

甜樱桃采后表皮蜡质形态及相关性质变化规律

Changes in epidermal waxy morphology and related properties of postharvest sweet cherry

张玉蕾^{1,2}崔清亮²王 愈¹刘亚平¹张燕青²ZHANG Yulei^{1,2} CUI Qingliang² WANG Yu¹ LIU Yaping¹ ZHANG Yanqing²

(1. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西 晋中 030801;

2. 山西农业大学农业工程学院, 山西 晋中 030801)

(1. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030801, China;

2. College of Agricultural Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong, Shanxi 030801, China)

摘要: [目的]揭示不同品种甜樱桃耐贮性差异的原因,为其采后涂膜保鲜提供理论支持和技术指导。[方法]选取4个具有代表性的甜樱桃品种(红灯、雷尼、红玛瑙、友谊)作为研究对象,对采收时不同品种甜樱桃果皮蜡质的形态、果皮对不同溶液的接触角以及红玛瑙樱桃在贮藏期间表皮蜡质形态、接触角、临界表面张力的变化进行了探究。[结果]4个品种甜樱桃在采收时表皮的蜡质分布和形态均存在差异,表皮对于同一种溶液的接触角存在显著差异;红玛瑙樱桃表皮蜡质在贮藏期间呈减少趋势;由于甜樱桃表皮的疏水性,在配制涂膜液时,向其中添加0.1%的吐温-20作为表面活性剂可显著提高涂膜液在其表面的润湿性;红玛瑙樱桃贮藏期间表皮对去离子水的接触角呈下降趋势,并且其临界表面张力随贮藏时间的延长不断升高。[结论]不同品种甜樱桃耐贮性的差异可能与其表皮特性相关联,在涂膜保鲜液中添加0.1%的吐温-20可使涂膜液更均匀地涂覆在甜樱桃表面。

关键词: 甜樱桃;表皮蜡质;接触角;临界表面张力

Abstract: [Objective] This study aimed to reveal the reasons of different varieties for sweet cherry's storability and provide theoretical support and technical guidance for edible coating in its postharvest preservation. [Methods] Four representative sweet cherry varieties (Red Light, Rainey, Red Agate, and Friendship) were selected as research objects. The surface morphology of different varieties of sweet cherry skin, the

contact angle of skin to different solutions, the changes of surface morphology, contact angle and critical surface tension of Red Agate sweet cherry during storage were investigated. [Results] There were differences in the distribution and morphology of wax on the epidermal of the four varieties of sweet cherry, and the contact angle of the skin to the same solution was significantly different. The wax content of the Red Agate epidermis decreased during storage. Due to the hydrophobicity of sweet cherry skin, adding Tween-20 as a surfactant to the coating liquid can significantly improve its surface wettability. The contact angle of the Red Agate epidermis to deionized water decreased during storage, and the critical surface tension increased with the extension of storage time. [Conclusion] The storability of different varieties of sweet cherries may be correlated with their skin characteristics. Adding 0.1% Tween-20 to the coating solution can make the solution more evenly coated on the surface of the sweet cherry.

Keywords: sweet cherry; epidermal waxy morphology; contact angle; critical surface tension

果蔬表皮作为其最外层结构,对内部组织结构可起到保护作用,因此,其组织结构与果蔬的耐贮性密切相关。其中,表皮上的蜡质和气孔作为重要的组成部分,在贮藏保鲜中起着非常重要的作用^[1-2]。已有的研究表明,果蔬果皮蜡质是分隔果实内部与外界环境的主要界面,在维持果实正常生理功能和抵御外界不良环境的侵害等方面均起到重要的作用^[3],在果蔬贮藏保鲜中具有防止果实采后失水^[4-5]、防止微生物侵染^[3]、延缓果实软化^[6]、防止果实发生冷害^[7-8]等重要作用。作为分隔果蔬内部和外界环境的主界面,果蔬表皮蜡质层是保护果实的天然屏障,当蜡质层合成不足、覆盖率降低或者采后处理不当时,会加速果实的失水,最终导致果实的耐贮性

基金项目: 山西省基础研究计划项目(编号:202203021212470);
山西农业大学博士科研启动项目(编号:2021BQ89);
山西省博士毕业生、博士后研究人员来晋工作奖励经费科研项目(编号: SXBYKY2022028)

作者简介: 张玉蕾,女,山西农业大学讲师,博士。

通信作者: 崔清亮(1968—),男,山西农业大学教授,博士。

E-mail: qlcui@126.com

收稿日期: 2023-07-28 **改回日期:** 2024-04-09

下降^[4]。近年来,关于果蔬表皮蜡质与果实耐贮性的关系的研究^[9-10]表明,果蔬表皮蜡质的确与贮藏期间的果实品质密切相关。

研究者们针对甜樱桃的采后保鲜技术进行了大量的研究^[11-13],其中,由糖类、蛋白质、脂类及其复合物制备而成的可食性涂膜具有安全、环保、成本较低等优点,引起了研究者们的广泛关注^[14-15]。可食性涂膜直接涂覆于果实的表皮上,其与果实表皮的亲附性直接影响涂膜效果,尤其是果皮蜡质作为一种疏水材料,若想使可食性涂膜材料均匀地涂覆在果实表面,就需要掌握果实表面的性质,包括涂膜液在果实表皮的接触角 θ 以及果实的临界表面张力^{[16-17][18]34},而尚未发现有关于甜樱桃表皮蜡质及相关性质的研究。

研究拟选取红灯、雷尼、红玛瑙、友谊 4 个不同品种的甜樱桃(其中,红玛瑙樱桃具有极丰产、抗旱、抗裂果、抗虫等优点,因此,对红玛瑙樱桃进行重点研究),分别对采收时其表皮的蜡质形态、果皮对不同溶液的接触角,以及甜樱桃表皮蜡质形态、接触角、临界表面张力在贮藏期间的变化进行探究,以期揭示不同品种甜樱桃耐贮性差异的原因,为其采后涂膜保鲜提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

4 个品种甜樱桃(见表 1):树龄 17 年,采摘于山西农业大学果树研究所樱桃采摘园(112°50'E,37°34'N);

表 1 4 个品种甜樱桃的基本特性

Table 1 Basic characteristics of four varieties of sweet cherries

品种名称	成熟类型	果皮颜色	果肉颜色	单果重/g
红灯(RL)	早熟	紫红色	红色	5.16±0.15
雷尼(RN)	中熟	黄红色	淡黄色	4.35±0.12
红玛瑙(RA)	中熟	紫红色	紫红色	5.98±0.14
友谊(FS)	晚熟	深红色	红色	7.86±0.19

无水乙醇:分析纯,天津大茂化学试剂厂;

戊二醛、羧甲基壳聚糖(CMCS)、明胶(GL)、丙三醇、无水 CaCl₂、L-抗坏血酸(L-AA)、吐温-20(Tween-20):分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

扫描电子显微镜:JEM-6490LV 型,日本电子株式会社;

离子溅射镀膜仪:JFC-1600 型,日本电子株式会社;

临界点干燥仪:K-850 型,英国 Quorum 公司;

接触角测量仪:CA-100 型,上海盈诺精密仪器有限公司;

磁力搅拌器:JB-2A 型,上海雷磁仪器有限公司;

数显恒温水浴锅:SSW 型,上海博迅实业有限公司。

1.2 方法

1.2.1 甜樱桃预处理和取样方法 采收后,使用双面刀片对 4 个品种甜樱桃的表皮和果柄进行取样,在赤道面切取长约 5 mm,宽约 4 mm 的果皮和长约 5 mm 的果柄中部,将取下的样品迅速放到 3%戊二醛固定液(0.1 mol/L,由 pH 7.0 磷酸盐缓冲液配制)中,然后运至实验室置于 4℃冰箱中固定 2 d 后用于甜樱桃果皮和果柄表面形貌的测定。此外,挑选色泽和大小相近、无机械损伤、无病虫害的甜樱桃,使果实间保持 1 cm 左右的间距,果柄朝上整齐固定于底部粘有双面胶的保鲜盒内,并快速转运至温度(0.0±0.5)℃、相对湿度(RH)85%~90%冷库中进行贮藏,冷藏过程中每 6 d 取样,冷藏 30 d 后转移至常温条件(23±1)℃、相对湿度(RH)40%~50%的条件下贮藏(3 d)。

1.2.2 甜樱桃果皮表面形貌测定 经戊二醛固定结束后的甜樱桃果皮和果柄样品先使用 pH 7.0(0.1 mol/L)的磷酸缓冲液漂洗 3 次,每次 15 min,使用不同体积分数(30%,50%,70%,80%,90%,95%)的乙醇进行逐级脱水,每级 15 min,再用无水乙醇脱水 2 次,每次 20 min,用丙酮进行置换,采用临界点干燥仪进行干燥。将干燥好的样品用导电胶带粘于样品台上,使用离子溅射镀膜仪喷金后,将样品台置于扫描电子显微镜下进行形貌观察^[19]。

1.2.3 涂膜液配制 在前期可食性涂膜配方优化试验^[20]的基础上,通过单因素和响应面试验,以可食性膜的机械性能和阻隔性能为评价标准,得到了不同配方涂膜液配制方法。

(1) 涂膜液 1(CMCS-GL 涂膜液):分别称取 CMCS 和 GL 粉末置于去离子水中,放于 60℃恒温水浴锅中加热,连续搅拌至完全溶解(约 30 min)后,冷却至(23±1)℃,制得最终质量分数为 2%的 CMCS 和 GL 溶液。将 CMCS 与 GL 溶液按 2:1 的比例混合,添加质量分数为 0.1%的吐温-20 和 1%的丙三醇分别作为表面活性剂和增塑剂。在室温条件下搅拌过夜后,4 000 r/min 离心 10 min,回收上清液,即制得 CMCS-GL 涂膜液。

(2) 涂膜液 2(CaCl₂-CMCS-GL 涂膜液):将质量分数为 2%的 CaCl₂粉末加入到 CMCS-GL 涂膜液中完全溶解后,其他步骤同 1.2.3(1)。

(3) 涂膜液 3(L-AA-CaCl₂-CMCS-GL 涂膜液):将质量分数为 2%的 L-AA 加入到 CaCl₂-CMCS-GL 涂膜液中完全溶解后,其他步骤同 1.2.3(2)。

(4) 涂膜液 4:除不加吐温-20 外,其余步骤同 1.2.3(3)。

1.2.4 甜樱桃表面接触角测定 使用双面刀片对采收后的 4 个品种甜樱桃的表皮进行取样,在赤道面切取

10 mm×10 mm×5 mm(长×宽×厚)的果皮样品(操作过程中不要接触果皮表面以防破坏其表面形貌)后,平放于接触角测量仪的样品台上。分别取 10 μL 甲苯、去离子水、乙醇、饱和氯化钠(NaCl)及不同配方的涂膜液滴于甜樱桃果皮上,测定各溶液 20 s 内的左、右接触角,每种溶液重复测定 20 次,取平均值即为该溶液在甜樱桃表面的接触角。

1.2.5 甜樱桃贮藏期间临界表面张力测定 不同涂膜液的表面张力采用毛细管上升法进行测定^[21],计算公式:

$$\sigma = \rho g h r \times 1\,000 / 2 \cos \theta,$$
 (1)

式中:

σ ——涂膜液的表面张力,mN/m;

ρ ——涂膜液的密度,kg/m³;

g ——重力加速度,9.8 N/kg;

h ——毛细管中液面上升的高度,m;

r ——毛细管半径,m;

θ ——涂膜液与玻璃表面的接触角,°;

1 000——单位换算系数。

在(20±1)℃条件下,将几种已知表面张力的液体滴于甜樱桃果皮表面,分别测定各液体与甜樱桃果皮表面的接触角 θ ,则每种液体的表面张力和 $\cos\theta$ 近似线性关系,若将直线外推至 $\cos\theta=1$ (即 $\theta=0^\circ$ 时),此时对应液体的表面张力即为甜樱桃果皮表面的临界表面张力 σ_c ^{[18]34}。4种已知液体的表面张力见表2。在RA冷藏期间及贮藏结束时取样测定甜樱桃表皮对一系列已知表面张力的液体的接触角,则可得出其贮藏期间的临界表面张力的变化趋势。

表2 4种液体对于空气的表面张力

Table 2 The surface tension of four liquids to air (20℃) mN/m

液体名称	甲苯	去离子水	乙醇	饱和 NaCl
表面张力	28.43	72.27	22.27	82.00

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS、Origin 等软件进行试验数据处理及作图,以 $P<0.05$ 的单因素方差分析(ANOVA)和 Duncan 新复极差法进行数据的显著性分析。

2 结果与分析

2.1 4个品种甜樱桃采收时表皮的蜡质形态

果实现果皮蜡质与其采后失水密切相关,蜡质是非常有效的水分散失屏障,它们的主要生理功能是防止蒸腾作用造成的水分流失^[22-24]。由图1可知:4个品种甜樱桃在采收时的表皮蜡质形态存在明显差异,其中,RL表皮蜡质大多为丝状,还有少量的颗粒状蜡质;RN的表皮上分布着少量大小不均一的颗粒状蜡质,并由少量的细

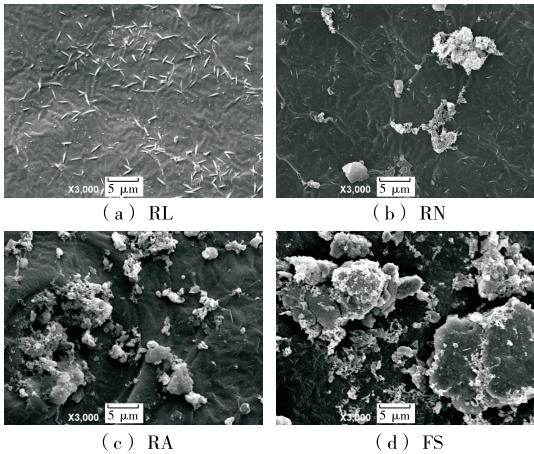


图1 4个品种甜樱桃采收时表皮的蜡质形态

Figure 1 Waxy morphology of the epidermis of four varieties of sweet cherry at harvest (×3 000)

丝状蜡质连接;RA表皮的蜡质比RN多,也为大小不均一的颗粒状;FS表皮具有最多的蜡质,几乎覆盖了所有表皮,并且蜡质的颗粒较大。

2.2 甜樱桃表皮蜡质形态在贮藏期间的变化

由图2、图3可知:RA在贮藏期间果皮表面形貌(包括:气孔形态、蜡质的分布和形态)处于不断的变化中。在采收时,RA果皮上的气孔饱满,气孔内部分布有较多的片状蜡质,且在其周围还分布着大量薄膜状的蜡质;随着贮藏时间的延长,气孔形态发生显著的变化,由最初的饱满状态变为塌陷且干瘪,这与其水分含量的散失有关,此外,果皮表面气孔周围和其他部位的蜡质呈减少的趋势。已有研究^[25-26]表明,在甜樱桃采后贮藏期间,其果实的失重率、腐烂率会随贮藏时间的延长而升高,这可能与其表皮蜡质的减少密切相关。甜樱桃果皮表面蜡质在贮藏期间的减少也进一步证实,在甜樱桃表面涂覆一层可食性膜,可以弥补其在自然贮藏条件下表皮结构和功能的退化,有利于保持果实内部水分的散失和营养物质的消耗,从而延缓甜樱桃果实的衰老进程,有效延长其货架期,并改善贮藏期间的品质。

2.3 采收时不同品种甜樱桃表皮对不同溶液的接触角

4个品种甜樱桃表皮对不同溶液的接触角如表3所示,对于同一种溶液,不同品种甜樱桃的表面接触角存在显著差异,其中,RL对各种溶液的接触角最小,而FS对各种溶液的接触角最大,这与不同品种甜樱桃表皮的蜡质分布相关,RL表皮仅分布有少量的颗粒状蜡质,而FS表皮具有最多的蜡质,几乎覆盖了所有表皮,由于蜡质的疏水性,从而造成了不同品种甜樱桃表面对同一溶液接触角的差异。

由表3可知,4个品种甜樱桃表面对去离子水的接触角为70.30°~89.95°,表明甜樱桃表皮具有一定的亲水性,但润湿性不好。在4种涂膜液中,各品种甜樱桃表面

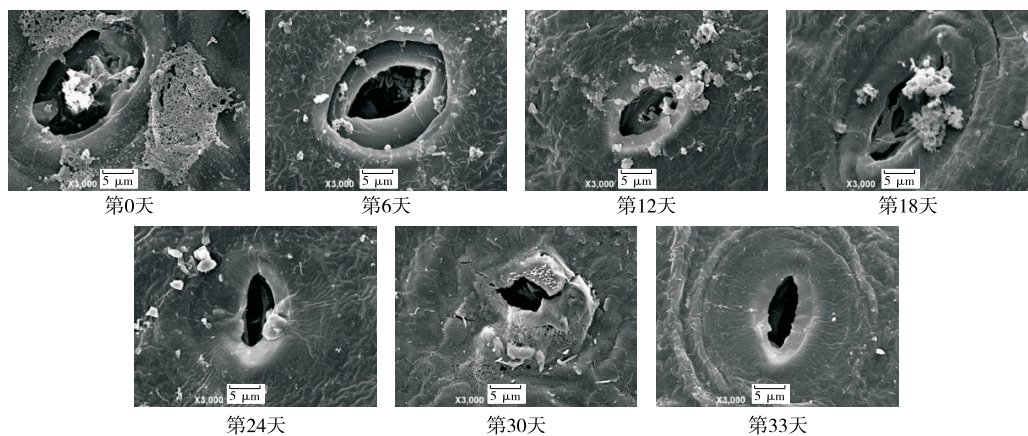


图 2 贮藏期间樱桃果皮表面的气孔形态及其周围的蜡质分布和形态

Figure 2 The stomatal morphology on the surface of cherry peel and its distribution and morphology around it during storage ($\times 3\,000$)

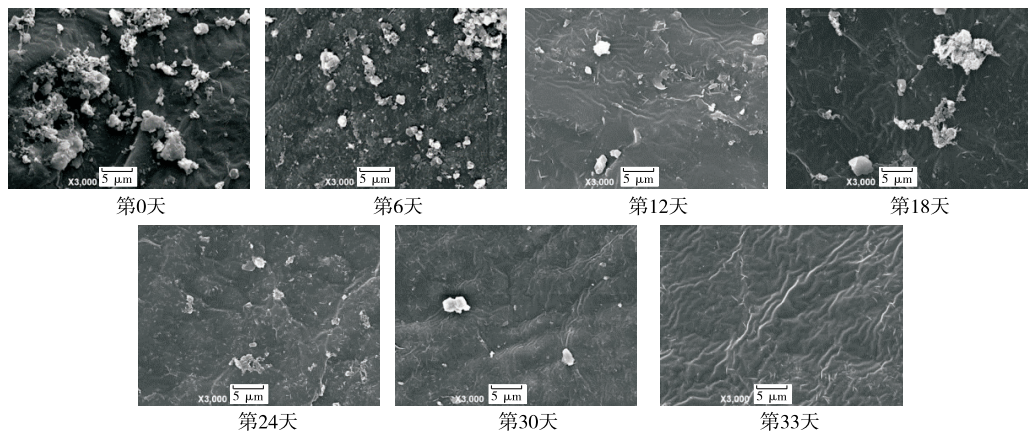


图 3 贮藏期间樱桃果皮表面气孔以外区域的蜡质分布和形态

Figure 3 The waxy distribution and morphology in areas other than stomata on the surface of cherry peel during storage ($\times 3\,000$)

表 3 采收时不同品种甜樱桃表皮对不同溶液的接触角[†]

Table 3 The contact angle in the skin of different varieties of sweet cherries to different solutions at harvest ($n=20$) ($^{\circ}$)

溶液名称	RL	RN	RA	FS
甲苯	36.25±0.96 ^a	38.66±0.87 ^b	42.57±0.88 ^c	43.63±1.35 ^d
去离子水	70.30±2.53 ^a	78.65±2.36 ^b	85.91±1.27 ^c	89.95±2.41 ^d
乙醇	20.39±0.89 ^a	29.66±0.76 ^b	35.52±0.63 ^c	38.62±0.98 ^d
饱和 NaCl	70.25±2.64 ^a	82.48±3.03 ^b	89.94±1.43 ^c	92.23±2.36 ^d
涂膜液 1	42.34±1.05 ^a	52.63±1.68 ^b	58.02±0.59 ^c	60.03±1.59 ^d
涂膜液 2	51.07±1.69 ^a	57.66±2.19 ^b	64.65±2.46 ^c	67.65±1.29 ^d
涂膜液 3	50.34±1.89 ^a	60.24±2.31 ^b	63.56±2.26 ^c	66.58±1.53 ^d
涂膜液 4	80.36±2.49 ^a	83.98±2.75 ^b	86.73±1.44 ^c	98.65±3.12 ^d

[†] 同一行字母不同表示具有显著性差异($P<0.05$)。

对于涂膜液 4 的接触角最大,而涂膜液 4 中未添加表面活性剂——吐温-20,表明在对甜樱桃进行涂膜保鲜时,向可食性涂膜溶液中添加表面活性剂是非常必要的,涂膜液 1、2、3 对 4 个品种甜樱桃表面的接触角均明显低于涂膜液 4,这是由于吐温-20 作为一种非离子型表面活性剂可以降低涂膜液的表面张力^[27],进而提高了涂膜液在甜

樱桃表面的润湿性,使得涂膜液可以均匀地涂覆在甜樱桃表面。

2.4 甜樱桃表皮在贮藏期间对去离子水接触角的变化规律

由图 4 可知:贮藏期间,RA 表面对去离子水的接触角呈下降趋势,这与其表皮蜡质在贮藏期间的减少密切相关,并且在贮藏的前 24 d,其接触角下降的速率较慢,从第 24 天开始,接触角显著降低,贮藏第 33 天接触角降为 69.3°,较贮藏开始时降低了 19.33%。

2.5 甜樱桃表皮贮藏期间临界表面张力的变化规律

2.5.1 不同涂膜液的表面张力(σ) 通过试验测定得到了 4 种涂膜液的 ρ 、 h 、 θ ,并根据式(1)计算得到了不同涂膜液的表面张力。由表 4 可知:涂膜液 1、2、3、4 的表面张力分别为 44.07,48.41,43.55,74.44 mN/m,涂膜液 4 的表面张力显著高于其他 3 种涂膜液,这是由于涂膜液 4

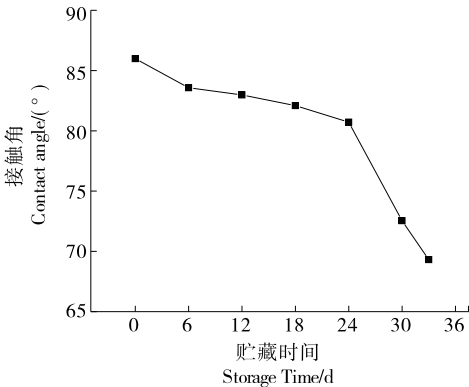


图 4 贮藏期间 RA 表皮对去离子水接触角的变化
Figure 4 Changes in the contact angle of RA skin to deionized water during storage

表 5 贮藏期间 RA 表皮对不同溶液的接触角

Table 5 Contact angle of RA skin to different solutions during storage (°)

贮藏时间/d	甲苯	去离子水	乙醇	饱和 NaCl	涂膜液 1	涂膜液 2	涂膜液 3	涂膜液 4
0	42.57	85.91	35.52	89.94	58.02	64.65	63.56	86.73
6	40.32	83.51	33.45	87.52	56.61	62.33	60.52	84.33
12	39.54	82.91	32.50	86.97	55.01	60.61	58.55	83.72
18	37.61	82.03	30.84	84.26	53.54	58.76	56.84	82.45
24	36.65	80.66	29.50	83.68	52.21	57.84	55.62	81.72
30	30.65	72.52	23.36	75.62	45.50	50.36	48.25	74.36
33	27.32	69.30	20.40	72.29	45.50	47.93	44.92	70.03

表 6 采收时 RA 表皮对不同溶液的接触角

Table 6 Contact angle of RA to different solutions at harvest

溶液名称	$\sigma/(\text{mN} \cdot \text{m}^{-1})$	$\theta/(^{\circ})$	$\cos\theta$	溶液名称	$\sigma/(\text{mN} \cdot \text{m}^{-1})$	$\theta/(^{\circ})$	$\cos\theta$
甲苯	28.43	42.57	0.737	涂膜液 1	44.07	58.02	0.530
去离子水	72.27	85.91	0.072	涂膜液 2	48.41	64.65	0.429
乙醇	22.27	35.52	0.814	涂膜液 3	43.55	63.56	0.446
饱和 NaCl	82.00	89.94	0.002	涂膜液 4	74.44	86.73	0.058

表 4 不同涂膜液的 ρ 、 h 、 θ 、 σ 值

Table 4 The ρ , h , θ , σ value of the different coating solution

涂膜液	$\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	h/mm	$\theta/(^{\circ})$	$\sigma/(\text{mN} \cdot \text{m}^{-1})$
涂膜液 1	1.005×10^3	19.670×10^{-3}	27.321	44.07
涂膜液 2	1.025×10^3	22.234×10^{-3}	32.162	48.41
涂膜液 3	1.032×10^3	20.940×10^{-3}	36.572	43.55
涂膜液 4	1.041×10^3	37.640×10^{-3}	40.803	74.44

中未添加表面活性剂——吐温-20 而造成的,这也证实了向涂膜液中加入吐温-20 作为表面活性剂是非常必要的。

2.5.2 贮藏期间 RA 表皮对已知表面张力的溶液的接触角 由表 5 可知:RA 表皮在贮藏期间对各种溶液的接触角均呈不断下降的趋势,并且在贮藏期间,RA 表皮对涂膜液 4 的接触角显著高于其他 3 个涂膜液,这表明向涂膜液中添加吐温-20 作为表面活性剂可以显著降低涂膜液在 RA 表面的接触角,从而提高其润湿性,使涂膜液可均匀地涂覆于其表面。

2.5.3 贮藏期间 RA 表皮的临界表面张力 以采收时(贮藏第 0 天)的 RA 为例,计算甜樱桃贮藏期间的临界表面张力。采收时甜樱桃表皮对不同溶液的接触角见表 6。

以表 6 中表面张力为 x 轴, $\cos\theta$ 为 y 轴作图(如图 5 所示),即可得 Zisman 曲线^[20]。

由图 5 可知: $R^2=0.989\ 1$,说明方程的拟合度较好。当 $y=1$ (即 $\theta=0^{\circ}$, $\cos\theta=1$)时,其所对应液体的表面张力即为 RA 在采收时的临界表面张力,由线性方程可得, $x=8.48\ \text{mN/m}$,即 RA 在采收时的临界表面张力为 8.48 mN/m,与王昕^{[18]37}得出的结论(新采摘的番茄临界表面张力为 6.22 mN/m)相近。这表明甜樱桃表皮也为

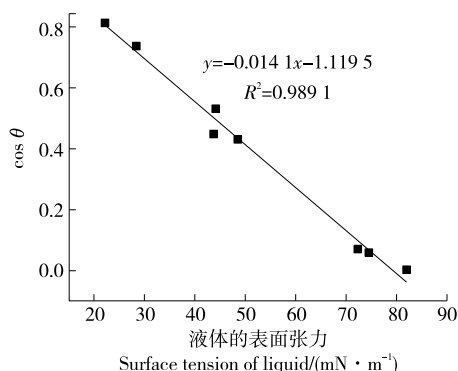


图 5 采收时(第 0 天)RA 表皮的 Zisman 曲线

Figure 5 Zisman curve of RA skin at harvest (day 0)

弱极性的强疏水表面。因此,若要在其表面涂覆水溶性的可食性涂膜就必须考虑到这一点,通过试验发现,在可食性涂膜液中加入 0.1% 的吐温-20 作为表面活性剂可以显著降低涂膜液在甜樱桃表面的接触角,即吐温-20 的加入可以增加涂膜液与甜樱桃表面的亲附性,使可食性涂膜液可以在具有强疏水特性的甜樱桃表面更好地铺展开来,以达到较好的保鲜效果。

采用相同的方法,可以得到贮藏期间其他取样时间点 RA 表面对不同表面张力的溶液的 Zisman 曲线,如图 6 所示。

当 $y = 1$ (即 $\cos \theta = 1$, 接触角 θ 为 0°) 时,甜樱桃在贮藏至第 6、12、18、24、30、33 天的临界表面张力分别为

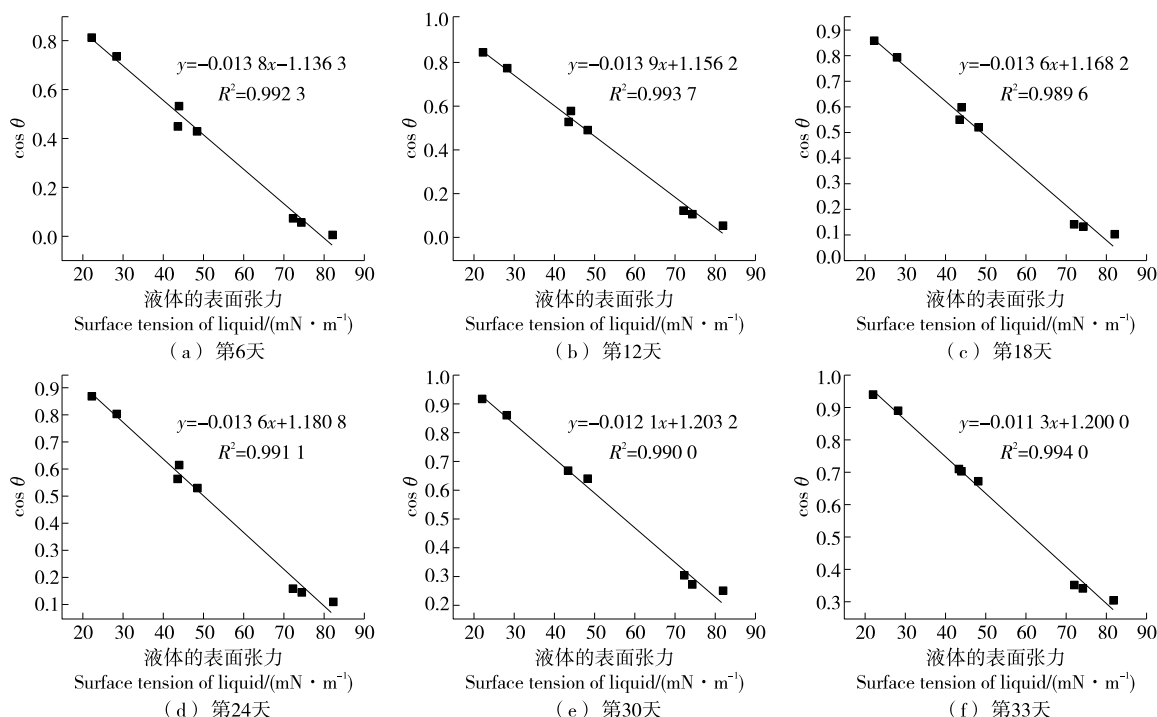


图 6 贮藏期间 RA 表皮的 Zisman 曲线

Figure 6 Zisman curve of RA skin on day 6, 12, 18, 24, 30, 33

8.48, 9.88, 11.24, 12.37, 13.29, 16.79, 17.54 mN/m。以贮藏时间为 x 轴,甜樱桃的临界表面张力为 y 轴作图,可得到甜樱桃的临界表面张力随贮藏时间的变化趋势。由图 7 可知,RA 临界表面张力随贮藏时间的延长不断升高,该结果与其表面蜡质分布在贮藏期间逐渐减少(图 2、图 3)相对应。

3 结论

红玛瑙甜樱桃的表皮为弱极性的强疏水表面,在贮藏期间,其表皮蜡质呈减少的趋势,临界表面张力随贮藏时间的延长不断升高,因此,对甜樱桃果实进行涂膜保鲜可以弥补其贮藏期间表皮结构和功能的退化,以期达到改善其贮藏品质和延长货架期的目的,并且在配制涂膜

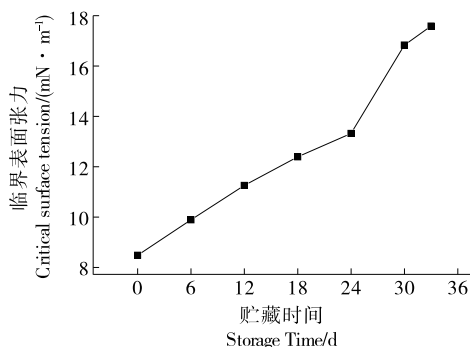


图 7 贮藏期间 RA 临界表面张力的变化

Figure 7 Changes in critical surface tension of RA during storage

液时,向其中添加 0.1% 的吐温-20 可提高涂膜液在甜樱桃表面的润湿性,使得涂膜液可以均匀地涂覆在甜樱桃的表面;在采收时,4 个品种甜樱桃(红灯、雷尼、红玛瑙、友谊)在表皮蜡质分布和形态上均存在显著差异,这可能与不同品种甜樱桃的耐贮性不同密切相关,而关于不同品种甜樱桃表皮蜡质的含量、成分、代谢机制及蜡质与其耐贮性的关系,还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 罗云波. 果蔬采后生理与生物技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 19-22.
LUO Y B. Postharvest physiology and biotechnology of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2010: 19-22.
- [2] 李丹, 关军锋, 韩亚楠. 果实表面蜡质合成及乙烯和 APETALA2/乙烯响应因子调控作用的研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 377-385.
LI D, GUAN J F, HAN Y N. Research progress on fruit surface wax synthesis and its regulation by APETALA2/ethylene-responsive factors[J]. Food Science, 2022, 43(23): 377-385.
- [3] 李莉, 赵米贤, 王建华, 等. 植物表皮蜡质合成、运输及调控机制研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(7): 1-19.
LI L, ZHAO M X, WANG J H, et al. Research progress of wax synthesis, transport and regulation mechanism in plant epidermis[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(7): 1-19.
- [4] 韩彤, 于姝莉, 刘忆冬, 等. 表皮蜡质及其与果实贮藏关系的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(10): 191-198.
HAN T, YU S L, LIU Y D, et al. Research progress of epidermal wax and its relationship with fruit storage[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2023, 14(10): 191-198.
- [5] LI J, GUO Y R, LI Z, et al. Supercritical carbon dioxide and hexane extraction of wax from apple peel pomace: content, composition, and thermal properties[J]. Separation Science and Technology, 2015, 50(14): 2 230-2 237.
- [6] 邵海燕, 杨师, 陈杭君, 等. 蓝莓外表皮蜡质及其对果实软化的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 102-108.
GAO H Y, YANG S, CHEN H J, et al. Effect of waxy skin on softening of blueberry fruit[J]. Chinese Journal of Food Science, 2014, 14(2): 102-108.
- [7] LADANIYE M S. Physico-chemical, respiratory and fungicide residue changes in wax coated mandarin fruit stored at chilling temperature with in termittent warming[J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(2): 150-158.
- [8] MEJIA-TORRES S, VEGA-GARCIA M, VALVERDE-JUAREZ J, et al. Effect of wax application on the quality, lycopene content and chilling injury of tomato fruit[J]. Journal of Food Quality, 2009, 32(6): 735-746.
- [9] WU X, YIN H, CHEN Y Y, et al. Chemical composition, crystal morphology and key gene expression of cuticular waxes of Asian pears at harvest and after storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 132: 71-80.
- [10] YANG Y Q, ZHOU B, ZHANG J, et al. Relationships between cuticular waxes and skin greasiness of apples during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 131: 55-67.
- [11] 李洋洋, 宋文龙, 邵海燕, 等. 聚乳酸活性抗菌薄膜的性能及其对樱桃保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(17): 216-222.
LI Y Y, SONG W L, GAO H Y, et al. Properties of polylactic acid active antibacterial films and their effects on the preservation of cherry[J]. Food Science, 2020, 41(17): 216-222.
- [12] 樊敏, 唐紫薇, 李立. ϵ -聚赖氨酸盐酸盐/壳聚糖复合涂膜对樱桃的保鲜效果[J]. 包装工程, 2020, 41(9): 29-35.
FAN M, TANG Z W, LI L. Effect of ϵ -polylysine hydrochloride/chitosan composite coating on preservation of cherry[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(9): 29-35.
- [13] 张聪聪, 刘静珂, 吉茹, 等. 挂树和钙处理对樱桃果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(5): 230-236.
ZHANG C C, LIU J K, JI R, et al. Effects of tree hanging and calcium treatment on storage quality of cherry fruit[J]. Food Science, 2020, 41(5): 230-236.
- [14] 肖玮, 孙智慧, 刘洋, 等. 果蔬涂膜保鲜包装材料及技术应用研究进展[J]. 包装工程, 2017, 38(9): 7-12.
XIAO W, SUN Z H, LIU Y, et al. Research progress of coating fresh-keeping packaging materials and technology applications for fruits and vegetables[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(9): 7-12.
- [15] 卢星池, 肖茜, 邓放明. 多糖类可食用膜研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(4): 261-265.
LU X C, XIAO Q, DENG F M. Advance on edible film with polysaccharide[J]. Food & Machinery, 2014, 30(4): 261-265.
- [16] 刘姜华. 基于不同形貌的超滑表面性能研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020: 2-35.
LIU J H. Study on superslippery surface properties based on different morphologies[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020: 2-35.
- [17] 滕新荣. 表面物理化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 4-33.
TENG X R. Surface physical chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 4-33.
- [18] 王昕. 番茄常温可食涂膜保鲜的理论与方法[D]. 长春: 吉林大学, 2004.
WANG X. Theory and method of preservation of edible tomato film at room temperature[D]. Changchun: Jilin University, 2004.
- [19] 范华, 董宽虎, 方志红, 等. 碱蒿营养器官的扫描电镜观察研究[J]. 激光生物学报, 2010, 19(3): 314-320.
FAN H, DONG K H, FANG Z H, et al. Studies on microscopic structure of nutritive organs in *Artemisia anethifolia* [J]. Chinese Journal of Laser Biology, 2010, 19(3): 314-320.
- [20] ZHANG Y L, CUI Q L, WANG Y, et al. Mechanical and barrier properties optimization of carboxymethyl chitosan-gelatin-based edible film using response surface methodology[J]. Coatings, 2023, 13(9): 1 529.

(下转第 157 页)

- finite-element stored grain ecosystem model[J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(5): 1 455-1 464.
- [13] 陈桂香, 张宏伟, 王海涛, 等. 基于 COMSOL 的平房仓冷却通风过程中粮堆热湿耦合传递研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(11): 79-85.
- CHEN G X, ZHANG H W, WANG H T, et al. Research on coupled heat and humidity transfer of grain reactor during cooling and ventilation of bungalow based on COMSOL[J]. China Journal of Cereals and Oils, 2018, 33(11): 79-85.
- [14] 葛蒙蒙, 陈桂香, 刘文磊, 等. 基于 COMSOL 的静态仓储稻谷粮堆温度场模拟研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(6): 101-105.
- GE M M, CHEN G X, LIU W L, et al. Simulation of temperature field of static storage rice and grain pile based on COMSOL[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(6): 101-105.
- [15] 王远成, 高帅, 邱化禹, 等. 横向谷冷通风过程的数值模拟研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(7): 103-106.
- WANG Y C, GAO S, QIU H Y, et al. Numerical simulation of transverse valley cooling ventilation[J]. China Journal of Grain and Oil, 2016, 31(7): 103-106.
- [16] 张修霖, 杨开敏, 王远成, 等. 浅圆仓压入式和吸出式通风效果对比研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2021, 52(1): 63-69.
- ZHANG X L, YANG K M, WANG Y C, et al. Comparative study on the effect of compression ventilation and suction ventilation in shallow silo [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 52(1): 63-69.
- [17] 王远成, 石天玉, 曲安迪, 等. 高大平房仓双侧吸出式斜流通风数值模拟和实验的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3): 139-146.
- WANG Y C, SHI T Y, QU A D, et al. Comparative study on numerical simulation and experiment of double-side suction oblique flow air in tall bungalow[J]. China Journal of Cereals and Oils, 2019, 35(3): 139-146.
- [18] 余海, 杨开敏, 王远成, 等. 储粮横向通风多尺度热湿耦合传递研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(8): 74-78, 87.
- YU H, YANG K M, WANG Y C, et al. Research on multi-scale coupled heat and moisture transfer in transverse ventilation of grain storage [J]. Journal of Cereals and Oils, 2019, 36(8): 74-78, 87.
- [19] 王远成, 段海峰, 张来林. 就仓通风时粮堆内部热湿耦合传递过程的数值预测[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(6): 75-79.
- WANG Y C, DUAN H F, ZHANG L L. Numerical prediction of coupled heat and humidity transfer process in grain reactor under bin ventilation [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(6): 75-79.
- [20] HE H C, LI S M, ZHE L, et al. Error analysis of high-moisture maize moisture measurement with PM8188 grain moisture tester [C]// First International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). Beijing: IEEE, 2011: 1-3.
- [21] 张得正, 余克志, 张彤. 基于分形理论的火龙果冻干过程数值模拟[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 143-148.
- ZHANG D Z, YU K Z, ZHANG T. Numerical simulation of pitaya freeze-drying process based on fractal theory [J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 143-148.
- [22] 尹君. 小麦粮堆多场耦合模型及结露预测研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015: 55-56.
- YIN J. Research on multi-field coupling model and dew prediction of wheat grain pile[D]. Changchun: Jilin University, 2015: 55-56.
-
- (上接第 123 页)
- [21] 尹东霞, 马沛生, 夏淑倩. 液体表面张力测定方法的研究进展[J]. 科技通报, 2007, 23(3): 424-429.
- YIN D X, MA P S, XIA S Q. Research progress of liquid surface tension measurement methods[J]. Chinese Science and Technology Bulletin, 2007, 23(3): 424-429.
- [22] LARA I, BELGE B, GOULAO L F. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 87: 103-112.
- [23] 徐呈祥, 郑福庆, 马艳萍, 等. 贮藏温度对耐贮性不同的柑橘品种果皮蜡质含量及其化学组成的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(13): 223-232.
- XU C X, ZHENG F Q, MA Y P, et al. Effects of storage temperature on the wax content and chemical composition of citrus peel with different storability[J]. Journal of Food Science, 2021, 42(13): 223-232.
- [24] KOCH K, ENSIKAT H J. The hydrophobic coatings of plantsurfaces: epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly[J]. Micron, 2008, 39(7): 759-772.
- [25] 李金丽, 黄少云, 张荣荣, 等. 保鲜纸箱对樱桃常温贮藏品质的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 188-191.
- LI J L, HUANG S Y, ZHANG R R, et al. Effect of fresh-keeping carton on storage quality of cherries at room temperature[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 188-191.
- [26] 陈镠, 余婷, 王允祥, 等. 壳聚糖—纳米氧化锌复合涂膜对甜樱桃采后生理和贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2017, 31(9): 1 767-1 774.
- CHEN L, YU T, WANG Y X, et al. Effects of chitosan and nano-zinc oxide composite coating on postharvest physiology and storage quality of sweet cherry[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2017, 31(9): 1 767-1 774.
- [27] ZHONG Y, LI Y F. Effects of surfactants on the functional and structural properties of kudzu (Pueraria lobata) starch/ascorbic acid films[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 85(3): 622-628.