

## 复合再造型真空冷冻干燥桃溶果色泽调控研究

徐 焯<sup>1,2</sup>, 李 旋<sup>1</sup>, 毕金峰<sup>1,2\*</sup>, 吕 健<sup>1</sup>, 郭崇婷<sup>1,3</sup>, 胡佳星<sup>1</sup>, 朱凤妹<sup>2</sup>, 李 军<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品加工综合性重点实验室 北京 100193

<sup>2</sup>河北科技师范学院食品科技学院 河北秦皇岛 066004

<sup>3</sup>沈阳农业大学食品学院 沈阳 110866)

**摘要** 针对复合再造型真空冷冻干燥(FD)桃制品色泽品质不佳的问题,研究最佳色泽品质的桃溶果(即以桑葚粉作为调色剂与桃浆复合而成的桃制品)真空冷冻再造型产品的制备工艺。在超声波均一化处理的基础上,采用正交试验优化桑葚粉添加量、pH值、辅料(麦芽糊精和微晶纤维素)添加量等条件,结合模糊综合评判进行感官评价,最终确定桑葚粉添加量0.025 g,pH 3.0,辅料(麦芽糊精:微晶纤维素=1:1)添加比15%,制备的复合再造型FD桃溶果色泽和营养品质最佳( $L^*=49.17, a^*=11.13, b^*=4.69, C=12.08, h=2.26$ ,总花青素含量为5.14 mg/L),感官评分最优为73.37分。本研究为复合再造型FD果蔬制品色泽品质调控提供了技术参考。

**关键词** 色泽调控; 感官评价; 花青素; 超声波; 模糊综合评判法

**文章编号** 1009-7848(2022)07-0160-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.07.017

我国桃资源丰富,是世界上最大的桃生产国和出口国,桃树的栽培面积和总产量均位居世界第一<sup>[1]</sup>。据统计,2020年我国种植面积达86.7万hm<sup>2</sup>,桃总产量达1663.4万t。桃果成熟季节性强,主要集中于6~7月;贮藏性差,以鲜果销售为主<sup>[2]</sup>;加工水平低,桃加工产品仅占总产量的13%。当前,我国鲜食桃市场已趋于饱和,桃加工领域具有巨大的发展空间。市面上主要的桃制品有:桃汁、桃酒、桃酱、桃脯、桃干和桃粉等,其大都存在工艺技术含量低,产品精加工程度不足,原料利用率及产品附加值低等问题<sup>[3]</sup>。

近年来,国内外对再造型复合果蔬的研究逐渐增多,复合再造型果蔬食品是高端食品发展的一个重点方向。Zhang等<sup>[4]</sup>分析了不同干燥方法处理重组野生卷心菜片的干燥特性及品质;Grizotto等<sup>[5]</sup>解析了重组浓缩菠萝果肉的技术要点;Liu等<sup>[6]</sup>以芦笋老茎为原料,进行重组切片干燥研究。而桃复合再造型制品方面的研究尚未见报道。复合再造型桃溶果既贴合了人们对休闲食品营养健康的需求,又增加了桃加工制品的种类。干燥是一种常

见的果蔬保存方式,通过脱水来延长桃的保质期,防止桃在贮藏中腐败、变质<sup>[3]</sup>。真空冷冻干燥(FD)技术既可以最大限度地保留桃的营养成分,又可以保留其鲜度和风味,而且复水性极好<sup>[7]</sup>,易于贮运且保存期长,这些特点明显优于其它干燥方式,是高品质桃休闲产品的最佳干燥方法<sup>[8]</sup>。

桃复合再造型冷冻干燥制品由于在加工贮藏过程中存在色泽品质易变,稳定性差的问题,因此色泽调控尤为关键。常见的食品色泽调控方法有添加食用色素和物理处理<sup>[9]</sup>。基于食品色泽调控的这两大主要方式,在食用色素方面目前提出富色食品的概念,富色食品是指以天然呈色的食材为来源,经物理方法加工生产的食品工业用原料,属于食品配料,是一种用来着色的产品,属于清洁标签的着色方案。自然界中许多植物富含花青素,如桑葚、蓝莓、杨梅和葡萄等,其中,桑葚价格低廉,其花青素种类单一且含量很高,主要花青素种类为矢车菊-3-O-葡萄糖苷<sup>[10]</sup>。本研究选用桑葚粉作为调色剂,与桃浆进行复合(即:桃溶果),同时使用富色和物理处理进行色泽调控,冷冻干燥再造型处理。采用超声波处理不同桑葚粉添加量、pH值、辅料(麦芽糊精和微晶纤维素)添加量的复合体系,通过正交试验优化与模糊数学感官综合评价相结合的方法,对复合再造型FD桃溶果进行色泽品质调控,确定影响桃溶果呈色的主因。

收稿日期: 2021-07-04

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-30-5-02)

作者简介: 徐焯(1994—),女,硕士生

通信作者: 毕金峰 E-mail: bijinfeng2010@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

水蜜桃(品种“湖景”)采购于江苏无锡,采收时间为 2019 年 8 月,采收时为六七成熟,挑选大小及颜色均一、表面无损伤、无病虫害的果实,采收后立即清洗,切半去核,入热烫机处理至中心温度 100 °C 热烫 2 min,冷却至室温,用液氮速冻后,贮藏于-40 °C 冷库备用。

桑葚(品种“沙泥”)采购于北京平谷,采收时间为 2019 年 6 月,采收时挑选大小及颜色均一、表面无损伤、无病虫害的桑葚果实,采收后立即贮藏于 4 °C 冷库备用。

麦芽糊精、微晶纤维素、柠檬酸(均为食品级),聚融时代(固安)生物科技有限公司。

### 1.2 仪器与设备

ULT1386-3-V41 超低温冰箱(-80 °C),赛默飞科技有限公司;MDF-U548D-C 超低温冰箱(-40 °C),大连三羊冷链有限公司;JYL-C51V 九阳料理机,九阳股份有限公司;JN-02HC 高压纳米均质机(含加热/冷却循环系统),广州聚能生物科技有限公司;JM-30A 胶体磨,廊坊市廊通机械有限公司;PHS-3C pH 计,上海精密科学仪器有限公司;3K15 冷冻离心机,美国 Sigma 公司;SB25-12DTN 超声波清洗器,宁波新芝生物科技股份有限公司;超滤离心管,德国 Merck-Millipore 公司;DT 400 数控超声波反应器,北京弘祥隆生物技术股份有限公司;BLK-FD-1 真空冷冻干燥机,江苏博莱客冷冻科技发展有限公司;LGJ-50C 真空冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂有限公司;CM-5 台式分光测色仪,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司;Nikon D700 数码相机,尼康 Nikon 公司;1.5.5.0 电子眼色彩分析系统,美国 Lens Eye-NET 公司;Digieye2.7 电子眼,英国 Verivide 公司;电子天平(精度 0.1 mg),德国 Sartorius 公司;Spark®多功能微孔板检测仪,瑞士 Tecan 公司;T25 高速分散机,德国 IKA 公司;MCKZ-JD6 电汽两用蒸饭柜,滨州市美厨厨业有限公司;JP-150A 高速多功能粉碎机,永康市久品工贸有限公司;NV-300 数控标准检验筛,上海纳维加特机电科技有限公司;64 格冻干硅胶模具(2.5×2.5×1.4 cm/格),吴江泓瑞烘焙器材商行。

### 1.3 方法

1.3.1 复合再造型 FD 桃溶果制作方法 桃浆制备:将预处理的桃块从-40 °C 取出后,用-196 °C 液氮速冻,料理机打粉(2 min),于室温解冻至浆状,胶体磨打浆 3 次后,进入高压纳米均质机中进行均质细化(至桃浆平均粒径为 54.63 μm),用柠檬酸(食品级)调 pH 值(2.0,3.0)待用。

桑葚粉制备:将 4 °C 库存桑葚清洗、去梗后,放入-80 °C 超低温冰箱预冻 24 h,于 LGJ-50C 型真空冷冻干燥机(真空度:1.2 mbar)干燥 48 h(至含水量低于 15%),用高速多功能粉碎机打粉 5 min(27 000 r/min),采用数控标准检验筛(100 目)过筛待用。

辅料制备:麦芽糊精与微晶纤维素按照质量比 1:1 加入微量蒸馏水,于 80 °C 水浴锅中混匀溶解,冷却至室温待用。

复合再造型 FD 桃溶果制作方法:将制好的一定量桑葚粉和辅料加入至不同 pH 值【2.0,3.0,4.6(原浆)】桃浆复配,用分散器(240 r/min)混匀 2 min,40 Hz 超声 90 min 后冷却至室温,将制好的复配浆倒至冻干模具(2.5 cm×2.5 cm×1.4 cm)中,保证 8.5 g 桃浆/格,放入-80 °C 超低温冰箱预冻 24 h,BLK-FD-1 型真空冷冻干燥机(真空度:16.8 Pa)干燥 36 h,真空干燥程序为:10 °C,300 min;10 °C,600 min;15 °C,30 min;20 °C,30 min;25 °C,30 min;35 °C,30 min 和 45 °C,1 140 min,制成复合再造型 FD 桃溶果。

1.3.2 复合再造型 FD 桃溶果色泽调控 分别添加 0,0.010,0.025,0.050,0.100 g 桑葚粉,与 10% 的辅料(麦芽糊精:微晶纤维素的质量比=1:1),于 5 g pH 3.0 桃浆中,用分散器(240 r/min)混匀 2 min,超声 90 min(已在前期试验中确定,超声 90 min 对复合体系色泽影响最显著)<sup>[11]</sup>后进行预冻,真空冷冻干燥制成复合再造型 FD 桃溶果,对其色泽指标、光谱、花青素含量进行测定,重复 3 次,并进行感官评分。

在 pH 2.0,3.0,4.6(原浆)下,将 0.025 g 桑葚粉、10% 的辅料(麦芽糊精:微晶纤维素的质量比=1:1)加入 5 g 桃浆中混匀,其它步骤同上。

将 0.025 g 桑葚粉加入 5 g pH 3.0 桃浆中,再分别添加 5%,10%,15% 的辅料(麦芽糊精:微晶

纤维素的质量比=1:1)后混匀,其它步骤同上。

1.3.3 复合再造型 FD 桃溶果正交试验设计 在单因素实验结果基础上,选取桑葚粉添加量(A)、pH 值(B)、辅料(C)为因素,采取  $L_9(3^3)$  设计正交试验,优化出复合再造型 FD 桃溶果的最优色泽配比,正交因素水平表见表 1。

1.3.4 复合再造型 FD 桃溶果色泽相关指标测定

1.3.4.1 复合再造型 FD 桃溶果色泽测定 将复合再造型 FD 桃溶果平铺在标准白板上,去除背景色干扰,用 Digieye2.7 电子眼拍摄样品并记录。使用 CM-5 型台式分光测色仪测定色值(3次重复),获得复合再造型 FD 桃溶果  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C$ 、 $h$  值和仿真色属性,其中  $L^*$  值代表外形明亮度<sup>[12-13]</sup>, $a^*$  值代表表观红绿色度, $b^*$  值代表表观黄蓝色度, $C$  值代表表观色泽的饱和度(Chroma), $h$  值代表表观呈色的色调角(Hue)<sup>[14]</sup>。饱和度  $C$  值和色调角  $h$  值计算方式如下,每个样品测定 3 次,计算平均值和标准偏差<sup>[15-16]</sup>。

$$\text{色调角}(h): h = \arctan(b^*/a^*) \quad (1)$$

$$\text{饱和度}(C): C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

1.3.4.2 复合再造型 FD 桃溶果呈色组分的光谱特征 将复合再造型 FD 桃溶果溶解于 8.5 mL 超纯水,于 4 °C,9 800 r/min 离心 10 min,收集上清液,用超纯水稀释 200 倍,紫外分光光度计进行光谱扫描,波长范围为 200~800 nm,绘制特征吸收光谱<sup>[17]</sup>。

1.3.4.3 复合再造型 FD 桃溶果总花青素含量的测定 参照 pH 示差法<sup>[18-19]</sup>,取 1.3.4.2 节中花青素提取液,分别用 pH 1.0 的 KCl-HCl 缓冲溶液和 pH 4.5 的 NaAc-HAc 缓冲液稀释 5 倍,避光室温平衡 20 min 后,在 520 nm 波长处测定吸光度,用 700 nm 波长处的吸光度校正模糊度<sup>[19]</sup>。总花青素含量按式(3)计算。

$$\text{总花青素含量}(\text{mg/L}) = \Delta A \times M_w \times \text{DF} / b \quad (3)$$

式中, $\Delta A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}1.0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}4.5}$ ;  $M_w$ ——摩尔质量(449.2 g/mol);DF——稀释倍数; $b$ ——矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷的摩尔吸光度=26 900 L/(mol·cm)。

1.3.4.4 感官评定 应用模糊综合评判法评价复合再造型 FD 桃溶果感官质量<sup>[20-22]</sup>。根据国家农业行业标准和绿色食品感官评定有关的内容,应用

表 1 复合再造型 FD 桃溶果正交试验设计表

Table 1 Orthogonal experimental design of restructured FD peach products

水平	因素		
	A(桑葚粉添加量/g)	B(pH 值)	C(辅料添加量比例/%)
1	0	2.0	0
2	0.025	3.0	10
3	0.1	4.6	15

模糊综合评判法,制定复合再造型 FD 桃溶果感官评价的项目,确定其评价中各项目的评分权重,构建其感官评价评判集。评判小组由 20 人组成(男女比例 1:1,年龄范围为 23~30 岁为休闲食品主力消费者),按修正的复合再造型 FD 桃溶果感官评分原则,以色泽(鲜艳度、明亮度、对比度)、形态质构、口感、滋味和接受度/满意度为因素集  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} = \{\text{色泽鲜艳度、明亮度、对比度、形态质构、口感、滋味和接受度/满意度}\}$ ;16 种复合再造型 FD 桃溶果的对象集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} = \{XQ1, XQ2, \dots, XQ16\}$ ;设定评语集  $Y = \{y_1, y_2, y_3\} = \{\text{I 级, II 级, III 级}\}$ ,据此建立感官特殊性数集  $V = \{100, 80, 60, 40\}$ 。再根据国家标准和相关研究修正的复合再造型 FD 桃溶果感官评分方法,设定各项指标的权重为  $W = \{w_1, w_2, w_3\} = \{0.45(0.15, 0.15, 0.15), 0.1, 0.15, 0.15, 0.15\}$ 。

评判小组根据评分标准(表 2)对 5 个评价指标逐一评判,统计每个指标的各评语的人数,每个指标的 3 个评语共有 20 人次。最后通过模糊数学的方法计算评价结果。色泽 45 分(鲜艳度 15 分、明亮度 15 分、对比度 15 分),形态质构 10 分,口感 15 分,滋味 15 分,接受度/满意度 15 分,总分 100 分。其中不同复合再造型 FD 桃溶果不同状态下色泽(鲜艳度、明亮度、对比度)、形态质构、口感、滋味、接受度/满意度分为 3 个等级。评分标准见表 2。

1.3.5 数据统计与分析 每组试验均重复 3 次,数据以“平均值±标准差”表示。采用 SPSS 21.0 软件进行数据的方差分析,通过 Duncan's 法进行多重比较, $P < 0.05$  表示差异显著。采用 Origin 8.0 与 Excel 软件绘图。

表 2 复合再造型 FD 桃溶果的感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of restructured FD peachproducts

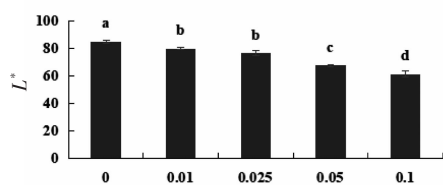
评价项目	评语	评语	感官评价标准	评分
色泽(45分)	鲜艳度(15分)	I级	鲜艳	11~15
		II级	较鲜艳	6~10
		III级	暗淡	1~5
	明亮度(15分)	I级	透亮,有光泽	11~15
		II级	较透亮,较有光泽	6~10
		III级	不透亮,无光泽	1~5
	对比度(15分)	I级	鲜粉色	11~15
		II级	暗粉色	6~10
		III级	灰粉色	1~5
形态质构(10分)	I级	表面平整,孔隙细	8~10	
	II级	表面较平整,孔隙较细	4~7	
	III级	表面不平整,孔隙粗	1~3	
口感(15分)	I级	硬度适中,有很好酥脆感,口感细腻	11~15	
	II级	硬度较弱/强,酥脆感较好,口感较细腻	6~10	
	III级	硬度过弱/强,酥脆感不好,口感不细腻	1~5	
滋味(15分)	I级	酸甜可口,味道适中	12~15	
	II级	酸甜较甜/较酸,味道一般	8~11	
	III级	过甜/过酸	4~7	
接受度/满意度(15分)	I级	完全接受,非常满意	11~15	
	II级	接受,比较满意	6~10	
	III级	不接受,不满意	1~5	

## 2 结果与分析

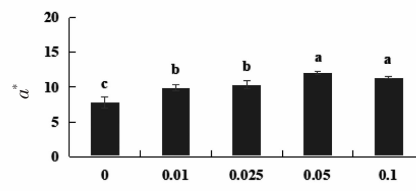
### 2.1 复合再造型 FD 桃溶果色泽调控的单因素实验结果

2.1.1 桑葚粉添加量对复合再造型 FD 桃溶果色泽的影响 不同桑葚粉添加量(0, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 g)的复合再造型 FD 桃溶果色泽差异如图 1 所示。如图 1f 所示,随着桑葚粉添加量增加,亮度值  $L^*$  逐渐减少,红值  $a^*$  逐渐增大,黄值  $b^*$  逐渐减小,整体体系表现色泽加深变暗。由图 1a~1c 可知,随着桑葚粉添加量增加,  $L^*$ 、 $b^*$  逐渐减少,  $L^*$  下降 27.75%;  $b^*$  下降 80.64%; 随着桑葚粉添加量增加,  $a^*$  逐渐增大,  $a^*$  上升 54.60%, 主要由于桑葚粉中含大量的以矢车菊-3-*O*-葡萄糖苷为主的花

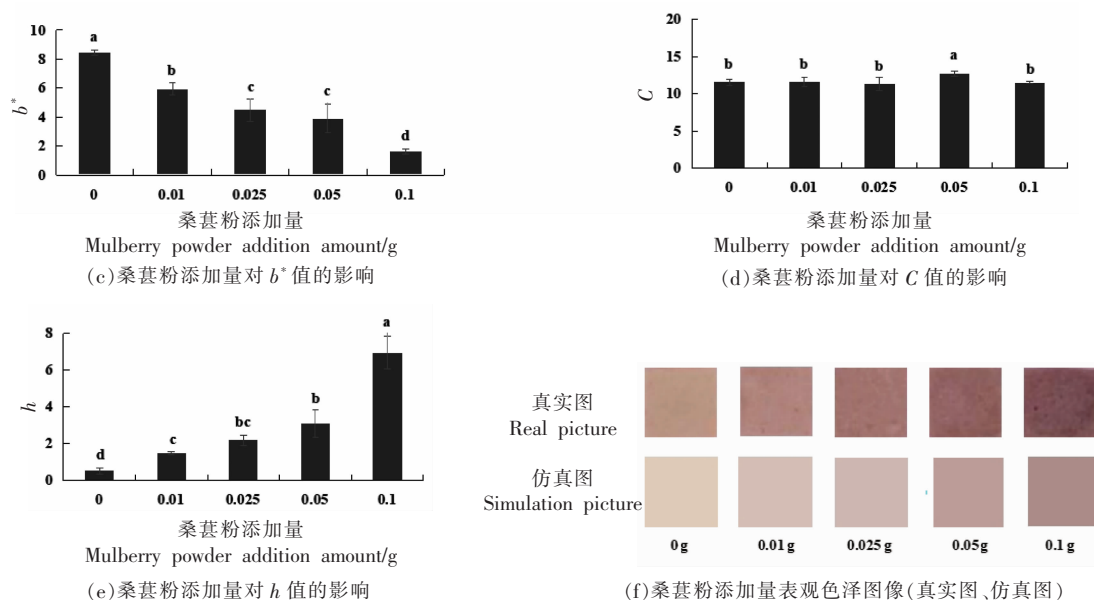
青素<sup>[10]</sup>。当桑葚粉添加量超过 0.05 g 时,  $a^*$  值趋于稳定。此结果与陈晓园等<sup>[23]</sup>红曲米粉添加量对馒头红值  $a^*$  值变化趋势一致。与如图 1d~1e 所示,饱和度( $C$ )表示色彩的纯度,纯度越高,表现越鲜明,纯度较低,表现则较黯淡<sup>[24]</sup>。当桑葚粉添加量为 0.05 g 时,复合再造型 FD 桃溶果的  $C$  值达到最高值 12.73, 然而从整体上来看,桑葚粉添加量并没有对色彩饱和度有显著性影响;色相角( $h$ )表示颜色的类别,取决于光照下所反射光的光谱成分(色相角  $< 10^\circ$ )<sup>[10, 25]</sup>, 色相角归因于颜色的类别,随着桑葚粉添加量的增加,  $h$  值也逐渐增大,从 0.53 上升至 6.95, 表示随着总花青素含量的升高,再造型体系颜色类别发生了质的改变。



(a) 桑葚粉添加量对  $L^*$  值的影响



(b) 桑葚粉添加量对  $a^*$  值的影响



注:不同桑葚粉添加量下不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

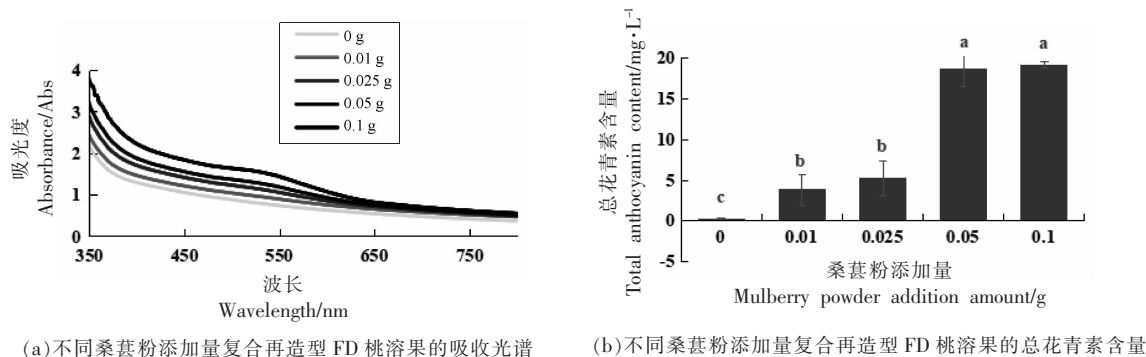
图1 桑葚粉添加量对复合再造型FD桃溶果色泽的影响

Fig.1 Effect of the amount of mulberry powder addition on the color of restructured FD peach products

桑葚粉添加量(0,0.01,0.025,0.05,0.1 g)对复合再造型FD桃溶果吸收光谱变化的影响如图2a所示。随着桑葚粉添加量的增加,复合再造型FD桃溶果的吸收光谱在350~650 nm波长处的吸光值呈整体上升趋势,在桑葚粉添加量为0~0.05 g时,复合再造型FD桃溶果吸收峰无明显峰值,说明桑葚粉在复合再造型FD桃溶果中占比较小,桑葚粉中的花青素被复合体系中的果胶、纤维素完全包裹,影响其吸光特性,这与Berg等<sup>[26]</sup>运用果胶对花青素进行封装的结果相同。当桑葚粉添加

量为0.1 g时,复合再造型FD吸收光谱在512 nm波长处有明显峰值,表明当桑葚粉添加量超过0.1 g后,其中的花青素除了吸附结合和物理包埋之外还存在游离的部分,因此复合再造型FD桃溶果吸收光谱在512 nm波长处有明显峰值吸收<sup>[11]</sup>。

不同桑葚粉添加量(0,0.01,0.025,0.05,0.1g)复合再造型FD桃溶果中,总花青素含量变化对比如图2b所示,总花青素含量随着桑葚粉添加量的增大逐渐升高,从0.10 mg/L到19.18 mg/L。当桑葚粉添加量为0.025,0.05 g时,总花青素含量分别为



注:不同桑葚粉添加量下不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图2 不同桑葚粉添加量复合再造型FD桃溶果吸收光谱和总花青素含量

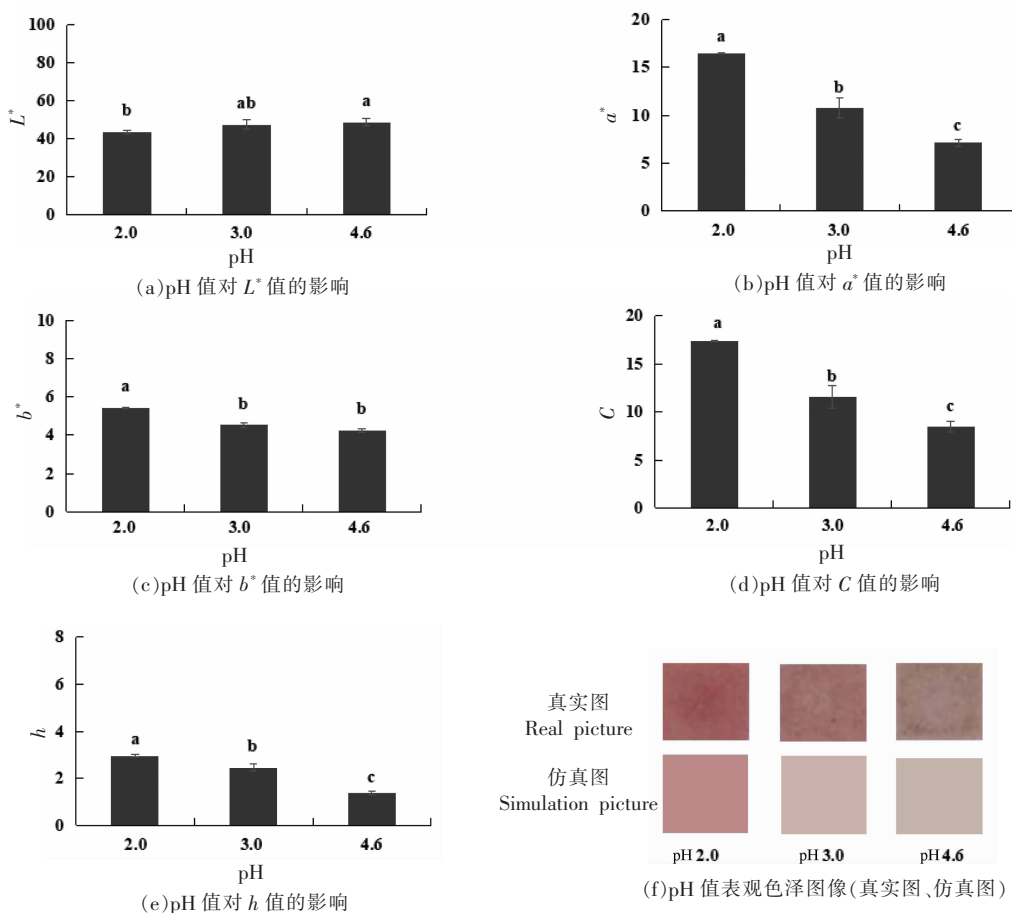
Fig.2 Effect of the amount of mulberry powder addition on the absorption spectrum and anthocyanin content of restructured FD peach products

5.24, 18.70 mg/L, 体系中总花青素含量与桑葚粉添加量并没有线性关系, 主要由于桑葚粉中花青素在总含量较低时与体系中果胶等相互作用, 在超声处理条件下, 发生紧密吸附并包埋, 减少了游离花青素水平, 影响了整体的呈色效果。这与 Sucheta 等<sup>[27]</sup>超声波处理研究果胶与花青素之间的相互作用力的结果相类似。当桑葚粉添加量大于 0.05 g 后, 体系呈色趋于稳定, 主要是由于桑葚粉添加达到一定量后, 过量的游离花青素不稳定, 在处理过程中逐渐降解, 使花青素总量保持在一个相对稳定的水平。

### 2.1.2 pH 值对复合再造型 FD 桃溶果色泽的影响

pH 值(2.0, 3.0, 4.6)对复合再造型 FD 桃溶果色泽影响如图 3 所示。如图 3f 所示, 随着 pH 值的升高, 亮度值  $L^*$  逐渐增大, 红值  $a^*$  显著减小, 黄值  $b^*$

逐渐减小, 整体体系色泽纯度降低, 色调也发生显著改变, 表现色泽变暗。如图 3a~3e 所示, 随着 pH 升高,  $L^*$  逐渐增大, 升高 11.62%,  $a^*$ 、 $C$ 、 $h$  显著减少,  $a^*$  下降 56.85%;  $C$  值下降 51.47%;  $h$  下降 53.87%;  $b^*$  逐渐下降后保持稳定, 下降 22.20%; 主要原因为桑葚粉中花青素以黄盐阳离子形式存在, 随着 pH 值的升高, 花青素失去 C 环氧上的阳离子变成蓝色的醌型碱, 醌型碱在酸性溶液中与黄盐阳离子之间发生可逆转化<sup>[28]</sup>, 颜色逐渐变浅,  $a^*$ 、 $b^*$  逐渐减小。这与 Etxabide 等<sup>[29]</sup>的研究花青素在不同 pH 值下的颜色稳定性结果一致。此外, 水蜜桃-桑葚复合再造型冻干体系中的多糖、多酚等物质均对花青素呈色有一定影响, 以及体系质构差异也会在一定程度上影响花青素的呈色<sup>[30-31]</sup>。

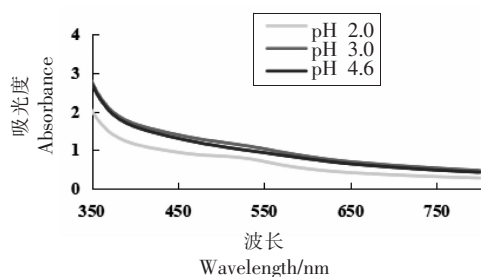


注: 不同 pH 值下字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图 3 pH 值对复合再造型 FD 桃溶果色泽的影响

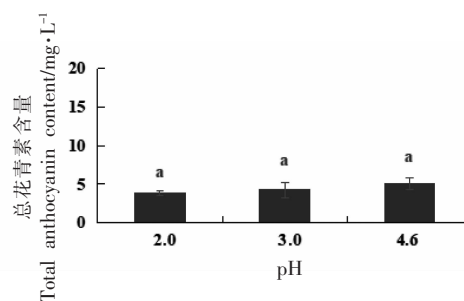
Fig.3 Effect of pH value on the color of restructured FD peach products

不同 pH 值(2.0,3.0,4.6)的复合再造型 FD 桃溶果吸收光谱的变化如图 4a,4b 所示。当 pH 2.0~4.6 时,复合再造型 FD 桃溶果的吸收光谱在 350~650 nm 波长下的吸收峰无明显峰值,吸光值整体呈上升趋势并整体保持稳定,同时总花青素含量没有显著性改变。桑葚粉中富含的花青素,在复合



(a)不同 pH 值的复合再造型 FD 桃溶果吸收光谱

桃浆体系中果胶、纤维素的吸附和包裹作用下,其呈色结构随 pH 值的变化无显著改变,与 Berg 等<sup>[26]</sup>研究运用果胶对花青素进行封装后的呈色效果相同。综上所述,不同 pH 值对复合再造型 FD 桃溶果总花青素含量无显著影响。



(b)pH 对复合再造型 FD 桃溶果的总花青素含量变化的影响

注:不同 pH 值不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图 4 pH 值对复合再造型 FD 桃溶果吸收光谱和总花青素含量的影响

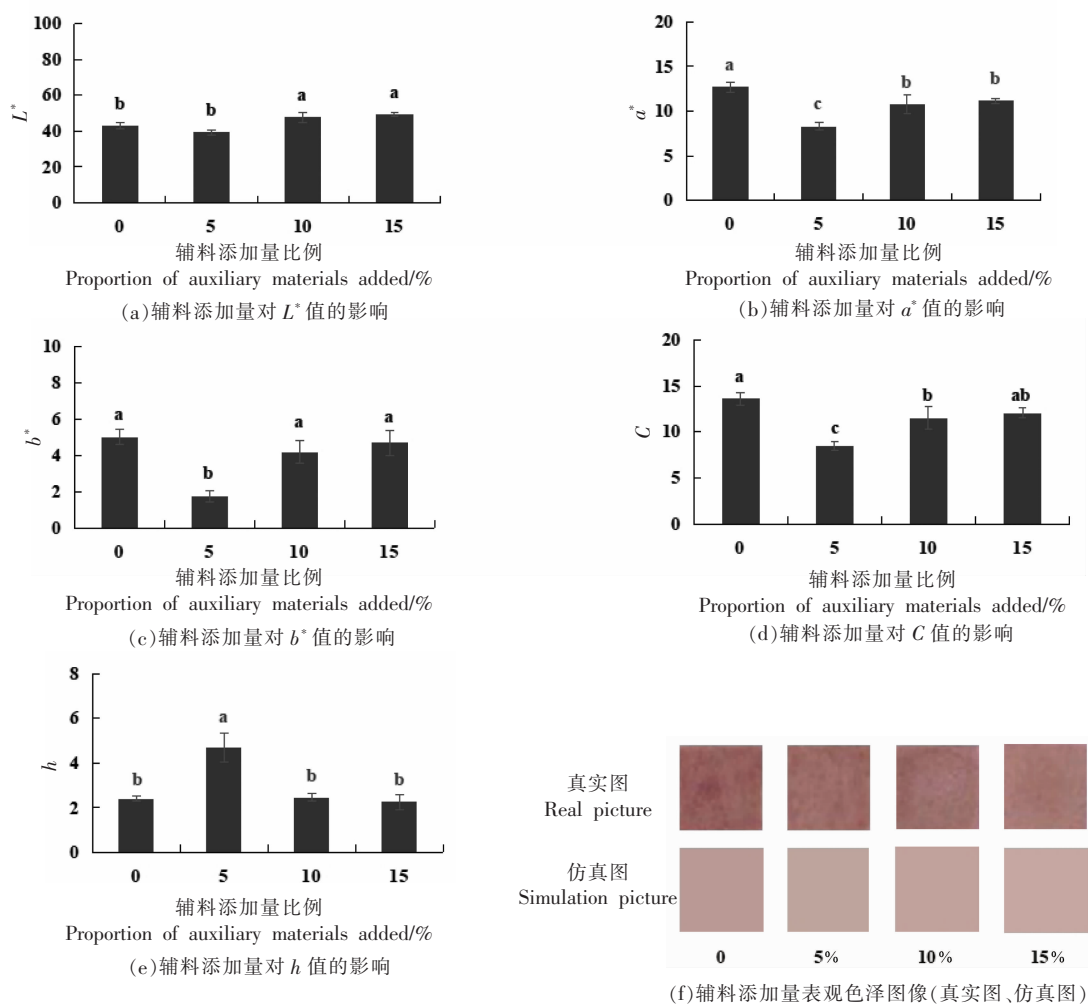
Fig.4 Effect of pH value on the absorption spectrum and anthocyanin content of restructured FD peach products

2.1.3 辅料添加量比例对复合再造型 FD 桃溶果色泽的影响 花青素因其具有多种生物活性而备受关注,然而不稳定的特性极大地限制了其应用<sup>[32]</sup>,在对花青素稳态化包埋的各种研究中,发现可以使用的包材有:不同 DE 值(Dextrose equivalent value)的麦芽糊精<sup>[33-35]</sup>、阿拉伯树胶<sup>[36]</sup>和微晶纤维素等。此类辅料主要通过提高多孔系统的稳定性,增加孔隙率和孔的互连性,减小了孔的尺寸<sup>[37]</sup>,从而降低复合体系的吸湿性,最大限度地保证产品的色泽。因此本研究以麦芽糊精和微晶纤维素为辅料添加至复合再造型 FD 桃溶果中,并进行超声均一化处理,这一解决方案与 Fang 等<sup>[32]</sup>在胶囊化提高花青素稳定性的研究结果相同。辅料添加量比例(0%,5%,10%,15%)对复合再造型 FD 桃溶果色泽影响如图 5 所示。随着辅料添加量的增加,亮度值  $L^*$  逐渐增大,红值  $a^*$ 、黄值  $b^*$  先减少后增大,整体体系表观色泽变亮。如图 5a 所示,辅料添加量>15%后, $L^*$  增大至 47.65,辅料中的麦芽糊精和微晶纤维素充分溶解后为白色浆状,加至复合再造型 FD 桃溶果中增加其明亮度,微晶纤维素的添加提升了复合再造型 FD 桃溶果致密的质地,减少了光线的吸收,增加了光线的反射。如

图 5b~5e 所示,随着辅料添加量增加, $a^*$ 、 $b^*$  和  $C$  值均呈现先减少后增大的趋势,而  $h$  值呈现先增大后减少的趋势,由于加入少量辅料(5%)后,麦芽糊精对桃溶果中游离花青素的包埋作用,微晶纤维素使得复合再造型 FD 桃溶果致密度提升,导致  $a^*$ 、 $b^*$  和  $C$  值均显著减少, $h$  值显著增大,而随着辅料的添加,在超声处理情况下,体系中游离花青素与麦芽糊精和微晶纤维素形成不影响其发色团的交联,色泽逐渐恢复至初始状态<sup>[36,38]</sup>。

辅料添加量(0,5%,10%,15%)对复合再造型 FD 桃溶果吸收光谱的影响如图 6a 所示。当辅料添加量增加时,复合再造型 FD 桃溶果的吸收光谱在 350~650 nm 波长处的吸光值整体呈下降趋势,可能由于添加辅料量导致桃溶果空隙减小<sup>[39]</sup>,吸收光谱吸光值降低,复合再造型 FD 桃溶果吸收光谱无明显峰值。辅料添加量比例(0,5%,10%,15%)对复合再造型 FD 桃溶果总花青素含量变化差异如图 6b 所示,不同辅料添加量的复合再造型 FD 桃溶果总花青素含量无显著变化。

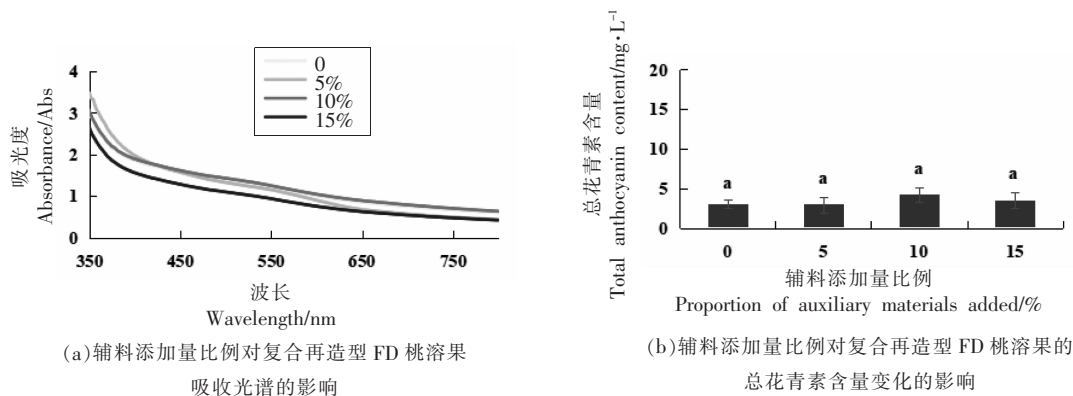
2.1.4 不同单因素对复合再造型 FD 桃溶果感官品质的影响 参照 Elortondo 等<sup>[40]</sup>的食品感官品质描述方法进行感官评判设计,并根据复合再造型



注:不同辅料添加量下不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

图 5 辅料添加量对复合再造型 FD 桃溶果色泽的影响

Fig.5 Effect of the proportion of auxiliary materials added on the color of restructured FD peach products

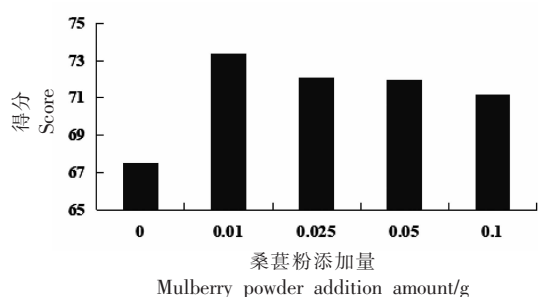


注:不同辅料添加量比例下不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

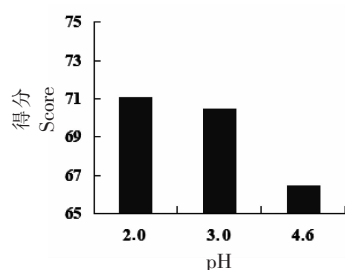
图 6 辅料添加量对复合再造型 FD 桃溶果吸收光谱和总花青素含量的影响

Fig.6 Effect of the proportion of auxiliary materials added on the absorption spectrum and anthocyanin content of restructured FD peach products

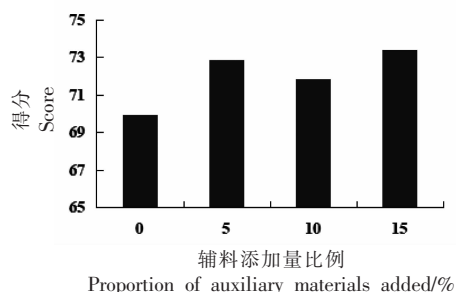




(a) 桑葚粉添加量对复合再造型 FD 桃溶果感官品质的影响



(b) pH 值对复合再造型 FD 桃溶果感官品质的影响



(c) 辅料添加量比例对复合再造型 FD 桃溶果感官品质的影响

注:不同单因素下不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

图 7 不同单因素对复合再造型 FD 桃溶果感官品质的影响

Fig.7 Effect of different single factors on the sensory quality of restructured FD peach products

FD 桃溶果的制品特点做调整<sup>[22]</sup>,分别对复合再造型 FD 桃溶果的色泽(鲜艳度、明亮度、对比度)、形态质构、口感、滋味和接受度/满意度 5 个方面进行综合评分,并采用模糊综合评判法进行感官评价,不同桑葚粉添加量、pH 值、辅料添加量对复合再造型 FD 桃溶果感官品质的影响如图 7a~7c 所示。由 7a 可知,当桑葚粉添加量为 0.01 g 时,感官评分最高(73.37 分),品质最佳。由图 7b 可知,当 pH 值升高时,复合再造型 FD 桃溶果感官评分会降低,尤其是 pH 值为 4.6 时,感官评分最低(66.49 分),这是由于随着 pH 值的升高,花青素失去 C 环氧上的阳离子变成蓝色的醌型碱,醌型碱在酸性溶液中与黄盐阳离子发生可逆转化<sup>[28]</sup>,颜色逐渐变浅变暗。由图 7c 可知,添加辅料时,复合再造型 FD 桃溶果感官评分显著升高,当辅料添加量比例为 15% 时,感官评分最高,为 73.37 分。

## 2.2 复合再造型 FD 桃溶果色泽调控条件正交试验

根据单因素实验结果,选取桑葚粉添加量(A)、pH 值(B)、辅料添加量比例(C)进行正交试验,确定复合再造型 FD 桃溶果色泽的最佳配比,正交试验结果见表 3。

极差和均值越大对复合再造型 FD 桃溶果色泽调控影响越大,由表 3 极差和均值大小可知,3 种单因素对复合再造型 FD 桃溶果对色泽调控影响大小顺序为:桑葚粉添加量(A)>pH 值(B)>辅料添加量比例(C)。

表 3 复合再造型 FD 桃溶果色泽调控条件正交试验方案及结果

Table 3 Orthogonal test scheme and results of color control conditions of restructured FD peach products

试验号	A	B	C	e (误差)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	C	h	总花青素	
										含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	感官 评分
1	1	1	1	1	52.29	11.5	11.24	16.08	0.67	3.05	62.23
2	1	2	2	2	56.42	7.82	8.47	11.54	0.53	0.1	67.51
3	1	3	3	3	56.73	5.62	8.83	10.48	0.01	0.07	68.88
4	2	1	2	3	43.81	16.5	5.36	17.35	2.97	5.94	71.06
5	2	2	3	1	49.17	11.13	4.69	12.08	2.26	5.14	73.37
6	2	3	1	2	44.12	8.71	4.68	9.89	1.68	6.18	66.17
7	3	1	3	2	33.66	17.85	4.07	18.31	4.35	27.84	69.91
8	3	2	1	3	34.15	13.22	3.14	13.59	4.22	34	72.55
9	3	3	2	1	39.9	8.36	2.3	8.7	3.93	18.11	66.90

(续表 3)

试验号	A	B	C	$e$ (误差)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	C	h	总花青素含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	感官评分
$L^*$	K1	55.15	43.25	43.52	47.12						
	K2	45.70	46.58	46.71	44.73						
	K3	35.90	46.92	46.52	44.90						
	R1	19.24	3.66	3.19	2.39						
$a^*$	T1	8.31	15.28	11.14	10.33						
	T2	12.11	10.72	10.89	11.46						
	T3	13.14	7.56	11.53	11.78						
$b^*$	R2	4.83	7.72	0.64	1.45						
	S1	9.51	6.89	6.35	6.08						
	S2	4.91	5.43	5.38	5.74						
	S3	3.17	5.27	5.86	5.78						
C	R3	6.34	1.62	0.98	0.34						
	W1	12.70	17.25	13.19	12.29						
	W2	13.11	12.40	12.53	13.25						
	W3	13.53	9.69	13.62	13.81						
h	R4	0.83	7.56	1.09	1.52						
	V1	0.40	2.66	2.19	2.29						
	V2	2.30	2.34	2.48	2.19						
	V3	4.17	1.87	2.21	2.40						
总花青素含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	R5	3.76	0.79	0.29	0.21						
	P1	1.07	12.28	14.41	8.77						
	P2	5.75	13.08	8.05	11.37						
	P3	26.65	8.12	11.02	13.34						
感官评分	R6	25.58	4.96	6.36	4.57						
	Z1	66.21	67.73	66.98	67.50						
	Z2	70.20	71.14	68.49	67.86						
	Z3	69.79	67.32	70.72	70.83						
	R7	3.99	3.83	3.74	3.33						

注:K(1,2,3)为 $L^*$ 平均值(1,2,3);T(1,2,3)为 $a^*$ 平均值(1,2,3);S(1,2,3)为 $b^*$ 平均值(1,2,3);W(1,2,3)为C平均值(1,2,3);V(1,2,3)为h平均值(1,2,3);P(1,2,3)为总花青素含量平均值(1,2,3);Z(1,2,3)为感官评分平均值(1,2,3);R(1,2,3,4,5,6,7)分别为 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、C、h、总花青素含量和感官评分的极差。

表 4 复合再造型 FD 桃溶果验证试验结果

Table 4 Results of verification test of restructured FD peach products

组合	A(桑葚粉添加)	C(辅料添			$L^*$	$a^*$	$b^*$	C	h	总花青素	
		B(pH 值)	加量比	例/%)						含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	感官评分
$A_2B_2C_3$	0.025	3	15		49.17	11.13	4.69	12.08	2.26	5.14	73.37
$A_2B_3C_1$	0.025	4.6	0		44.12	8.71	4.68	9.89	1.68	6.18	66.17
$A_2B_2C_2$	0.025	3	10		47.65	10.73	4.17	11.51	2.46	6.44	70.46
$A_3B_2C_1$	0.1	3	0		34.15	13.22	3.14	13.59	4.22	34	72.55

2.3 复合再造型 FD 桃溶果色泽调控条件验证试验

验证试验结果见表 4。由表 4 可以看出,组合

$A_2B_2C_3$  的  $L^*$ 、 $b^*$  感官评分优于组合  $A_2B_3C_1$ 、 $A_2B_2C_2$  和  $A_3B_2C_1$ 。即在复合再造型 FD 桃溶果色泽调控过程中,桑葚粉添加量 0.025 g,pH 3.0,辅料添加比

15%,制得的复合再造型FD桃溶果色泽、感官最佳,其 $L^*$ 值为49.17, $a^*$ 值为11.13, $b^*$ 值为4.69, $C$ 值为12.08, $h$ 值为2.26,总花青素含量为5.14 mg/L,感官评分为73.37分。

### 3 结论

复合再造型桃溶果是桃多元化加工的重要方向,应用桑葚粉进行调色,并结合超声处理进行稳色是改善桃溶果色泽品质不稳定和易劣变的重要途径,本研究在超声波均一化处理的基础上,优化了桑葚粉添加量、pH值、辅料(麦芽糊精和微晶纤维素)添加量这3种处理条件,采用正交试验明确3个因素的最佳设置,结合模糊综合评判进行感官评价,确定桑葚粉添加量0.025 g,pH 3.0,辅料添加比15%,制备的复合再造型FD桃溶果色泽和营养品质最佳( $L^*$ 值为49.17, $a^*$ 值为11.13, $b^*$ 值为4.69, $C$ 值为12.08, $h$ 值为2.26,总花青素含量为5.14 mg/L),感官评分最优为73.37分。本研究为提高复合再造型FD果蔬制品色泽稳定性调控提供了思路和技术工艺等方面的参考,扩大了其在功能性和营养健康食品中的应用。

### 参 考 文 献

- [1] 金睦皓,毛双,刘鹏凌.我国桃产业出口贸易的现状分析及应对策略[J].江苏农业科学,2019,47(12):334-338.  
JIN M H, MAO S, LIU P L. Analysis and countermeasures of China's peach industry export trade [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(12): 334-338.
- [2] AYDIN B, AKTURK D. Energy use efficiency and economic analysis of peach and cherry production regarding good agricultural practices in Turkey: A case study in Çanakkale province[J]. Energy, 2018, 158: 967-974.
- [3] 候春辉,易建勇,毕金峰,等.干燥方式和原料配比对胡萝卜-马铃薯再造型复合脆片品质的影响[J].现代食品科技,2017,33(11):140-147.  
HOU C H, YI J Y, BI J F, et al. Effects of drying methods and raw material ratio on the quality of restructured carrot-potato chips[J]. Modern Food Science & Technology, 2017, 33(11): 140-147.
- [4] ZHANG F, ZHANG M, MUJUMDAR A. Drying characteristics and quality of restructured wild cabbage chips processed using different drying methods[J]. Drying Technology, 2011, 29(6): 682-688.
- [5] GRIZOTTO R K, BRUNS R E, DE AGUIRRE J M, et al. Technological aspects for restructuring concentrated pineapple pulp[J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(5): 759-765.
- [6] LIU Z B, ZHANG M, WANG Y C. Drying of restructured chips made from the old stalks of *Asparagus officinalis*: Impact of different drying methods [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(8): 2815-2824.
- [7] 赵圆圆,易建勇,毕金峰,等.干燥方式对复水香菇感官、质构及营养品质的影响[J].食品科学,2019,40(3):101-108.  
ZHAO Y Y, YI J Y, BI J F, et al. Sensory, texture and nutritional quality of dried shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*) as affected by different drying methods [J]. Food Science, 2019, 40(3): 101-108.
- [8] 孙金才,陈龙海.海通专注于高品质果蔬食品干燥技术的创新[J].农产品加工,2013(7):22-23.  
SUN J C, CHEN L H. Haitong focuses on the innovation of high-quality fruit and vegetable drying technology [J]. Farm Products Processing, 2013(7): 22-23.
- [9] TEIXEIRA N, CRUZ L, BRÁS N F, et al. Structural features of copigmentation of oenin with different polyphenol copigments [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(28): 6942-6948.
- [10] JIMÉNEZ-AGUILAR D M, ORTEGA-REGULES A E, LOZADA-RAMÍREZ J D, et al. Color and chemical stability of spray-dried blueberry extract using mesquite gum as wall material [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(6): 889-894.
- [11] 徐焯,李旋,毕金峰,等.微波与超声处理对花青素-多酚的固态与液体系色泽的影响[J].食品科学,2021,42(1):139-148.  
XU Y, LI X, BI J F, et al. Effect of microwave and ultrasonic treatment on the color of anthocyanin-polyphenol solid and liquid systems [J]. Food Science, 2021, 42(1): 139-148.

- [12] SANT'ANNA V, GURAK P D, MARCZAK L D F, et al. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods – A review[J]. *Dyes and Pigments*, 2013, 98(3): 601–608.
- [13] SPENCE C. Food color and its impact on taste/flavor perception [M]. Woodhead Publishing: Multisensory Flavor Perception, 2016: 107–132.
- [14] 滑金杰, 袁海波, 姚月凤, 等. 温度对茶发酵叶色泽及茶色素含量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(12): 300–308.
- HUA J J, YUAN H B, YAO Y F, et al. Effect of temperature on color and tea pigment content of fermented tea leaves[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(12): 300–308.
- [15] REIN M J, HEINONEN M. Stability and enhancement of berry juice color [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(10): 3106–3114.
- [16] KJELL T, YVIND M A. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values[J]. *Food Chemistry*, 2004, 89(3): 427–440.
- [17] 邓健, 许金生, 樊华, 等. 靛酚蓝显色法直接测定血浆氨[J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, 25(3): 436–438.
- DENG J, XU J S, FAN H, et al. Direct determination of ammonia in plasma with indophenol method [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2005, 25(3): 436–438.
- [18] RAPISARDA P, FANELLA F, MACCARONE E. Reliability of analytical methods for determining anthocyanins in blood orange juices [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(6): 2249–2252.
- [19] LEE J, DURST R W, WROLSTAD R E. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study[J]. *Journal of AOAC International*, 2005, 88(5): 1269–1278.
- [20] 赵志华, 岳田利, 王燕妮, 等. 基于模糊综合评判苹果酒感官评价的研究[J]. *酿酒科技*, 2006(9): 27–29.
- ZHAO Z H, YUE T L, WANG Y N, et al. Study on sensory evaluation of cider based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. *Liquor-making Science & Technology*, 2006(9): 27–29.
- [21] 何新益, 辛莉, 曹晓. 糙米茶固体饮料感官质量的模糊综合评判[J]. *粮食加工*, 2011, 36(2): 45–46.
- HE X Y, XIN L, CAO X. Sensory analysis of brown rice tea solid drink quality by fuzzy comprehensive evaluation method[J]. *Grain Processing*, 2011, 36(2): 45–46.
- [22] 朱金尧, 郭志瑞. 应用模糊综合评判进行食品感官质量评价的实施报告[J]. *食品科学*, 1987(10): 11–15.
- ZHE J Y, GUO Z R. Implementation report on food sensory quality evaluation using fuzzy comprehensive evaluation[J]. *Food Science*, 1987(10): 11–15.
- [23] 陈晓园, 解文雅, 王腾宇, 等. 红苕茯苓馒头的研制[J]. *中国酿造*, 2015, 34(10): 166–170.
- CHEN X Y, XIE W Y, WANG T Y, et al. Development of functional steamed bread with *Poria cocos* and kojic rice[J]. *China Brewing*, 2015, 34(10): 166–170.
- [24] BROWN J L, RANKEN H B. Luminance, purity and wavelength matches of contrast colors[J]. *Vision Research*, 1965, 5(8): 443–453.
- [25] GONNET J. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited – 2. A colorimetric look at the solutions of cyanin co-pigmented byrutin using the CIELAB scale [J]. *Food Chemistry*, 1999, 66(3): 387–394.
- [26] BERG S, BRETZ M, HUBBERMANN E M, et al. Influence of different pectins on powder characteristics of microencapsulated anthocyanins and their impact on drug retention of shellac coated granulate [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 108(1): 158–165.
- [27] SUCHETA, MISRA N N, SUDESH K Y. Extraction of pectin from black carrot pomace using intermittent microwave, ultrasound and conventional heating: Kinetics, characterization and process economics [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 102: 105592.
- [28] COOPER –DRIVER G A. Contributions of Jeffrey Harborne and co-workers to the study of anthocyanins [J]. *Phytochemistry*, 2001, 56(3): 229–236.
- [29] ETXABIDE A, KILMARTIN P A, MAT J I. Color stability and pH –indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging

- development[J]. *Food Control*, 2021, 121: 107645.
- [30] KOH J, XU Z, WICKER L. Binding kinetics of blueberry pectin-anthocyanins and stabilization by non-covalent interactions [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 99: 105354.
- [31] ZHANG B, WANG Q, ZHOU P, et al. Copigmentation evidence of oenin with phenolic compounds: A comparative study of spectrographic, thermodynamic and theoretical data[J]. *Food Chemistry*, 2020, 313: 126163.
- [32] FANG J L, LUO Y, YUAN K, et al. Preparation and evaluation of an encapsulated anthocyanin complex for enhancing the stability of anthocyanin[J]. *LWT*, 2020, 117(1): 108543.
- [33] SEDA E, UNAL Y. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 80(3): 805-812.
- [34] ANG Z, BHANDARI B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols [J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(3): 1139-1147.
- [35] CARMEN S, SANDRA T, JORGE C, et al. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) [J]. *Food Chemistry*, 2008, 114(2): 616-622.
- [36] MAHDAVEE K K, JAFARI S M, GHORBANI M, et al. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 105: 57-62.
- [37] ZIA J, MANCINI G, BUSTREO M, et al. Porous pH natural indicators for acidic and basic vapor sensing [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2021, 403: 126373.
- [38] WAWER I, WOLNIAK M, PARADOWSKA K. Solid state NMR study of dietary fiber powders from aronia, bilberry, black currant and apple[J]. *Solid State Nuclear Magnetic Resonance*, 2006, 30(2): 106-113.
- [39] PEREIRA SOUZA A C, DEYSE GURAK P, DAMASCENO FERREIRA MARCZAK L. Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace [J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2017, 102: 186-194.
- [40] ELORTONDO F J P, OJEDA M, ALBISU M, et al. Food quality certification: An approach for the development of accredited sensory evaluation methods[J]. *Food Quality and Preference*, 2007, 18(2): 425-439.

### Studies on the Color Regulation of Restructured Vacuum Freeze-drying Peach Products

Xu Ye<sup>1,2</sup>, Li Xuan<sup>1</sup>, Bi Jinfeng<sup>1,2\*</sup>, Lü Jian<sup>1</sup>, Guo Chongting<sup>1,3</sup>, Hu Jiaying<sup>1</sup>, Zhu Fengmei<sup>2</sup>, Li Jun<sup>2</sup>  
 (<sup>1</sup>Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193

<sup>2</sup>College of Food Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066004, Hebei

<sup>3</sup>College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866)

**Abstract** In response to the problem of poor color value quality of restructured vacuum freeze-dried (FD) peach products (mulberry powder as a toner and peach pulp compounded to obtain), study explored the optimal quality process for color adjustment of composite mulberry powder. Based on the ultrasonic homogenization treatment, orthogonal experiments were used to optimize the mulberry powder addition amount, pH value, and the proportion of auxiliary materials added (maltodextrin and microcrystalline cellulose), and sensory evaluation was carried out combined with fuzzy comprehensive evaluation. The results showed that mulberry powder addition amount 0.025 g, pH 3.0, the proportion of auxiliary materials added (maltodextrin:microcrystalline cellulose = 1:1) 15% had the best color and nutritional quality ( $L^*$  value was 49.17,  $a^*$  value was 11.13,  $b^*$  value was 4.69,  $C$  value was 12.08,  $h$  value was 2.26, total anthocyanin content was 5.14 mg/L), and sensory score was 73.37. This study provides a technical reference for the color quality control of restructured FD fruit and vegetable products.

**Keywords** color control; sensory evaluation; anthocyanins; ultrasound; fuzzy comprehensive evaluation method