

冷冻干燥与喷雾干燥对岗稔果粉品质影响的比较

Quality comparison of rhodomyrtus tomentosa's powder by vacuum freeze drying and spray drying

唐 辉¹ 钟瑞敏¹ 马金魁² 郭红辉¹ 刘永吉¹

TANG Hui¹ ZHONG Rui-min¹ MA Jing-kui² GUO Hong-hui¹ LIU Yong-ji¹

(1. 韶关学院英东食品科学与工程学院, 广东 韶关 512005; 2. 肇庆学院化学化工学院, 广东 肇庆 526061)

(1. YingDong Institute of Food Science and Technology, Shaoguan University, Shaoguan, Guangdong 512005, China;

2. Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Zhaoqing University, Zhaoqing, Guangdong 526061, China)

摘要:利用 AHP 模糊数学方法对两种干燥方式的岗稔果粉进行综合感官评价,并分析了岗稔果粉各项感官指标与理化性质的相关性。结果表明,真空冷冻干燥制得的果粉的总糖、还原糖、总酸、花色苷含量以及流动性与溶解性都要优于喷雾干燥制得的;但喷雾干燥制得的样品含水量更低,色泽较好,综合感官指标值高于真空冷冻干燥制品;岗稔果粉的色泽与其花色苷含量、色差 a 值呈显著相关;岗稔果粉的滋味与其总糖、还原糖、总酸含量呈显著相关;岗稔果粉的质地与其流动性和溶解性呈显著相关性。真空冷冻干燥岗稔果粉品质好,产品附加值高,喷雾干燥岗稔果粉综合感官指标较好,适于工业化生产。

关键词:真空冷冻干燥;喷雾干燥;岗稔;果粉;AHP

Abstract: The effects of vacuum freeze-drying and spray-drying on the quality of *Rhodomyrtus tomentosa*'s powder were compared in this study. The Analytical Hierar-chy Process(AHP) fuzzy mathematics method was used to evaluate the sensory indexes of the two kinds of drying methods, and the correlations between the sensory indexes and physicochemical properties was analyzed. The results showed that the total sugar, reducing sugar, total acid and anthocyanin content of *Rhodomyrtus tomentosa*'s powder produced by vacuum freeze-drying and the flowability and solubility of powder were better than those obtained by spray drying. However, the samples prepared by spray drying moisture content was lower, the color was better, the comprehensive sensory index value was higher than that of vacu-

um freeze-dried product. The color of *Rhodomyrtus tomentosa*'s powder was significantly correlated with its anthocyanin content and color difference a^* value. Results suggested that the taste of the *Rhodomyrtus tomentosa*'s powder was significantly correlated with its total sugar content, reducing sugar, and total acid content. There was a significant correlation between the texture of the powder and its physical properties such as flowability and solubility. In summary, the vacuum freeze-dried produces high quality *Rhodomyrtus tomentosa*'s powder, while the spray drying makes *Rhodomyrtus tomentosa*'s powder with better comprehensive sensory index and suitable for industrial production.

Keywords: Vacuum Freeze Drying; Spray drying; *Rhodomyrtus tomentosa*; powder; AHP

岗稔(*Rhodomyrtus tomentosa*),为桃金娘科植物的浆果,又名稔子、山稔,为粤北地区的特色水果之一。岗稔果酸甜可口,富含花色苷、矿物质及多种微量元素,具有较高的营养价值和保健功能^[1-2],因其为季节性浆果类果实,存在集中采摘、容易腐烂,贮藏与运输不便等特点,致使鲜果发展受到很大的制约,岗稔果品的研究与加工迫在眉睫^[1-2]。目前国内外对于岗稔果的深加工研究主要集中在岗稔果中花色苷提取与稳定性研究^[3-4],果酒品种开发^[5-6],果汁饮料与浓缩果汁加工研究^[7-8]等方面,对营养、保藏与运输性能较佳的岗稔果粉,仅见赵广河等^[9]对其进行了研究。在果粉加工中,干燥是其中的关键工艺,主要有热风干燥^[10]、微波干燥^[11]、冷冻干燥^[12]、喷雾干燥^[13]等,热风干燥过程中时间较长,温度过高,花色苷损失较大。微波干燥对含水量高的物质脱水效率较低,一般结合真空干燥,作为干燥的后期脱水处理。喷雾干燥是将产品雾化成极小液滴,在干燥介质中,使得液滴迅速汽化,物料瞬间被干燥。真空冷冻干燥是利用冰的升华原理,在高真空的环境条件下,将食品中冻结的冰直接从固态升华为汽态除去水分,而不破坏物料原有的物

基金项目:广东省科技计划研发与产业化项目(编号:2013B090600138);韶关学院2013年度科研项目(编号:韶科[2013]205号-14,经费编号:433-99000405);2015年度韶关市社会发展领域项目(编号:韶科[2015]72号-17,经费编号:433-99000312)

作者简介:唐辉,女,韶关学院讲师,硕士。

通信作者:郭红辉(1977—),男,韶关学院教授,博士。

E-mail:455424391@qq.com

收稿日期:2017-01-18

理、化学结构,能最大程度保留岗稔花色苷。近年来,专家学者对不同干燥方式果粉的品质进行了研究报道,如王储炎等^[14]研究了不同干燥方式对桑椹果粉物理特性的影响,得出真空冷冻干燥制备的桑椹果粉综合物理性能优,宋宏新等^[15]比较了番茄的喷雾及真空冷冻干燥粉的品质,得出了喷雾番茄粉的最佳工艺。然而,关于不同的干燥方式对岗稔果粉品质影响的比较研究未见报道。因此,本试验拟结合岗稔果特点,采用喷雾干燥法与真空冷冻干燥法制备岗稔果粉,对岗稔果粉的营养保留成分、物理特性、感官评价等品质进行全面、客观地比较,并利用 AHP(层次分析法)对冷冻与喷雾干燥岗稔果粉进行综合感官指标评价,进而分析岗稔果粉各项感官指标与理化性质的相关性,以期在岗稔产品的生产和加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

1.1.1 材料、试剂

岗稔:新鲜,采购于粤北韶关市场;
麦芽糊精(DE 20)、大豆分离蛋白(蛋白质含量 85%):食品级,韶关市创意有限公司;
阿拉伯胶:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;
 β -环状糊精:分析纯,上海展云化工有限公司;
果胶酶:分析纯,美国, Sigma-Aldrich 公司;
CMC-Na:分析纯,天津市福晨化学试剂厂。

1.1.2 仪器

紫外可见光分光光度计:新世纪 T6 型,北京普析通用仪器有限责任公司;
冻干机:SP 型,美国, SP Scientific 公司;
高压均质机:GYB30-6s-型,上海东华高压均质机厂;
超低温冷冻储存箱:MDF-105H118 型,济南奥雪医疗器械有限公司;
高速离心喷雾干燥机:QZP-5 型,江苏省无锡市林洲干燥机器制造厂;
胶体磨:JMS-50 型,廊坊市冠通机械有限公司;
精密色差仪:WR-10 型,深圳市威福光电科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

(1) 真空冷冻岗稔果粉制备工艺流程:
新鲜岗稔果→挑选、清洗,加水、护色剂→胶体磨榨汁→酶解、钝酶→过滤→分装→-4℃保藏备用→冷冻浓缩、解冻→添加助干剂→均质→分装、预冻→真空冷冻干燥→二次磨粉→过筛→岗稔果粉→真空包装→成品
(2) 喷雾干燥岗稔果粉制备工艺流程:
新鲜岗稔果→挑选、清洗,加水、护色剂→胶体磨榨汁→酶解、钝酶→过滤→分装→-4℃保藏备用→冷冻浓缩、解冻→添加助干剂→过滤→高速离心喷雾干燥→岗稔果粉→真空包装→成品

1.2.2 操作要点说明

(1) 挑选、清洗、加水、护色剂:挑选新鲜无腐烂的岗稔果,添加 42%的水,0.05%的柠檬酸调配均匀(以原果重为基

准进行添加)。

(2) 胶体磨榨汁:将调配均匀的岗稔果过胶体磨 2 次,榨汁。

(3) 酶解、钝酶:添加 0.3%果胶酶(以原果重为基准进行添加)、在 45℃条件下、酶解 1.5 h;酶解后,在 80℃水浴中钝酶 15 min。

(4) 助干剂:真空干燥粉助干剂添加为:岗稔果汁中固型物与麦芽糊精的质量比为 1:1,CMC-Na 添加量为 1.2%, β -环糊精 2.5%;喷雾干燥粉助干剂添加为:岗稔果汁中固型物与麦芽糊精的质量比为 4:6,在此基础上再添加助剂 1% β -环糊精。

(5) 真空干燥制粉条件:填料高 10 cm、-40℃条件下预冻 4 h,真空度 10 Pa、升华加热温度 50℃。

(6) 喷雾干燥制粉条件:进风温度 180~200℃,出风温度 85~95℃,离心机转速 12 000 r/min。

1.2.3 营养成分的测定

(1) 可溶性固形物的测定:采用手持式折光仪测定^[16]。
(2) 总糖的测定:按 GB/T 15038—2006 执行。
(3) 还原糖的测定:按 GB/T 5009.7—2008 执行。
(4) 花色苷含量的测定:花色苷的提取参考文献^[17],其含量测定采用 pH 示差法^[18]。
(5) 总酸的测定:按 GB/T 12456—2008 执行。
(6) 水分含量的测定:参考文献^[19]。

1.2.4 粉体物理性质的测定

(1) 色差的测定:参考文献^[20]。
(2) 休止角的测定:参考文献^[14]。
(3) 堆积密度的测定:参考文献^[15]。
(4) 润湿下沉性的测定:参考文献^[14]。
(5) 分散性的测定:参考文献^[14]。
(6) 吸湿性的测定:根据文献^[21],修改如下:精确称取 1.80 g 岗稔果粉放进已经称重的干燥铝盒中,将铝盒放置在盛有饱和氯化钠溶液(环境相对湿度 75.5%)的玻璃干燥器中,放在阴凉处避光保存。每隔 2 h 测一次岗稔果粉的质量,直到两次的质量差少于 0.005 g 为止。吸湿性(HG)计算公式:

$$HG = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

HG——吸湿性,%;

M_1 ——吸湿前的岗稔果粉质量,g;

M_2 ——吸湿后的岗稔果粉质量,g。

1.2.5 感官评定 选择 15 名经过食品专业培训的人员组成评价小组,根据 GB/T 29602—2013,以岗稔果粉的色泽、气味、滋味和质地为感官评定的 4 个指标。将各试验结果 4 项指标的分值相加,即为各试验方案的综合分值,总分为 100。具体评价标准及分值见表 1。

1.2.6 层次分析法(AHP) 感官评价带有一定的主观性,因此,本试验采用 AHP 评价综合感官指标,AHP^[22-23]主要是对各项指标确定一个比较科学的权重,然后采用加权平均的方法确定综合评价值。这种方法使得模糊性、主观性的感

表 1 岗稔果粉的感官评分标准
Table 1 Sensory Score Standards of Rhodomyrtus tomentosa's powder

分值	色泽	气味	滋味	质地
100~80 分	呈现纯正的岗稔深红色，并且体系均一，有光泽感	具有岗稔纯正的果香味，且香味明显	具有岗稔固有的纯正滋味(如岗稔果香味)	粉体细腻，颗粒均匀，不粘结，冲调性能好
80~60 分	有典型岗稔的颜色，光泽感略差	有岗稔的香味，但香味平淡	滋味不纯正或平淡	明显粉体较细腻，颗粒不均一，不粘结，冲调性能良
60~30 分	氧化深褐色或白色粉体出现，无光泽	无味或者微有异味	略有不正常的滋味(微酸或微涩)	粉体细腻感欠佳，颗粒不均匀，有粘结现象，冲调性能一般
<30 分	有异色出现，让人厌恶	有异味，或其它风味	明显的不愉快味道(苦涩味等)	粘结现象严重，粉体发硬，颗粒大小不一，冲调性能差

官评定方法得到量化,且提高了客观性和科学性,能更准确地说明产品的感官质量,从而较好地对产品进行感官品质鉴定。具体方法:

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} \frac{F_1}{F_1} & \frac{F_1}{F_2} & \cdots & \frac{F_1}{F_n} \\ \frac{F_2}{F_1} & \frac{F_2}{F_2} & \cdots & \frac{F_2}{F_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{F_n}{F_1} & \frac{F_n}{F_2} & \cdots & \frac{F_n}{F_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}。$$

(2)

设 $b_{ij}=F_i/F_j$, $b_{ii}=1$, $b_{ij}=1/b_{ji}$, $b_{ij}=b_{ik}/b_{jk}$, 若 F 为未知时,可以根据评价者对物料之间两两对比的关系,主观作出比值的判断,或用 DelpHi 法来确定这一比值。为了使各因素之间两两进行比较得到量化的判断矩阵,根据心理学家的研究,对食品的感官评价引入一个 1~9 的标度,见表 2。

表 2 AHP 1~9 标度比率

Table 2 Scaling ratio of AHP by 1~9

相对重要性	标度值 A_{ij}
绝对重要	9
非常重要	7
比较重要	5
略重要	3
同等重要	1
中间性	2,4,6,8
恰反性	倒数

综合文献资料、国家标准和所评价固体饮料的品种类别,应从 F_1 色泽、 F_2 气味、 F_3 滋味、 F_4 质地 4 个感官指标对岗稔固体饮料进行评价,并对各个感官指标的重要性达成以下共识: F_1 相对 F_2 略重要, F_3 相对 F_1 同等重要, F_1 相对 F_4 略重要, F_3 相对 F_2 略重要, F_4 相对 F_2 略重要, F_3 相对 F_4 略重要。根据表 2 的标度和专家的共识填写矩阵 $\boldsymbol{B}$,利用归一化法计算出 $\boldsymbol{B}$ 的特征向量,将特征向量标准化,即得各感官指标的权重值 $\boldsymbol{W}_i$,计算出其对应的最大特征值 $\lambda_{\max}$,然后再进行一致性检验。步骤如下:

将 $\boldsymbol{B}$ 的每一列归一化: $N_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^n b_{ij}$; 对 N_{ij} 按行求和: $N_i = \sum_{j=1}^n N_{ij}$; 对 N_i 归一化: $\boldsymbol{W}_i = N_i / \sum_{i=1}^n n_i$; 即得到

矩阵特征向量(权重): $\boldsymbol{W} = (\boldsymbol{W}_1, \boldsymbol{W}_2, \boldsymbol{W}_3, \boldsymbol{W}_4)^T$; 矩阵最大

特征值: $\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\boldsymbol{B}\boldsymbol{W})_i}{\boldsymbol{W}_i}$ 。可以得出:

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ 1 & 3 & 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & 3 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \boldsymbol{W}_i = \begin{bmatrix} 0.364\ 8 \\ 0.098\ 8 \\ 0.364\ 8 \\ 0.171\ 6 \end{bmatrix} \rightarrow \lambda_{\max} = 4.158\ 1。$$

$$\text{一致性指标: } C \cdot I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}。$$

随机一致性指标指数 $R \cdot I$: 当矩阵阶数 $n = 4$, $R \cdot I = 0.893\ 1$ 。

一致性比率: $C \cdot R = \frac{\lambda_{\max} - n}{(n - 1) \cdot R \cdot I} = \frac{4.158\ 1 - 4}{(4 - 1) \cdot 0.893\ 1} = 0.059 < 0.10$ ($C \cdot R \leq 0.10$ 时,表示评判合理)。

综合感官指标的计算。根据上面的计算结果,岗稔果粉感官质量指标权重 $\boldsymbol{W}_i$ 分别为:色泽 0.364 8,气味 0.098 8,滋味 0.364 8,质地 0.171 6,一致性检验合格,即评判合理,将各项感官指标得分的平均分分别与 $\boldsymbol{W}_i$ 相乘之后进行总加和,从而得出综合感官指标,选择综合感官指标最佳的岗稔果粉,确定最适宜的干燥工艺。

1.2.7 相关性分析 采用 SPSS 11.0 软件中的 Analyze→Correlate→Bivariate 进行 Pearson 相关性分析,分析岗稔果粉各项感官指标与其理化指标的相关性,充分了解岗稔果粉的各项感官指标与理化指标之间的关系,为改善果粉的品质和加工工艺提供理论依据。

1.2.8 数据分析 采用 SPSS 11.0 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 岗稔果粉营养成分的影响

由表 3 可知,岗稔鲜果在干燥制成果粉后,鲜岗稔果的总糖、还原糖、总酸及花色苷等营养成分以及水分都有较大程度的减少,可能是制粉过程和方式对其营养成分的影响。比较两种不同干燥方式制备的岗稔果粉,可以看出,真空冷冻干燥制得的果粉总糖、还原糖、总酸、花色苷含量都要高于喷雾干燥制得的,有差异性。而喷雾干燥制品含水量为 3.8%,较真空冷冻干燥制品的含水量(5.0%)更低,有差异

性。分析造成上述现象的原因可能是：① 喷雾干燥温度较高,易发生美拉德反应,从而导致还原糖、总糖、总酸和花色苷等营养物质的损失,这与常虹等^[21]用不同干燥方式制备菠萝粉时研究结果一致；② 喷雾干燥是将产品雾化成极小液滴,表面积瞬间增大了许多倍,在干燥介质中,产品与热空气的接触面积也增大许多倍,而雾滴内部水分向外迁移的路径大大缩短,使得液滴迅速汽化,物料瞬间被干燥,另外,产品也无需进行二次粉碎,不易受空气中的水分影响。因此,喷雾干燥岗稔果粉含水量更低,更有利于产品的贮藏。这与宋宏新等^[15]研究结果一致。总之,真空冷冻干燥岗稔果粉的营养成分保留较高,营养较好,喷雾干燥岗稔果粉的水分含量较低,更有利于保藏。

2.2 岗稔果粉物理特性的影响

由表 4 可知,喷雾干燥制备的岗稔果粉色差 a 值(a 值越大,越接近红色,品质越好),明显优于真空冷冻干燥制备的样品。真空冷冻干燥岗稔果粉的流动性(休止角与堆积密度越小,摩擦力越小,流动性越好)与溶解性(润湿下沉时间和分散时间越短,果粉的溶解性越好、越不容易结块)较喷雾干燥岗稔果粉好。喷雾干燥制备的岗稔果粉较真空冷冻干燥岗稔果粉的吸湿性稍高。分析造成喷雾干燥制备的岗稔果粉色差 a 值较大的原因,可能是喷雾干燥岗稔果粉的 pH 值较低的原因引起的(试验中测定出喷雾干燥岗稔果粉的 pH 值偏低,可能是喷雾干燥过程中受高温作用,对果汁非酶褐变反应影响大,当糖类与氨基态化合物反应形成糖胺会导致 pH 值下降^[24])。岗稔果粉的红色主要为其中所含花色苷的颜色,张少敏^[25]曾证实过花色苷的颜色会随溶液 pH 的变化而变化,在强酸性溶液中呈稳定的红色,因此使得喷雾干燥制备的岗稔果粉色

差的 a 值较高。另外,真空冷冻干燥岗稔果粉的流动性与溶解性较喷雾干燥岗稔果粉好,应是由于喷雾干燥将物料雾化,一次制粒而成,因此粉体粒度较小,粉体之间分子引力、静电引力作用增大,粒子间容易吸附、聚集成团,黏结性增大、从而导致休止角增大,流动性变差,溶解性降低。而真空冷冻干燥时物料聚集结块,需二次研磨,颗粒粒度较大,粉体流动性较好。此结果与常虹等^[21]试验结果一致。同时,由于喷雾干燥制备的岗稔果粉含水量较低,与空气接触,吸湿回潮较快,真空干燥制备的岗稔果粉在二次制粒时已经有吸湿回潮的现象,所以后期的吸湿率较喷雾干燥制备的样品低。

2.3 岗稔果粉感官评价的影响

由表 5 可知,真空冷冻干燥岗稔果粉的质地、滋味分值高于喷雾干燥样品,喷雾干燥岗稔果粉的色泽分值明显优于真空冷冻样品。两者的气味分值差别不大。

由于两种样品各项感官指标各有所长,为了更好地对真空冷冻干燥与喷雾干燥岗稔果粉感官品质进行结果判定,依据方法 1.2.6 将各项感官指标平均得分分别与 AHP 法得到的权重 W_i (色泽 0.364 8,气味 0.098 8,滋味 0.364 8,质地 0.171 6)相乘之后得出综合感官指标分。根据表 5 可以看出,喷雾干燥岗稔果粉的综合感官指标值高于真空冷冻干燥制品,但无显著差异。

2.4 果粉相关性分析

通过研究岗稔果粉的营养成分、物理特性以及感官指标,可以看出,营养成分与物理特性稍好的真空冷冻干燥岗稔果粉其综合感官指标分值反而较低,为了进一步了解岗稔果粉的各项感官指标与理化指标之间的关系,本文分析了岗稔果粉各项感官指标与其理化指标的相关性,结果见表 6。

表 3 干燥方式对岗稔果粉的营养成分的影响[†]

Table 3 Effect of different drying methods on nutrient content of Rhodomyrtus tomentosa's powder

样品	总糖/ (mg·g ⁻¹)	还原糖/ (mg·g ⁻¹)	总酸/ (g·g ⁻¹)	水分含量/%	花色苷含量/ (mg·g ⁻¹)
真空冷冻干燥	17.67±0.65 ^b	8.28±0.09 ^b	0.18±0.01 ^b	5.00±0.5 ^b	6.09±0.03 ^b
喷雾干燥	13.85±0.60 ^c	6.24±0.10 ^c	0.14±0.01 ^c	3.80±0.5 ^c	5.67±0.02 ^c
鲜果	40.57±0.89 ^a	30.94±0.12 ^a	0.25±0.01 ^a	73.67±0.5 ^a	18.99±0.04 ^a

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 4 干燥方式对岗稔果粉的物理特性的影响[†]

Table 4 Effect of different drying methods on physical properties of Rhodomyrtus tomentosa's powder

样品	色差(a 值)	休止角/(°)	堆积密度/ (g·mL ⁻¹)	润湿下 沉性/s	分散性/s	吸湿性/%
真空冷冻干燥	7.63±0.54 ^b	46.18±1.12 ^b	1.50±0.04 ^b	170.53±5.09 ^b	98.17±3.78 ^b	7.86±0.65 ^a
喷雾干燥	15.22±0.50 ^a	52.63±1.15 ^a	1.79±0.03 ^a	236.72±5.20 ^a	145.96±4.50 ^a	8.98±0.56 ^a

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 5 干燥方式对岗稔果粉的感官评分的影响[†]

Table 5 Effect of different drying methods on sensory evaluation of Rhodomyrtus tomentosa's powder

样品	色泽	气味	滋味	质地	综合评分
真空冷冻干燥	78.55±0.66 ^b	80.38±0.73 ^a	82.65±0.71 ^a	84.89±0.69 ^a	81.31±0.01 ^a
喷雾干燥	85.37±0.72 ^a	80.56±0.79 ^a	80.42±0.70 ^a	80.21±0.65 ^b	82.20±0.02 ^a

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 6 岗稔果粉理化指标与感官指标的皮尔逊相关系数[†]
Table 6 Pearson Correlation among physicochemical properties and Sensory Evaluation index of Rhodomyrtus tomentosa's powder

指标	色泽	气味	滋味	质地
总糖	−0.674	0.379	0.869 *	−0.578
还原糖	−0.747	0.309	0.890 *	−0.415
总酸	0.544	0.778	−0.817 *	−0.590
水分含量	−0.709	0.773	−0.619	−0.842 *
花色苷含量	0.866 *	0.701	0.615	0.736
色差 <i>a</i> 值	0.987 * *	0.768	0.792	−0.070
休止角	0.409	0.286	0.117	−0.863 *
堆积密度	−0.458	−0.281	−0.214	−0.841 *
润湿下沉性	0.040	0.060	0.101	0.901 * *
分散性	0.050	0.040	0.090	0.913 * *
吸湿性	−0.298	−0.481	−0.414	−0.812 *

[†] 表中为 Pearson 相关系数/相关概率的显著水平 (Pearson Correlation Coefficients/Prob>|R|),标注 * 表示两者显著相关, * * 表示两者极显著相关。

由表 6 可知,岗稔果粉的色泽、滋味、质地与其理化指标之间存在一定的相关性。岗稔果粉的色泽与其花色苷含量、色差 *a* 值呈显著相关,岗稔果粉的滋味与其总糖含量、还原糖含量、总酸含量呈显著相关,岗稔果粉的质地与其水分含量、休止角、堆积密度、吸湿性、润湿下沉性、分散性呈显著相关,岗稔果粉的气味与试验中测定的理化指标没有显著性相关性,有待进一步研究与分析。

3 结论

该试验对两种不同干燥方式干燥的岗稔果粉营养成分、物理特性、感官评价进行了比较研究,且进一步对岗稔果粉各项感官指标与理化性质进行相关性分析,结果表明:

(1) 真空冷冻干燥制得的果粉的总糖、还原糖、总酸、花色苷含量以及流动性与溶解性都要优于喷雾干燥制得的;但喷雾干燥制得的样品含水量更低,色泽较好,综合感官指标值(82.20 分)高于真空冷冻干燥制品(81.31 分);岗稔果粉的色泽与其花色苷含量、色差 *a* 值呈显著相关;岗稔果粉的滋味与其总糖含量、还原糖含量、总酸含量呈显著相关;岗稔果粉的质地与其休止角、堆积密度、润湿下沉性、分散性、吸湿性呈显著相关。

(2) 真空冷冻干燥对岗稔果粉营养成分保留较好,适合于高附加值的功能或医用食品的制作。喷雾干燥制品的综合感官指标较好,并且喷雾干燥在制备果粉时因效率高,成本低,在工业化生产中占有非常明显的优势。

从试验结果看出,岗稔果粉的总糖、还原糖、总酸及花色苷等营养成分与鲜岗稔果相比,都有较大程度的减少,今后可进一步研究岗稔全果粉的加工技术,既做到全面保留鲜岗稔的营养成分,又增加保质期,以拓宽岗稔产品的领域与范围,为粤北特色果蔬产品深加工提供理论依据与技术支持。

参考文献

[1] 中国科学院华南植物研究所. 广东植物志: 第三卷[M].广州: 广

东科技出版社, 1998: 161-197.
[2] 郑联合, 王涛. 桃金娘汁的研制[J]. 食品科学, 1998(5): 61-62.
[3] JAAKOLA L. New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits[J]. Trends Plant Science, 2013, 18(9): 477-483.
[4] 靳桂敏, 钟瑞敏, 林朝朋. 岗稔黄酮苷提取工艺研究[J]. 现代食品科技, 2007, 23(3): 42-44.
[5] 靳桂敏, 朱建华, 钟瑞敏, 等. 岗稔果酒发酵过程中黄酮苷稳定性研究[J]. 酿酒, 2006, 33(4): 82-85.
[6] 詹耀才, 钟细娥, 靳桂敏. 岗稔果酒发酵工艺的研究[J]. 现代食品科技, 2008, 24(1): 39-41.
[7] 刘永吉, 钟瑞敏, 郭红辉, 等. 岗稔果制备高花色苷含量的真空浓缩果汁工艺探索[J]. 广东农业科学, 2014(18): 74-78.
[8] 刘国凌, 邝婷姗, 郭红辉, 等. 复合酶法制备澄清岗稔汁工艺优化[J]. 广东农业科学, 2014(24): 88-90.
[9] 赵广河, 张名位, 张瑞芬, 等. 气流超微粉碎对桃金娘果粉物理化学性质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 17-21.
[10] 孟阳, 刘峰娟, 王玉红. 热风干燥温度对无核白葡萄干品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 204-207.
[11] 廖小军. 果蔬加工技术四大趋势[J]. 江西食品工业, 2002(1): 46-47.
[12] 宋凯, 徐仰丽, 郭远明, 等. 真空冷冻干燥技术在食品加工应用中的关键问题[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 232-235.
[13] 肖彦达, 李加兴, 肖秀凤, 等. 八月瓜果粉喷雾干燥工艺优化及溶解特性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(5): 246-249.
[14] 王储炎, 阎晓明, 任子旭, 等. 不同干燥方式对桑椹果粉物理特性的影响[J]. 蚕业科学, 2013, 39(2): 340-345.
[15] 宋宏新, 李宏, 刘晓阳. 番茄喷雾干燥及真空冷冻干燥制粉工艺研究[J]. 食品科学, 2007, 28(5): 100-103.
[16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
[17] 刘国凌, 郭红辉, 尚彬. 岗稔果皮花色苷体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业, 2014, 35(1): 203-206.
[18] LIU Guo-ling, SUN Yang-ming, GUO Hong-hui. Thermal degradation of anthocyanins and its impact on in vitro antioxidant capacity of downy rose-myrtle juice [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2013, 11(1): 110-114.
[19] 石东里. 枣品种果实干物质和含水量的测定与比较[J]. 畜牧与饲料科学, 2009, 30(1): 17-18.
[20] KIM S H, CHOI Y J, LEE H, et al. Physicochemical properties of jujube powder from air, vacuum, and freeze drying and their correlations[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2): 271-279.
[21] 常虹, 李远志, 张慧敏. 不同干燥方式制备菠萝粉的效果比较[J]. 农产品加工: 学刊, 2009(3): 135-137.
[22] 张颖, 但晓容, 卢晓黎. 板栗浆制备工艺参数对感官质量的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(1): 255-258.
[23] 胡宝清. 模糊理论基础[M]. 2 版. 武汉: 武汉大学出版社, 2010: 10-30.
[24] 许勇泉, 尹军峰, 袁海波, 等. 果蔬加工中褐变研究进展[J]. 保鲜与加工, 2007, 7(3): 11-14.
[25] 张少敏. 桃金娘果实色素的提取、纯化、性质研究及组分分离与结构鉴定[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 22-23.