

肖亚冬,杨慧珍,李大婧,等. 不同护色预处理对铁棍山药热风干燥特性及品质变化的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(20):218-223.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.20.042

# 不同护色预处理对铁棍山药热风干燥特性及品质变化的影响

肖亚冬<sup>1</sup>, 杨慧珍<sup>1,2</sup>, 李大婧<sup>1</sup>, 顾千辉<sup>3</sup>, 刘春泉<sup>1</sup>, 徐亚元<sup>1</sup>, 宋江峰<sup>1</sup>, 刘春菊<sup>1</sup>, 张钟元<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014; 2. 南京农业大学食品科学与技术学院, 江苏南京 210095;

3. 三只松鼠股份有限公司, 安徽芜湖 241000)

**摘要:**为了研究护色联合烫漂处理是否能够提高铁棍山药切片干燥速率和干制后品质, 采用 6 种单一或复合护色液对切片铁棍山药进行护色, 然后通过热烫处理, 分析其热风干燥后感官和营养品质变化。结果表明: 未经护色处理的山药片干燥时间最短, 经护色处理后会在一定程度上提高其前期干燥速率, 但总干燥时间变长。经不同护色预处理干燥后山药片收缩率变大、复水比变小; 未经护色预处理干燥后山药片的总色差值变化最大, 且与其他护色处理之间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 其中热烫 90 s 和 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 护色预处理干燥后山药片色差变化较小。不同护色预处理干燥后山药片维生素 C 和多糖含量变化之间无关联性, 未经护色处理干燥后山药片中维生素 C 含量最高, 多糖含量最低; 而经 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 处理后山药干燥样品中多糖含量最高。因此, 复合护色联合烫漂处理能够一定程度改善铁棍山药切片干燥后色泽, 且多糖含量保留率较高, 但维生素 C 损失较多。

**关键词:** 山药; 护色联合烫漂预处理; 热风干燥; 品质变化; 干燥时间; 色泽

**中图分类号:** TS255.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2020)20-0218-06

山药, 学名薯蓣 (*Dioscorea oppositifolia* L.), 是薯蓣科薯蓣属植物, 缠绕草质藤本。而铁棍山药是许多山药品种中的一个, 产于河南省, 以焦作市温县一带最为有名。因其表皮有像铁锈一样的痕迹, 故得名铁棍山药。山药营养丰富, 含有皂苷、黏液质、糖蛋白、自由氨基酸、多酚氧化酶、烟酸、抗坏血酸及微量元素等, 具有很高的食用和营养价值, 可

预防心血管疾病及肥胖, 提高机体免疫力, 增强机体消化吸收功能, 抗肿瘤, 延缓衰老和抗氧化, 降血压等<sup>[1-4]</sup>。然而, 新鲜山药不耐贮存, 容易发霉褐变, 因此, 可将其进行脱水干燥处理来延长它的保质期。

山药中含有的多酚类物质在多酚氧化酶 (PPO) 的催化作用下容易发生褐变, 导致其色泽、风味和质地的变化, 从而影响山药干制品的商业价值。当前, 有关山药脱水干燥的研究较多, 涉及热风干燥<sup>[5-6]</sup>、热泵干燥<sup>[7]</sup>、红外干燥<sup>[8]</sup>、微波干燥<sup>[9]</sup>及其他联合干燥方式<sup>[10-12]</sup>。其中, 热风干燥因经济适用且样品处理量较大, 是产业化应用中最常见的干燥方法。近年来, 针对山药干燥前进行护色处理以

收稿日期: 2020-07-07

基金项目: 国家重点研发计划 (编号: 2017YFD0400901)。

作者简介: 肖亚冬 (1988—), 女, 河南西华人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农产品加工研究。E-mail: xiaoyadong2016@163.com。

通信作者: 李大婧, 博士, 研究员, 主要从事果蔬加工及副产物综合利用。E-mail: lidajing@163.com。

[9] 张玉丹, 杨阳, 刘沐霖. 番茄红素生产工艺研究进展[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(4): 38-41.

[10] 蔡文杰, 汤华成, 温丹旭. 阻断剂对三孢布拉霉菌产番茄红素的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2017, 29(3): 45-48, 69.

[11] 庞昆云, 吴嘉琦, 王泽建, 等. 三孢布拉霉菌发酵番茄红素提取工艺的优化[J]. 华东理工大学学报 (自然科学版), 2016, 42(3): 343-350.

[12] 姜丰, 王颖, 汤华成, 等. 三孢布拉霉菌发酵生产番茄红素的筛选条件的筛选[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2013, 25

(2): 48-52.

[13] 范超, 洪皓, 李妍, 等. 三孢布拉霉发酵生产类胡萝卜素的产业化关键点探讨[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 284-290.

[14] 闫兴, 向梦雄, 王常高, 等. 代谢调节剂对三孢布拉氏霉菌发酵的影响[J]. 湖北工业大学学报, 2016, 31(1): 85-88.

[15] 向梦雄, 闫兴, 王常高, 等. 发酵促进剂对三孢布拉氏霉菌发酵产  $\beta$ -胡萝卜素的影响[J]. 氨基酸和生物资源, 2015, 37(1): 56-60.

提高其干制品品质的研究较少,仍停留在十几年前,且多数为山药保鲜或速冻加工护色。韩涛等在切割山药片的保鲜护色中采用了柠檬酸、维生素 C 和氯化钙的复合护色液处理,发现复合护色液对山药片的色泽能够起到保护作用<sup>[13]</sup>。狄建兵等在山药速冻工艺的研究中采用了混合护色液对山药片进行处理,结果表明 0.3% 氯化钠、1.0% 维生素 C 和 0.6% 柠檬酸护色效果最佳<sup>[14]</sup>。然而,目前山药干制加工过程中的护色较多采用的是熏硫处理,这样会产生硫超标的问题,影响消费者的身体健康。因此,基于前人的研究,本研究以山药干燥前护色和提高其后期干燥速率为目的,开展铁棍山药片的单一或复合护色液联合热烫处理,通过对山药片干燥前后色泽、热风干燥曲线及干制品品质分析,获得山药片热风干燥前的较佳护色处理方式,以期在实际生产提供指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

铁棍山药购于南京市孝陵卫农贸市场,初始含水率为 $(72.07 \pm 0.43)\%$ 。山药粗细均匀、无病虫害,清洗去皮后切成厚度为 $(5.00 \pm 0.02)$  mm 的薄片待用。

Folin 酚试剂,上海麦克林生化科技有限公司;偏磷酸、碳酸钠、酒石酸钾钠,南京化学试剂股份有限公司;氢氧化钠、乙酸,西陇化工股份有限公司;苯酚,成都市科龙化工试剂厂;无水乙醇、甲醇、葡萄糖、碳酸氢钠、牛血清白蛋白、浓硫酸、亚硝酸钠、硝酸铝、3,5-二硝基水杨酸、亚硫酸钠(均为分析纯),国药集团化学试剂有限公司;没食子酸、*L*(+)-抗坏血酸、芸香苷标准品,上海源叶生物科技有限公司;2,6-二氯酚靛酚、考马斯亮蓝 G-250,上海蓝季科技发展有限公司;结晶酚,北京索莱宝科技有限公司;葡萄糖测定试剂盒,南京建成生物工程公司。

JYC-21ES55C 电磁灶,九阳股份有限公司;DHG-9073B5-Ⅲ型电热恒温鼓风箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;FW100 高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;BS-224-S 万分之一分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;CM-700d1 全自动色差计,日本柯尼卡美能达公司;dTrite 电子滴定器,北京东南仪诚实验室设备有限公司;UV-6300 型紫外分光光度计,上海美谱达

仪器有限公司;KH-7200-DB 型数控超声波清洗器,昆山河床超声仪器有限公司;HH-8 恒温水浴锅,金坛市环保仪器厂;H3-16KR 台式高速冷冻离心机,湖南可成仪器设备有限公司;DNP-9052BS-Ⅲ电热恒温培养箱,上海新苗医疗器械制造有限公司。

### 1.2 试验设计及方法

1.2.1 山药干燥方法 将切片厚度为 $(5.00 \pm 0.02)$  mm 的山药片进行不同的护色预处理,然后置于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中烫漂 90 s,之后用流动水冷却并于通风处沥干表面水分,之后将 200 g 山药片平铺于网状托盘(35 cm × 45 cm,筛孔直径为 5 mm)内,设定温度为 65 °C,风速为 1 m/s,干燥时间 6 h。试验于 2020 年 8 月在江苏省农业科学院农产品加工研究所 3 楼理化分析实验室完成。

1.2.2 不同护色预处理方法 (1)未处理样品:称取 200 g 样品用流动水清洗干净。(2)热烫 90 s:称取 200 g 样品置于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中烫漂护色,之后立即用流动水冷却至室温并于通风处沥干表面水分。(3)0.1% 柠檬酸 + 热烫 90 s:称取 200 g 样品置于质量分数为 0.1% 的柠檬酸护色液中浸渍 20 min,然后于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中热烫处理,之后立即用流动水冷却至室温并于通风处沥干表面水分。(4)0.1% NaCl + 热烫 90 s:称取 200 g 样品置于质量分数为 0.1% 的 NaCl 护色液中浸渍 20 min,然后于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中热烫处理,之后立即用流动水冷却至室温并于通风处沥干表面水分。(5)0.1% 柠檬酸 + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s:称取 200 g 样品置于质量分数为 0.1% 柠檬酸 + 0.5% 氯化钙复合护色液中浸渍 20 min,然后于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中热烫处理,之后立即用流动水冷却至室温并于通风处沥干表面水分。(6)0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s:称取 200 g 样品置于质量分数为 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙复合护色液中浸渍 20 min,然后于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中热烫处理,之后立即用流动水冷却至室温并于通风处沥干表面水分。(7)0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s:称取 200 g 样品置于质量分数为 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙复合护色液中浸渍 20 min,然后于 $(98 \pm 2)$  °C 热水中热烫处理,之后立即用流动水冷却至室温并于通风处沥干表面水分。

### 1.3 指标测定

1.3.1 水分含量 按照 GB 5009.3—2016《食品安

国家标准《食品中水分的测定》中的方法测定铁棍山药新鲜样品和干燥后样品中的水分含量。

1.3.2 色泽 采用手持式全自动色差计测定山药片的色差,以仪器白板色泽为标准,对山药片鲜样和干燥样进行色差变化的测量。其中  $L^*$  值 (lightness, 亮度), 其值在 0 ~ 100 之间, 0 表示黑色, 100 表示白色。 $a^*$  值 (redness, 红色度), “+” 值表示偏红, “-” 值表示偏绿, 值越大表示偏向越严重; $b^*$  值 (yellowness, 黄色度), “+” 表示被测物偏黄, “-” 值表示被测物偏蓝, 值越大表示偏向越严重。 $\Delta E$  为总色差, 表示山药片干燥前后色泽的变化, 其计算如公式(1)所示:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (1)$$

式中:  $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$  和  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  分别代表新鲜和热风干燥后山药片的亮度、红色度和黄色度。

1.3.3 维生素 C 含量 按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中第三法 2,6-二氯酚酚滴定法对山药片鲜样和干燥后样品中维生素 C 的含量进行测定。本研究中对上述方法稍作修改, 具体为: 分别将冷冻干燥和不同护色处理热风干燥后山药片进行打粉, 称取粉末样品 ( $2.50 \pm 0.01$ ) g, 用 20 mL 偏磷酸溶液溶解后转移至 50 mL 容量瓶至烧杯中无残渣, 然后用偏磷酸溶液定容至 50 mL, 之后摇匀过滤。准确吸取 10 mL 滤液于 50 mL 锥形瓶中, 用标定过的 2,6-二氯酚酚溶液滴定, 直至溶液呈粉红色 15 s 不褪色为止。同时做空白试验。维生素 C 含量计算如公式(2)所示:

$$X = \frac{(V - V_0) \times T \times A}{m} \quad (2)$$

式中:  $X$  为样品中维生素 C 含量, 单位 mg/100 g;  $V$  为滴定试样所消耗 2,6-二氯酚酚溶液的体积, 单位为 mL;  $V_0$  为滴定空白所消耗 2,6-二氯酚酚溶液的体积, 单位为 mL;  $T$  为 2,6-二氯酚酚溶液的滴定度, 即每毫升 2,6-二氯酚酚溶液相当于抗坏血酸的毫克数 (mg/mL);  $A$  为稀释倍数;  $m$  为试验质量, 单位为 g。

1.3.4 复水比 将干燥后的山药片放入蒸馏水中浸泡 60 min 后, 取出放在无风处沥水 20 min, 再用滤纸去除表面水分, 最后称重<sup>[15]</sup>。计算如公式(3)所示:

$$\text{复水比} = \frac{m_1}{m_0} \quad (3)$$

式中:  $m_1$  为复水后山药片的质量 (g);  $m_0$  为复水前山药片的质量 (g)。

1.3.5 收缩率 采用体积排除法<sup>[16]</sup>测定干燥后山药片的收缩率。计算如公式(4)。

$$\text{收缩率} = \frac{V_0 - V_k}{V_0} \times 100\% \quad (4)$$

式中:  $V_k$  为干燥后山药片的体积 ( $\text{cm}^3$ );  $V_0$  为干燥前新鲜山药片的体积 ( $\text{cm}^3$ )。

1.3.6 多糖含量 (1) 样品处理。热风干燥后经研磨制得的山药粉, 准确称取 1.00 g 于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 50% (体积分数) 的乙醇, 超声辅助浸提 30 min, 9 000 r/min 离心 5 min, 移取上清液于 50 mL 容量瓶中, 沉淀再次浸提、离心, 滤液定容至 50 mL。(2) 山药片中多糖测定。采用苯酚-硫酸法<sup>[17]</sup>, 具体方法为: ①葡萄糖-总糖标准曲线的制作: 准确称取 105 °C 烘干至恒质量的标准葡萄糖 0.100 0 g 于 100 mL 容量瓶中定容, 加入蒸馏水溶解并定容至刻度, 摇匀; 再移取 10 mL 于 100 mL 容量瓶中定容, 摇匀, 得到 0.1 mg/mL 的葡萄糖标准溶液。分别移取标准溶液 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mL 于 7 支试管中, 各试管分别加蒸馏水至 3.0 mL, 再加入 6% 苯酚溶液 1.0 mL, 混匀, 然后加浓硫酸 6.0 mL, 充分混合, 室温放置 30 min 后于 490 nm 处测吸光度, 同时以蒸馏水按同样显色操作作为空白。横坐标为葡萄糖浓度, 纵坐标为吸光度, 绘制标准曲线, 为  $y = 3.5x + 0.1512$  ( $r^2 = 0.9989$ )。②样品测定: 将浸提液稀释 10 倍, 移取 0.2 mL 样品液于试管中, 加入蒸馏水至 3 mL, 然后向各试管中加入 6% 苯酚溶液 1.0 mL, 摇匀后加 6 mL 浓硫酸溶液混匀, 室温放置 30 min 后于 490 nm 处测吸光度。根据标准曲线计算总糖含量。

#### 1.4 数据统计分析

每个样品平行 3 次重复 3 次, 利用 Origin Pro 2019b 软件作图; 采用 SPSS 25.0 软件中 ANOVA 方差分析, 由 Duncan's 多重比较分析均值差异的显著性, 显著水平  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同护色预处理对山药片热风干燥特性的影响

由图 1 可知, 随着干燥时间的推进, 不同护色预

处理后山药片的湿基含水率逐渐下降。其中,未经护色预处理的山药片干燥时间最短,在干燥 5 h 后其水分含量降至 5% 以下;经热烫 90 s 处理的样品在 3.5 h 之前的干燥速率最快,其他护色处理方式干燥速率基本一致。经不同护色处理后山药片在干燥 6 h 后其含水率高低顺序为  $D > C > E > B > G > F$ , 分别为 12.03%、11.89%、11.05%、7.97%、6.74% 和 5.00%, 表明护色预处理后山药片干燥时间延长,仅 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 处理能在 6 h 左右达到干燥终点。这可能是因为在护色处理后均增加了烫漂步骤,虽然使其中的酶失活,但导致山药结构更加致密,进而出现干燥时间增加的现象。

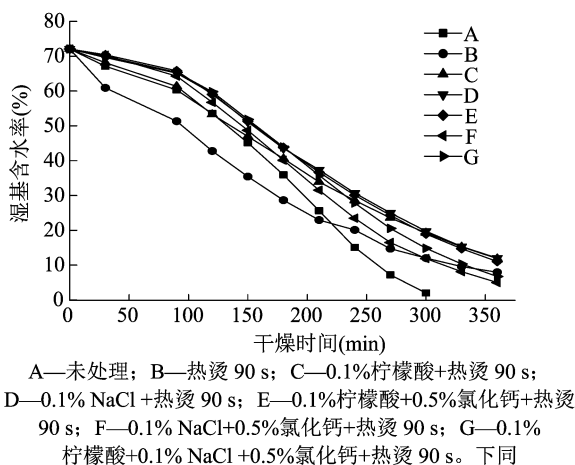
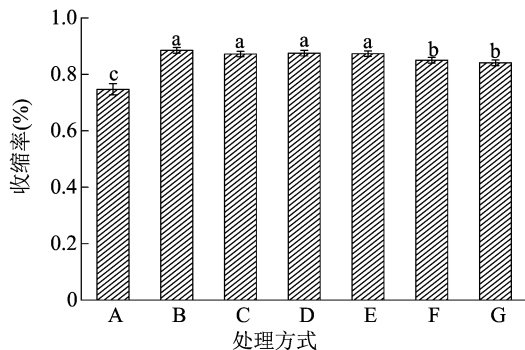


图1 不同护色预处理后山药片热风干燥曲线

## 2.2 不同护色预处理对山药片收缩率和复水比的影响

由图 2 可知,未处理的新鲜山药干燥后其收缩率最小,添加有 0.1% 氯化钠的护色处理方式干燥后收缩率居中,其余处理方式之间无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。



柱形图上方不同小写字母表示不同处理间差异显著水平( $P < 0.05$ )。下同

图2 不同护色预处理后山药片收缩率的变化

由图 3 可知,不同护色处理后对山药片进行干燥,其复水比具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。其中,未处理的新鲜山药干燥后其复水比最大,其次为热烫 90 s 后样品,未添加氯化钙护色处理的山药片干制品复水比之间无显著性差异 ( $P < 0.05$ ),柠檬酸与氯化钙复合护色处理后其复水比最小,剩余处理方式之间无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

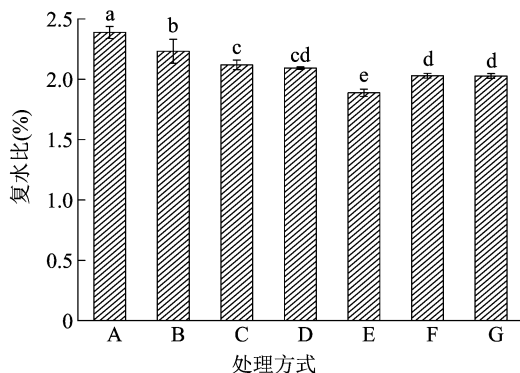


图3 不同护色预处理后山药片复水比的变化

## 2.3 不同护色预处理对山药片干燥前和干燥后色泽的影响

由表 1 可知,不同护色处理后干燥前山药片之间的总色差无显著性差异 ( $P < 0.05$ ),表明单一或复合护色对山药片干燥前的色泽并无影响。其中,新鲜山药片的亮度值最大,而不同护色处理后其亮度值降低,热烫处理后山药片  $L^*$  值最小,其他处理之间  $L^*$  值无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。同样地,新鲜山药片的  $a^*$  值最高,且具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ),热烫处理和 0.1% 柠檬酸联合热烫处理的红绿值之间具有显著性差异,其余处理与二者之间无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。除新鲜山药片外,不同护色处理黄蓝值之间无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

由表 2 可知,未经护色处理山药片干燥后总色差变化最小,经单一或复合护色处理干燥后山药片总色差较大,但不同处理之间变化不同,表明不同护色处理对山药片干燥后色泽具有一定影响。其中,热烫 90 s 和 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5%  $\text{CaCl}_2$  联合热烫护色 2 种处理的总色差之间无显著性差异,较其他处理变化稍小,其余 4 种护色预处理干燥后山药片总色差之间无显著性差异 ( $P < 0.05$ )。不同护色预处理干燥后山药片色泽指标中变化较大的为  $b^*$  值,即经护色预处理山药片干燥后黄度值变大,并且不同处理之间具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。其中,0.1% 柠檬酸联合热烫护色处理

表 1 不同护色处理后干燥前山药片色泽变化

处理方式	色泽			
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
鲜样	94.33 ± 0.11a	-2.25 ± 0.05a	9.72 ± 0.08a	
热烫 90 s	66.51 ± 1.67c	-3.32 ± 0.13b	0.52 ± 1.11b	28.83 ± 2.66a
0.1% 柠檬酸 + 热烫 90 s	69.49 ± 3.47bc	-3.74 ± 0.28c	0.99 ± 1.23b	26.38 ± 3.48a
0.1% NaCl + 热烫 90 s	70.27 ± 1.80b	-3.67 ± 0.27bc	0.79 ± 1.20b	25.73 ± 1.95a
0.1% 柠檬酸 + 0.5% CaCl <sub>2</sub> + 热烫 90 s	70.74 ± 2.10b	-3.56 ± 0.14bc	0.89 ± 0.79b	25.23 ± 2.36a
0.1% NaCl + 0.5% CaCl <sub>2</sub> + 热烫 90 s	69.97 ± 0.38bc	-3.50 ± 0.19bc	0.32 ± 0.67b	26.16 ± 0.34a
0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% CaCl <sub>2</sub> + 热烫 90 s	71.16 ± 1.73b	-3.46 ± 0.18bc	0.95 ± 1.68b	24.82 ± 2.11a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著水平( $P < 0.05$ )。下同。

表 2 不同护色处理后热风干燥后山药片色泽变化

处理方式	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
鲜样	94.33 ± 0.11a	-2.25 ± 0.05ab	9.72 ± 0.08e	
未处理	59.87 ± 1.23b	-1.81 ± 0.12a	13.60 ± 0.60d	31.03 ± 0.73a
热烫 90s	69.21 ± 4.06c	-3.33 ± 0.14c	20.03 ± 1.47c	27.26 ± 3.49c
0.1% 柠檬酸 + 热烫 90 s	67.63 ± 0.71c	-3.28 ± 0.29c	25.18 ± 0.30a	30.88 ± 0.56b
0.1% NaCl + 热烫 90 s	68.74 ± 3.99c	-2.56 ± 0.55b	21.76 ± 0.85b	28.36 ± 3.44bc
0.1% 柠檬酸 + 0.5% CaCl <sub>2</sub> + 热烫 90 s	66.05 ± 1.24c	-3.21 ± 0.26c	19.45 ± 1.08c	29.94 ± 1.34b
0.1% NaCl + 0.5% CaCl <sub>2</sub> + 热烫 90 s	66.46 ± 1.99c	-3.17 ± 0.10c	19.93 ± 0.69c	29.71 ± 1.74b
0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% CaCl <sub>2</sub> + 热烫 90 s	69.25 ± 0.46c	-3.26 ± 0.33c	20.52 ± 1.34bc	27.35 ± 0.99c

注:表中每列不同小写字母表示不同处理间各指标差异显著水平( $P < 0.05$ )。下同。

干燥后山药片  $b^*$  值最大,其次为 0.1% NaCl 联合热烫和 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% CaCl<sub>2</sub> 联合热烫,而热烫、0.1% 柠檬酸 + 0.5% CaCl<sub>2</sub> 联合热烫和 0.1% NaCl + 0.5% CaCl<sub>2</sub> 联合热烫之间无显著性差异( $P > 0.05$ ),值得一提的是未经护色处理后样品  $b^*$  值变化最小,但较鲜样仍有显著性差异( $P < 0.05$ )。不同护色预处理干燥后山药片  $L^*$  值与鲜样之间具有显著性差异( $P < 0.05$ ),相互之间无显著性差异,说明不同护色处理对山药片干燥后山药片亮度值无影响。由总色差结果可知,未处理干燥后样品其色差变化最大,说明不同护色预处理能够改善山药片干燥后的色泽变化。

2.4 不同护色预处理后对山药片营养品质的影响

由图 4 可知,未经处理的山药片干燥后其维生素 C 含量最高,为(3.96 ± 0.02) g;经护色处理后其维生素 C 含量显著下降( $P < 0.05$ ),原因是维生素 C 作为一种水溶性成分,在护色浸渍后的烫漂过程中有损失。比较不同护色处理干燥后样品维生素 C 含量可知,经 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 处理后样品维生素 C 含量最低,其次为 0.1% 柠檬酸 + 热烫 90 s 处理样品,其余护色

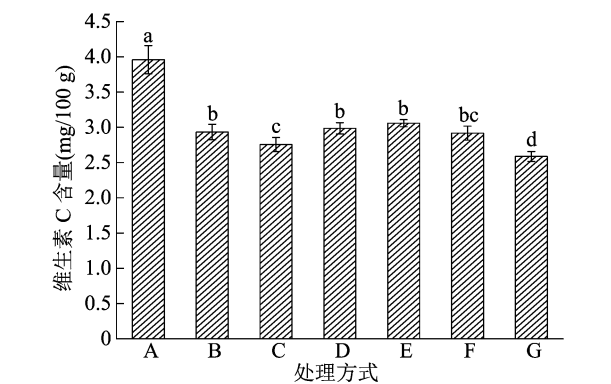


图 4 不同护色预处理后干燥山药片维生素 C 含量的变化

处理之间维生素 C 含量无显著性差异( $P > 0.05$ )。由图 5 可知,与维生素 C 含量不同,未经处理山药片中检测到的多糖含量较低,且与含量最低的经 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 护色处理后样品之间无显著性差异( $P > 0.05$ )。有趣的是,经 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 处理后山药干燥样品中多糖含量最高,为(56.51 ± 2.67) g,与维生素 C 含量变化完全相反,这可能是因为在该复合护色条件下,经一定时间热风干燥后山药中多糖更容易被提取出来。从图 5 中还

可看出,0.1% NaCl + 热烫 90 s 和 0.1% 柠檬酸 + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 护色处理后的山药干制品中多糖含量与最高值之间无显著性差异( $P>0.05$ )。

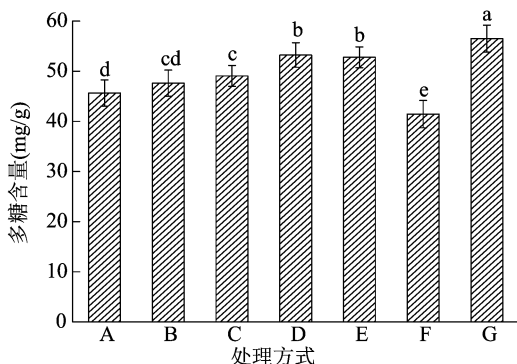


图5 不同护色预处理后干燥山药片多糖含量的变化

### 3 结论与讨论

采用6种单一或复合护色处理后对铁棍山药片进行热风干燥处理,发现未经护色处理的山药片干燥时间最短,经护色处理后会一定程度上提高其前期干燥速率,但总的干燥时间却变长,原因可能是护色工艺中的烫漂步骤导致淀粉质的山药片结构更加致密,从而增加了山药片的干燥时间。由于干燥后山药片的收缩率和复水比可知,经不同护色预处理干燥后山药片的收缩率变大、复水比变小,说明护色处理对山药片干制品的这2个指标具有反作用。然而,由山药片干制品色泽变化可知,未经护色预处理干燥后山药片其总色差变化最大,且与其他护色处理之间具有显著性差异,其中热烫 90 s 和 0.1% 柠檬酸 + 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 护色预处理干燥后山药片色差变化较小。说明护色预处理能够改善山药片干燥后的色差变化。比较不同护色预处理干燥后山药片维生素 C 和多糖含量变化发现,不同营养成分的变化之间并无关联性,护色处理中的烫漂步骤会使易溶于水的维生素 C 含量显著降低,但检测到的多糖含量则会增加,猜测可能是因为一定程度的热处理提高了多糖的提取率。然而,经 0.1% NaCl + 0.5% 氯化钙 + 热烫 90 s 护色处理后山药片中多糖含量并未提高,其原因有待进一步研究。

综上所述,一定厚度山药片的护色预处理对其

干燥后的色泽具有一定改善作用,且能提高其活性物质多糖的提取率,但对山药片其他品质的影响作用并不明显。因此,在接下来的研究中,需通过对不同厚度、不同热烫时间及不同浓度的复合护色液组分等开展试验,并进一步分析山药片干制品的品质变化,以期获得商品性更高的山药片干制品。

### 参考文献:

- [1] 袁书林. 山药的化学成分和生物活性作用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(3): 176-179.
- [2] 陈佳希, 李多伟. 山药的功能及有效成分研究进展[J]. 西北药学杂志, 2010, 25(5): 398-400.
- [3] Han C H, Liu J C, Fang S U, et al. Antioxidant activities of the synthesized thiol - contained peptides derived from computer-aided pepsin hydrolysis of yam tuber storage protein, dioscorin [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2/3): 923-930.
- [4] Hii C L, Lawa C L, Suannah S. Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(2): 276-282.
- [5] 樊迎. 山药切片热风干燥动力学试验[J]. 山西农业科学, 2016, 44(4): 528-531.
- [6] 骆航, 孙兴力, 刘金凤. 热风干燥对山药片品质特性的影响[J]. 北方农业学报, 2019, 47(5): 100-104.
- [7] 李丽, 孙健, 盛金凤, 等. 山药热泵干燥特性及数学模型的研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 212-217.
- [8] 白峻文, 肖瑞, 董晨, 等. 山药催化式红外干燥特性及色泽评价[J]. 食品工业科技, 2017, 38(7): 221-225.
- [9] 徐晚秀, 李臻峰, 李静, 等. 微波干燥温度和物料厚度对铁棍山药片品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 191-193, 236.
- [10] 李晖, 任广跃, 时秋月, 等. 怀山药片热泵-热风联合干燥研究[J]. 食品科技, 2014, 39(6): 101-105.
- [11] 任广跃, 任丽影, 张伟, 等. 正交试验优化怀山药微波辅助真空冷冻干燥工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(12): 12-16.
- [12] 段柳柳, 段续, 任广跃. 微波冻干怀山药脆片干燥过程中脆性变化与数学模型的建立[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 29-35.
- [13] 韩涛, 李丽萍, 赵佳. 切割山药片在贮存期间的色泽变化及护色工艺研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(1): 175-177.
- [14] 狄建兵, 李泽珍, 钟太来. 山药速冻加工工艺研究[J]. 农产品加工(学刊), 2013(11): 22-24.
- [15] Wang H C, Zhang M, Adhikari B. Drying of shiitake mushroom by combining freeze - drying and mid - infrared radiation [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 94: 507-517.
- [16] 严启梅. 杏鲍菇真空微波联合气流膨化干燥研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2012.
- [17] 孟庆华, 刘钟栋, 陈肇敏, 等. 怀山药多糖的提取[J]. 食品工业科技, 2005, 26(2): 126-128.