

不同干燥工艺制备板栗全粉的理化特性和风味比较

施建斌¹, 隋勇¹, 蔡沙¹, 何建军¹, 熊添¹, 范传会¹, 陈学玲¹, 家志文¹, 王少华¹, 蔡芳¹, 蒋修军², 梅新^{1*}

(1. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

(2. 湖北金银丰食品有限公司, 湖北随州 441300)

摘要: 对比分析了几种干燥工艺制备的板栗全粉理化特性和风味。结果表明: 所得板栗全粉中含灰分 0.28%~0.35%、淀粉 45.11%~5.07%、蛋白 4.74%~5.51%、脂肪 1.61%~2.68%; 通过冷冻干燥和 Vc 护色处理后低温干燥的板栗全粉 L 值分别为 87.29 和 87.55, 与其他干燥工艺之间存在显著性差异 ($p < 0.05$); 板栗全粉色差 ΔE 范围为 0.06~1.89, 在可接受范围内; 通过高温干燥工艺制得的三个板栗全粉糊化度为 86.06%~91.57%; 自然干燥和低温热风干燥制备的板栗全粉糊化度较低, 分别为 34.04% 和 33.76%; 真空冷冻干燥所得板栗全粉持水性和吸油能力最高, 分别为 3.56 g/g 和 1.63 g/g, 且与其它样品之间存在显著性差异 ($p < 0.05$); 板栗全粉风味物质主要来源于氮氧化物、甲烷、硫化物和乙醇等成分。研究表明不同干燥工艺对板栗全粉物化特性和香味具有显著性影响。研究结果也将为板栗精深加工、产品开发 and 副产物综合利用提供了重要理论基础。

关键词: 板栗全粉; 干燥工艺; 理化特性; 风味

文章篇号: 1673-9078(2022)05-81-86

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.5.0716

Comparison of the Physicochemical Properties and Flavors of Whole Chestnut Powder Produced by Different Drying Processes

SHI Jianbin¹, SUI Yong¹, CAI Sha¹, HE Jianjun¹, XIONG Tian¹, FAN Chuanhui¹, CHEN Xueling¹, JIA Zhiwen¹, WANG Shaohua¹, CAI Fang¹, JIANG Xiujun², MEI Xin^{1*}

(1. Institute of Agro-Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China) (2. Hubei Jinyinfeng Food Co. Ltd., Suizhou 441300, China)

Abstract: The physicochemical properties and flavors of the whole chestnut powder prepared by different drying processes were compared and analyzed. Results showed that ash, starch, protein and fat contents of the obtained whole chestnut powder were 0.28%~0.35%, 45.11%~5.07%, 4.74%~5.51% and 1.61%~2.68% respectively. The L values of the whole chestnut powders dried by freeze drying and low temperature drying followed by Vc-initiated color protection treatment were 87.29 and 87.55, respectively, which were significantly different from those for the other drying processes ($p < 0.05$). The ΔE values of the whole chestnut powders were in the range of 0.06~1.89, which were within the acceptable range. Three chestnut powders prepared by the high-temperature drying process had gelatinization degrees of 86.06%~91.57%. The gelatinization degrees of the whole chestnut powders prepared by natural drying and low-temperature hot air drying were lower (34.04% and 33.76%, respectively). The water-holding capacity and oil-absorbing capacity of the whole chestnut powder prepared by vacuum freeze-drying were the highest (3.56 g/g and 1.63 g/g, respectively, which were significantly different from other samples; $p < 0.05$). The flavor substances of the whole chestnut powder mainly came from nitrogen oxides, methane, sulfur compounds and ethanol. This study showed that the different drying processes could affect significantly the physicochemical properties and flavors of the whole chestnut powders. This study also provides an important theoretical basis for the intensive processing of chestnut, product development, comprehensive utilization of by-products.

引文格式:

施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 不同干燥工艺制备板栗全粉的理化特性和风味比较[J]. 现代食品科技, 2022, 38(5): 81-86, +198

SHI Jianbin, SUI Yong, CAI Sha, et al. Comparison of the physicochemical properties and flavors of whole chestnut powder produced by different drying processes [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(5): 81-86, +198

收稿日期: 2021-07-09

基金项目: 湖北省重点研发计划项目 (2020BBB064)

作者简介: 施建斌 (1984-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 粮食及副产物加工利用, E-mail: shijianbin1022@126.com

通讯作者: 梅新 (1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 粮食及副产物加工利用, E-mail: 112076404@qq.com

Key words: whole chestnut powder; drying methods; physicochemical property; flavor

板栗属壳斗科植物,是一种重要可食性干果,具有很高的经济价值。板栗起源于我国且有超过 3000 年的种植历史,在我国 20 多个省市自治区都有种植,板栗种植和深加工产业的发展,在我国精准脱贫和乡村振兴战略的实施过程中作用巨大。板栗仁是板栗可食部,具有很高的营养价值,主要由淀粉组成,除此之外还含有脂肪、蛋白、游离糖、膳食纤维、维生素、矿物质和多酚类物质,能量与营养成分和大米、小麦、马铃薯等主食接近^[1,2]。

板栗是一种具有很高季节性的坚果,消费方式以鲜食为主;此外其也可以通过烤、炒、煮和油炸等方式进行加工。炒板栗是我国人民食用板栗的主要方式;在东南亚国家板栗仁主要通过热水漂烫和包装实现其能够长时间的保存^[3]。热处理是一种成本低、安全的加工方式,但是通过热处理后,板栗仁的营养、口感都会受到极大影响。而通过冷冻、速冻技术可以实现板栗全年供应,同时板栗仁的色泽、营养、口感能最大限度的保持;但是在加工中有 20%~30%的板栗仁因破损、虫蛀而不能成为商品板栗仁,这些板栗仁通过进一步挑选、加工制成板栗全粉、糕点馅料等产品。

板栗全粉含水量低、耐储存、易运输、用途广,是板栗加工残次品的重要利用途径。板栗干燥方法影响板栗加工特性,决定了板栗全粉的用途,对后续产品的开发具有很大影响。徐英菊^[4]研究发现鼓风干燥、真空干燥和冷冻干燥对板栗全粉持水力、溶解度、冻融稳定性有极大影响,冷冻干燥所得板栗全粉冷、热稳定性都较好。还有研究表明微波处理可以改变板栗全粉淀粉的热力学特性、降低溶解度和膨胀力,冻稳定性增强,碘蓝值、凝沉性和抗性淀粉含量增加^[5]。在研究中也发现将板栗全粉添加到面包中,面包抗氧化能力和挥发性香味物质随板栗全粉添加量增加而显著提高^[6],但是过多的添加也会造成面包发生褐变,发酵体积变小,易老化^[7]。板栗全粉的添加能增加混合粉的吸水率,随着全粉添加量的增加意面的冻结水减少、蒸煮损失率增加。因此研究不同干燥工艺对板栗全粉理化特性影响具有重要的意义。

本文采用板栗加工企业加工剩余的板栗丁为原料,通过不同干燥工艺制备成为板栗全粉,研究不同干燥工艺对板栗全粉基本组成、色差、糊化度、多酚、黄酮含量、持水性、吸油能力、风味物影响,为板栗精深加工、产品开发和副产物的综合利用提供重要理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料

板栗仁原料由湖北宏福食品有限公司提供,为企业板栗加工后的残次品,于-18℃冷库储藏。实验中所用全部化学试剂均为分析纯。

1.2 主要设备

UV-2800 紫外分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;FW-100 万能粉碎机,天津泰斯特仪器有限公司;半自动凯氏定氮仪、CS-600C 型分光测色仪,杭州彩谱科技有限公司;PEN3 型电子鼻,德国 AirSense;其他设备为试验室常规设备。

1.3 试验方法

1.3.1 板栗全粉制备

自然干燥工艺:冷冻板栗仁自然晾晒至水分 14% 以下,样品记为自然干燥;

真空冷冻干燥工艺:冷冻板栗仁真空冷冻干燥至水分 14% 以下,样品记为冷冻干燥;

低温热风干燥工艺:冷冻板栗仁放入 60℃ 烘箱干燥至水分 14% 以下,样品记为低温热风;

高温热风干燥工艺:冷冻板栗仁放入 105℃ 烘箱干燥至水分 14% 以下,样品记为高温热风;

微波低温干燥工艺:冷冻板栗仁于 200 W 微波下处理 20 min,于 60℃ 烘箱干燥至水分 14% 以下,样品记为微波+低温;

微波高温干燥工艺:冷冻板栗仁于 200 W 微波下处理 20 min,于 105℃ 烘箱干燥至水分 14% 以下,样品记为微波+高温;

Vc 护色后低温干燥工艺:常温解冻后的板栗仁放入温度为 60℃、浓度 0.5% 柠檬酸溶液护色 20 min,于 60℃ 烘箱干燥至水分 14% 以下,样品记为 Vc+低温;

Vc 护色后高温干燥工艺:常温解冻后的板栗仁放入温度为 60℃、浓度 0.5% 柠檬酸溶液护色 20 min,于 105℃ 烘箱干燥至水分 14% 以下,样品记为 Vc+高温。

通过上述工艺干燥所得板栗仁,粉碎后果 100 目筛后备用。

1.3.2 板栗全粉基本成分测定

板栗全粉灰分、粗蛋白、淀粉、脂肪含量分别参照 GB 5009.4-2016、GB 5009.5-2016、GB 5009.9-2016 和 GB 5009.6-2016 相关方法进行测定。

1.3.3 板栗全粉色泽分析

利用色差计测定板栗全粉的亮度值(L)、红绿值(a)和黄蓝值(b),将低温真空冷冻干燥样品作为参比,通过下列公式计算色差大小(ΔE)。

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

式中:

ΔL ——测定样品和参比亮度值差值;

Δa ——测定样品和参比红绿值;

Δb ——测定样品和参比黄蓝值差值。

1.3.4 板栗全粉糊化度测定

糊化度的测定参照熊易强^[8]的方法并做少许改动。糊化度计算公式如下:

$$\text{糊化度}/\% = \frac{\text{测定样品吸光度}-\text{空白吸光度}}{\text{全糊化样品吸光度}-\text{空白吸光度}} \times 100\%$$

1.3.5 板栗全粉黄酮、多酚含量测定

黄酮、多酚含量分别采用硝酸铝/亚硝酸钠、福林酚显色法测定,吸光度对标准物浓度曲线分别为 $Y=0.1069X+0.0019$ ($R^2=0.994$)、 $Y=9.1006X-0.1252$ ($R^2=0.998$)。

1.3.6 板栗全粉持水性

取一定量样品(g),记为 W_1 ,按 1:10 (m/V) 比例加入蒸馏水,室温下搅拌均匀 30 min, 2500 r/min 离心 20 min,弃上清液,沉淀称重记为 W_2 (g),持水性(water holding capacity, WHC) 计算公式如下:

$$WHC(g/g) = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

1.3.7 板栗全粉吸油能力

取一定量样品(g),记为 W_1 ,按 1:10 (m/V) 比例加入食用油,充分混匀,室温下放置 1 h, 1500 r/min 离心 20 min,弃上层油,沉淀用滤纸吸去游离食用油,残渣称重记为 W_2 ,吸油能力(oil absorption capacity, OAC) 计算公式如下:

$$OAC(g/g) = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

1.3.8 板栗全粉风味测定

采用电子鼻对不同干燥工艺所得板栗全粉进行风味测定。测定方法如下:取 5 g 板栗全粉于 15 mL 的样品瓶中,加入 6 mL 20% NaCl 溶液,于 60 °C 水中萃取 40 min,平行测定 3 次;样品进样流量为 300 mL/min,测定时间为 150 s,清洗时间为 120 s。

1.3.9 数据处理

所有试验至少重复 3 次,结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示,用 SPSS 通过一元方差分析(One-Way ANOVA)进行多个组间平均数的比较,如果组间存在显著性差异($p < 0.05$),

则采用 Duncan 检验进行组间多重比较。采用 origin 2018 对所得数据进行作图处理。

2 结果与讨论

2.1 板栗全粉基本组成

通过不同干燥工艺制得的板栗全粉基本成分见表 1。从表中能看出来,自然干燥的灰分最大为 0.35%,与冷冻干燥之间没有显著性差异($p > 0.05$);自然干燥和冷冻干燥所与其他干燥工艺所得板栗全粉灰分之间存在显著性差异($p < 0.05$)。高温热风干燥的板栗全粉淀粉含量最大为 56.07%,与自然干燥、低温干燥、Vc+低温、Vc+高温干燥不存在差异显著性($p > 0.05$);在微波+高温干燥工艺中蛋白含量最大为 5.51%,与冷冻干燥、低温热风干燥、高温干燥、微波低温干燥之间不存在差异显著性($p > 0.05$)。在所有板栗全粉样品中,冷冻干燥所得样品脂肪含量最高,自然干燥次之,分别为 2.68%和 2.30%,与其他所有样品灰分之间存在着差异显著性($p < 0.05$)。板栗在不同干燥工艺中由于高温、高湿度和长时间的影响会导致淀粉转变为其他物质,具体表现在淀粉含量降低、可溶性糖增加、pH 值减小等^[9]。丁媛媛等^[10]认为其可能与干燥温度和淀粉酶酶活有关。

表 1 不同干燥工艺所得板栗全粉基本组成

Table 1 Main component of chestnut powder dried by different

项目	methods			
	灰分/%	淀粉/%	蛋白/%	脂肪/%
自然干燥	0.35±0.02 ^a	50.52±1.07 ^{abcd}	4.74±0.55 ^c	2.30±0.26 ^b
冷冻干燥	0.33±0.01 ^{ab}	45.11±1.79 ^d	5.14±0.04 ^{abc}	2.68±0.20 ^a
低温热风	0.32±0.01 ^{bc}	51.92±3.27 ^{abc}	5.23±0.20 ^{ab}	1.82±0.15 ^{cd}
高温热风	0.33±0.01 ^b	56.07±0.98 ^a	5.09±0.17 ^{abc}	1.90±0.11 ^c
微波+低温	0.28±0.01 ^e	48.52±2.18 ^{bcd}	5.15±0.12 ^{abc}	1.65±0.12 ^{cd}
微波+高温	0.29±0.00 ^{de}	46.51±1.22 ^{cd}	5.51±0.17 ^a	1.85±0.07 ^{cd}
Vc+低温	0.30±0.02 ^{cd}	53.53±5.13 ^{ab}	4.93±0.07 ^{bc}	1.61±0.08 ^d
Vc+高温	0.28±0.00 ^{de}	54.90±6.66 ^{ab}	5.00±0.19 ^{bc}	1.76±0.05 ^{cd}

注:同列不同小写字母表示存在 0.05 水平差异显著。

2.2 不同干燥工艺对板栗全粉色泽的影响

不同干燥工艺对板栗全粉色泽的影响见表 2。从表中能看出来,冷冻干燥板栗全粉白度 L 值为 87.29,而通过 Vc 护色处理后低温干燥的板栗全粉 L 值为 87.55,这两样品 L 值之间不存在显著性差异($p > 0.05$),而与其干燥方法所得板栗全粉 L 值之间存在显著性差异($p < 0.05$)。不同干燥工艺制备板栗全粉颜色差别用色差值 ΔE 表示,高温热风干燥、微波+低温干燥和微波+

高温干燥处理所得板栗全粉 ΔE 较高且之间无显著性差异 ($p>0.05$), 大小分别为 1.74、1.89 和 1.88; Vc+低温处理所得板栗全粉 ΔE 最小为 0.66, 与其他样品之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。一般认为当 ΔE 大于 3.0 后才能感觉到显著差异, 1.5~3.0 能感到差异, 而 0.5~1.5 稍有差异^[11]。从表中数据能看出, 高温热风干燥和微波预处理的板栗全粉 ΔE 较大; 通过 Vc 护色处理干燥后板栗全粉 ΔE 降低, 说明护色能降低板栗全粉色差。板栗在干燥过程会发生酶促褐变和非酶褐变使其颜色发生变化, 本研究所用原料在加工过程中通过漂烫进行灭酶处理, 因此褐变主要由美拉德反应、焦糖化现象及抗坏血酸褐变造成^[12]。与前人数据相比, 本研究所得板栗全粉具有更高的 L 值和较低 ΔE ^[13], 说明通过这几种方法制备的板栗全粉色泽在可接受范围内。

表 2 不同干燥工艺对板栗全粉色泽的影响

项目	L	a	b	ΔE
自然干燥	86.00±0.12 ^{cd}	0.71±0.00 ^a	14.88±0.03 ^c	1.37±0.11 ^b
冷冻干燥	87.29±0.10 ^a	0.25±0.01 ^f	16.30±0.04 ^b	0
低温热风	86.39±0.24 ^b	0.25±0.01 ^f	14.87±0.05 ^c	0.90±0.24 ^c
高温热风	85.77±0.38 ^d	0.63±0.02 ^b	15.64±0.08 ^c	1.74±0.33 ^a
微波+低温	86.29±0.34 ^{bc}	0.38±0.01 ^d	16.47±0.08 ^a	1.89±0.14 ^a
微波+高温	85.43±0.26 ^e	0.45±0.01 ^c	15.07±0.07 ^d	1.88±0.25 ^a
Vc+低温	87.55±0.12 ^a	0.27±0.01 ^e	14.30±0.03 ^f	0.66±0.02 ^d
Vc+高温	86.26±0.09 ^{bc}	0.46±0.01 ^c	14.17±0.03 ^e	1.28±0.09 ^b

注: 同列不同小写字母表示存在 0.05 水平差异显著。

2.3 不同干燥工艺对板栗全粉糊化度的影响

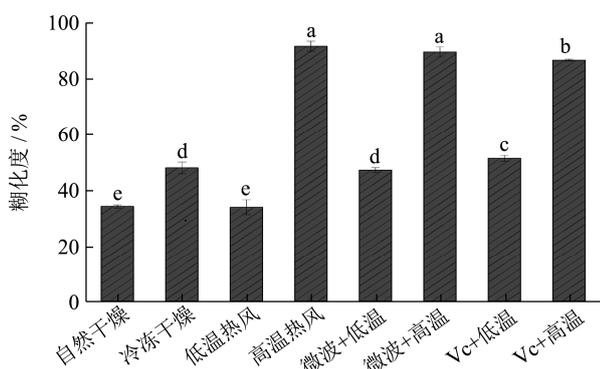


图 1 不同干燥工艺对板栗全粉糊化度的影响

Fig.1 Effect of drying methods on gelatinization degree of chestnut powder

不同干燥工艺对板栗全粉糊化度的影响见图 1。从图中能看出来通过自然干燥和低温热风干燥制备的板栗全粉糊化度分别为 34.04% 和 33.76% 且不存在显著性差异 ($p>0.05$), 说明低温不会造成板栗的糊化。通过冷冻干燥、微波+低温和 Vc+低温处理后所得板栗全粉

糊化度分别为 47.75%、47.00% 和 51.16%, 而通过高温干燥工艺 (高温热风、微波+高温、Vc+高温) 所制得板栗全粉糊化度较高 (86.61%~91.57%), 说明高温干燥会显著 ($p<0.05$) 提升板栗全粉的糊化度。生板栗糊化度非常低^[14], 在板栗加工中采用漂烫的方式对板栗进行灭酶处理, 必然会导致板栗淀粉部分发生糊化; 板栗含水量较高, 通过高温干燥使淀粉进一步的糊化, 板栗全粉糊化度进一步提高。糊化度的大小对板栗全粉在后续食品制备过程中有极大影响。研究表明, 生板栗全粉能够降低板栗-小麦面团的形成时间、稳定时间、吸水率和粉质指数逐渐降低, 弱化度逐渐增加, 黏度、衰减逐渐降低; 而糊化后的板栗全粉则提升面团吸水率, 降低弱化度、会升值、糊化特性、增加面团的稳定性; 从面团剖面图上表现出生板栗全粉主要降低了吸水率、混合和面筋指数; 而添加糊化后的板栗全粉提高吸水率和面筋指数^[14,15]。

2.4 板栗全粉总黄酮、总酚含量

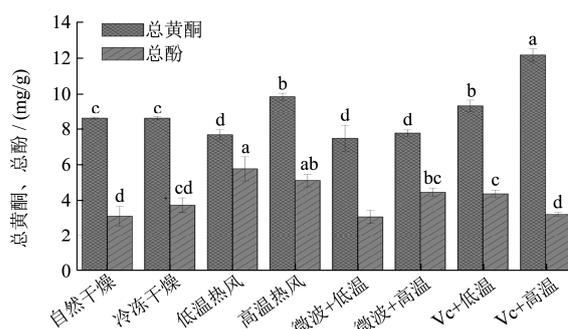


图 2 不同干燥工艺对板栗全粉总黄酮、总酚含量

Fig.2 Content of total flavones and total phenols in chestnut powders dried different methods

不同干燥工艺所得板栗全粉总黄酮和多酚含量见图 2。从图 2 能看出来, Vc+高温干燥的板栗全粉黄酮含量最高为 12.11 mg/g, 与其它处理板栗全粉中总黄酮含量相比存在显著性差异 ($p<0.05$); 通过低温热风、微波+低温、微波+高温干燥所得板栗全粉总黄酮含量较低且之间不存在显著性差异 ($p>0.05$), 含量分别为 7.63、7.42 和 7.72 mg/g。通过低温热风和高温热风干燥所得板栗全粉酚含量较高分别为 5.72 和 5.07 mg/g, 两种中干燥工艺所得板栗全粉总酚之间不存在显著差异性。板栗加工、干燥当中一些功能性的物质会受温度和氧化作用而损失, 温度越高、干燥时间越长会加速功能性物质的分解^[16]。周葵等^[13]在研究生板栗加工特性中发现真空冷冻干燥板栗全粉多酚和 Vc 含量显著高于自然干燥、鼓风干燥和热泵干燥, 其主要因为 Vc、多酚发生不同程度的美拉德反应导致 Vc、多酚

含量降低。本研究所选板栗为加工厂所剩板栗残次品，板栗经过漂烫处理后，不同处理方式、干燥温度和干燥时间都会对板栗总黄酮、总酚含量有显著影响，具体影响规律还需详细研究。

2.5 板栗全粉的持水性、吸油能力

不同干燥工艺制备的板栗全粉持水性、吸油能力见图3。从图3能看出来，真空冷冻干燥板栗全粉持水性最大为3.56 g/g，与其它样品持水性之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)；直接高温热风干燥板栗全粉持水性最小为2.83 g/g，与Vc+高温干燥所得板栗全粉持水性之间无显著性差异 ($p > 0.05$)，与其它样品持水性之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。持水性主要与蛋白质分子表面亲脂亲水基团的性质、蛋白质分子物理截留作用以及淀粉的含量与性质等有关，除真空冷冻干燥外，其他干燥工艺温度高，可能使蛋白质发生变性以及淀粉发生了糊化，降低持水性^[16]。真空冷冻干燥板栗全粉吸油能力最大为1.63 g/g，与其它样品持水性之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)，其余几种板栗全粉吸油能力在0.63~0.90 g/g之间。冷冻干燥制备的板栗全粉空隙较多，利于油脂吸附；此外，淀粉糊化使得淀粉颗粒变得更加紧密、蛋白质结构变性，不利于油的侵入，降低吸油能力^[17]。

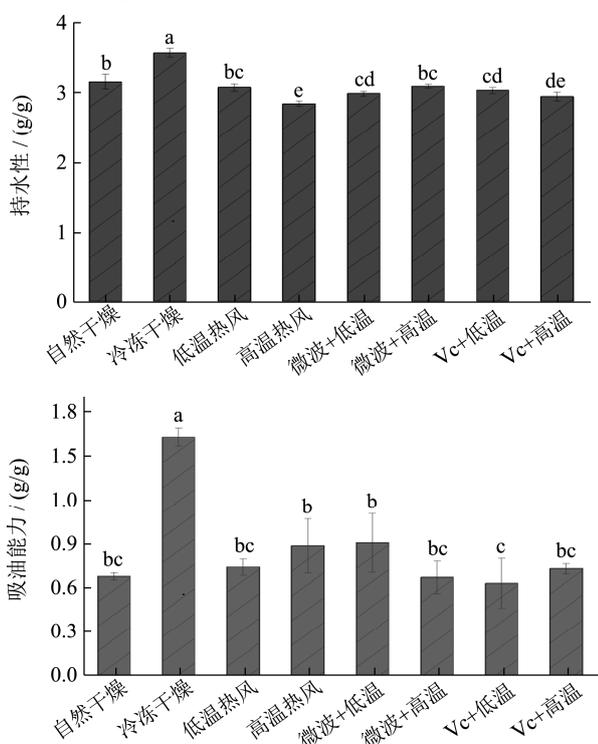


图3 不同干燥工艺对板栗全粉持水性、吸油能力的影响

Fig.3 Effect of drying methods on water holding capacity and oil absorption capacity of chestnut powder

2.6 不同干燥工艺对板栗全粉风味的影响

不同干燥工艺制得板栗全粉电子鼻雷达图见图4。从图4能看出来，S2、S6、S7、S8和S9这5个传感器响应值较高，结合仪器传感器性能描述说明板栗全粉的风味物质主要来源于氮氧化物、甲烷、硫化物和乙醇等成分^[18]，不同干燥工艺制得板栗全粉在S2、S6、S7、S8和S9这5个传感器响应值存在显著性差异 ($p < 0.05$)，而在S1、S3、S4、S5和S10传感器响应值不存在显著性差异 ($p > 0.05$)。电子鼻的PCA分析见图5，从图中能看出来PC1贡献率为88.40%，PC2贡献率为10.04%，总贡献率为98.44%，说明PCA可用于分区不同干燥工艺所得板栗全粉挥发性物质。虽然高温热风、微波+低温和微波+高温干燥工艺制备的板栗全粉气味呈一定聚类现象，但是其他干燥工艺得到的板栗全粉挥发性物质区分较明显，且不同含量均在各自区域，不发生重叠，具有一定的研究价值。

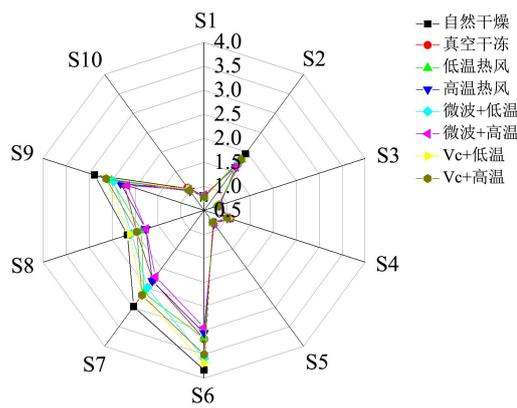


图4 不同干燥工艺制得板栗全粉电子鼻雷达图

Fig.4 Radar image of electronic nose of chestnut powder drying by different methods

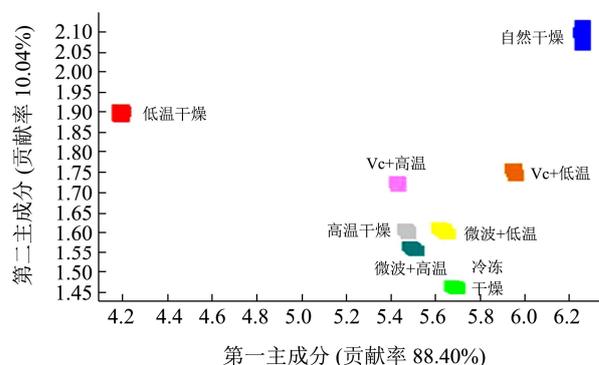


图5 不同干燥工艺制得板栗全粉电子鼻PCA分析

Fig.5 PCA of electronic nose of chestnut powder drying by different methods

3 结论

不同方式干燥工艺对板栗全粉基本组成、色差、糊化度、持水性、吸油能力和风味有显著影响。不同干燥工艺所得板栗全粉灰分 0.28%~0.35%，淀粉 45.11%~5.07%，蛋白 4.74%~5.51%，脂肪 1.61%~2.68%；通过冷冻干燥和 Vc 护色处理后低温干燥的板栗全粉 L 值分别为 87.29 和 87.55，与其他干燥工艺之间存在显著性差异 ($p<0.05$)；板栗全粉色差 ΔE 范围为 0.06~1.89，在可接受范围内；通过高温干燥工艺制得的三个板栗全粉糊化度为 86.06%~91.57%；自然干燥和低温热风干燥制备的板栗全粉糊化度较低，分别为 34.04% 和 33.76%；真空冷冻干燥所得板栗全粉持水性和吸油能力最高，分别为 3.56 g/g 和 1.63 g/g，且与其它样品之间存在显著性差异 ($p<0.05$)；板栗全粉风味物质主要来源于氮氧化物、甲烷、硫化物和乙醇等成分。

参考文献

- [1] Lopes Bruna-De-Mônaco, Demiate Ivo-Mottin, Ito Vivian-Cristina, et al. Effects of partial *in vitro* digestion on properties of European chestnut (*Castanea sativa* Mill) flour [J]. *Thermochimica Acta*, 2016, 640: 36-41
- [2] 陈帅.花桥板栗水分吸附特性及其淀粉-水分子多相体系研究[D].长沙:中南林业科技大学,2018
CHEN Shuai. Resarch on water adsorption characteristics and starch-water molecular heterogenous system of Huaqiao chestnut [D]. Changsha: Central South University Forestry & Technology, 2018
- [3] KAN Lina, LI Qian, XIE Shuangshuang, et al. Effect of thermal processing on the physicochemical properties of chestnut starch and textural profile of chestnut kernel [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 151: 614-623
- [4] 徐英菊.超微粉碎对锥栗全粉理化性质和加工特性的影响研究[D].福州:福建农林大学,2013
XU Yingju. The influence study of superfine grinding on the physicochemical and processing properties of *Castanea henryi* powder [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2013
- [5] 兰冬梅.微波对锥栗全粉理化性质的影响及即食锥栗的研制[D].福州:福建农林大学,2016
LAN Dongmei. Effect of microwave irradiation on the physicochemical properties of *Castanea henryi* powder and the development on instant *Castanea henryi* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016
- [6] Dall'Asta Chiara, Cirlini Martina, Morini Elisa, et al. Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and volatiles in bread making [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, 53(1): 233-239
- [7] Paciulli Maria, Rinaldi Massimiliano, Cirlini Martina, et al. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study [J]. *LWT*, 2016, 70: 88-95
- [8] 熊易强.饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定[J].饲料工业,2000, 3:30-31
XIONG Yiqiang. Determination of gelatinization degree (ripening degree) of feed starch [J]. *Feed Industry*, 2000, 3: 30-31
- [9] 叶兴乾,刘东红,张贵平,等.不同干燥方法对栗粉的理化性质与功能特性的影响[J].农业工程学报,2001,4:95-98
YE Xingqian, LIU Donghong, ZHANG Guiping, et al. Effect of drying methods on the physicochemical and functional properties of chestnut flour [J]. *Transactions of the CSAE*, 2001, 4: 95-98
- [10] 丁媛媛,毕金峰,木泰华,等.不同干燥方式对甘薯产品品质的影响[J].食品科学,2011,32(16):108-112
DING Yuanyuan, BI Jinfeng, MU Taihua, et al. Effect of different drying methods on quality of sweet potato products [J]. *Food Science*, 2011, 32(16): 108-112
- [11] 徐京.板栗生粉加工工艺的研究[D].北京:中国农业大学, 2007
XU Jing. Study on processing technology of Chinese chestnut raw powder [D]. Beijing: China Agricultural University, 2007
- [12] 张乐,赵守焕,王赵改,等.板栗微波真空干燥特性及干燥工艺研究[J].食品与机械,2018,34(4):206-210
ZHANG Le, ZHAO Shouhuan, WANG Zhaogai, et al. Microwave-vacuum drying characteristics and drying process of Chinese chestnut [J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(4): 206-210
- [13] 周葵,张雅媛,黄会玲,等.小麦粉和 4 种干燥方式制备的板栗全粉的基本品质比较[J].食品工业科技,2020,41(5):286-292
ZHOU Kui, ZHANG Yayuan, HUANG Huiling, et al. Quality of wheat flour and four types of chestnut whole flour obtained by different drying methods [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(5): 286-292
- [14] 施建斌,隋勇,蔡沙,等.板栗全粉-小麦混合粉面团流变特性[J].现代食品科技,2021,37(9):1-7
SHI Jianbin, SUI Yong, CAI Sha, et al. Rheological properties of chestnut-wheat flour doughs [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(9): 1-7

(下转第 198 页)