造布及复合水凝胶非织造布的表面形貌 ($\times 5000$)

Fig. 1 Morphologies of PET nonwovens and composite hydrogel nonwovens under 3-D microscope ($\times 5000$)

从图 1(a) 看出, PET 非织造布表面的纤维相互交错且杂乱排布,纤维间存在尺度较大的孔径且孔径分布极其不均匀,这也可能是 PET 非织造布透气率大和阻隔性能差的关键因素。由图 1(b)~(e) 可

知,复合水凝胶非织造布表面中纤维与纤维间的孔隙几乎被完全覆盖,随着 SBT 体积分数的增加,水凝胶膜层与非织造布表面结合越来越紧密。从图 1(e) 看出,SBT 水凝胶均匀地附着在 PET 非织造布表面,形成了一层有效的平整膜层,可导致 PET 非织造布的阻隔性能增强,透气率降低。

2.2 阻隔性能分析

鲜切水果在储存运输的过程中会释放大量的水蒸气,良好的阻隔性可合理地调节结露现象,阻止有害菌群进入而导致鲜切水果腐败和微生物滋生等问题。表 1 示出 PET 非织造布和复合水凝胶非织造布的透气率。

表 1 PET 非织造布和复合水凝胶非织造布的透气率

mm/s				
PET	SHP0	SHP1	SHP2	SHP3
2 534.34	1 248.09	638.37	339.01	222.08

由表 1 可知,复合水凝胶非织造布的透气率随着 SBT 体积分数的增加不断减小。由于复合水凝胶非织造布结构的特殊性,其内部呈现不规则的致密多孔结构,导致仅涂覆壳聚糖水凝胶的 SHP0 样品透气率下降到 1 248.09 mm/s;此后随 SBT 体积分数的进一步增加,透气率锐减至 222.08 mm/s。这可能是因为 SBT 负载到水凝胶中,占据了结构中的孔隙,阻挡了水分子运动而导致水凝胶的透气性降低^[7],同时由于壳聚糖水凝胶涂覆材料与改性非织造布之间紧密结合,使复合水凝胶非织造布透气性降低,阻隔性增强,可抑制鲜果在储存期间的呼吸和蒸腾速率,从而有效抑制水分的流失,提高其保湿效果^[14]。

2.3 保鲜成分释放行为分析

因鲜切苹果内含有丰富的果酸,故表面呈弱酸性(pH 值为 3.5~3.9)。壳聚糖水凝胶功能层具有 pH 值敏感性,且在酸性条件下溶胀性能最佳、膨胀率最高^[7],因此,本文模拟真实保鲜条件下呈现出的弱酸性微环境,用于分析复合水凝胶非织造布中保鲜成分 SBT 的释放行为以及测试保鲜成分的累积释放率。保鲜成分 SBT 的释放以及挥发多为气态,难以收集和准确统计;但 SBT 可以溶解于 PBS 缓冲液中,因此,将保鲜成分 SBT 溶解于 PBS 缓冲液中,通过测量溶液吸光度对保鲜成分的释放行为进行准确分析。

图 2 示出复合水凝胶非织造布在 PBS 缓冲液中保鲜成分 SBT 累积释放率随时间变化的曲线。其中,SHPO 样品因涂覆水凝胶层中未添加 SBT,所以未在此测试中列出。SHP1、SHP2 和 SHP3 复合

水凝胶非织造布在第 1~6 天(第 1 阶段)都快速释放;在第 6~12 天(第 2 阶段)时的释放较初期稍缓;剩余的 SBT 在第 12~18 天(第 3 阶段)逐渐缓慢释放;第 18 天时 SHP1、SHP2 和 SHP3 的累积释放率分别为 66.12%、66.45%和 67.84%。第 1 阶段的快速释放主要来源于附着在水凝胶表面的 SBT 溶解于 PBS 缓冲液中;其次,SBT 水凝胶在 pH 值较低的情况下,其分子链上的游离氨基发生质子化,导致水凝胶内部整体电荷密度增大,溶胀率和吸水性增强而使更多的 SBT 溢出,出现了爆发性的释放^[15]。第 2 阶段释放速率的降低,是由于 SBT 水凝胶中加入了植物源保鲜成分使得水凝胶内部形成了缠结,从而降低了释放速率。随后 SBT 的持续释放是因为水凝胶持续的溶胀吸水导致缓冲液中 H^+ 浓度提高而诱导 NH_3^+ 的形成, NH_3^+ 分布在水凝胶网络中,在水凝胶的结构上有 2 个正电荷相互排斥,从而增大了水凝胶网络结构之间的空间,影响了水凝胶网络在低 pH 值(酸性)条件下的溶胀率^[16]。

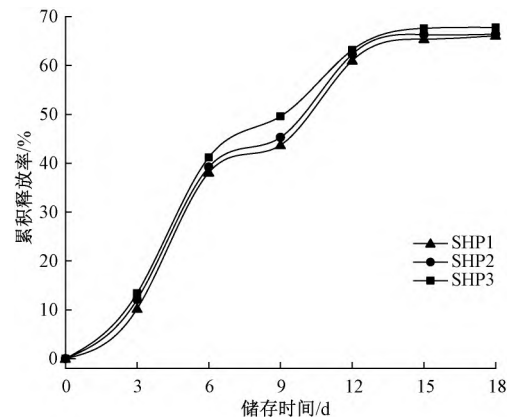


图 2 复合水凝胶非织造布的释放行为

Fig. 2 Release behavior of composite hydrogel nonwovens

2.4 抗氧化活性分析

鲜切水果中的活性氧自由基(ROS)具有很高的反应活性,能够直接引发内部脂质过氧化的作用,是导致鲜切水果表面褐变和腐败、严重影响品质和口感的主要原因^[17],因而通过计算不同体积分数 SBT 的复合水凝胶非织造布对 DPPH、 OH^- 、 $ABTS^+$ 的清除率,分析其抗氧化活性,结果如表 2 所示。

表 2 复合水凝胶非织造布的抗氧化活性

样品名称	DPPH 清除率	OH^- 清除率	$ABTS^+$ 清除率
SHP0	10.86	23.33	31.13
SHP1	69.34	79.63	56.20
SHP2	73.67	82.89	66.10
SHP3	88.58	84.69	69.40

由表 2 可知,SHPO 复合水凝胶非织造布对

DPPH、OH⁻ 和 ABTS⁺ 的清除率分别为 10.86%、23.33%和 31.13% ,仍具备一定的抗氧化性能。虽然 SBT 添加量为 0 ,但是复合水凝胶基底中加入的罗布麻纳米纤维素也具有抗氧化功能^[7]。但当 SBT 添加量增加到 10%时 ,清除率都迅速增加到 50%以上;当 SBT 添加量继续增加到 30% ,复合水凝胶非织造布对 DPPH、OH⁻ 和 ABTS⁺ 的清除率分别为 88.58%、84.69%和 69.40%。表明 SBT 体积分数的持续递增会促进复合水凝胶非织造布的抗氧化性能。SBT 属原花青素类 ,能直接清除机体内部 ROS 或自由基 ,具有清除氧负离子、羟自由基、一氧化碳自由基、过氧化氢及来自高密度脂蛋白、蛋白质等生物分子的羧基等成分抗氧化活性的功能 ,通过降低呼吸作用从而抑制菌群的过分活跃 ,达到有效的保鲜效果^[18]。除此之外 ,由于 B 环上相邻的二酚羟基既有助于减少自由基 ,同时也可有效促进

SBT 与金属离子之间的结合 ,从而促进了水凝胶基复合非织造布的抗氧化能力^[19]。

2.5 保鲜性能分析

2.5.1 感官评价

鲜切苹果在储存期间的感官品质评价如表 3 所示。可知:用 PET 非织造布包装的鲜切苹果储存 3 d时已经有渗液和褐变的现象;而用复合水凝胶非织造布包装的鲜切苹果最久可以储存 9 d ,SHP0、SHP1、SHP2 和 SHP3 样品能够有效改善鲜切苹果的感官品质。原因是壳聚糖和 SBT 共同作用使苹果自身的呼吸消耗降低 ,导致其内有机物的消耗降低;此外 ,鲜切苹果因受到了机械伤 ,SBT 的抗氧化功效有效地削减了脂质过氧化的作用 ,降低了储存过程中因脂质过氧化^[11] 诱导鲜切水果内细胞膜的损坏 ,从而减少因渗透性溶质渗漏于细胞外环境所造成的组织液渗出和组织松弛 ,达到保鲜效果。

表 3 鲜切苹果在 PET 非织造布和复合水凝胶非织造布包装下的感官评价

Tab. 3 Sensory evaluation of fresh-cut apples packaged with PET nonwovens and composite hydrogel nonwovens

储存时间/d	PET	SHP0	SHP1	SHP2	SHP3
0	紧实饱满,无渗液	紧实饱满,无渗液	紧实饱满,无渗液	紧实饱满,无渗液	紧实饱满,无渗液
3	褐变,渗液析出	正常	正常	正常	正常
6	褐变严重,体积缩小	褐变,渗液	正常	正常	正常
9	霉变	褐变,变软,渗液	变软,渗液	变软,渗液	变软
12		霉变	褐变,变软,渗液	褐变,变软,渗液	褐变,渗液
15			霉变	霉变	褐变,变软,渗液

2.5.2 可滴定酸含量分析

图 3 示出鲜切苹果在复合水凝胶非织造布包装下的可滴定酸含量变化。可知 ,可滴定酸含量随着储存时间的增加而显著下降。SHP0 虽然对可滴定酸含量的下降有一定程度的抑制 ,但效果并不明显;添加 SBT 体积分数分别为 10%、20%和 30%的复合水凝胶非织造布能够有效缓解可滴定酸含量急速下降的趋势;相比其他组的下降幅度 ,SHP3 样品中可滴定酸含量的下降幅度最缓慢。原因是在储存过程中 ,鲜切苹果仍需通过不断消耗自身进行必需的呼吸作用 ,其内的有机酸既可以转化为呼吸基质和合成能量的主要来源 ,又能被转化为糖原^[20]。

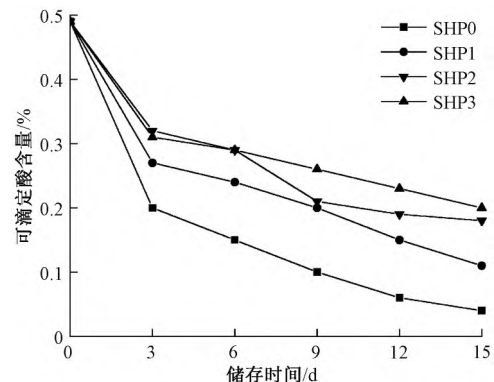


图 3 鲜切苹果在复合水凝胶非织造布包装下的可滴定酸含量

Fig. 3 Titratable acid of fresh-cut apples packaged in composite hydrogel nonwovens

2.5.3 质量损失率分析

鲜切水果在运输储存过程中不可避免地发生呼吸作用出现蒸腾现象 ,导致鲜切水果的质量损失 ,降低上架销售周期 ,提高运输储存成本。图 4 示出鲜切苹果用复合水凝胶非织造布包装时在储存过程中的质量损失率。水分的蒸发和呼吸消耗是导致果实质量减少的主要原因 ,鲜切苹果因受到了机械伤 ,水分流失更为显著。由图 4 可知 ,鲜切苹果的质量损失率随着贮存时间的递增呈现逐渐上升的趋势。当储存到 15 d 时 ,SHP0、SHP1、SHP2、SHP3 的质量损

失率分别达到 77.3%、63.36%、50.37%和 48.23%。复合水凝胶非织造布储存苹果的质量损失率由大到小顺序为: SHP0、SHP1、SHP2、SHP3 ,SBT 添加量最多时鲜切苹果质量损失率最低 ,保鲜效果最好。一方面 ,因为 SHP3 复合水凝胶非织造布的透气性差 ,当其用作鲜切苹果保鲜材料时 ,有效地抑制了鲜切苹果的水分流失 ,缓解了长时间储存造成的大量损失;另一方面 ,壳聚糖水凝胶材料具有一定的抑菌效果 ,能够有效降低鲜切苹果中细菌的生长 ,通过抑

制细菌呼吸作用达到水凝胶基非织造布保鲜的目的。在储存前期阶段,苹果质量相对较高且质量损失率相对较低;到了后期,由于苹果体内发生了无氧呼吸,产生的乙醇使其细胞破坏导致汁液流失,引发储存后期的质量损失率增加。复合水凝胶非织造布使得苹果的质量损失得到一定程度上的减缓,有效地抑制了鲜切苹果的质量损失。

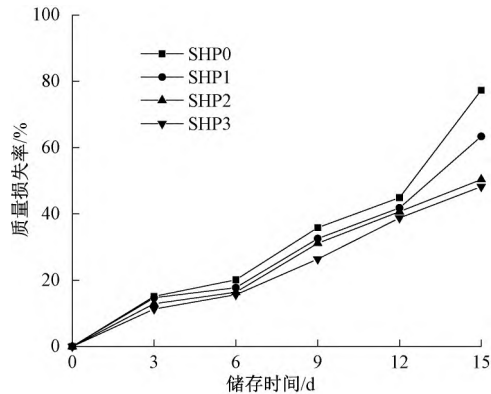


图4 鲜切苹果用复合水凝胶非织造布包装时的质量损失率

Fig. 4 Mass loss rate of fresh-cut apples packaged with composite hydrogel nonwovens

2.6 抗菌性能分析

表4示出复合水凝胶非织造布的抗菌性能。可知,所有复合水凝胶非织造布对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌都具有明显的抗菌效果,抑菌带宽度均大于1 mm,且试样底部无细菌繁殖。随着 SBT 体积分数的逐渐增加,抑菌带宽度也呈不断增加趋势;但当 SBT 体积分数为 30% 时,抑菌带宽度反而有轻微减小,这可能是因为过量的 SBT 占据了水凝胶中交错孔洞中的空间,一方面影响了其透气性,另一方面削弱了抗菌性能,但其抗菌效果依旧存在,所以认为其具有较好抗菌能力,并且能有效地抑制微生物对鲜切苹果的侵害^[20]。由此看出,改性水凝胶非织造布是一种合适用做保鲜用途的抗菌材料。

表4 复合水凝胶非织造布的抗菌性能

Tab. 4 Antibacterial properties of composite hydrogel nonwovens

样品名称	抑菌带宽度		mm
	对大肠杆菌	对金黄色葡萄球菌	
SHP0	3.77	1.71	
SHP1	5.08	1.92	
SHP2	6.52	4.85	
SHP3	5.93	4.04	

3 结论

1) 采用沙棘作为植物源抗氧化保鲜成分来源,制

备用于鲜切苹果保鲜包装的复合水凝胶非织造布,能有效改善化学基保鲜剂直接涂覆在水果外表面带来的安全隐患,同时又能提高保鲜果实的可持续性。

2) 随着沙棘提取物(SBT)体积分数的增加,水凝胶与PET非织造布表面结合越来越紧密,在非织造布表面形成了一层有效的平整膜层,导致其阻隔性能增强、透气率降低,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑制作用增强。

3) 当 SBT 体积分数为 30% 时,复合水凝胶非织造布对 DPPH、OH⁻ 和 ABTS 的清除率分别为 88.58%、84.69% 和 69.40%。

4) 在 18 d 的释放行为测试中,添加 SBT 体积分数为 30% 的复合水凝胶非织造布在酸性条件下最大累积释放率可达 67.84%,在鲜切苹果的酸性环境下保鲜能力最佳。

FZXB

参考文献:

- [1] 张翠环,姚军,郑贺云,等.不同包装材料对西州密25号哈密瓜贮藏保鲜的影响[J].农产品加工,2020(12):14-16.
ZHANG Cuihuan, YAO Jun, ZHENG Heyun, et al. Effects of different packaging materials on fresh-keeping of xizhoumi 25 (Cucumis melo var. saccharinus) [J]. Farm Products Processing 2020(12):14-16.
- [2] ZHANG S, WEI F, HAN X. An edible film of sodium alginate/pullulan incorporated with capsaicin [J]. New Journal of Chemistry, 2018, 42(21):17756-17761.
- [3] PRODYUT Dhar, UMESH Bhardwaj, AMIT Kumar, et al. Cellulose nanocrystals: a potential nanofiller for food packaging applications [M]. Washington: American Chemical Society, 2014:197-239.
- [4] NARASAGOUDR S S, HEGDE V G, CHOUGALE R B, et al. Physico-chemical and functional properties of rutin induced chitosan/poly(vinyl alcohol) bioactive films for food packaging applications [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 109:106096.
- [5] 唐文彦,王艳颖,胡文忠,等.壳聚糖复合涂膜对鲜切富士苹果营养品质的影响[J].现代园艺,2016(1):6-8.
TANG Wenyan, WANG Yanying, HU Wenzhong, et al. Effects of chitosan composite coating on nutritional quality of fresh-cut Fuji apple. [J]. Xiandai Horticulture 2016(1):6-8.
- [6] WANG L, WANG C, ZHANG Q, et al. Comparison of morphological, structural and antibacterial properties of different apocynum venetum poly(lactic acid)/nanocellulose nanofiber films [J]. Textile Research Journal, 2020, 90(5/6):593-605.
- [7] WANG C, ZHOU H, WANG L, et al. Preparation and characterization of apocynum venetum cellulose nanofibers reinforced chitosan-based composite hydrogels [J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2020, 11:111441.
- [8] 杜津,何悦,刘敏,等.柚子精油微胶囊的制备及其对鲜切苹果的保鲜效果研究[J/OL].食品与发酵工程,2021,47(14):1-11 [2021-02-09].https://doi.org/

10. 13995/j.cnki.11-1802/ts.025999.
DU Jin, HE Yue, LIU Min, et al. Preparation of pomelo essential oil microcapsule and its preservation effect on fresh-cut apples [J/OL]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(14): 1-11 [2021-02-09]. https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025999.
- [9] 宫晨芳. 植物缩合单宁活性及对苹果保鲜的机理研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2018: 27-31.
GONG Chenfang. The research on bioactivities of vegetables condensed tannins and preserve on fresh-cut apple [D]. Xiamen: Xiamen University, 2018: 27-31.
- [10] 王荣, 罗倩, 冯怡. DPPH、ABTS 和 FRAP 微量法测定山奈酚的抗氧化能力[J]. 广州化工, 2021, 49(3): 58-59, 63.
WANG Rong, LUO Qian, FENG Yi. Determination of antioxidant effects of kaempferol by micro-model of DPPH, ABTS and FRAP Assay [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2021, 49(3): 58-59, 63.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 267-270.
LI Hesheng. Experimental principle and techniques of plant physiology and biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 267-270.
- [12] HERNANDEZ-MUNOZ P, ALMENAR E, VALLE V D, et al. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x anassa*) quality during refrigerated storage [J]. Food Chemistry, 2008, 110(2): 428-435.
- [13] 周亚男. 壳聚糖/茶多酚涂覆非织造布制备活性包装材料的研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2018: 31-42.
ZHOU Yanan. Preparation and properties of chitosan/tea polyphenol coated non-woven fabric as active packaging material [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2018: 31-42.
- [14] 周园园, 舒祖菊, 马楠, 等. 壳聚糖浓度对改性非织造布草莓包装保鲜效果的影响[J]. 包装学报, 2016, 8(2): 28-33.
ZHOU Yuanyuan, SHU Zujun, MA Nan, et al. Effects of chitosan concentration on preservation of strawberry in modified non-woven packages [J]. Packaging Journal, 2016, 8(2): 28-33.
- [15] DELMAR K, BIANCOPELED H. The dramatic effect of small pH changes on the properties of chitosan hydrogels crosslinked with genipin [J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 127: 28-37.
- [16] YANG Jun, FENG Xu. Synergistic reinforcing mechanisms in cellulose nanofibrils composite hydrogels: interfacial dynamics, energy dissipation, and damage resistance [J]. Biomacromolecules, 2017, 18(8): 2623-2632.
- [17] 赵盼, 王丽, 孟祥红. 壳聚糖及其衍生物的抗氧化性能及应用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 299-303.
ZHAO Pan, WANG Li, MENG Xianghong. Research progress on antioxidant properties and application of chitosan and its derivatives [J]. Food Science, 2010, 31(15): 299-303.
- [18] 陈凯丽. 低聚原花青素对苹果采后腐烂病的防治效果和机制研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2020: 23-30.
CHEN Kaili. Study on the control effect and mechanism of oligomer proanthocyanidins on postharvest apple rot [D]. Shenyang: Liaoning University, 2020: 23-30.
- [19] MANEESH A, CHAKRABORTY K, MAKKAR F. Pharmacological activities of brown seaweed *Sargassum wightii* (family Sargassaceae) using different in vitro models [J]. International Journal of Food Properties, 2016, 20(4): 931-945.
- [20] MORADI M, TAJIK H, ROHANI S, et al. Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and grape seed extract [J]. Food Science and Technology, 2012, 46(2): 477-484.
- [21] 董晓敏. 葡萄籽原花青素的提取、抑菌活性及其对鸡肉保鲜研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2015: 51-57.
DONG Xiaomin. Extraction, anti-bacterial mechanism and fresh-keeping effect of procyanidins from grape seed [D]. Ji'nan: Qilu University of Technology, 2015: 51-57.