

# 不同芋头品种真空微波干燥品质变化的比较

魏秋羽<sup>1,2</sup>, 张钟元<sup>2,3</sup>, 李大婧<sup>2,3</sup>, 江宁<sup>2,3</sup>, 金邦荃<sup>1</sup>, 刘春泉<sup>2,3</sup>

(1. 南京师范大学金陵女子学院, 江苏南京 210097) (2. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014)

(3. 国家蔬菜加工技术研发分中心, 江苏南京 210014)

**摘要:** 分析 8 个不同芋头品种真空微波干燥前后营养成分的变化, 比较不同芋头品种生产的芋头脆片色泽、硬度、脆度、膨化率、微观结构和感官品质等品质变化。结果表明: 新鲜芋头含水量高达 61.33~82.94%, 奉化芋头含量最高; 淀粉含量范围为 15.87~30.25%, 香沙芋含量最高; 荔浦芋中的蔗糖最高, 约为 2.6 g/100 g, 红香芋中的可溶性蛋白为 1455 mg/100 g, 明显高于其他品种。芋头片干燥后营养成分中除了蔗糖, 其他含量均减少, 且减少量差异显著, 淀粉含量减少最多。不同品种的芋头真空微波干燥后品质差异明显, 其中, 荔浦芋、龙香芋、奉化芋头、槟榔芋和香沙芋亮度大、色差小, 产品色泽保持良好; 龙香芋和乌骨芋外形膨化且内部多孔状结构明显, 硬度适中、酥脆性好; 龙香芋、奉化芋头和乌骨芋的色泽、形态、口感、风味综合评分高, 可接受程度明显高于其他芋头品种。

**关键词:** 芋头; 品种; 真空微波干燥; 品质

文章编号: 1673-9078(2016)1-235-241

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.1.037

## Quality Changes in Different Varieties of Taro Treated by Microwave Vacuum Drying

WEI Qiu-yu<sup>1,2</sup>, ZHANG Zhong-yuan<sup>2,3</sup>, LI Da-jing<sup>2,3</sup>, JIANG Ning<sup>2,3</sup>, JIN Bang-quan<sup>1</sup>, LIU Chun-quan<sup>2,3</sup>

(1. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

(2. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(3. National Vegetable Processing Technology Research and Development Center, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Changes in the nutritional composition of eight different varieties of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) before and after microwave vacuum drying were analyzed, and the changes in color, hardness, crispness, expansion rate, microstructure, sensory quality and other quality parameters of dried products from different taro varieties were studied. The results showed that the moisture content of fresh taro corm ranged from 61.33~82.94%, and the highest moisture content was found in Fenghua taro. The starch content of fresh taro corm ranged from 15.87~30.25%, and the highest starch content was found in Xiangsha taro. The highest sucrose content (2.6 g/100 g) and the highest soluble protein content (1455 mg/100 g) were observed in Lipu taro and Hongxiang taro, respectively. Except for sucrose, other nutritional components were significantly reduced in the dried taro products, and starch content showed the highest decrease. The differences in the quality of dried taro slices among different varieties were significant after microwave vacuum drying. Among them, Lipu taro, Longxiang taro, Fenghua taro, Pinlang taro, and Xiangsha taro had high brightness values and small color change values, and the color of the products was well maintained. Longxiang taro and Wugu taro exhibited a high expansion rate, an apparent internal porous structure, moderate hardness, and good crispness. Sensory evaluation showed that Longxiang taro, Fenghua taro, and Wugu taro had better color, shape, texture, and sensory quality, and their acceptable levels were significantly higher than those of the other taro varieties.

**Key words:** taro; varieties; microwave vacuum drying; quality

芋头(*Colocasia esculenta* (L.) Schott)别名为芋魁、

收稿日期: 2015-04-13

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX (14) 2055]

作者简介: 魏秋羽 (1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏

通讯作者: 刘春泉 (1959-), 男, 研究员, 研究方向为农产品精深加工及产业化开发

土芝, 俗称芋艿, 属天南星科。芋头口感细软, 绵甜香糯, 具有丰富的营养价值, 易于消化而不会引起中毒, 是一种很好的碱性食物。研究发现, 芋头中的淀粉易消化, 且升糖指数处于中等水平, 适用于糖尿病患者; 芋头多糖对自由基有很强的清除作用; 多糖类高分子植物胶体有很好的止泻作用, 并能增强人体免疫功能<sup>[1]</sup>。我国芋头种植资源丰富, 品种众多, 产地

主要集中于福建、广西、广东、浙江、江苏、湖南、山东等地。不同产地的芋头因品种、种植方式、采收时间的不同,营养成分、质构、加工特性等差异也较大<sup>[2]</sup>。淀粉是蔬菜中最重要的组分之一,其含量直接影响到果蔬的理化指标,如硬度、甜度和总固形物含量,淀粉的水解和糊化程度则会影响到干燥产品内部结构以及品质<sup>[3]</sup>。刘文静等<sup>[4]</sup>研究甘薯营养成分与口感品质时发现甘薯蒸煮后淀粉减少含量与甜味呈显著正相关,即淀粉的水解程度大,产品甜味明显。Njintang<sup>[5]</sup>等报道不同芋头品种的淀粉含量差别较大且水解程度不同,这可能是导致芋头干燥产品品质不同的原因之一。另有研究报道不同品种芋头中因粘多糖、糖蛋白、淀粉等含量不同,在芋头加工过程中其硬度、粘着力和弹性也存在差异<sup>[6]</sup>。而芋头中可溶性糖类含量高,能增加芋头的风味,改善口感<sup>[7]</sup>。除此之外在加工过程中蔗糖和还原糖的美拉德反应及还原糖的焦糖化会影响产品的色泽和风味<sup>[8]</sup>,多酚类物质的氧化和降解会影响加工产品的色泽,蛋白质降解能促使风味物质的形成,同时对产品凝胶质构和产品的风味释放产生影响<sup>[9]</sup>。

真空微波干燥是将微波系统与真空系统相结合的一种新型高效干燥技术,实现对物料在低温条件下干燥,因腔体内无氧气,能减少物料的氧化,提高营养物质保留率,且对果蔬制品有一定的杀菌膨化作用,能改善干制品的脆度和硬度,延长保存期,提高产品的品质。与其他干燥方式相比,真空微波干燥时间短,能耗低,产品有较好的微观结构、色泽、口感和营养保留率。Huang<sup>[10]</sup>比较了四种干燥方式对土豆苹果混合食品的品质影响,研究结果表明真空微波干燥时间短、能耗低、产品的质量高;Ngew<sup>[11]</sup>等人对榴莲片进行真空微波干燥,研究发现提高微波功率增大了水分扩散速率和干燥速率,缩短了干燥时间,真空微波干燥榴莲与传统的油炸榴莲片相比具有较好的微观结构、色泽和口感,并减少了90%的脂肪,营养价值高。

目前针对不同品种芋头营养成分对真空微波干燥产品品质影响的研究尚不多见,本论文分析不同芋头品种淀粉、蔗糖、还原糖、蛋白质、多酚及Vc含量在芋头干燥前后变化,考察不同芋头品种制备脆片色泽、硬度、脆度、膨化率、微观结构和感官品质等品质差异,研究不同品种芋头真空微波干燥品质的变化。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

本实验选用8个产地的不同芋头品种,市购,分

别为兴化龙香芋、广西荔浦芋、福鼎槟榔芋、靖江香沙芋、泰兴香荷芋、金坛红香芋、奉化芋头、乌骨芋头。

柠檬酸、氯化钠、麦芽糊精均为食品级;福林试剂、偏磷酸、没食子酸、乙醇、碳酸钠、牛血清蛋白、考马斯亮蓝G-250、植酸钠、磺基水杨酸、三氯化铁、葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸、丙三醇等均为国产分析纯,正磷酸和甲醇为色谱级,购自美国天地公司。

### 1.2 仪器与设备

HPLC1200 高效液相色谱仪,美国Agilent科技有限公司;CT3 质构仪,美国Brookfield公司;WSC-S型色差仪,上海精密科学仪器有限公司;FW100 高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;TU-1810 紫外-可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司;TG16-WS 台式高速离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司;XWJD6SW-2 型微波真空杀菌干燥设备,南京孝马机电设备厂;DHG-9073B5-III 型电热恒温鼓风干燥箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;E-1010 离子溅射装置,日本株式会社;Quanta-200 环境扫描电子显微镜,美国FEI公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品处理

挑选新鲜、均匀一致、无机械损伤的芋头块茎,洗净表面泥土后去皮;将芋头切成4 mm厚的片状,置于沸水中,加入1.5% NaCl、0.2%柠檬酸,烫漂2 min,用冷水迅速冷却至常温后置于2%的麦芽糊精中浸渍40 min;捞出沥干表面水分后冷冻;将冷冻后的芋头片置于70℃电热鼓风干燥箱中预干燥50-70 min,至芋头片转换点水分60%左右,然后置于4℃冰箱中均湿8~12 h,将均湿的芋头片置于真空微波干燥设备中干燥至水分含量6%以下。

#### 1.3.2 芋头水分含量测定

按国家标准GB5009.3-2010测定芋头水分含量。

#### 1.3.3 Vc、总多酚、可溶性蛋白的测定

Vc的测定:取2.5 g芋头于研钵中,加入少量4℃预冷的0.2%的偏磷酸浸提,冰浴快速研磨,之后将匀浆用0.2%的偏磷酸定容至25 mL。在4℃条件下10000 r/min离心10 min,取出上清液。用一次性注射器抽取上清液,通过微孔滤膜(0.45 μm)过滤注入样品瓶。

$$\text{Vc保留率}/\% = \frac{\text{干样Vc质量分数}}{\text{鲜样Vc质量分数}} \times 100$$

总多酚的测定:采用福林酚比色法。

可溶性蛋白的测定:采用考马斯亮蓝比色法。

总多酚和可溶性蛋白的保留率计算方法同 Vc 保留率。Vc、总多酚和可溶性蛋白含量均以干基表示。

### 1.3.4 还原糖、蔗糖、淀粉的测定

3,5-二硝基水杨酸比色法。

### 1.3.5 硬度、脆度、膨化率的测定

采用 CT3 质构仪测定, 选用 TA7 刀具探头、TA-TPB 夹具; 目标类型: 距离; 目标值: 10.0 mm; 触发点负荷: 10 g; 测试速度: 0.5 mm/s; 在此条件下测定芋头脆片的硬度和脆度。硬度是在压缩过程中坐标图中出现的最大压力峰值, 单位是 g, 在第一次压缩过程中若是产生破裂现象, 曲线中出现一个明显的峰, 此峰值就定义为脆度, 单位是 g。

膨化率测定: 物料体积的测量以小米为置换介质, 分别测定芋头脆片真空微波干燥前后的体积 V, 并按如下公式计算膨化率 P。

$$P = \frac{(V_3 - V_1)}{(V_2 - V_1)} \times 100\%$$

式中: P-膨化率; V<sub>2</sub>-小米和干燥前芋头脆片的体积, cm<sup>3</sup>; V<sub>1</sub>-小米的体积, cm<sup>3</sup>; V<sub>3</sub>-小米和干燥后芋头脆片的体积, cm<sup>3</sup>。

表 1 芋头膨化脆片感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation standards of taro puffed chip

感官特征	1~2分	3~4分	5分
形态	皱缩严重,组织无明显孔状	略皱缩,组织有较明显孔状	无皱缩,组织多孔疏松
色泽	不均匀,褐变严重	黄色,表面部分褐变	均匀,乳白色略呈淡黄
风味	焦糊味	芋头香味较淡	芋头香气浓郁
味道	明显辛辣味	略有辛辣味	无辛辣味
口感	口感坚硬且韧	脆但较硬	酥脆可口
接受程度	不可接受	良好	非常喜欢

### 1.3.8 微观结构的测定

微观结构: 采用扫描电子显微镜, 将真空微波干燥后的芋头脆片固定在扫描电镜专用样品套件上, 用离子溅射装置在真空条件下对样品表面进行镀金处理, 最后放入环境扫描电镜中检测, 操作电压为 20 kV, 在放大 80 倍条件下观察样品断裂面的微观结构。

## 1.4 统计分析

每次实验重复 3 次, 取平均值, 并计算标准偏差, 用 Origin8.5 作图。单因素试验指标的差异采用 SAS 统计软件中 ANOVA 方差分析, 由 Tukey 分析均值差异的显著性, 显著水平  $p < 0.05$ 。以数据后面上标的小写字母 a、b、c……表示其差异性, 相同字母表示差异性不显著。

## 2 结果与分析

### 1.3.6 色泽的测定

采用色差计测定芋头的色差, 以仪器白板色泽为标准, 将样品打碎成粉末后放入固体样品杯, 加压将样品压实后即可用色差计进行测量。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。 $\Delta E$  是描述芋头片干燥前后色泽的变化, 其公式为:

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

注: L<sub>0</sub><sup>\*</sup>、a<sub>0</sub><sup>\*</sup>、b<sub>0</sub><sup>\*</sup>和 L<sup>\*</sup>、a<sup>\*</sup>、b<sup>\*</sup>分别代表新鲜芋头和真空微波干燥后的亮度、红色度和黄色度。

### 1.3.7 芋头脆片感官质量评定

聘请 13 名食品专业人, 组成一个感官评定小组, 按照形态、色泽、风味、味道、口感、接受程度进行评分, 评分标准见表 1。

## 2.1 不同品种芋头营养成分分析

由表 2 可知, 本实验选用的 8 个不同品种的芋头营养成分差异明显。新鲜芋头含水量高达 61.33%~82.94%, 且各品种之间差异较大, 奉化芋头含水量最高, 龙香芋次之。淀粉是芋头中除水之外含量最高的化合物, 达 15.87%~30.25%。8 个品种中还原糖和蔗糖的含量分别在 0.43~1.18 g/100 g 和 0.39~2.6 g/100 g 范围内, 且各品种之间含量差异显著, 荔浦芋头中蔗糖含量最高。芋头鲜样中的可溶性蛋白含量相对较高, 在 426.83~1455.52 mg/100 g 之间, 含量最高的是金坛红香芋。多酚和 Vc 是蔬菜中重要的功能性成分, 在芋头中的含量相对较少, 奉化芋头中总多酚含量最高, 为 72.99 mg/100 g, 龙香芋中 Vc 约为 4.48 mg/100 g, 在 8 个品种中含量最高。



## 2.2 不同品种芋头真空微波干燥后营养成分的变化

多酚和 Vc 是蔬菜中重要的营养物质且对光、热和酸碱度较为敏感,在果蔬加工中常作为营养保留率评价指标。如表 3 所示,芋头中的总多酚保留率在 4.82~39.52%之间,Vc 的保留率在 18.43~57.13%之间,可溶性蛋白保留率在 5.25~17.13%之间。由于可溶性蛋白和 Vc 都易溶于水,而多酚在高温下容易分解,前处理时将切成片状的芋头置于沸水中烫漂,芋头中可溶性蛋白和 Vc 因发生水解而部分损失,多酚因降解而部分损失;而在后期的真空微波干燥阶段,由于温度的升高,这些营养成分会进一步损失。干燥后檳

榔芋、红香芋、香荷芋和乌骨芋的总多酚保留率较高,均在 20%以上;而香荷芋和奉化芋头的可溶性蛋白的保留率较其他品种芋头高。就 Vc 保留率而言,奉化芋头和龙香芋保留率高达 50%。与新鲜芋头相比,干燥后各品种淀粉的含量均有所减少,其中荔浦芋的淀粉含量减少程度最小,奉化芋头淀粉量减少程度最多。在真空微波干燥时,芋头中的直链淀粉彼此相互作用紧密形成氢键而凝胶化,而支链淀粉由于分支性太多,彼此间相互干扰,不宜形成坚固的凝胶结构<sup>[12]</sup>,淀粉的减少量差异较大可能是由于不同品种芋头的直链淀粉和支链淀粉的比例不一样。香荷芋和荔浦芋蔗糖的含量减少较多,这可能是由于干燥过程中芋头中的糖类与氨基酸发生美拉德反应而损失。

表 2 不同品种芋头的基本营养成分

Table 2 Basic nutrients in different varieties of taro

品种	含水率 /%	淀粉 /(g/100 g)	蔗糖 /(g/100 g)	还原糖 /(g/100 g)	可溶性蛋白 /(mg/100 g)	总多酚 /(mg/100 g)	Vc /(mg/100 g)
龙香芋	80.65±0.32 <sup>b</sup>	15.87±0.73 <sup>d</sup>	0.70±0.15 <sup>de</sup>	1.18±0.13 <sup>a</sup>	943.21±91.36 <sup>d</sup>	39.67±4.51 <sup>c</sup>	4.48±0.26 <sup>a</sup>
奉化芋头	82.94±0.38 <sup>a</sup>	16.07±0.95 <sup>cd</sup>	0.39±0.07 <sup>e</sup>	0.80±0.07 <sup>b</sup>	426.83±54.65 <sup>e</sup>	72.99±6.42 <sup>a</sup>	0.56±0.10 <sup>e</sup>
槟榔芋	61.33±0.70 <sup>c</sup>	21.80±2.61 <sup>b</sup>	1.84±0.42 <sup>b</sup>	1.17±0.06 <sup>a</sup>	512.40±18.02 <sup>e</sup>	27.46±2.35 <sup>d</sup>	2.29±0.17 <sup>c</sup>
荔浦芋	66.64±0.88 <sup>d</sup>	16.46±1.98 <sup>cd</sup>	2.60±0.24 <sup>a</sup>	0.68±0.12 <sup>b</sup>	827.27±55.74 <sup>d</sup>	42.74±2.51 <sup>c</sup>	3.65±0.54 <sup>b</sup>
香沙芋	66.51±1.32 <sup>d</sup>	30.25±2.33 <sup>a</sup>	1.22±0.07 <sup>c</sup>	0.81±0.11 <sup>b</sup>	758.55±91.36 <sup>d</sup>	51.33±3.63 <sup>b</sup>	1.79±0.25 <sup>d</sup>
红香芋	75.82±0.45 <sup>c</sup>	21.05±1.95 <sup>b</sup>	1.69±0.24 <sup>b</sup>	0.47±0.06 <sup>c</sup>	1455.52±33.00 <sup>a</sup>	14.99±0.35 <sup>e</sup>	1.41±0.32 <sup>d</sup>
香荷芋	80.03±0.66 <sup>b</sup>	17.74±1.32 <sup>bc</sup>	1.11±0.28 <sup>c</sup>	0.94±0.08 <sup>ab</sup>	966.66±59.92 <sup>c</sup>	20.95±0.83 <sup>f</sup>	1.70±0.10 <sup>d</sup>
乌骨芋	76.45±0.58 <sup>c</sup>	21.19±1.44 <sup>b</sup>	0.82±0.26 <sup>cd</sup>	0.43±0.06 <sup>c</sup>	1084.21±64.00 <sup>b</sup>	42.34±2.22 <sup>c</sup>	1.00±0.17 <sup>e</sup>

注:芋头的营养成分均以湿重计;同一指标中小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表 3 不同品种芋头干燥后营养成分保留率和增减量

Table 3 Retention and increased/decreased amounts of nutrients in different varieties of taro after drying

品种	总多酚 /%	可溶性蛋白 /%	Vc /%	还原糖比鲜样增减 /(g/100g d.b.)	蔗糖比鲜样增减 /(g/100g d.b.)	淀粉比鲜样增减 /(g/100g d.b.)
龙香芋	13.63±0.84 <sup>e</sup>	8.89±2.21 <sup>bc</sup>	57.13±1.17 <sup>a</sup>	-4.48±0.40 <sup>e</sup>	4.96±0.68 <sup>b</sup>	-26.19±1.65 <sup>e</sup>
奉化芋头	9.53±0.54 <sup>f</sup>	11.44±1.90 <sup>b</sup>	53.25±2.46 <sup>b</sup>	-1.325±0.16 <sup>c</sup>	10.02±0.92 <sup>a</sup>	-41.82±2.53 <sup>e</sup>
槟榔芋	23.86±0.63 <sup>c</sup>	17.13±1.85 <sup>a</sup>	31.01±1.36 <sup>d</sup>	-1.143±0.06 <sup>bc</sup>	2.36±0.23 <sup>c</sup>	-13.82±0.77 <sup>d</sup>
荔浦芋	4.82±0.20 <sup>g</sup>	11.17±1.15 <sup>b</sup>	34.32±0.59 <sup>c</sup>	-0.919±0.13 <sup>abc</sup>	-0.32±0.10 <sup>d</sup>	-2.94±0.85 <sup>a</sup>
香沙芋	13.07±0.63 <sup>e</sup>	5.25±0.46 <sup>c</sup>	30.19±1.32 <sup>d</sup>	-3.61±0.58 <sup>d</sup>	2.80±0.31 <sup>c</sup>	-34.76±2.04 <sup>f</sup>
红香芋	39.52±1.18 <sup>a</sup>	8.01±1.54 <sup>bc</sup>	33.04±0.60 <sup>e</sup>	-0.45±0.08 <sup>ab</sup>	0.26±0.10 <sup>d</sup>	-10.85±1.80 <sup>c</sup>
香荷芋	21.80±0.57 <sup>d</sup>	12.78±1.53 <sup>b</sup>	43.29±0.25 <sup>e</sup>	-2.73±1.04 <sup>d</sup>	-1.29±0.20 <sup>e</sup>	-5.40±0.96 <sup>b</sup>
乌骨芋	25.85±0.93 <sup>b</sup>	11.14±0.83 <sup>b</sup>	18.43±1.01 <sup>e</sup>	-0.28±0.04 <sup>a</sup>	0.34±0.07 <sup>d</sup>	-16.31±0.48 <sup>d</sup>

注:芋头的营养成分变化均以干基计“+”表示增加,“-”表示减少。

## 2.3 不同品种芋头干燥前后色泽的变化

$L^*$ 值是用来表示亮度的一个指标, $L^*$ 值越大,表示样品越亮; $\Delta E$ 表示干燥前后的色差, $\Delta E$ 值越小则表示芋头脆片与新鲜芋头的颜色越接近,其色泽越好。

由表 4 可知,新鲜的槟榔芋  $L^*$ 最大,干燥后  $L^*$ 略有提高, $a^*$ 变化小, $\Delta E$ 最小;而新鲜的龙香芋  $L^*$ 最小,颜色较暗,但真空微波干燥后其  $L^*$ 明显提高, $a^*$ 、 $b^*$ 值变化相对较小;红香芋、香荷芋和乌骨芋  $L^*$ 无明显提高,且  $\Delta E$ 较大,与新鲜样品颜色差别大。Wang

等<sup>[13]</sup>研究发现, 淀粉和蛋白质结构的变化、美拉德反应和焦糖化反应产生的褐变均会影响物料的色泽。本实验中各品种芋头因营养成分不同, 在前处理和干燥期间发生的酶促和非酶促反应程度不同, 导致其色泽

差异较大。总体而言, 荔浦芋、龙香芋、奉化芋头、槟榔芋和香沙芋  $L^*$ 值明显提高,  $\Delta E$  均在 5.0 以下, 这几个品种真空微波干燥产品色泽保持良好。

表 4 新鲜芋头和干燥后芋头的色泽

Table 4 Color parameters of fresh and dried taro samples

品种	鲜样			干燥后			$\Delta E$
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	
龙香芋	79.49±0.15 <sup>d</sup>	6.77±0.34 <sup>a</sup>	22.84±0.62 <sup>ab</sup>	84.10±0.77 <sup>a</sup>	6.31±0.34 <sup>b</sup>	23.62±0.62 <sup>b</sup>	3.84±0.64 <sup>bc</sup>
奉化芋头	79.60±0.27 <sup>d</sup>	7.00±0.20 <sup>a</sup>	21.91±0.17 <sup>bc</sup>	83.39±0.18 <sup>ab</sup>	6.42±0.20 <sup>b</sup>	23.84±0.17 <sup>b</sup>	4.30±0.04 <sup>bc</sup>
槟榔芋	82.56±0.50 <sup>ab</sup>	7.02±0.15 <sup>a</sup>	17.63±0.27 <sup>d</sup>	83.41±0.45 <sup>ab</sup>	7.77±0.26 <sup>a</sup>	20.93±0.11 <sup>c</sup>	3.53±0.35 <sup>c</sup>
荔浦芋	81.49±0.38 <sup>bc</sup>	6.95±0.26 <sup>a</sup>	17.39±0.11 <sup>d</sup>	84.20±0.51 <sup>a</sup>	7.76±0.15 <sup>a</sup>	20.41±0.27 <sup>c</sup>	4.16±0.64 <sup>bc</sup>
香沙芋	80.95±1.40 <sup>c</sup>	5.71±0.19 <sup>b</sup>	21.22±0.41 <sup>c</sup>	83.79±1.09 <sup>a</sup>	5.94±0.19 <sup>c</sup>	24.46±0.41 <sup>a</sup>	4.35±1.08 <sup>bc</sup>
红香芋	81.29±0.78 <sup>bc</sup>	5.70±0.04 <sup>b</sup>	18.11±0.14 <sup>a</sup>	81.53±0.22 <sup>c</sup>	5.40±0.04 <sup>d</sup>	23.33±0.14 <sup>b</sup>	6.15±1.08 <sup>a</sup>
香荷芋	81.23±0.67 <sup>c</sup>	5.56±0.03 <sup>b</sup>	18.30±0.21 <sup>a</sup>	81.97±0.13 <sup>c</sup>	5.44±0.03 <sup>d</sup>	23.77±0.21 <sup>b</sup>	5.45±0.67 <sup>a</sup>
乌骨芋	83.30±0.71 <sup>a</sup>	5.64±0.04 <sup>b</sup>	17.87±0.11 <sup>a</sup>	82.87±0.40 <sup>bc</sup>	5.44±0.04 <sup>d</sup>	23.34±0.11 <sup>b</sup>	5.08±1.10 <sup>ab</sup>

2.4 不同品种芋头真空微波干燥后的质构

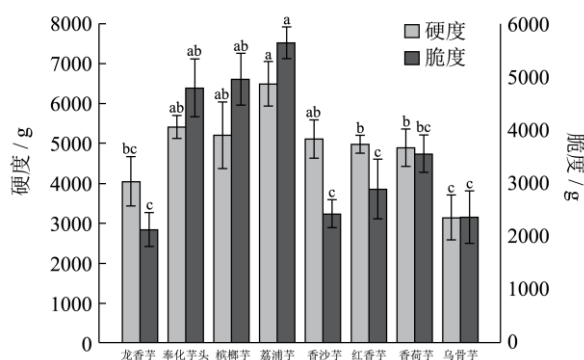


图 1 不同品种芋头干燥后的硬度和脆度

Fig.1 Hardness and brittleness of different varieties of taro after drying

本实验选用硬度和脆度两个指标来描述芋头脆片质构, 若产品硬度过高, 口感坚硬, 硬度过低, 口感偏软没有嚼劲; 对脆度而言, 脆度越小, 表示产品的口感越酥脆<sup>[10]</sup>。如图 1 所示, 龙香芋和乌骨芋硬度在 3000 g-4000 g 范围内, 产品硬度适中, 其他品种的芋头脆片硬度均大于 4000 g, 产品坚硬。龙香芋、香沙芋、红香芋和乌骨芋脆度值低, 表明酥脆性较好。综合考虑, 龙香芋和乌骨芋的硬度和脆度值均优于其它芋头品种。研究发现真空微波干燥过程中由于温度升高和压力改变, 使物料淀粉的原始结构被破坏, 发

生糊化和降解。随着温度的增加, 熔体淀粉中的水分开始成为水蒸气, 使淀粉处于高压状态, 由于物料处于真空状态, 淀粉熔体中的水分发生急剧相变, 内部压力大于外部压力, 使得组织酥松膨大。因为龙香芋和乌骨芋的水分含量较高, 淀粉充分膨胀, 芋头组织变酥松, 表现为硬度适中, 脆度值低。当水分含量较少的时候, 由于淀粉糊化时吸收的水分有限, 淀粉颗粒内部之间的氢键断裂不完全, 导致淀粉颗粒吸水膨胀不完全, 使得组织膨胀程度降低, 这可能是槟榔、荔浦芋硬度大、脆度值高的原因。

2.5 不同品种芋头真空微波干燥后的膨化率

在真空条件下, 微波作用于物料中的极性分子且具有一定穿透力, 使得物料表面和内部同时被加热, 微波加热的传质方向是由内至外, 这使得经真空微波干燥的物料呈现出膨化的趋势<sup>[11]</sup>。此外淀粉能够在足够的水分含量下发生不可逆的溶胀形成多孔结构, 使得芋头脆片膨化。如表 5 所示, 乌骨芋膨化率最高, 为 122%。红香芋的膨化率最低, 仅有 90%, 这可能是由于红香芋内部结构过于致密, 在真空微波过程中淀粉糊化不完全导致其未形成多孔结构而体积收缩, 这也是其硬度较大的原因之一, 因此这个品种不适宜真空微波干燥加工。除了这两个品种, 其余的芋头脆片的膨化率在 100~120%之间, 彼此差异不显著。

表 5 不同品种芋头真空微波干燥膨化率的比较

Table 5 Expansion rate of different varieties of taro following vacuum microwave drying

	龙香芋	奉化芋头	槟榔芋	荔浦芋	香沙芋	红香芋	香荷芋	乌骨芋头
膨化率/%	115±3 <sup>ab</sup>	112±5 <sup>ab</sup>	112±6 <sup>ab</sup>	104±6 <sup>bc</sup>	116±5 <sup>ab</sup>	90±1 <sup>c</sup>	109±1 <sup>ab</sup>	122±7 <sup>a</sup>

## 2.6 不同品种芋头真空微波干燥后的微观结构

由图2可知,荔浦芋、红香芋和香荷芋内部细胞结构均匀但排列致密,细胞间几乎没有空隙,这种结构可能导致芋头片在真空微波干燥后不膨化、皱缩、口感坚硬。这可能与烫漂过程中淀粉的水解程度及淀粉颗粒结构有关。一方面,不同品种芋头淀粉酶活性存在差异<sup>[14]</sup>,可能使烫漂时淀粉发生不同程度的水解,进而影响干燥过程中的淀粉损失量。如2.2实验结果表明荔浦芋、红香芋和香荷芋淀粉损失量较少,这三种芋头在烫漂中可能水解程度较低,且在干燥中可能发生淀粉糊化不完全的现象,直链和支链淀粉之间致密的网状结构破坏较少,淀粉的膨胀和组织的膨大受限,进而影响了芋头内部组织形成较大的孔状结构。另一方面,介电干燥的内源性加热特性是直接对淀粉颗粒内部的极性分子进行加热,因此淀粉颗粒的排列和数量直接影响干燥产品质构<sup>[15]</sup>,这也可能导致荔浦芋、红香芋和香荷芋三种芋头细胞结构致密,产品硬度大、酥脆性差。奉化芋头和槟榔芋内部结构相对疏松,但孔状结构并不明显,与膨化率的结果完全一致。龙香芋、香沙芋和乌骨芋膨化率较大,内部孔状结构明显,这可能是因为它们在烫漂时新鲜芋头中的淀粉糊化充分,内部致密的网状结构被破坏,而在真空微波干燥时,芋头内水分迅速吸热汽化,增大的内部压力使其膨胀,最终形成较大的泡沫状结构<sup>[15]</sup>,使产

品质地酥脆。因此,结合芋头片干燥后的膨化率和微观结构,龙香芋、香沙芋和乌骨芋比较适宜采用真空微波干燥技术。

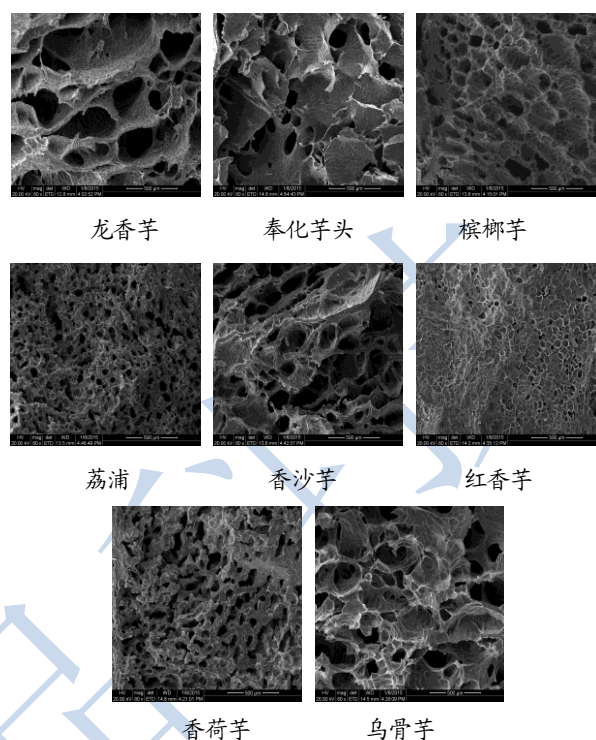


图2 不同品种芋头真空微波干燥后微观结构 (SEM, ×80 倍)

Fig.2 Microstructure of different varieties of taro following vacuum microwave drying

## 2.7 不同品种芋头脆片的感官评定

表5 不同芋头品种脆片感官评定

Table 5 Sensory qualities of different varieties of taro chips

品种	感官评价	分值
龙香芋	乳白色、膨化有多孔结构、硬度适中、酥脆性好、有明显芋头香味	8.3±0.4 <sup>a</sup>
奉化芋头	乳白色、膨化、硬度适中、较脆、有芋头香味	7.6±0.4 <sup>ab</sup>
荔浦芋	颜色偏暗、膨化、较硬、较脆,有芋头香味、辛辣	5.7±0.5 <sup>c</sup>
槟榔芋	颜色略偏黄褐色、未膨化、坚硬、酥脆性差、无芋头香味	5.1±0.5 <sup>d</sup>
香沙芋	乳白色、有多孔结构、硬度小、较脆、辛辣、有芋头香味	6.3±0.4 <sup>bc</sup>
红香芋	颜色较暗、皱缩、硬度较大、酥脆性差、无芋头香味	5.5±0.4 <sup>c</sup>
香荷芋	乳白色略发黄、膨化、硬度大、脆度适中、有芋头香味	6.7±0.6 <sup>b</sup>
乌骨芋	乳白色、膨化有多孔结构、硬度适中、较脆、有芋头香味	7.7±0.4 <sup>ab</sup>

对芋头的色泽、形态、风味、口感、接受程度进行评分,总分折算为10分。如表2、表5所示,龙香芋、奉化芋头、香沙芋和乌骨芋脆片颜色较好,均呈现乳白色,这可能是因为这四种芋头的蔗糖含量相对较少,在干燥时由于底物浓度低,仅少量蔗糖发生美拉德反应,使其芋头产品颜色接近原色。龙香芋、奉化芋头和乌骨芋硬度适中、酥脆性好且有芋头香味,

荔浦芋和红香芋干燥后略有辛辣味,槟榔芋和红香芋基本无芋头香味,综合评分龙香芋>乌骨芋>奉化芋头>香荷芋>香沙芋>荔浦芋>红香芋>槟榔芋。所以采用真空微波技术对8个不同品种芋头进行干燥,龙香芋、奉化芋头和乌骨芋色泽好、结构疏松,口感酥脆,可接受程度高。



### 3 结论

本文研究表明新鲜芋头的含水量、淀粉、蔗糖、还原糖、可溶性蛋白、多酚和 Vc 含量因品种的不同差异较大,其含量的差异对质构、色泽和微观结构等品质影响较大。从淀粉的变化以及硬度、脆度方面考虑,龙香芋和乌骨芋硬度适中,酥脆度好;从亮度和色差来看,奉化芋头、香荷芋和乌骨芋亮度小、色差大、产品颜色保留明显低于其他品种;就膨化率和芋头脆片的微观结构上而言,龙香芋、香沙芋和乌骨芋外形膨化且内部多孔状结构明显,适宜真空微波干燥;而根据芋头脆片的感官评定,龙香芋、奉化芋头和乌骨芋的色泽、形态、口感、风味综合评分均大于 7.6 分,可接受程度明显高于其他芋头品种。本文研究可为实际生产中筛选适宜的芋头品种,提高芋头干制品质量提供理论依据,为其他淀粉类原料的深加工提供参考。

### 参考文献

- [1] Simsek S, El S N. *In vitro* starch digestibility, estimated glycemic index and antioxidant potential of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm [J]. Food Chemistry, 2015, 168: 257-261
- [2] Gon çalves R F, Silva A M S, Silva A M, et al. Influence of taro (*Colocasia esculenta* L. Shott) growth conditions on the phenolic composition and biological properties [J]. Food Chemistry, 2013, 141(4): 3480-3485
- [3] Wang R, Zhang M, Mujumdar A S. Effects of vacuum and microwave freeze drying on microstructure and quality of potato slices [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(2): 131-139
- [4] 刘文静,余华,任丽花,等.甘薯营养成分与口感品质的相关性研究[J].食品工业科技,2014,35(12): 91-95  
LIU Wen-Jing, YU Hua, REN Li-hua, et al. Study on the relationship between nutrition ingredient and taste quality of sweet potato varieties [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(12): 91-95
- [5] Njintang Y N, Scher J, Mbofung C M F. Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches [J]. Journal of Food Engineering, 2008,86(2): 294-305
- [6] Njintang N Y, Mbofung C M F, Kesteloot R. Multivariate analysis of the effect of drying method and particle size of flour on the instrumental texture characteristics of paste made from two varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(1): 250-256
- [7] Huang C C, Chen W C, Wang C C R. Comparison of Taiwan paddy-and upland-cultivated taro (*Colocasia esculenta* L.) cultivars for nutritive values [J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 250-256
- [8] Shelburne S A, Keith D B, Davenport M T, et al. Molecular characterization of group A Streptococcus maltodextrin catabolism and its role in pharyngitis [J]. Molecular Microbiology, 2008, 69(2): 436-452
- [9] 蒋娅婷,曹锦轩,张玉林,等.蛋白质与挥发性风味成分相互作用研究进展[J].核农学报,2014,28(2):285-291  
JIANG Ya-ting, CAO Jin-xuan, ZHANG Yu-lin, et al. Research progress on interactions between protein and Volatile flavor compounds [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, 28(2): 285-291
- [10] Huang L, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(3): 279-284
- [11] Bai-Ngew S, Therdthai N, Dhamvithee P. Characterization of microwave vacuum-dried durian chips [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(1): 114-122
- [12] 曹新志,刘芳,武玉娟,等.芋头淀粉性质的研究[J].农产品加工.[J], 2012(4): 57-60  
CAO Xin-zhi, LIU Fang, WU Yu-juan, et al. Properties of taro starch [J] Academic Periodical of Farm Products Processing. 2012(4): 57-60
- [13] Wang Y, Zhang M, Mujumdar A S. Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(1): 26-37
- [14] 任喜波,戴希尧,张俊花,等.不同萝卜品种淀粉酶活性的差异研究[J].北方园艺,2013,22: 21-23  
REN Xi-bo, DAI Xi-yao, ZHANG Jun-hua, et al. Study on difference of the amylase activity in different raphanus sativus L.[J]. Northern Horticulture, 2013, 22: 21-23
- [15] 江昊.切割香蕉的微波冷冻干燥研究[D].无锡:江南大学, 2014  
JIANG Hao. Research on characteristic of banana chips dried by microwave freeze drying [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014