

三种不同预处理的冻干苹果片品质比较

汤石生, 马道宽, 刘军, 卢素珊, 吴耀森, 肖波, 龚丽

(广东省现代农业装备研究所, 广东广州 510630)

摘要: 为了解决冻干苹果片加工过程中的护色问题, 设计了对照组 (CK)、热烫组 (BT)、护色液浸泡组 (CP)、热烫-护色液浸泡复合护色组 (BCP) 四组, 再采用真空冷冻干燥技术将苹果片制成即食脆片, 对每组产品的含水率、维生素 C 含量、滴定酸度、复水比、质构、色差、感官评价、微观结构等品质进行比较分析。结果表明, 四组冻干苹果片的含水率在 5.13%~5.47%, 维生素 C 含量在 9.56~17.06 mg/100 g, 滴定酸度在 2.22~2.37 g/100 g, 复水比在 5.15~3.49, 硬度在 9715.67 g~9384.67 g, 脆度在 1762.50 g~1989.00 g, 亮度在 77.73~84.04, 感官评分在 5.82~8.02, 其中 CK 组的维生素 C 含量显著高于其他三组 ($p<0.05$); BCP 组的复水比显著高于 CK 组 ($p<0.05$); BCP 组的护色效果最佳, 产品亮度值 L^* 84.04, 综合评分 8.02。微观结构的结果表明, 经预处理与真空冷冻干燥复合处理后细胞呈现杂乱排离, 结构松散破碎。总体来说, 四组冻干苹果片虽然在营养成分和感官评价上具有差异, 但均保留了苹果的风味, BCP 组具有更好的冻干片品质。本研究为冻干苹果片的工业化生产提供理论和技术指导。

关键词: 冻干苹果片; 预处理; 真空冷冻干燥; 品质

文章篇号: 1673-9078(2021)07-169-175

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.7.1212

Comparison of Three Kinds of Pretreatment on Quality of Freeze-Dried Apple Slices

TANG Shi-sheng, MA Dao-kuan, LIU Jun, LU Su-shan, WU Yao-sen, XIAO Bo, GONG Li

(Guangdong Institute of Modern Agricultural Equipment, Guangzhou 510630, China)

Abstract: In order to protect the color of apple during the processing of freeze-dried, four groups were designed according to different pretreatments: the control group, the blanching group, the color protection liquid soaking group, and the blanching-color protection liquid soaking composite color protection group. The vacuum freeze-drying was applied to produce freeze-dried apple slices, and then the water content, vitamin C content, titer acidity, rehydration ratio, texture, color difference, sensory evaluation, microstructure and other quality of each group of products were compared. The results showed that the moisture content, the vitamin C content, the titer, the rehydration ratio, the hardness, the brittleness, the brightness values and sensory evaluation in four freeze-dried apple slices ranged from 5.13% to 5.47%, 9.56 to 17.06 mg/100 g, 2.22 to 2.37 g/100 g, 5.15 to 3.49, 9715.67 to 9384.67 g, 1762.50 g to 1989.00 g, 77.73 to 84.04, 5.82 to 8.02, respectively. Vitamin C content of the CK group was significantly ($p<0.05$) higher than those of the other three groups. The rehydration ratio of the BCP group was significantly ($p<0.05$) higher than that of the CK group. The color protection effect of the BCP group was best, with the brightness value 84.04 and the overall score 8.02. The results of the microstructure showed that the cells were disorganized and the structure was loose and broken after the combined treatment of pretreatments and vacuum freeze-drying. In general, although the four groups of freeze-dried apple slices had differences in nutrient composition and sensory evaluation, they all retain the typical flavor of apples. The better freeze-dried slice quality was found in the BCP group. This study could provide the theoretical and technical guidance for the industrial production of freeze-dried apple slices.

Key words: freeze-dried apple slices; pretreatment; vacuum freeze-drying; quality

引文格式:

汤石生, 马道宽, 刘军, 等. 三种不同预处理的冻干苹果片品质比较[J]. 现代食品科技, 2021, 37(7): 169-175

TANG Shi-sheng, MA Dao-kuan, LIU Jun, et al. Comparison of three kinds of pretreatment on quality of freeze-dried apple slices [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(7): 169-175

收稿日期: 2020-12-28

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2017YFD0400902-2); 广东省级农业科技创新及推广项目 (2019KJ101); 广东省重点领域研发计划项目 (2018B020241003)

作者简介: 汤石生 (1970-), 男, 高级工程师, 研究方向: 农产品干燥加工技术与装备研究

在后疫情时代,果蔬深加工是解决新鲜果蔬贮藏问题的重要途径,通过干燥降低果蔬的水分活度,不仅可以抑制微生物生长、降低酶活性,还可以为产品提供更好的物理性能以及较低的运输成本^[1,2]。真空冷冻干燥技术是将含水的原料冻结到共晶点温度以下,然后在真空条件下,使物料中的冰晶直接升华成水蒸气的一种脱水方法,已被广泛应用于食品、中草药等的干燥过程中^[3]。通过真空冷冻干燥获得的产品具有典型的多孔结构、酥脆性、高营养价值、良好的色泽等优点^[4]。我国苹果产量巨大,苹果中含有多酚,维生素C和维生素E,矿物质和其他生物活性成分,具有很高的营养价值,而且已有研究表明食用苹果有利于降低患心血管疾病和中风的风险^[5-7]。冻干苹果片能较好的保留苹果中的营养成分,是一种酸甜可口的休闲零食,深受消费者的喜爱。

苹果在加工过程中容易发生褐变反应,使得产品的颜色变深,因此护色是苹果加工过程中的关键步骤。苹果的护色通常采用护色液处理^[8]、热烫处理^[9]、超声处理^[10]等措施。丁真真等人通过比较海藻糖、葡萄糖、壳聚糖三种糖溶液作为护色液的护色效果,发现15%的葡萄糖溶液能够延缓产品的褐变,提高脱水苹果的复水性能^[11]。王子宇等人通过超高温空气烫漂对苹果片进行护色,结果表明,最佳的护色条件为烫漂温度120℃,烫漂时间4min^[12]。王海鸥等人通过超声预处理发现苹果片的白度值可以达到74.24,总色差为8.76^[9]。苹果干制品的变色问题会直接影响产品的品质、食用价值以及销售情况,因此抑制苹果在加工过程中发生的褐变反应至关重要^[13]。

本研究采用热烫、护色液浸泡和热烫-护色液浸泡复合护色这三种方法对冻干苹果片进行护色,探究其对冻干苹果片含水率、维生素C含量、滴定酸度、复水比、质构、色差、感官评价以及微观结构的影响,为冻干苹果片的工业生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料和设备

原料与试剂:新鲜苹果,市售;氯化钠,食品级;偏磷酸、2,6-二氯酚、抗坏血酸、氢氧化钠、邻苯二甲酸氢钾、分析纯。

设备:ZDG-10真空冷冻干燥设备,广东永利机械设备有限公司;CT3质构分析仪,美国博勒飞公司;CR-400色差仪,柯尼卡美能达公司;S-510扫描式电子显微镜,日本日立公司。

1.2 试验方法

1.2.1 冻干苹果片样品的制备

新鲜苹果洗净后削皮去核,切成厚度为5mm的苹果片,对照组(简称CK)不做任何预处理直接冻干,热烫组(简称BT)经95℃的热水热烫1min后冻干,护色组(简称CP)采用1%的氯化钠溶液浸泡20min后冻干,热烫-护色组(简称BCP)先采用1%的氯化钠溶液浸泡20min,再经95℃的热水热烫1min后冻干。真空冷冻干燥条件为:-20℃冷冻柜预冻12h,真空度10Pa,温度-50℃下冷冻20h。

1.2.2 含水率、滴定酸度、维生素C含量的测定

参照国家标准GB 5009.3-2016对苹果片的含水率进行测定。参照国家标准GB 5009.86-2016对苹果片的维生素C含量进行测定。参照国家标准GB 5009.239-2016对苹果片的滴定酸度进行测定。

1.2.3 复水比的测定

每组称量适量的苹果片,将样品完全浸泡至蒸馏水中30min,充分吸水后取出,用滤纸吸取表面水分,再次称量每组苹果片重量,按下式计算复水比^[14]:

$$R = \frac{m_2}{m_1} \quad (1)$$

式中,R:复水比,g/g; m_1 :复水前苹果片的质量,g;
 m_2 :复水后苹果片的质量,g。

1.2.4 质构的测定

采用质构仪对苹果片的硬度和脆度进行测定。探头型号采用TA4/1000,测试条件为:预测速度2.0mm/s,检测速度0.5mm/s,后期检测速度0.5mm/s,触发力度1g。

1.2.5 色差的测定

每组选取适宜大小的苹果片,采用色差仪检测样品的亮度 L^* ,红绿度 a^* ,蓝黄度 b^* 。

1.2.6 感官评价

选取15名感官评价人员,对四组苹果片的色泽、形态、风味、口感进行评价,具体评价标准见表1。

1.2.7 电镜扫描

每组选取适量的苹果片粘贴至导电胶上,喷金5min后用扫描式电子显微镜观察苹果片的微观结构。

1.3 数据处理

利用Excel 365和GraphPad Prism 8.0软件进行数据分析和绘图,所有实验均重复三次。显著性差异分析采用SPSS 24.0中的Duncan's分析法,显著水平设为 $p < 0.05$ 。

表 1 冻干苹果片的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for freeze-dried apple slices

评价指标	评价标准	综合评分	权重/%
色泽	均匀性差、色泽深	1~3	30
	色泽一般、颜色均匀	4~7	
	淡黄色、颜色均匀	8~10	
形态	皱缩、边缘破损	1~3	20
	较皱缩、边缘卷曲	4~7	
	平整、无卷曲	8~10	
风味	果味过淡, 难以接受	1~3	20
	果味一般, 可以接受	4~7	
	果味适中, 易被接受	8~10	
口感	较硬、不酥脆	1~3	30
	较为酥脆	4~7	
	非常酥脆	8~10	

2 结果与讨论

2.1 不同预处理对苹果片含水率的影响

冻干产品的含水率对产品的品质差异有着重要影响, 含水率过高, 产品不够酥脆, 含水率过低, 则产品口感过硬^[15]。四组的苹果冻干片含水率如图 1 所示, CK 组的含水率为 5.38%, BT 组的含水率为 5.13%, CP 组的含水率为 5.40%, BCP 组的含水率为 5.47%, 含水率基本维持在 5.13%~5.47% 范围内, 各组之间无显著差异 ($p>0.05$)。金玮玲等人采用冷冻干燥的方法得到香菇片的含水率约为 5%, 与我们的实验结果一致^[16]。陈安均等人采用热风 and 微波干燥方法, 得到的冻干果蔬含水率在 6.86%~7.13% 范围内, 高于我们的实验结果, 由此可知, 不同的干燥方法对产品含水率有显著影响^[17]。

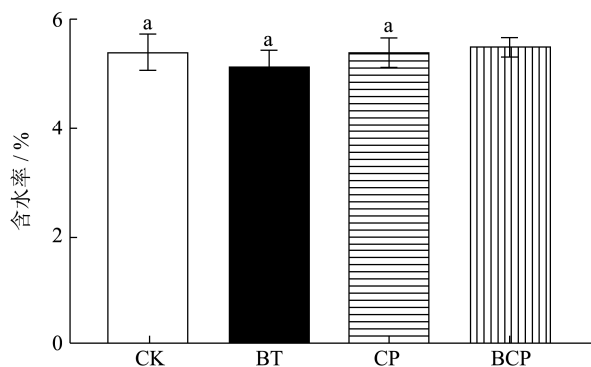


图 1 三种预处理冻干苹果片的含水率

Fig.1 Water content of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

2.2 不同预处理对苹果片 Vc 含量的影响

果蔬中的维生素 C 极易受环境因素, 如氧气、水分、温度、酸碱度、金属离子等的影响而发生氧化降解, 因此不同的预处理方法、干燥条件、不同的果蔬物料都会使干制品的维生素 C 含量发生不同程度的变化^[18]。不同预处理方式对苹果片维生素 C 含量的影响如图 2 所示, CK 组的维生素 C 含量为 17.06 mg/100 g, BT 组的维生素 C 含量为 9.56 mg/100 g, CP 组的维生素 C 含量为 13.15 mg/100 g, BCP 组的维生素 C 含量为 9.68 mg/100 g, 三个处理组的维生素 C 含量均显著低于对照组 ($p<0.05$), 可能是由于预处理过程中接触到空气中的氧气, 温度升高等因素导致。无论是单一处理还是两步预处理, 经过热烫后维生素 C 的含量损失较为显著, 经过护色液的单一处理能够较好的保留维生素 C 的含量。有研究表明, 经真空冷冻干燥后苹果冻干片维生素 C 含量较低, 原因在于真空和冷冻解析干燥阶段的高温导致其发生氧化作用而流失^[19]。

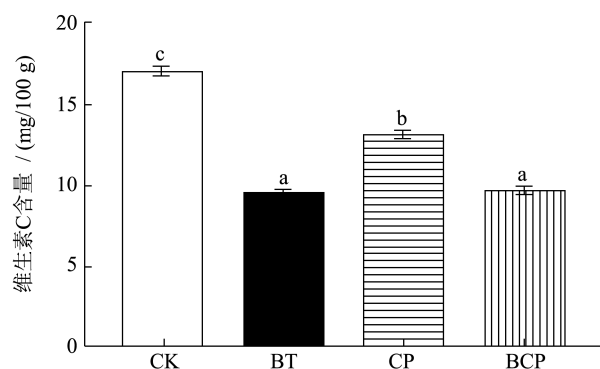


图 2 三种预处理冻干苹果片的维生素 C 含量

Fig.2 Vitamin C content of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

注: 不同字母表示各组间存在显著性差异 ($p<0.05$), 下同。

2.3 不同预处理对苹果片滴定酸度的影响

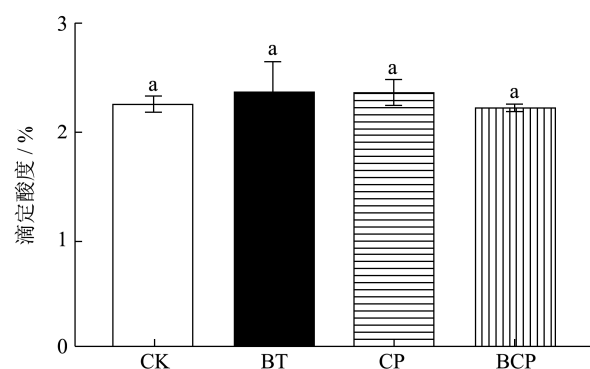


图 3 三种预处理冻干苹果片的滴定酸度

Fig.3 Titer acidity of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

水果冻干片中的可滴定酸度对产品的风味和贮藏

性都有一定程度的影响^[19]。由图3可知,三种预处理方法对滴定酸度的影响较小,CK组的滴定酸度为2.25 g/100 g, BT组的滴定酸度为2.37 g/100 g, CP组的滴定酸度为2.36 g/100 g, BCP组的滴定酸度为2.22 g/100 g。邢娜等人采用真空冷冻干燥的方法得到的冻干苹果片的滴定酸度为1.0 g/100 g^[20],与我们的实验结果有显著差异,可能是原材料的差异导致的,苹果的成熟度对样品的滴定酸度会有显著影响。

2.4 不同预处理对苹果片复水比的影响

复水比是评价干燥产品恢复至原来状态的重要指标,可以衡量冻干片的疏松程度,对产品的口感有重要影响^[21]。由图4可知,CK组的复水比为3.49, BT组的复水比为3.88, CP组的复水比为4.15, BCP组的复水比为5.15,经过两步预处理的BCP组的复水比显著高于对照组($p < 0.05$),说明其内部疏松程度最高,经单一预处理的BT组和CP组复水比与对照组无显著差异($p > 0.05$)。可能是在预处理过程中经两步处理的苹果片内部表面积增大,孔隙增多,吸水性增强,而对照组未经处理,内部表面积较小,冻干后皱缩,难以复水。王前菊等人经不同的预处理获得的冻干苹果片产品复水比在3.08~5.31范围内,与我们的结果一致^[22]。

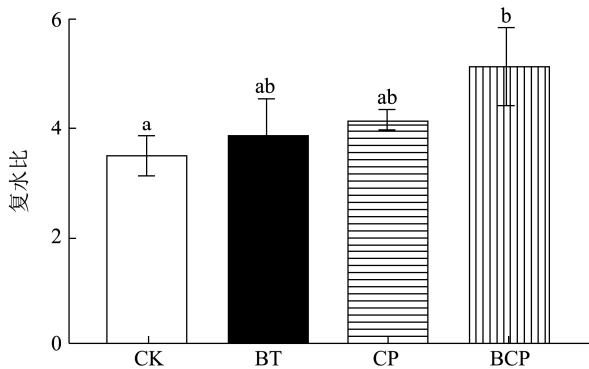


图4 三种预处理冻干苹果片的复水比

Fig.4 Rehydration ratio of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

2.5 不同预处理对苹果片质构的影响

冻干产品的脆度和硬度是衡量产品品质的重要指标之一,产品硬度太大或硬度太小都会影响食用口感^[23]。三种预处理方式对苹果片硬度和脆度的影响如图5所示,CK组的硬度为9384.67 g,脆度为1864.50 g, BT组的硬度为9715.67 g,脆度为1762.50 g, CP组的硬度为9468.33 g,脆度为1924.00 g, BCP组的硬度为9571.00 g,脆度为1989.00 g,四组冻干苹果片的硬度和脆度无显著差异($p > 0.05$),表明热烫和护色液浸

泡对产品的质构变化影响不大。有研究表明,果蔬脆片的质构主要受脱水工艺的影响,因此三种护色预处理的产品质构没有显著差异^[24]。

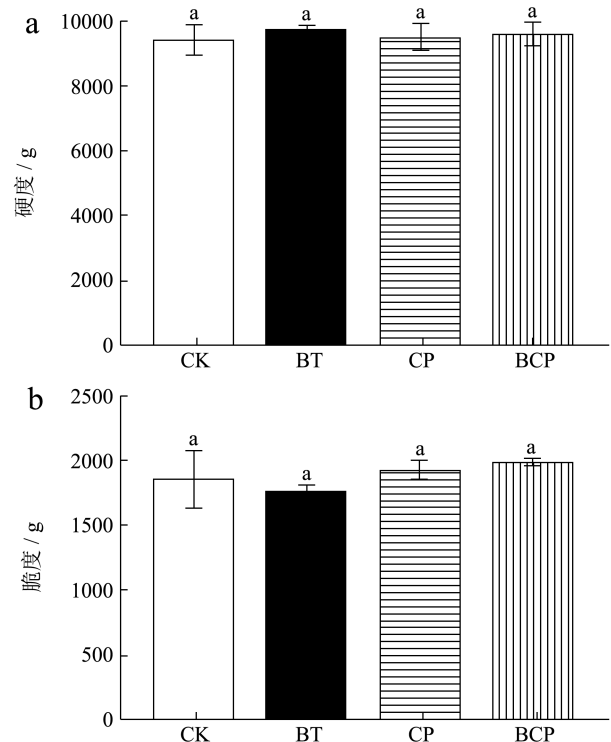


图5 三种预处理冻干苹果片的硬度(a)和脆度(b)

Fig.5 Hardness and crispness of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

2.6 不同预处理对苹果片色差的影响

表2 三种预处理冻干苹果片的色差

Table 2 Color difference of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

样品	kinds of pretreatment		
	L*	a*	b*
CK	77.73±0.39 ^a	5.47±0.45 ^b	29.98±0.99 ^b
BT	81.38±0.19 ^b	-0.28±0.19 ^a	23.64±0.58 ^a
CP	81.14±0.10 ^b	-0.11±0.71 ^a	23.61±1.35 ^a
BCP	84.04±0.01 ^c	-0.26±0.04 ^a	21.96±0.33 ^a

注:不同字母表示各组间存在显著性差异($p < 0.05$),下表同。

冻干产品的色泽是影响消费者选择的直接因素之一。三种预处理方式对苹果片色差的影响如表2所示,经过预处理的冻干苹果片白度L*、红绿值a*以及蓝黄值b*与CK组均有显著差异($p < 0.05$),CK组的L*为77.73, BT组L*为81.38, CP组的L*为81.14, BCP组的L*为84.04,经两步预处理的BCP组产品亮度最高,白度L*值与CK组和单一预处理的两组均有显著差异,说明其护色效果最好,更易于被消费者接受。王海鸥等人经护色液预处理获得的苹果片产品L*可

达 89.82, 略高于我们的实验结果, 可能的原因在于他们采用的是 0.5% L-半胱氨酸、0.5% 抗坏血酸、0.2% 草酸、0.3% NaCl 的复合护色液^[9]。

2.7 不同预处理对苹果片感官评价的影响

由表 3 可知, CK 组的色泽评分为 3.50, BT 组色泽评分为 6.33, CP 组的色泽评分为 6.50, BCP 组的色泽评分为 8.20, BCP 组的苹果冻干片在色泽上与 CK 组和单一预处理组都有显著的差异 ($p < 0.05$), 表明经过护色液浸泡再热烫灭酶能够最大程度的保留新鲜苹果的色泽, 而不经预处理的 CK 组, 苹果在加工过程中发生褐变反应, 使得产品颜色变深, 使得

消费者的购买意愿降低。三个处理组的形态评分显著高于 CK 组 ($p < 0.05$), 可能是因为 CK 组不经热烫或浸泡处理, 冷冻干燥失水过程中皱缩硬化较为严重, 导致产品的外观形态不如经过预处理的三组。四组冻干苹果片的风味没有显著差异 ($p > 0.05$)。从口感方面来看, 经两步预处理的 BCP 组口感较为疏松, 更受消费者的喜爱。从综合评分来看, BCP 组的评分最高, 为 8.02, 其次是单一处理的 BT 组和 CP 组, CK 组的评分最低, 为 5.82。结果表明, 护色处理是冻干苹果片工艺中的重要环节, 对产品的品质有着重要影响。符合标准 GB/T 23787-2009 非油炸水果、蔬菜脆片的感官要求。

表 3 三种预处理冻干苹果片的感官评价

Table 3 Sensory evaluation of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

样品	色泽	形态	滋味	口感	综合评分
CK	3.50±0.16 ^a	7.10±0.37 ^a	7.80±0.22 ^a	5.97±0.12 ^a	5.82±0.17 ^a
BT	6.33±0.42 ^b	7.80±0.24 ^b	8.00±0.16 ^a	7.03±0.49 ^b	7.17±0.31 ^b
CP	6.50±0.24 ^b	8.00±0.37 ^b	8.10±0.08 ^a	6.67±0.48 ^{ab}	7.17±0.15 ^b
BCP	8.20±0.29 ^c	8.10±0.14 ^b	8.30±0.67 ^a	7.60±0.08 ^c	8.02±0.23 ^c

2.8 不同预处理对苹果片微观结构的影响

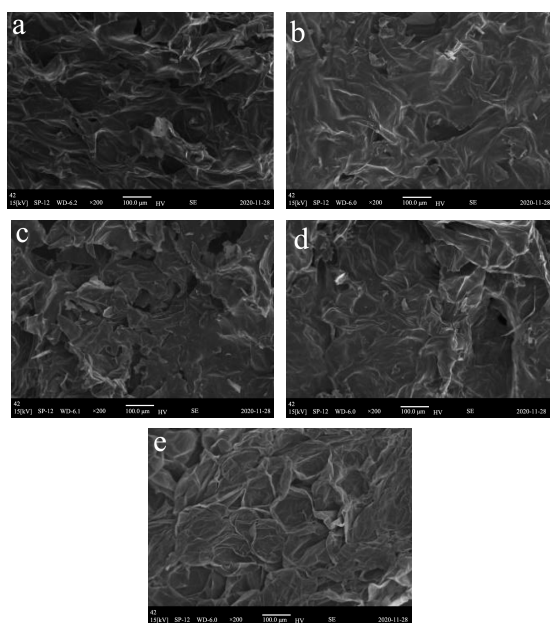


图 6 三种预处理冻干苹果片的微观结构 (×200)

Fig.6 Microstructure of freeze-dried apple slices by three kinds of pretreatment

注: a: CK; b: BT; c: CP; d: BCP; e: 新鲜苹果。

由图 6 可知, 与新鲜苹果的微观结构相比, 经过冷冻干燥步骤, 大量的水分快速蒸发, 苹果内部组织结构破碎交织。由图 6a 可知, CK 组的孔径较小且较少, 复水水分吸收较为困难, 这与前面的复水比结果相一致。由图 6b 可知经热烫和真空冷冻后苹果片结构

较为松散。由图 6c 和图 6d 可知经护色液、热烫-护色液浸泡与真空冷冻干燥复合处理后细胞呈现杂乱排离, 结构松散破碎, 变形较为严重, 周頔等人经超声-真空冻结获得的苹果片也出现了相似的微观结构^[10]。

3 结论

护色工艺在果蔬加工过程中是不可或缺的一个环节, 因此选择一个简单高效的护色方法是近年来的研究热点。本研究中采用了热烫、护色液浸泡、热烫-护色液浸泡复合护色三种护色方法, 结果表明, 四组冻干苹果片的含水率在 5.13%~5.47%, 维生素 C 含量在 9.56~17.06 mg/100 g, 滴定酸度在 2.22~2.37 g/100 g, 复水比在 5.15~3.49, 硬度在 9715.67 g~9384.67 g, 脆度在 1762.50 g~1989.00 g, 亮度在 77.73~84.04, 感官评分在 5.82~8.02, 其中 CK 组的维生素 C 含量显著高于其他三组 ($p < 0.05$); BCP 组的复水比显著高于 CK 组 ($p < 0.05$); BCP 组的护色效果最佳, 产品亮度值 L^* 为 84.04, 综合评分 8.02。微观结构的结果表明, 经预处理与真空冷冻干燥复合处理后细胞呈现杂乱排离, 结构松散破碎。总体来说, 四组冻干苹果片虽然在营养成分和感官评价上具有差异, 但均保留了苹果的风味, BCP 组具有更好的冻干片品质。以苹果为原料开发一款休闲食品符合果蔬加工产业发展和市场需求, 并能满足现代人们饮食消费需要。通过研究可知热烫-护色液浸泡复合护色可以使冻干苹果片保持良好的色泽、口感、风味和营养价值。冻干苹果片的品

质研究有助于推动苹果深加工技术升级,优化并丰富冻干苹果片的口味以适应市场对果蔬休闲食品的需求是需要进一步开展的工作。由于冻干苹果片打开包装后较容易吸潮,以后应重点研究包装材料和果片表面的防吸潮处理。

参考文献

- [1] Omolola A O, Jideani A I O, Kapila P F. Quality properties of fruits as affected by drying operation [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(1): 95-108
- [2] Chumroenphat T, Somboonwathanakul I, Saensouk S, et al. Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-temperature drying methods [J]. *Food Chemistry*, 2015, 339: 12821
- [3] Aykin-dincer E, Erbas M. Drying kinetics, adsorption isotherms and quality characteristics of vacuum-dried beef slices with different salt contents [J]. *Meat Science*, 2018, 145: 114-120
- [4] Guo X, Shi L, Xiong S, et al. Gelling properties of vacuum-freeze dried surimi powder as influenced by heating method and microbial transglutaminase [J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2019, 99: 105-111
- [5] 黄小鸿. 苹果中有效成分及其保健功效[J]. *中国资源综合利用*, 2019, 37(8): 179-180, 187
HUANG Xiao-hong. Active components of apple and their health effects [J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2019, 37(8): 179-180, 187
- [6] Bondonno N P, Bondonno C P, Blekkenhorst L C, et al. Flavonoid-rich apple improves endothelial function in individuals at risk for cardiovascular disease: a randomized controlled clinical trial [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2018, 62(3): 1700674
- [7] 王田利. 我国苹果产业发展形势与去产能的必然性[J]. *北方果树*, 2018, 1: 42-43
WANG Tian-li. The development situation of my country's apple industry and the inevitability of reducing production capacity [J]. *Northern Fruits*, 2018, 1: 42-43
- [8] 董继先, 李靖, 袁越锦, 等. 基于能耗分析的苹果片干燥试验研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(5): 53-57
DONG Ji-xian, LI Jing, YUAN Yue-jin, et al. Drying experimental study of apple slices based on the analysis of the energy consumption [J]. *The Food Industry*, 2016, 37(5): 53-57
- [9] 王海鸥, 扶庆权, 陈守江, 等. 预处理方式对真空冷冻干燥苹果片品质的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(11): 126-130
WANG Hai-ou, FU Qing-quan, CHEN Shou-jiang, et al. Effects of different pretreatment methods on the quality of freeze-dried apple slices [J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(11): 126-130
- [10] 周嶝, 王海鸥, 孙艳辉, 等. 不同前处理和冻结方式对苹果片真空冷冻干燥效率及干制品品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(12): 218-224
ZHOU Di, WANG Hai-ou, SUN Yan-hui, et al. Effects of re-processing and freezing methods on the efficiency of vacuum freeze-drying and quality of freeze-dried apple slices [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(12): 218-224
- [11] 丁真真, 刘飞, 张甜, 等. 糖护色对热风干燥苹果片品质的影响[J]. *现代食品*, 2020, 12: 152-157, 162
DING Zhen-zhen, LIU Fei, ZHANG Tian, et al. Effect of sugar color on quality of hot air dried apple slices [J]. *Modern Food*, 2020, 12: 152-157, 162
- [12] 王子宇, 石天琪, 龙昌洲, 等. 超高温空气预处理对苹果片护色效果影响及其响应面优化[J]. *食品科技*, 2018, 43(2): 51-58
WANG Zi-yu, SHI Tian-qi, LONG Chang-zhou, et al. Effect of ultra high temperature air blanching pretreatment on color protection of apple slices and its response surface optimization [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(2): 51-58
- [13] 张懿, 廖红梅. 果蔬食品加工贮藏过程中易变色素的降解及调控机理研究与展望[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(9): 258-267
ZHANG Min, LIAO Hong-mei. Degradation and regulation mechanisms of variable pigments during processing and storage of fruits and vegetables: status and trends [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2011, 11(9): 258-267
- [14] Wang Y, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Effect of blanching on microwave freeze drying of stem lettuce cubes in a circular conduit drying chamber [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 113(2): 177-185
- [15] 李国鹏, 谢焕雄, 吴惠昌, 等. 果蔬干燥含水率在线测量技术研究现状及展望[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(24): 41-46
LI Guo-peng, XIE Huan-xiong, WU Hui-chang, et al. Research status and prospects of on-line measurement technology for drying moisture content of fruits and vegetables [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(24): 41-46

- [16] 金玮玲,高虹,范秀芝,等.不同预处理方法对真空冷冻干燥香菇脆片感官品质的影响[J].食品科学,2017,38(13):108-112
JIN Wei-ling, GAO Hong, FAN Xiu-zhi, et al. Effect of different pretreatment methods on the sensory quality of *Lentinus edodes* chips produced by vacuum freeze-drying [J]. Food Science, 2017, 38(13): 108-112
- [17] 陈安均,赵浩然,付云云,等.不同干制方法对川佛手片的影响研究[J].食品研究与开发,2019,40(11):42-46
CHEN An-jun, ZHAO Hao-ran, FU Yun-yun, et al. Effects of different dried methods of *Citrus medica* pieces [J]. Food Research and Development, 2019, 40(11): 42-46
- [18] 欧阳梦云,王燕,罗凤莲,等.预处理及干燥方法对果蔬干制品 Vc 含量影响的研究进展[J].食品与机械,2018,34(7):179-182
OU-YANG Meng-yun, WANG Yan, LUO Feng-lian, et al. Advances in vitamin C content in dried fruits and vegetables by using pretreatment and drying methods [J]. Food and Machinery, 2018, 34(7): 179-182
- [19] 毛佳琦,张丽芬,陈复生,等.真空浸渍对果蔬品质的影响研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(13):195-919
MAO Jia-qi, ZHANG Li-fen, CHEN Fu-sheng, et al. Progress in research on qualities of fruits and vegetables treated by vacuum impregnation processing [J]. Food Research and Development, 2016, 37(13): 195-919
- [20] 邢娜,万金庆,厉建国,等.不同干燥方法对苹果片品质及微观结构的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(16): 148-154
XING Na, WAN Jin-qing, LI Jian-guo, et al. Effects of different drying methods on the quality and microstructure of apple slices [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(16): 148-154
- [21] 王娟,肖亚冬,徐亚元,等.不同预处理方式对花椰菜干制品品质影响研究[J].食品工业科技,2020,41(24):36-43
WANG Juan, XIAO Ya-dong, XU Ya-yuan, et al. Effect of different pretreatment methods on the quality attributes of dried cauliflower [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(24): 36-43
- [22] 王前菊,颜廷才,闫秋菊,等.有机酸浸渍处理对苹果片冻干品质的影响[J].食品与机械,2020,36(9):170-176
WANG Qian-ju, YAN Ting-cai, YAN Qiu-ju, et al. Effects of different organic acid impregnating treatments on the quality of freeze-dried apple slices [J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 170-176
- [23] 欧阳锐,江贻洁,王志辉,等.一款真空冷冻干燥胡萝卜黄花梨果蔬脆的研制[J].食品工业,2020,41(3):133-137
OUYANG Rui, JIANG Yi-jie, WANG Zhi-hui, et al. Development of a carrot and yellow pear composite crisp by vacuum freeze-drying technology [J]. The Food Industry, 2020, 41(3): 133-137
- [24] 马征祥,王文亮,石贤权,等.食用菌脆片休闲食品的加工工艺研究现状及展望[J].中国食物与营养,2016,22(1):30-34
MA Zheng-xiang, WANG Wen-liang, SHI Xian-quan, et al. Research status and prospect of edible fungi chip leisure food [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(1): 30-34

(上接第 147 页)

- [27] Gabel M M, Pan Z L, Amaratunga K S P, et al. Catalytic infrared dehydration of onions [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(9): E351-E357
- [28] 张波.核桃射频热风联合干燥特性及品质变化研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017
ZHANG Bo. Walnut drying characters and quality changes when subjected to combined radio frequency and hot air heating [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2017
- [29] Atungulu G G, Teh H E, Wang T, et al. Infrared pre-drying and dry-dehulling of walnuts for improved processing efficiency and product quality [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2013, 29: 961-971