

工艺参数对苹果果脯护色效果的影响

Effects of different processing parameters on the color protecting of candied apple

李凤霞 雷清玉 盛红叶 黄予新

LI Feng-xia LEI Qing-yu SHENG Hong-ye HUANG Yu-xin

张娇娇 胡元庆 陈婷燕

ZHANG Jiao-jiao HU Yuan-qing CHEN Ting-yan

(闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000)

(School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000, China)

摘要:以山东红富士为原料,以感官评价、亮度(L 值)、褐变度为评价指标,考察切片厚度、植酸浓度、微波漂烫功率、微波漂烫时间、热风干燥温度及干燥时间对苹果果脯护色效果的影响,并比较植酸与其他护色剂对果脯贮藏性的影响。结果表明:苹果果脯护色的最佳条件为切片厚度8 mm、植酸浓度0.12%、微波漂烫功率为中高火、微波漂烫时间80 s、干燥时间4 h、干燥温度70℃,此时苹果果脯护色效果最佳,且口感好。贮藏期间不同护色剂的护色效果依次为植酸>抗坏血酸>柠檬酸>NaCl。

关键词:苹果;果脯;工艺参数;护色

Abstract: The effects of color protection to candied apple under different processing parameters were studied by using Shangdong red Fuji as raw material. Sensory evaluation and brightness (L value) and browning degree were used as evaluation indexes, and the effects of slice thickness, phytic acid concentration, microwave blanching power, microwave blanching time, hot air drying temperature and drying time on the color protection effect of candied apple were analyzed by single factor experiment. Moreover, the storage of phytic acid and other color-protecting agents were compared in order to obtain the best conditions for candied apple color protection. The results showed that the optimum conditions for apple color protection were slice thickness 8 mm, phytic acid concentration 0.12%, with microwave blanching power at medium-high fire for 80 s, and then drying at 70℃ for 4 h. The effect of different color-protecting agents during storage ranges from good to bad: phytic acid>ascorbic acid>citric acid>

NaCl, the best color-protecting agent is phytic acid. The candied apples harvested under the control of these conditions showed best color protection with good taste.

Keywords: apple; candied; processing parameter; color protection

苹果是中国产量和面积位居第一的水果,分布广泛,品种繁多,具有很高的经济价值^[1]。苹果富含淀粉、糖、抗坏血酸、胡萝卜素、果胶、钙、镁、锌等营养成分,深受广大消费者的青睐^[2]。由于苹果产量大、产区集中、采后易发生病害等特点,除生食外,常常被制成果汁、脆片、果酒、罐头、果脯等产品^[3-5]。加工过程中,低温阶段易发生酶促褐变,而涉及到热处理阶段易发生非酶促褐变^[6],不仅会影响产品感官、营养和食用品质,还会缩短货架期,降低产品商业价值^[7-9]。

目前,苹果加工中的护色方法按操作机制的不同主要分为物理机制、化学机制和生物控制3种类型^[10]。魏征等^[11]通过研究切片厚度对低糖果果脯微波渗糖效果的影响,得出果脯渗糖效果最好并且感官品质较好的最佳厚度;Wang等^[12-13]采用超高温空气加热苹果片,破坏多酚氧化酶空间结构,使其失活进而抑制酶促褐变,达到护色效果;赵玉生^[14]通过研究植酸和植酸钠对苹果汁护色效果的影响,得出植酸的护色效果较佳。试验拟结合苹果果脯的制备工艺,考察切片厚度、植酸浓度、微波漂烫功率、微波漂烫时间、热风干燥温度及干燥时间对苹果果脯护色效果的影响,以期优化苹果果脯的护色工艺参数,并进一步探讨多种护色剂对果脯护色与贮藏性的影响,旨在为苹果果脯的产业化提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜山东红富士、白砂糖:市售;

基金项目:福建省自然科学基金面上项目(编号:2017J01453);国家级大学生创新训练项目(编号:201810402028)

作者简介:李凤霞(1978—),女,闽南师范大学副教授,硕士。

E-mail:190077972@qq.com

收稿日期:2019-10-23

柠檬酸、抗坏血酸、植酸;食品级,河南万邦实业有限公司;

氯化钙:食品级,湖北糖柜食品有限公司;

氯化钠:食品级,湖北蓝天有限责任公司;

电子分析天平:FR224CN 型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9030A 型,上海精宏实验设备有限公司;

色差仪:WSC-S 型,上海精密仪器仪表有限公司;

微波炉:M1-235A 型,广东美的厨房电器制造有限公司;

电磁炉:C21-RT2124 型,广东美的厨房电器制造有限公司。

1.2 方法

1.2.1 苹果果脯的制备流程 挑选成熟、硬度较大的苹果,用流动的自来水洗净,沥干后去皮。去除果实的花萼、果梗、核,切成指定厚度的果片,置于质量浓度 0.5% 氯化钙^[15]与不同质量浓度护色剂的混合液中浸泡一定时间,用清水漂洗 2~3 次;将护色后的苹果片按 1:3 (g/mL)的比例放入蒸馏水中进行烫漂,结束后立即冷却,于 15%糖液中煮制 20 min,并趁热起锅。使用少许 40 ℃左右的温开水沥去果片表面的糖液,于烘箱中干燥至水分含量为 18%~25%,冷却,即为成品。

1.2.2 单因素试验设计 以感官评价、亮度(L 值)及褐变度为评价指标,采用单因素试验考察切片厚度(4,6,8,10,12 mm)、植酸浓度(0.06%,0.08%,0.10%,0.12%,0.14%)、微波漂烫功率(低火、中低火、中火、中高火、高火)、微波漂烫时间(60,80,100,120,140 s)、干燥时间(2.5,3.0,3.5,4.0,4.5 h)、干燥温度(55,60,65,70,75 ℃)等处理方式对苹果果脯护色效果的影响。依次在前一个参数的最佳水平上进行下一个单因表试验。

1.2.3 护色剂对比试验 在单因素试验的基础上,以 0.5% CaCl_2 为硬化剂, L 值为评价指标,按表 1 的设计比较柠檬酸、抗坏血酸、 NaCl ^[16]与植酸对果脯护色效果的影响。以未经漂烫处理的新鲜苹果片为对照,每隔 15 d 取样测定,共测 60 d,每组重复 3 次。

1.2.4 色泽的测定 参照文献[4,17]的方法。 L 值表示

色泽的明暗程度,取值为 0~100, L 值越大,表示亮度越高、褐变程度越轻; L 值越小,表示褐变程度越严重。

1.2.5 褐变度的测定 参照文献[18]的方法并略作修改。称取充分研细的样品 5 g,定容至 50 mL,静止 2 h,取样液 5 mL,加入 5 mL 95%的乙醇,7 800 r/min 离心 10 min,测定 420 nm 处吸光度。

1.2.6 感官评价 参照文献[19]。按 GB/T 16291.2—2010 的方法筛选和培训 10 名评价员,以随机顺序呈送样品,按表 2 进行感官评价。

表 2 苹果果脯的感官评分标准

Table 2 Standards for the sensory score of candied apple

指标	特征	得分
组织	完整、颗粒饱满,不粘手,无破裂	20~30
	饱满度适中,表面无明显缺陷	11~20
	干缩或干缩严重	0~10
色泽	颜色淡黄,均匀一致,有光泽	30~40
	颜色黄褐,色泽略暗	15~30
	颜色变褐甚至发黑,无光泽	0~15
滋味	酸甜适中,软硬适中,具有苹果滋味与气味	20~30
	甜味过浓或过淡,苹果味淡,无异味	11~20
	无苹果味,有其他异味	0~10

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 进行试验数据处理,SPSS 23.0 统计软件进行方差分析,采用 LSD 法进行多重比较,字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 切片厚度对苹果果脯护色效果的影响

由图 1 可知,随着切片厚度的增加,苹果果脯的感官评分和 L 值均呈先上升后下降的趋势,并在切片厚度为 8 mm 处达最大值;褐变度先减小后增大。当苹果片较薄时,在灭酶完全的同时果脯表面水分逸散也多,易快速下降趋向至美拉德反应的适宜范围,且温度越高发生越快^[20],致使果脯颜色呈黄褐色,无光泽, L 值低,褐变度大,还出现干缩现象,硬度大,口感差,因此感官评分也低。当切片厚度为 8 mm 时,苹果片 L 值最高达 67,由于此条件下灭酶较完全,且苹果片较厚,水分含量较高,非酶促褐变少^[21],护色效果较佳,此时的果脯饱满,呈淡黄色,有光泽,具有苹果滋味,感官评分为 89。当切片厚度继续增大时,苹果中多酚氧化酶(PPO)未完全灭活,干燥过程中发生酶促褐变,且酶活越高褐变越严重,褐变度大,护色效果差,此时果脯内部水分不易干燥,无果脯的滋味,口感差,感官评分显著降低。综上,最佳的切片厚度确定为 8 mm。

2.2 植酸浓度对苹果果脯护色效果的影响

由图 2 可知,当植酸浓度为 0.06%~0.12%时,苹果

表 1 护色参数设计

Table 1 Design of color protection parameters

组别	浓度/%	护色时间/min
对照组(未经钙硬化)	0.00	20
柠檬酸组	0.20	20
抗坏血酸组	0.10	20
NaCl 组	0.40	20
植酸组	0.12	20

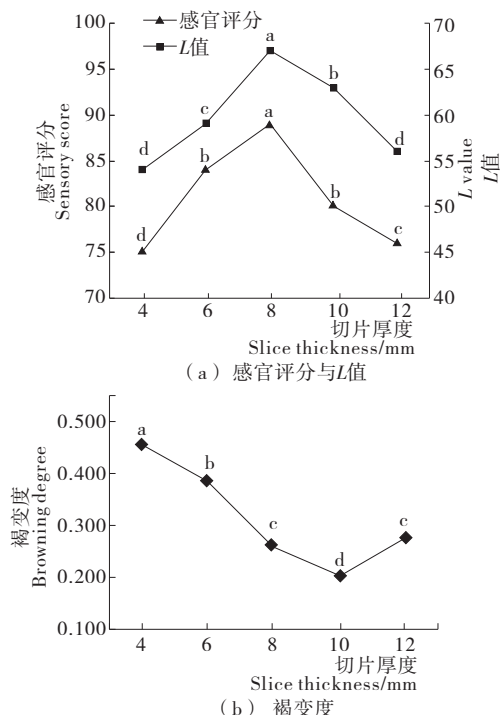


图1 切片厚度对苹果果脯护色效果的影响

Figure 1 Effect of different slice thickness on color protection of candied apple

果脯的感官评分和 L 值均显著上升,褐变度显著下降;当植酸浓度为 0.12% 时,感官评分和 L 值达最高,褐变度最低,由于该浓度的植酸整合了大量加剧褐变的金属离子,同时降低了水果体系的 pH 值,从而有效抑制了 PPO 的酶促反应速率,褐变程度越小, L 值越大,与易建华等^[22]的结果一致。此浓度的植酸还调和了果脯的酸甜度使其口感最佳,因此感官评分高。当植酸浓度继续增大时,抑制了褐变,但 L 值却显著降低,可能与植酸本身颜色有关,同时酸度太大影响果脯的酸甜度,因此感官评分下降。故植酸的最佳浓度为 0.12%。

2.3 微波漂烫功率对苹果果脯护色效果的影响

由图 3 可知,微波漂烫功率对苹果果脯护色效果影响显著。随着微波漂烫功率的增大,苹果果脯的 L 值和感官评分呈先上升后下降趋势,褐变度先减小后增大。当微波功率为中高火时,褐变度低, L 值高达 66,感官评分达 89。当微波功率过低时,穿透性较弱,苹果片受热不均匀,钝化 PPO 活性效果也弱,易发生酶促褐变,导致 L 值较低;同时口感不佳,感官评分也低。当微波功率为中高火时,微波穿透性强,苹果片迅速被加热,在最短时间内达到钝化 PPO 活性的效果,从而抑制了褐变,此时果脯颗粒饱满,有光泽,具有苹果滋味。当微波功率继续增大时,易发生美拉德反应^[20]和焦糖化反应^[21],褐变度增大。PPO 失活过快,微波能量过高容易破坏组织结构,此

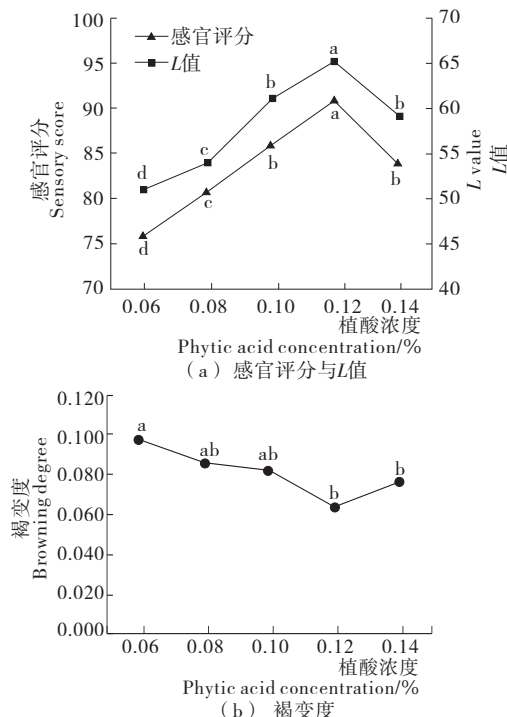


图2 不同植酸浓度对苹果果脯护色效果的影响

Figure 2 Effect of different phytic acid concentrations on color protection of candied apple

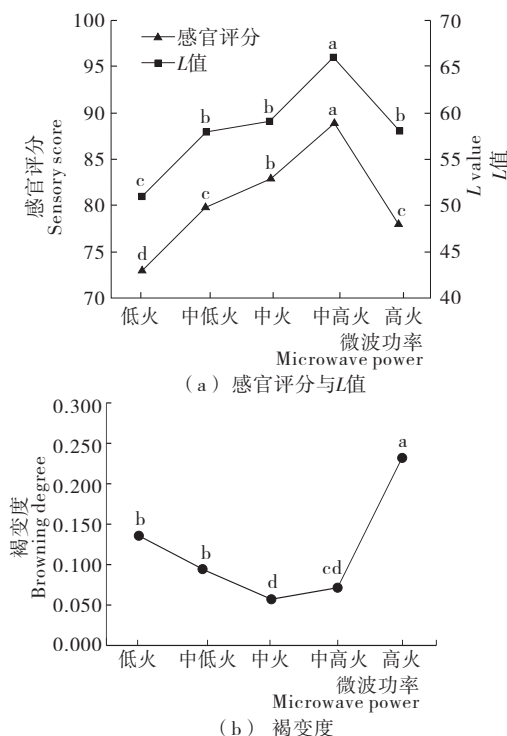


图3 微波漂烫功率对苹果果脯护色效果的影响

Figure 3 Effect of different microwave blanching power on color protection of candied apple

时果脯颗粒不完整,色泽暗淡,与张建威等^[23]研究结果一致。综上,中高火的微波功率漂烫苹果片的护色效果最好。

2.4 微波漂烫时间对苹果果脯护色效果的影响

由图 4 可知,微波漂烫时间对苹果果脯护色效果影响显著。当漂烫时间为 60 s 时,虽然起到一定程度的护色效果,但此条件下的 PPO 等未完全灭活,烘干过程中易发生褐变,果脯褐变度高, L 值低,感官评分也低。当漂烫时间为 80 s 时,果脯的 L 值和感官评分最高,褐变度低,是因为此条件下热量传导充分,苹果片灭酶彻底,酶促褐变被抑制;此时的苹果果脯颗粒饱满、完整,颜色淡黄且均匀一致,口感酸甜适中,具有苹果滋味与气味,因此感官评分高。但随着漂烫时间的继续延长,果脯的 L 值和感官评分显著降低,褐变度显著增大,漂烫时间过长,苹果片表面水分散失严重趋向适宜美拉德反应的水分范围^[24],故果脯色泽加深,与王子宇等^[25]的研究结果相似;此时的果脯呈黄褐色,无光泽,果肉过软且苹果味淡,口感差,感官评分也低。综上,苹果果脯的最佳微波漂烫时间为 80 s。

2.5 干燥温度对苹果果脯护色效果的影响

由图 5 可知,随着干燥温度的上升,果脯的 L 值显著下降,褐变度显著上升,由于干燥温度越高,苹果果脯表面水分损失越多,颜色越暗,甚至出现焦糊现象。当干燥温度为 55~70 °C 时,感官评分随温度的上升而显著上升;

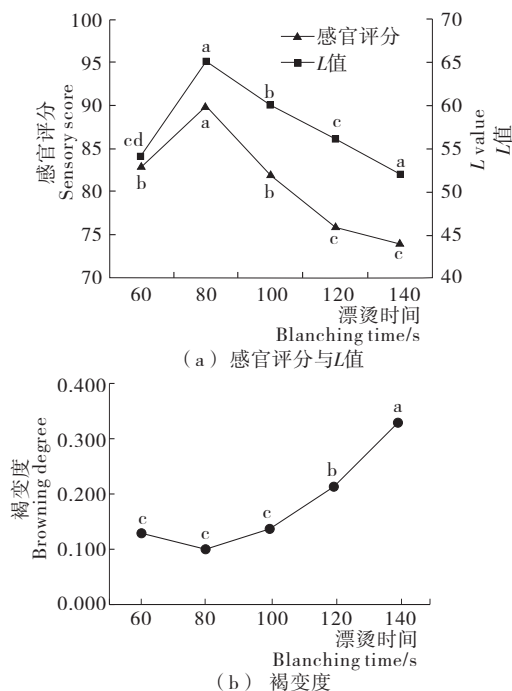


图 4 微波漂烫时间对苹果果脯护色效果的影响

Figure 4 Effect of different microwave blanching time on color protection of candied apple

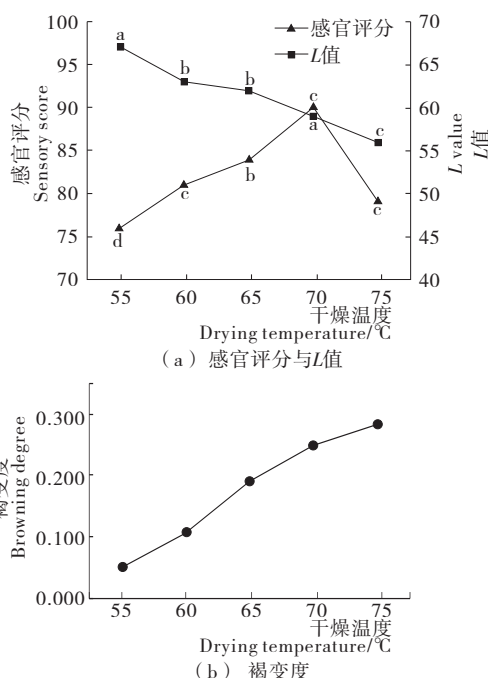


图 5 干燥温度对苹果果脯护色效果的影响

Figure 5 Effect of different drying temperatures on color protection of candied apple

温度太低时, L 值大,但由于烘烤不充分,果脯粘手,口感差,感官评分低。当干燥温度为 70 °C 时,感官评分高达 90,此时的苹果果脯酸甜度适中,苹果滋味浓郁,呈淡黄色,有一定的光泽。随着干燥温度的上升,感官评分显著降低,是由于烘烤温度越高,果脯饱满度变差,果脯呈黄褐色且硬度大,出现焦化现象,与王蕊等^[26]的研究结果一致。综上,苹果果脯的最佳干燥温度为 70 °C。

2.6 干燥时间对苹果果脯护色效果的影响

由图 6 可知,果脯的 L 值和褐变度随干燥时间的延长逐渐下降,干燥时间越长,褐变度增加,颜色渐深。当干燥时间为 2.5~4.0 h 时,感官评分随干燥时间的延长而显著上升,并在 4.0 h 时感官评分最高 (92);当干燥时间 >4 h 时,苹果果脯干缩严重,色泽暗淡,硬度过大,无苹果滋味与气味。综上,苹果果脯的最适干燥时间为 4 h。

2.7 护色剂对比试验

由图 7 可知,苹果果脯在不同护色剂处理下的 L 值差异显著,经植酸护色后的果脯 L 值最高为 68,经抗坏血酸护色后的果脯次之,而未护色的果脯 L 值最低。

由图 8 可知,果脯的 L 值在 5 种不同处理条件下均随贮藏时间的推移而下降。对照组的苹果果脯 L 值变化最显著,NaCl 组次之,植酸组则变化最小,是因为未护色的果脯发生严重的酶促褐变,贮藏期间颜色变化更大,从而 L 值最小;同时,不同护色剂的护色效果不同。前 3 种

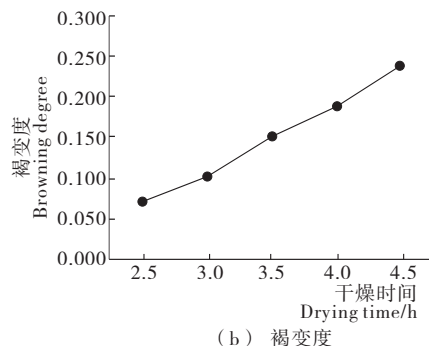
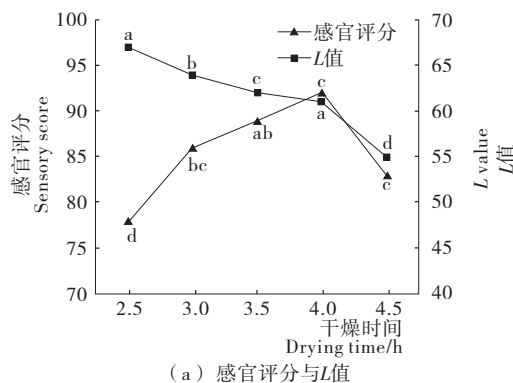


图6 干燥时间对苹果果脯护色效果的影响

Figure 6 Effect of different drying time on color protection of candied apple

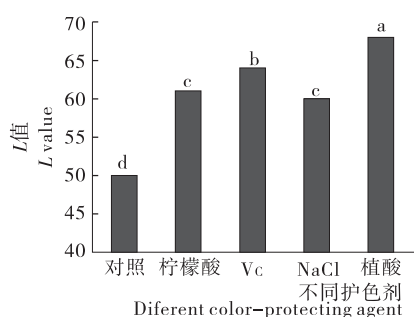


图7 不同护色剂对苹果果脯护色效果的比较

Figure 7 Comparison of the effects of different color-protecting agents on color protection of candied apple

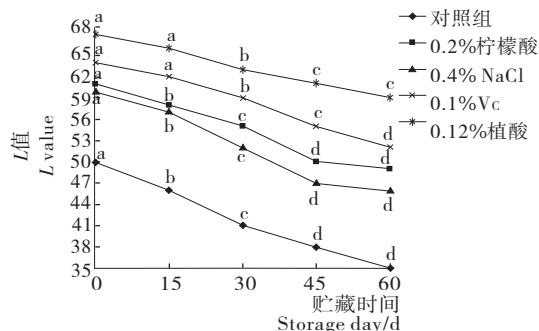


图8 苹果果脯的L值在不同护色剂和不同贮藏时间下的变化

Figure 8 Changes in L value of candied apple under different color protection agents and different storage days

护色剂的护色效果为抗坏血酸>柠檬酸>NaCl,与董文宾等^[16]的研究结果一致。植酸对苹果 PPO 的抑制作用为混合性抑制^[22],因此其护色效果比抗坏血酸还显著。

3 结论

研究表明,苹果果脯的最佳护色条件为切片厚度

8 mm,植酸最佳浓度 0.12%,微波漂烫功率为中高火,漂烫时间 80 s,干燥温度 70 ℃,干燥时间 4 h,此时的苹果果脯颗粒饱满,褐变程度轻,颜色淡黄,有光泽,酸甜适度且具有苹果的滋味和气味。贮藏期间不同护色剂的护色效果为植酸>抗坏血酸>柠檬酸>NaCl。后续可进一步研究其他品种苹果果脯的最佳抑制褐变参数,以期获得广泛适用于不同品种苹果果脯的工艺参数。

参考文献

- [1] 马超,葛邦国,吴茂玉,等. 苹果粉的加工现状及展望[J]. 食品工业, 2013, 34(12): 199-202.
- [2] 王建新,牛自勉,李志强,等. 乔砧富士苹果不同冠形相对光照强度的差异及对果实品质的影响[J]. 果树学报, 2011, 28(1): 8-14.
- [3] 纪杨洋,王丽萍. 苹果加工研究进展[J]. 保鲜与加工, 2016, 17(1): 126-129.
- [4] 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.
- [5] 孟祥庆. 苹果综合利用的现状和发展前景[J]. 烟台果树, 2009(1): 10-11.
- [6] ROSA L, ALVAREZ-PARRILLA E, MOYERS-MONTOYA E, et al. Mechanism for the inhibition of apple juice enzymatic browning by Palo Fierro (desert ironweed) honey extract and other natural compounds [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(1): 269-276.
- [7] 张芳,张永茂,庞中存,等. 脱水苹果片无硫护色工艺的研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(1): 135-136.
- [8] BUSTOS M C, MAZZOBRE M F, BUERA M P. Stabilization of refrigerated avocado pulp: Effect of Allium and Brassica extracts on enzymatic browning[J]. Food Science and Technology, 2015, 61(1): 89-97.
- [9] DU Yun-jian, DOU Si-qi, WU Sheng-jun. Efficacy of phytic acid as an inhibitor of enzymatic and non-enzymatic browning in apple juice[J]. Food Chemistry, 2012, 135(2): 580-582.

(下转第 215 页)

下,饮用水和运动饮料的吸收率达最大值的时间存在显著差异。综上,运动饮料比普通饮用水能提供更多的能量,运动过程中其最大吸收速度更快,但是,加入碳水化合物的运动饮料并不能改善水分的吸收。

参考文献

- [1] 蔡先锋. 运动与补水初探[J]. 科学技术创新, 2011, 32(5): 179.
- [2] 彭雪玲. 运动饮料研制及抗疲劳活性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 106-109.
- [3] 郭强. 运动饮料与运动能力相关关系的研究[J]. 体育科技文献通报, 2011, 11(8): 134-135, 137.
- [4] 林朝霞, 陈园. 运动饮料对体育运动功能的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(8): 2 300-2 303.
- [5] 肖军秀, 王娟. 运动饮料的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(4): 228-232.
- [6] 刘爱萍, 郭慧媛, 庞坤, 等. 绿豆运动饮料缓解体力疲劳作用研究[J]. 食品科学, 2007(1): 280-283.
- [7] 张立威. 猴头菇运动饮料研制及其抗疲劳功能研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(3): 65-68.
- [8] 艾湘南, 蔡爱芳. 不同运动饮料对疲劳小鼠体力恢复效果的研究[J]. 体育成人教育学报, 2007(1): 46-47.
- [9] 祝哲哲, 夏书芹, 许时婴. 辅酶 Q₁₀ 纳米脂质体强化运动型饮料对小鼠的抗疲劳作用[J]. 食品与机械, 2007, 23(4): 49-53.
- [10] 侯希贺, 王人卫, 吴卫兵, 等. 高温高湿环境下高水平古典式摔跤运动员运动热调节反应及补水干预的作用[J]. 成都体育学院学报, 2016(3): 122-126.
- [11] 牛小明. 植物复合抗疲劳饮料的研究[J]. 食品研究与开发, 2008(6): 78-80.
- [12] 黄兴, 吴昊, 姚婉婉, 等. 高温高湿环境中科学补水方法对运动能力影响研究[C]//2014 年中国运动生理生化学会会议论文集. 贵州: 贵州省体育科学学会, 2014: 261-262.
- [13] 赵丽霞, 李军兰. 运动饮料对提高运动能力的研究现状[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(7): 85-87.
- [14] 卞长星, 邓京京, 王树臣. 运动饮料对运动能力和健康的影响[J]. 搏击: 武术科学, 2014, 11(2): 104-106.
- [15] 朱晓亮. 胶束电泳毛细管色谱法测定功能运动饮料中的水溶性维生素[J]. 基因组学与应用生物学, 2019(5): 2 289-2 296.
- [16] 张钦. UPLC-MS/MS 分析运动饮料中水溶性维生素[J]. 食品研究与开发, 2017(15): 172-177.
- [17] 魏跃臣, 张绪东, 仝连信, 等. 复方猴头菇饮料对运动性疲劳小鼠影响的实验研究[J]. 牡丹江医学院学报, 2005(3): 12-14.
- [18] 刘岩. 玉木耳运动饮料研制及抗运动疲劳功能研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(21): 106-110.
- [19] 胡国鹏, 王人卫. 槲皮素配方运动饮料对自行车运动员炎症反应影响的两阶段交叉试验研究[J]. 中国康复医学杂志, 2012, 27(11): 1 041-1 046.
- [20] 邓运龙, 张海忠, 田亚平, 等. 034 高能运动饮料对武警体能训练影响的实验研究[J]. 四川体育科学, 2018, 49(3): 39-41.
- [21] 刘仲义, 李锦清, 伍尚森, 等. 高效液相色谱法测定运动饮料中 13 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(3): 506-511.
- [22] 张强. 枸杞大豆多肽复配运动饮料的研制及其对大鼠抗疲劳功能的研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(10): 45-49.
- [23] 杨洁, 高京, 任洪波, 等. 真源运动饮料对柔道运动员血清离子浓度及机能状态影响的实验研究[C]//第六届全国体育科学大会. 包头: 内蒙古体育科研所, 2017: 167-181.
- [18] 张巧, 陈振林, 潘中田, 等. 加热处理对大果山楂果肉褐变的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 173-176.
- [19] 陈丹, 李超, 王乃馨, 等. 超声波辅助制备低糖苹果脯的工艺研究[J]. 食品工业, 2016(2): 29-32.
- [20] MOGOL B A, YILDIRIM A, GÖKMEN V. Inhibition of enzymatic browning in actual food systems by the Maillard reaction products[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(15): 2 556-2 562.
- [21] ZHANG Xin-chen, CHEN Feng, WANG Ming-fu. Impact of selected dietary polyphenols on caramelization in model systems[J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3 451-3 458.
- [22] 易建华, 董新玲, 朱振宝, 等. 褐变抑制剂对苹果多酚氧化酶抑制机理研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 122-125.
- [23] 张建威, 卢千慧, 祝美云. 低糖雪莲果脯微波烫漂护色和渗糖工艺优化[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(8): 249-251.
- [24] 李辉, 林河通, 林毅雄, 等. 干制荔枝果肉吸附等温线及热力学性质[J]. 农业工程学报, 2014, 30(22): 309-315.
- [25] 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.
- [26] 王蕊, 高翔. 火龙果低糖果脯的加工工艺[J]. 食品与机械, 2004, 20(4): 48-49.

(上接第 211 页)

- [10] 梁亚男, 叶发银, 雷琳, 等. 苹果汁褐变技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 280-286.
- [11] 魏征, 祝美云, 邵建峰. 低糖苹果果脯微波渗糖工艺影响因素研究[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 37-40.
- [12] WANG Jun, FANG Xiao-ming, MUJUMDAR A S, et al. Effect of high-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) on drying and quality of red pepper (*Capsicum annum* L.)[J]. Food Chemistry, 2017, 220: 145-152.
- [13] WEIL M, SHUM C S, MEOT J M, et al. Impact of blanching, sweating and drying operations on pungency, aroma and color of *Piper borbonense* [J]. Food Chemistry, 2017, 219: 274-281.
- [14] 赵玉生. 植酸对菠菜汁苹果汁的护色实验研究[J]. 食品研究与开发, 2000, 21(3): 19-20.
- [15] 罗建学, 兰玉倩, 桂杨秀, 等. 低糖苹果脯加工工艺研究[J]. 食品工程, 2015(1): 25-27.
- [16] 董文宾, 张建华, 杨兆艳. 苹果(非油炸)干制品护色工艺的研究[J]. 食品科技, 2006, 31(5): 28-30.
- [17] 魏敏. 鲜切苹果酶促褐变及品质控制技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011: 9.