

黄楚雄, 李洁, 刘纪红, 等. 不同品种莲藕加工藕圆子适应性评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 283–291. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020230

HUANG Chuxiong, LI Jie, LIU Jihong, et al. Suitability Evaluation of Different Varieties of Lotus Rhizome for Lotus Rhizome Balls[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 283–291. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020230

· 分析检测 ·

# 不同品种莲藕加工藕圆子适应性评价

黄楚雄<sup>1</sup>, 李洁<sup>1</sup>, 刘纪红<sup>2</sup>, 严守雷<sup>1,3,4,\*</sup>, 王茜<sup>5</sup>

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070;

2. 华中农业大学理学院, 湖北武汉 430070;

3. 湖北省水生蔬菜保鲜加工工程技术研究中心, 湖北武汉 430070;

4. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 湖北武汉 430070;

5. 微山县农业农村局, 山东济宁 277600)

**摘要:**为探究莲藕品种对藕圆子品质的影响, 本实验选取6个主栽品种莲藕制备藕圆子, 测定其表面色泽、质构特性、水分含量和脂肪含量, 并用电子鼻和顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)分析藕圆子挥发性风味成分, 最后结合感官评分进行综合评价。结果表明:‘芦林湖藕’藕圆子亮度值 $L^*$ 、 $b^*$ 值显著高于其他品种( $P < 0.05$ ), ‘鄂莲五号’藕圆子的 $a^*$ 值最低; 6种藕圆子质构综合品质排名由高到低依次为‘鄂莲五号’、‘红芽莲藕’、‘芦林湖藕’、‘沔城藕’、‘鄂莲六号’、‘新垦莲藕’; 水分含量和脂肪含量最高的是‘芦林湖藕’藕圆子, 最低的是‘新垦莲藕’, 其中‘鄂莲五号’藕圆子水分含量较高, 脂肪含量适中。HS-SPME-GC-MS检测结果得出藕圆子中含有104种挥发性风味物质, 其中主要风味物质是酯类、醛类和酚类, ‘鄂莲五号’和‘沔城藕’藕圆子的醛类含量高于另外四种藕圆子。电子鼻分析表明, 6种藕圆子样品组成主体风味成分相近, 但也存在一定差异, 其中‘鄂莲五号’藕圆子样品整体风味优于其他品种; 感官评价中, ‘鄂莲五号’藕圆子获得最高的感官评分。综上所述, 不同品种莲藕的藕圆子风味和品质存在明显差异, 在所研究的材料中‘鄂莲五号’莲藕是制作藕圆子的最佳品种。

**关键词:**藕圆子, 品种, 莲藕, 质构特性, 风味物质, 感官评价

中图分类号: TS255.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)06-0283-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020230



本文网刊:

## Suitability Evaluation of Different Varieties of Lotus Rhizome for Lotus Rhizome Balls

HUANG Chuxiong<sup>1</sup>, LI Jie<sup>1</sup>, LIU Jihong<sup>2</sup>, YAN Shoulei<sup>1,3,4,\*</sup>, WANG Xi<sup>5</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Aquatic Vegetable Preservation and Processing Technology Engineering Center of Hubei Province, Wuhan 430070, China;

4. Engineering Research Center of Green Development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China;

5. Weishan Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Jining 277600, China)

**Abstract:** In order to explore the influence of lotus rhizome varieties on the quality of lotus seed, six main varieties of lotus root were selected to prepare lotus seed, and their surface color, texture characteristics, water content and fat content were

收稿日期: 2022-02-28

基金项目: 湖北省技术创新专项(2019ABA108)。

作者简介: 黄楚雄(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 1031913719@qq.com。

\* 通信作者: 严守雷(1975-)(ORCID:0000-0001-9937-6355), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水生蔬菜保鲜加工关键技术, E-mail: yanshoulei1225@mail.hzau.edu.cn。

measured. The volatile flavor components of lotus seed were analyzed by electronic nose and headspace solid phase microextraction coupled with gas chromatography mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Finally, combined with sensory score, comprehensive evaluation was carried out. The results showed that the brightness values  $L^*$  and  $b^*$  of 'Lulinhu' rhizome balls were significantly higher than that of the others ( $P < 0.05$ ), and the value  $a^*$  of 'Eliau No.5' rhizome balls was the lowest among them. Lotus rhizome balls made from 'Eliau No.5' possessed the highest texture quality among all the six samples, followed by that made from 'Hongya', 'Lulinhu', 'Miancheng', 'Eliau No.6' and 'Xinken'. The lotus rhizome balls made from 'Lulinhu' possessed the highest moisture content and fat content. The lotus rhizome balls made from 'Xinken' had the lowest moisture content and fat content. Among the six mainly-planted variety of lotus rhizomes, lotus rhizome balls made from 'Eliau No.5' features a relatively high moisture content and a moderate fat content. The result of HS-SPME-GC-MS showed that there were a total of 104 volatile flavor components found in lotus rhizome balls, mainly including esters, aldehydes and phenols. The content of aldehydes in lotus rhizome balls made from 'Eliau No.5' and 'Miancheng' was higher than that in the other four varieties of lotus rhizome balls. The findings of the E-nose showed that the key flavor compounds from six kinds of lotus rhizome balls were similar, but there was a slightly different, among them the overall flavor of the lotus rhizome balls made from 'Eliau No.5' was slightly better than that made from the other varieties and the lotus rhizome balls made from 'Eliau No.5' achieved the highest score in the sensory evaluation. The lotus rhizome balls made from different varieties of lotus rhizomes possessed different flavors and qualities. Among the lotus rhizome balls made from the lotus rhizomes used in this work, the lotus rhizome ball from 'Eliau No.5' showed the best quality.

**Key words:** lotus rhizome ball; variety; lotus rhizome; texture properties; flavor compounds; sensory evaluation

莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn.), 又称藕, 为我国特有的水生植物, 富含淀粉、膳食纤维等多种营养物质<sup>[1]</sup>。近年来, 莲藕种植面积和产量迅速增加, 仅湖北省地区莲藕种植面积已达 6.30 万  $\text{hm}^2$  以上, 年产量超 185 万 t<sup>[2]</sup>。新鲜莲藕由于水分含量高, 在采收后容易腐烂变质, 直接影响贮藏、运输和销售, 制约了莲藕产业的发展。发展莲藕的深加工, 延伸莲藕产业链, 对促进莲藕产业可持续发展具有重要意义。藕圆子作为一种地方特色食品<sup>[3]</sup>, 是以莲藕为原料, 经过切丁、擦蓉等工艺, 辅以淀粉等辅料, 油炸而成。因表皮金黄, 藕香味浓郁, 广受人们喜爱, 市场需求不断增加。但目前其加工多为小规模手工作坊式, 产品质量参差不齐。适宜的原料是生产优质加工产品的基础<sup>[4]</sup>, 因此筛选适合加工藕圆子的优良莲藕品种尤为重要。

近年来, 关于莲藕品种的研究, 多围绕于莲藕的栽培特性<sup>[5-6]</sup>等方面, 关于莲藕品种对加工产品品质方面的研究相对较少。杨松等<sup>[7]</sup>通过测定原料莲藕和脆片制品的指标, 筛选适合加工莲藕脆片的莲藕品种; 韩丽娟等<sup>[8]</sup>通过比较分析不同莲藕水煮后挥发性风味物质, 筛选适合煨汤型莲藕品种。然而, 关于莲藕品种对藕圆子风味和品质影响的研究尚且不足。本研究以 6 个莲藕主栽品种为原料制备藕圆子, 测定色泽、质构、水分含量、脂肪含量、风味成分等指标, 结合感官评价, 筛选适合加工藕圆子的莲藕品种, 旨在为藕圆子加工专用品种筛选和生产育种上提供理论参考。

## 1 材料与方

### 1.1 材料与仪器

选取鄂莲五号、鄂莲六号、沔城藕、芦林湖藕、红芽莲藕、新垦莲藕 6 个主栽莲藕品种。采收期为 2020 年 11 月, 其中鄂莲五号、鄂莲六号、沔城藕、芦

林湖藕采收自湖北仙桃, 红芽莲藕采收自江苏扬州, 新垦莲藕采收自广东广州, 选取无腐败、大小均一的新鲜莲藕, 对应分别标注为样品 A、B、C、D、E、F; 玉米淀粉、低筋面粉、小苏打、大豆分离蛋白、预糊化淀粉、食用盐、生姜等辅料 购于华中农业大学中百超市; 石油醚 国药集团化学试剂有限公司。

UV Ultra 型色差仪 美国 Hunterlab 公司; TA.XT.PLUS 型质构仪 英国 SMS 公司; TSQ8000Evo 型气质联用仪 美国 Thermo 公司; 50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS 萃取头 美国 Supelco 公司; FOX4000 型电子鼻 法国 Alpha M.O.S 公司; BSA124S 分析天平 德国赛多利斯集团; DF25A 型斯乐得家商两用电炸炉 广东省中山市斯乐得电器有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 藕圆子的制取 参考王清章等<sup>[9]</sup>的方法, 选取新鲜莲藕清洗去皮, 取 200 g 莲藕用不锈钢擦子将鲜藕擦成藕茸, 用 100 目纱布过滤去除 60 g 水分, 取 150 g 莲藕切丁, 藕丁长宽高分别为 5 mm×5 mm×5 mm, 称取 20 g 玉米淀粉、20 g 低筋面粉、1.5 g 预糊化淀粉、1.5 g 食盐、2 g 姜末、1 g 大豆分离蛋白、1 g 小苏打搅拌成藕糊后, 称取 25 g 藕糊, 人工揉搓成直径约为 3 cm 的球形, 放入 170  $^{\circ}\text{C}$  热油中油炸 2 min 后捞起, 放置常温下冷却备用。

1.2.2 藕圆子色泽的测定 采用色差仪直接测定藕圆子表面色泽, 以样品 A 作为空白对照, 其中,  $L^*$  值越大, 藕圆子越亮,  $a^*$ 、 $b^*$  值分别代表藕圆子红( $+a^*$ ) 绿( $-a^*$ ) 度和黄( $+b^*$ ) 蓝( $-b^*$ ) 度, 正  $a^*$  表示红色:  $a^*$  值越大, 藕圆子越红, 正  $b^*$  值表示黄色:  $b^*$  值越大, 藕圆子越黄。每个品种测 5 次, 取平均值。

总色差  $\Delta E$  按照公式计算:  $\Delta E = \left[ (L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ , 其中,  $L_0$ 、 $a_0$ 、 $b_0$  为空白对照的颜色。

1.2.3 藕圆子质构特性的测定 使用 TA-XT Plus

型质构仪测定藕圆子质构。样品在 160 °C 温度下复炸后室温冷却 20 min 测试, 测试对象为整个藕圆子, 做 5 次平行实验; 测试模式: TPA; 选用 P30 探头。

参考杨春梅等<sup>[10]</sup>的方法, 略做修改。参数设定: 测前速率为 5 mm/s、测试速率为 2 mm/s、测后速率为 5 mm/s、压缩率设定为 30%。

**1.2.4 藕圆子水分含量和脂肪含量的测定** 水分含量测定采用 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定(第一法)》; 脂肪含量测定采用 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定(第一法)》。

**1.2.5 藕圆子挥发性风味物质分析** 参考王永倩等<sup>[11]</sup>的方法, 略做修改。各取藕圆子适量进行研磨, 称取 2 g 样品分别置于 10 mL 顶空瓶中, 密封后放入进样盘进样。DVB/CAR/PDMS 萃取头(50/30 μm)于 250 °C 下老化 30 min 后插入顶空瓶, 在 60 °C 下顶空静态吸附 40 min, 萃取头于 GC-MS 的 GC 进样口解吸 3 min。

色谱条件: HP-5MS 毛细管柱(30 m×250 μm, 0.25 μm); 载气高纯氦(He); 流速 1 mL/min; 不分流; 升温程序: 40 °C, 保持 3 min, 以 5 °C/min 升温至 150 °C, 保持时间 3 min, 再以 10 °C/min 升温至 230 °C, 保持时间 2 min。

质谱条件: 离子源温度 230 °C, 四极杆温度 150 °C, 接口温度 250 °C, 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 m/z 25~450。

定性: 挥发性物质以 MS Library of Wiley 7.0 和 NIST Chemistry WebBook 谱库检索相匹配, 保留匹配度均大于 800 的化合物信息。定量: 相对含量的测定采用峰面积归一化法。

**1.2.6 藕圆子的电子鼻分析** 样品准备: 将 2 g 样品装入 10 mL 样品瓶中压紧, 参考汪倩<sup>[12]</sup>方法, 瓶口塞进脱脂棉, 使用专用瓶盖封口, 每组样品至少重复装 4 个样品瓶, 将样品瓶依次放入电子鼻自动进样器上。

电子鼻检测: 顶空温度 35 °C, 振荡速度 500 r/min, 顶空加热时间 1200 s, 气体流量 150 mL/min, 样品采样时间 300 s。每个样品平行测定 3 次。

**1.2.7 藕圆子的感官评价** 选择 10 名专业人员组成评价小组, 每位人员评估样品后使用清水漱口。采用百分制, 针对滋味、气味、咀嚼性、色泽、形状、硬度 6 个感官指标进行打分。参照 DB43/T 809.18-2013《一桌筵宴湘菜 第 18 部分: 玫瑰藕丸》及参考王清章等<sup>[9]</sup>制作感官评价表, 具体内容见表 1。

### 1.3 数据处理

所有实验重复测定 3 次, 其中色泽、质构实验重复测定 5 次。使用 SPSS26 软件进行数据分析; 使用 Origin8.0、Excel 2016 进行图表制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种莲藕对藕圆子色泽的影响

作为油炸类食品, 藕圆子的色度本身并不直接

表 1 不同品种藕圆子感官评价得分

Table 1 Sensory evaluation scores of lotus rhizome balls from different varieties

指标	评分标准	评分(分)
滋味	油炸香味和莲藕清香味明显, 咸香适口, 无焦糊味, 无涩味	21~30
	油炸香味和莲藕清香味不明显, 有轻微焦糊味, 有轻微涩味	11~20
气味	有生味或严重焦糊味, 口感较差, 有异味, 涩味严重	0~10
	有明显油炸香味和莲藕清香味, 香气浓郁, 无异味	13~20
	除了油炸香味和莲藕清香味外, 还有些许异味	7~12
咀嚼性	不能闻到油炸香味和莲藕清香味, 或仅能闻到油炸香味和莲藕清香味, 并且有异味	0~6
	咀嚼性好, 外酥内软, 有明显的莲藕块质感, 口感细腻	11~15
	咀嚼性较差, 口感较粗糙	6~10
色泽	咀嚼性差, 口感粗糙	0~5
	藕圆子表皮呈金黄色, 均匀一致, 无过焦或过白现象	11~15
	颜色焦黄, 不均匀	6~10
形状	颜色焦黑且表皮有黑色杂质	0~5
	形态好, 呈饱满的球状	7~10
	形态差, 呈椭圆形	4~6
硬度	形态较差, 基本不呈球状	0~3
	外酥里嫩, 不咯牙, 无破皮的状态	7~10
	有轻微咯牙, 无明显破皮状态	4~6
	比较咯牙	0~3

对藕圆子的营养价值及风味产生影响, 但会影响消费者的购买欲。藕圆子的色度具有较强的可视性, 良好的色泽可以激发消费者的食欲<sup>[13]</sup>。 $L^*$ 值反映的是藕圆子的亮度大小,  $a^*$ 值是反映藕圆子红度的指标,  $b^*$ 值反映的是藕圆子黄度值的大小<sup>[14]</sup>。不同莲藕品种的藕圆子的表皮色泽( $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值)情况如表 2 所示。

表 2 不同莲藕品种的藕圆子表皮色度

Table 2 Color parameters of lotus rhizome balls prepared from different varieties of lotus rhizomes

样品	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
A	52.99±0.98 <sup>c</sup>	8.55±1.33 <sup>a</sup>	30.30±2.13 <sup>c</sup>	
B	45.32±1.73 <sup>b</sup>	12.67±0.25 <sup>b</sup>	26.28±0.94 <sup>b</sup>	10.09±1.06 <sup>b</sup>
C	35.83±2.06 <sup>a</sup>	17.99±1.41 <sup>c</sup>	23.50±1.29 <sup>ab</sup>	21.05±1.48 <sup>d</sup>
D	50.75±0.39 <sup>e</sup>	10.15±0.57 <sup>a</sup>	35.44±1.12 <sup>d</sup>	6.14±1.99 <sup>a</sup>
E	50.32±0.70 <sup>e</sup>	9.49±0.62 <sup>a</sup>	35.31±2.69 <sup>d</sup>	5.98±0.81 <sup>a</sup>
F	42.86±3.88 <sup>b</sup>	10.12±0.35 <sup>a</sup>	20.44±2.17 <sup>a</sup>	14.62±1.73 <sup>e</sup>

注: 同一列中具有不同小写字母在统计学上( $P<0.05$ )具有显著差异性; 表 3、表 6、表 8 同。

由表 2 可知, 6 种藕圆子的亮度为 35.83~52.99, 其中样品 A、D、E 的  $L^*$  值显著高于其他品种( $P<0.05$ );  $a^*$  值为 8.55~17.99, 其中样品 A、D、E、F 的  $a^*$  值较小, 与其他品种存在显著性差异;  $b^*$  值为 20.44~35.44, 其中样品 D 和 E 的  $b^*$  值最大。 $\Delta E$  值均大于 3, 且除了样品 D、E 外都存在显著性差异( $P<0.05$ ), 说明不同莲藕的藕圆子表皮色差较大, 能被肉眼直接观察到。结合感官评价结果,  $L^*$  值最高的样品在色泽方面得分最高, 据报道, 油炸藕片的最佳

$L^*$ 值为 57.50~58.28<sup>[15]</sup>,与‘鄂莲五号’样品最为接近。

## 2.2 不同品种莲藕对藕圆子质构特性的影响

### 2.2.1 不同品种莲藕的藕圆子的质构特性分析

藕圆子的质构特性是评价藕圆子品质的重要方面。硬度指使藕圆子发生形变所需的最大的力;弹性指样品去除外力后能恢复的程度;内聚性是指样品抵抗咀嚼破坏的内部结合力;咀嚼性是指咀嚼样品使其达到能够吞咽所需功的大小;回复性是指样品第一次压缩回弹的能力<sup>[16]</sup>。

由表 3 可知,不同莲藕品种制备藕圆子的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性、回复性等指标存在差异。样品 F 的硬度较大;弹性变化值 0.35~0.64 mm,样品 A 和样品 E 弹性最大,最小的为样品 B。韩小苗等<sup>[17]</sup>对 3 种鲜藕品种进行 TPA 测定,结果表明,硬度的变异系数较大,回复性的变异系数较小,与本研究结果一致。咀嚼性变化范围为 27.49~55.98 mJ,其中样品 A 咀嚼性最大,样品 F 咀嚼性最小;内聚性变化范围 0.13~0.21,回复性变化范围 0.048~0.074。这是由于原料的纤维素含量不同,导致对淀粉形成微观结构的影响不同,从而影响产品的咀嚼性<sup>[7]</sup>。这与施帅等<sup>[18]</sup>的研究结论一致。

表 3 不同莲藕品种制备藕圆子的质构特性

Table 3 Texture characteristics of lotus rhizome balls prepared from different varieties of lotus rhizomes

样品	硬度(g)	弹性	内聚性	咀嚼性(mJ)	回复性
A	473.90±62.01 <sup>a</sup>	0.64±0.02 <sup>d</sup>	0.19±0.010 <sup>cd</sup>	55.98±7.14 <sup>d</sup>	0.063±0.005 <sup>a</sup>
B	599.33±21.59 <sup>bc</sup>	0.35±0.02 <sup>a</sup>	0.15±0.015 <sup>b</sup>	31.48±4.04 <sup>b</sup>	0.057±0.012 <sup>a</sup>
C	573.37±49.75 <sup>b</sup>	0.42±0.05 <sup>bc</sup>	0.13±0.007 <sup>a</sup>	30.42±4.47 <sup>b</sup>	0.048±0.008 <sup>a</sup>
D	639.41±23.52 <sup>c</sup>	0.41±0.02 <sup>b</sup>	0.17±0.009 <sup>bc</sup>	44.72±2.67 <sup>c</sup>	0.060±0.008 <sup>ab</sup>
E	542.30±28.23 <sup>b</sup>	0.45±0.01 <sup>c</sup>	0.21±0.002 <sup>d</sup>	46.54±2.52 <sup>c</sup>	0.074±0.011 <sup>ab</sup>
F	810.25±16.59 <sup>d</sup>	0.35±0.04 <sup>a</sup>	0.13±0.004 <sup>a</sup>	27.49±3.26 <sup>a</sup>	0.052±0.004 <sup>ab</sup>

### 2.2.2 不同品种莲藕的藕圆子的质构特性主成分分析

由于藕圆子的质构特性由多种指标构成,对藕圆子的各指标进行标准化处理后,进行主成分模型的构建。不同品种莲藕对藕圆子质构主成分方差贡献率见表 4,变量因子载荷量见表 5。

表 4 质构主成分方法贡献率

Table 4 Variance contribution rate of principal components

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)	特征值	方差贡献率(%)	累积方差贡献率(%)
1	2.941	58.827	58.827	2.941	58.827	58.827
2	1.446	28.917	87.744	1.446	28.917	87.744
3	0.536	10.711	98.455			
4	0.045	0.908	99.363			
5	0.032	0.637	100			

主成分分析一般通过确定特征值大于 1 的主成分。由表 4 可知,前 2 个主成分的特征值均大于 1,累积方差贡献率达 87.744%,说明代表藕圆子质构的主要信息。主成分载荷系数的绝对值与该变量代表

性呈正相关性。由表 5 可知,主成分 1 包括了质构指标的大部分信息,主要有咀嚼性(0.889)、弹性(0.782)、内聚性(0.781)。主成分 2 主要包括硬度(0.684)、回复性(-0.634)。

表 5 变量因子载荷矩阵

Table 5 Variable factor load matrix

变量	品质指标	主成分1	主成分2
X <sub>1</sub>	硬度	0.626	0.684
X <sub>2</sub>	弹性	0.782	0.167
X <sub>3</sub>	内聚性	0.781	-0.606
X <sub>4</sub>	咀嚼性	0.889	0.426
X <sub>5</sub>	回复性	0.732	-0.634

由表 5 可计算得各主成分的表达式:

$$F_1=0.626X_1+0.782X_2+0.781X_3+0.889X_4+0.732X_5$$

$$F_2=0.684X_1+0.167X_2-0.606X_3+0.426X_4-0.634X_5$$

以主成分及每个主成分对应的特征值占所有主成分总的特征值之和的比例为权重,计算主成分综合模型:  $F=(0.5883F_1+0.2892F_2)/0.8774$ 。在主成分分析的基础上,根据综合得分模型计算不同品种莲藕的藕圆子质构的综合得分,样品 A~F 的得分分别为 3.271、-1.233、-1.159、0.171、0.876、-1.926,其中样品 A 综合得分最高为 3.271 分、样品 F 最低为 -1.926。综合得分越高,说明该品种的藕圆子质构特性越好。由表 6 可知,6 种藕圆子的质构特性综合得分由高到低为 A>E>D>C>B>F,与感官评定结果基本一致。

表 6 不同品种莲藕制备藕圆子的水分含量和脂肪含量

Table 6 Water content and fat content of lotus rhizome balls from different varieties of lotus rhizomes

样品	水分含量(%)	脂肪含量(%)
A	59.36±0.48 <sup>cd</sup>	13.80±1.50 <sup>cd</sup>
B	58.40±1.60 <sup>bc</sup>	13.80±2.40 <sup>bc</sup>
C	58.60±0.60 <sup>bc</sup>	13.59±0.55 <sup>bc</sup>
D	60.34±0.93 <sup>d</sup>	15.02±0.74 <sup>d</sup>
E	57.29±0.79 <sup>b</sup>	11.81±0.37 <sup>b</sup>
F	55.25±0.81 <sup>a</sup>	9.16±0.68 <sup>a</sup>

## 2.3 不同品种莲藕对藕圆子水分含量和油脂含量的影响

由表 6 可知,6 种藕圆子的水分含量为 55.25%~60.34%,粗脂肪含量为 9.16%~15.02%,最大的均为样品 D,最小的均为样品 F。不同莲藕品种的藕圆子中水分含量和脂肪含量差异较大,可能是由于品种等因素的原因。可以看到‘芦林湖藕’藕圆子的水分含量最高,达到 60.34%,‘新垦莲藕’为原料的藕圆子水分含量最低,可能原料的水分含量不同,导致油炸过程中水分散失速率存在差异<sup>[17]</sup>。

## 2.4 不同品种莲藕的藕圆子挥发性成分的分析

利用 HS-SPME-GC-MS 技术可以对挥发性成分进行精准定性和定量分析,6 个莲藕品种的藕圆子

的挥发性风味物质及相对含量见表 7。

由表 7 可知, 6 种藕圆子共鉴定出 104 种挥发性风味物质, 其中‘鄂莲五号’、‘鄂莲六号’、‘沔城藕’、‘芦林湖藕’、‘红芽莲藕’、‘新垦莲藕’分别鉴定出 64、44、55、54、51、51 种风味物质, 醛类、醇类、呋喃类、酯类是藕圆子主要的挥发性物质, 其中醛类物质突出, 除此以外, 烃类、酸类、酮类、吡嗪类物质都是藕圆子挥发性风味物质的重要组成。不同品种挥发性物质的种类和含量不同可能造成风味差异, 不同类型的挥发性成分呈现不同味觉体验。

醛类化合物是油炸食品香气成分中最主要的一类物质, 主要与低级的、不饱和的醇类构成了独特的油脂香<sup>[19]</sup>。根据表 7 可知, 6 种藕圆子醛类物质含量最为丰富。其中, 壬醛、(E)-2-癸烯醛和(E, E)-2, 4-癸二烯醛相对含量最高, 是藕圆子中主要醛类风味物质。壬醛具有强烈的油脂气味和甜橙气息<sup>[20]</sup>, (E)-2-癸烯醛、(E, E)-2, 4-癸二烯醛具有强烈的鸡油香气, (E)-2-辛烯醛具有脂肪和肉类香气, 并有黄瓜和鸡肉香味<sup>[21]</sup>, 正己醛、2-十一烯醛具有清草味、蔬菜芳香<sup>[22]</sup>。在 6 种藕圆子中, ‘鄂莲五号’的(E)-2-癸烯醛含量最高。‘鄂莲五号’和‘沔城藕’含量高于其他 4 个品种。醛类化合物主要是莲藕中不饱和脂肪酸氧化生成过氧化物或者油脂自身氧化所产生<sup>[19]</sup>, 阈值比较

低, 说明脂类氧化是藕圆子风味的重要来源之一, 提供藕圆子的油脂香和蔬菜香。

醇类物质具有植物香气, 来源于不饱和脂肪酸氧化降解, 通常饱和醇气味阈值较高, 对风味的贡献率较低, 如正庚醇, 而一些不饱和醇阈值较低, 如 1-辛烯-3-醇。1-辛烯-3-醇具有蘑菇鲜味, 来源于酶催化氧化亚油酸和亚麻酸<sup>[23]</sup>。醇类物质是藕圆子中起关键作用的风味物质之一, 醇类物质可以和酸类物质发生酯化反应, 生成具有果香气味的酯类物质。唐小闲等<sup>[24]</sup>研究气蒸加工对莲藕挥发性风味物质的变化, 发现经过气蒸过程后, 醇类物质种类没有变化, 相对含量降低。因此, 不同莲藕品种中的醇类、氨基酸、脂肪含量差异可能导致不同莲藕品种的藕圆子醇类物质存在差异。

呋喃类化合物来源于氨基酸与还原糖间的美拉德反应以及脂肪的氧化反应, 绝大多数具有强烈的肉香味且香气阈值极低<sup>[25-26]</sup>。6 种藕圆子中均检测出了 2-戊基呋喃、2-庚基呋喃。2-戊基呋喃具有强烈的肉香味和植物的芳香味, 2-庚基呋喃具有脂肪、油腻、内酯香<sup>[26]</sup>, 对藕圆子风味有不可替代的作用。吡嗪类物质是油炸食品中典型的风味物质, 大都具有黑面包香味, 其形成直接途径是氨基酸和  $\alpha$ -二羰基化合物进行缩合反应, 发生 Strecker 降解反应<sup>[25]</sup>。具有

表 7 不同莲藕品种的藕圆子挥发性风味物质及相对含量

Table 7 Volatile composition of lotus rhizome balls from different varieties

种类	化合物名称	保留时间(min)	样品A	样品B	样品C	样品D	样品E	样品F
醇类	2-硝基乙醇	2.24	-	5.46	3.29	-	-	2.32
	丙二醇	2.25	-	-	-	5.5	-	-
	(S)-(+)-1,3-丁二醇	2.33	-	1.64	-	1.99	-	-
	环戊醇	3.23	-	-	0.05	-	-	-
	丙酮醇	4.08	-	-	0.17	-	-	-
	2,4-庚二烯-1-醇	4.56	-	0.11	-	-	-	-
	正戊醇	5.23	0.35	-	-	-	-	-
	3-呋喃甲醇	6.98	0.74	1.72	-	1.54	-	2.35
	正己醇	7.38	0.25	-	-	-	-	2.34
	橙花醇	9.27	-	0.76	-	0.47	-	3.09
	正庚醇	10.36	0.82	1.03	1.03	-	0.77	1.37
	1-辛烯-3-醇	10.64	1	-	0.96	0.62	0.89	2.64
	正辛醇	14.37	1.23	-	-	0.83	-	-
	芳樟醇	15.27	1.79	-	1.68	-	2.04	-
	4-萜烯醇	16.66	-	0.13	0.11	-	-	0.25
	$\alpha$ -松油醇	17.04	-	-	-	-	-	0.52
	2-茨醇	17.28	-	0.39	0.35	-	-	-
	3,7-二甲基-6-辛烯-1-醇	18.07	-	-	-	-	-	0.1
	3,7,11-三甲基-1-十二烷醇	20.74	0.07	-	-	-	-	-
	11-十六炔-1-醇	21.77	0.08	-	-	-	-	-
	(Z,E)-9,12-十四二烯-1-醇	23.17	0.28	-	-	-	-	-
	1-十四醇	23.49	0.14	0.2	0.13	0.1	-	-
	正二十二醇	25.84	0.02	-	-	-	-	-
1-十七烷醇	26.65	0.07	-	-	-	-	-	
十九烷醇	31.19	-	-	-	-	0.08	0.15	-

续表 7

种类	化合物名称	保留时间(min)	样品A	样品B	样品C	样品D	样品E	样品F	
醛类	2-甲基丁醛	3.26	0.05	1.84	—	0.51	—	4.96	
	正己醛	5.97	5.23	5.04	7.12	2.54	5.49	—	
	庚醛	8.98	2.57	—	2.74	—	—	—	
	(E)-2-庚烯醛	10.72	4.19	4.66	4.95	3.56	4	—	
	桃醛	12.94	—	—	—	—	0.09	0.51	
	(E)-2-辛烯醛	13.06	3.36	3.98	3.24	3.53	2.76	3.98	
	苯乙醛	13.51	—	0.86	0.8	0.6	0.81	—	
	2-甲基十一醛	14.10	0.43	0.58	0.51	0.4	0.56	0.67	
	壬醛	14.47	14.56	13.45	13.98	10.17	14.06	15.86	
	癸醛	17.44	1.14	0.9	1.07	0.79	0.91	0.79	
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	17.67	0.49	0.36	0.42	0.31	0.3	0.35	
	(E)-4-癸醛	18.18	0.38	0.24	0.34	0.34	—	—	
	(E)-2-癸烯醛	19.02	13.4	12.27	13.03	9.82	11.75	8.39	
	柠檬醛	19.29	—	—	—	—	—	0.18	
	十一醛	21.26	0.59	0.54	0.56	0.46	0.51	0.31	
	2-十一烯醛	22.78	10.23	8.96	9.21	7.71	9.64	5.61	
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	23.04	15.42	14.12	14.09	11.94	13.65	9.62	
	十二醛	23.94	0.35	—	0.37	0.29	0.36	—	
	十四烷醛	29.76	0.02	—	—	—	—	—	
	烃类	庚烷	3.64	—	—	0.09	—	—	—
		1-氯戊烷	4.90	—	—	0.61	—	0.32	2.54
1-氯庚烷		7.99	—	—	—	—	0.33	—	
2-氯庚烷		8.00	—	—	—	0.12	—	—	
二氧化乙烯基环己烯		9.82	—	0.61	—	—	—	—	
P-伞花烃		12.04	—	—	—	—	—	0.59	
正十二烷		15.03	0.68	0.51	0.66	0.47	0.59	—	
十一烷		15.27	—	—	—	1.13	—	—	
环氧化蛇麻烯 II		16.02	—	—	—	0.71	—	—	
萘		17.76	—	—	0.04	—	—	—	
角鲨烯		18.81	—	—	—	—	—	0.52	
正十三烷		20.05	0.63	0.59	0.63	0.48	0.39	0.25	
正十四烷		22.70	0.25	0.24	0.25	0.18	0.24	0.15	
$\alpha$ -柏木烯		24.83	—	—	0.19	0.08	—	0.48	
A-姜黄烯		24.92	—	—	0.93	0.59	0.14	1.92	
$\beta$ -柏木烯		26.16	—	—	0.36	0.17	—	0.69	
十五烷		26.32	0.25	—	—	—	0.28	—	
呋喃类	2-戊基呋喃	11.03	5.67	4.66	4.9	4.27	5.81	12.56	
	2-庚基呋喃	17.07	0.95	0.97	1.13	0.9	0.73	0.69	
吡嗪类	2-乙基吡嗪	8.62	—	—	—	—	1.89	1.61	
	2,3-二甲基吡嗪	8.75	0.79	—	—	—	1.8	0.3	
	2,5-二甲基吡嗪	9.23	1.76	4.28	—	13.92	2.1	—	
	2-乙基-6-甲基吡嗪	12.02	—	—	—	1.23	—	—	
	2-乙基-5-甲基吡嗪	12.04	—	—	—	—	0.15	—	
	2-甲基-3-(2-甲基丙基)吡嗪	12.91	—	0.28	—	0.35	—	—	
	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	13.86	0.1	—	0.1	0.53	—	0.09	
	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	13.93	0.28	0.48	0.2	—	0.5	0.45	
	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	14.60	1.8	3	2.53	5.98	2.22	—	
	2-异丙基-3-甲基吡嗪	14.94	—	—	—	0.12	—	—	
酯类	甲酸辛酯	13.44	—	1.19	1.39	—	1.06	0.92	
	丙位癸内酯	16.88	—	0.09	—	—	—	—	
	丙位庚内酯	16.88	0.1	—	—	0.08	—	—	
	丙位十二内酯	18.59	—	—	—	—	—	0.44	
	丙位辛内酯	18.94	0.27	0.21	0.33	0.16	0.17	0.12	
	乙酸龙脑酯	19.75	—	—	—	—	—	0.5	

续表 7

种类	化合物名称	保留时间(min)	样品A	样品B	样品C	样品D	样品E	样品F
酸类	L-乳酸	2.33	-	-	-	-	7.02	-
	乙酸	2.55	-	-	0.02	-	-	3.42
	亚油酸	14.94	-	-	0.03	-	-	-
	壬酸	20.21	-	-	-	0.03	-	-
	反式-13-十八碳烯酸	23.38	-	0.04	-	-	-	-
酮类	2-戊基环己-1-酮	7.52	-	-	0.38	-	-	-
	2-丙基环己酮	7.56	-	-	-	-	0.7	-
	5-甲基-2-己酮	8.65	-	0.75	-	-	0.96	-
	2-庚酮	8.66	0.73	-	0.89	-	-	-
	甲基庚烯酮	10.90	-	-	-	-	-	0.87
	3-辛酮	11.71	0.1	-	-	-	-	-
	甲基环戊烯醇酮	12.93	-	-	-	0.09	-	-
	3-壬烯-2-酮	15.51	-	0.71	-	-	-	0.63
	2-(丙烷-2-基)环己酮	16.02	-	-	-	-	0.97	-
	3-丁基-环戊酮	16.10	2.26	2.12	2.19	1.84	1.83	1.88
	9-羟基-4,7-巨豆二烯-3-酮	16.31	0.17	-	0.14	-	0.12	-
	3-壬烯-2-酮	16.46	0.62	-	0.59	-	0.54	-
	3,3,5,5-四甲基环己酮	17.96	-	-	-	-	-	0.87
	氧杂环十二烷-2-酮	18.18	-	-	-	-	0.26	-
	6-十二烷酮	22.97	0.08	-	-	-	-	-
	7-十三酮	22.98	-	-	-	0.04	-	-
	2-环亚戊基环戊酮	23.25	0.03	-	-	-	-	-
	苯己酮	25.28	0.03	0.04	0.04	0.03	-	-
	2-十五烷酮	30.60	0.12	-	0.18	0.14	0.13	0.08

注: -代表未检出。

坚果味、焙烤味的 2-乙基-3,6-二甲基吡嗪在大部分品种的藕圆子中都有被检测<sup>[27]</sup>。吡嗪、呋喃类化合物构成的焦糖、烘烤香和醇类、醛类化合物构成的油脂香,按一定比例共同构成了油炸食品的特殊香气。

酯类化合物主要来源于脂肪酸分解,一般具有令人愉快的水果香气或酒香味<sup>[28]</sup>,可改善食品风味。6 种藕圆子中均检出丙位辛内酯,赋予了藕圆子浓郁的油炸香味<sup>[27]</sup>。烃类物质在藕圆子中含量较少,且烷烃类化合物的香气阈值一般偏高,对藕圆子风味的构成无明显贡献,但可能有助于改善整体风味。

藕圆子中酮类化合物主要通过多不饱和和脂肪酸的热降解或  $\beta$ -氧化产生<sup>[29]</sup>,大部分酮类物质具有清香气味,香味持续时间长,主要辅助其他风味物质,使藕圆子中莲藕香味更浓。酸类含量较少甚至没有检测到。

综上所述,6 种藕圆子中挥发性物质种类及含量存在较大差异,主要贡献风味的物质为醛类、醇类和呋喃类,与张文君等<sup>[30]</sup>检测藕夹的挥发性物质成分的结果类似。‘鄂莲五号’藕圆子的风味物质种类最多为 64 种,醛类、醇类、呋喃类含量均较高,香气表现为脂肪香、蔬菜香、清香味,风味指标优于其他品种,与感官评价结果类似。

### 2.5 基于电子鼻技术对不同品种藕圆子风味物质分析

由图 1 可知,6 种藕圆子的整体轮廓基本一致,强度存在差异,说明挥发性物质种类基本一致,浓度

存在差异。样品在 T30/1、P40/1、T70/1、PA/2、P30/1、P40/2、P30/2 和 T40/2 8 个感应器上存在差距,说明不同品种莲藕的藕圆子风味存在较大差异,‘鄂莲五号’、‘新垦莲藕’、‘红芽莲藕’、‘沔城藕’距离相近,较为相似,与‘鄂莲六号’、‘芦林湖藕’风味区别较大,与 HS-SPME-GC-MS 技术分析鉴定结果类似。

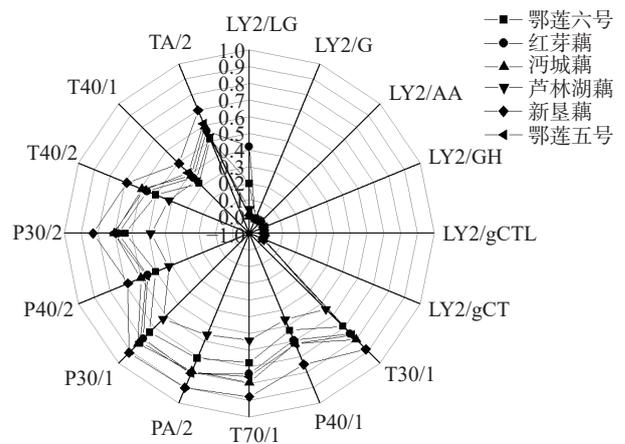


图 1 不同品种藕圆子挥发性物质雷达图

Fig.1 Radar pattern of volatiles from lotus rhizome balls of different varieties

如图 2 所示,主成分 1 的方差贡献率为 67.44%,主成分 2 的方差贡献率为 13.80%。前 2 个主成分的方差贡献率达 81.24%,能够充分代表样品的原始

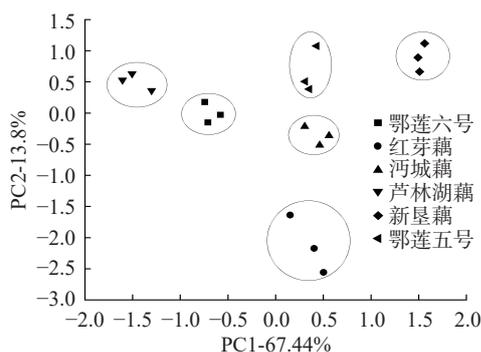


图2 不同品种藕圆子挥发性物质主成分分析图

Fig.2 Principal component analysis of volatiles from lotus rhizome balls of different varieties

表8 不同品种藕圆子的感官评价结果

Table 8 Sensory scores of different lotus rhizome balls

样品	滋味	气味	咀嚼	色泽	形状	硬度	综合评分
A	19.33±1.02 <sup>ab</sup>	15.00±0.61 <sup>d</sup>	11.33±0.04 <sup>bc</sup>	13.00±0.73 <sup>c</sup>	7.33±1.15 <sup>a</sup>	7.67±0.53 <sup>b</sup>	73.66±1.05 <sup>c</sup>
B	20.67±1.93 <sup>b</sup>	13.33±0.51 <sup>b</sup>	11.67±0.15 <sup>c</sup>	11.00±1.00 <sup>b</sup>	7.33±0.58 <sup>a</sup>	7.33±1.15 <sup>ab</sup>	71.33±0.17 <sup>cd</sup>
C	21.33±1.79 <sup>b</sup>	14.67±0.13 <sup>d</sup>	10.67±0.53 <sup>b</sup>	8.00±1.00 <sup>a</sup>	7.00±1.65 <sup>a</sup>	6.67±1.15 <sup>ab</sup>	68.34±0.49 <sup>bc</sup>
D	16.67±1.59 <sup>a</sup>	10.67±0.79 <sup>a</sup>	11.67±0.51 <sup>c</sup>	12.67±1.31 <sup>bc</sup>	7.67±0.58 <sup>a</sup>	5.33±0.53 <sup>a</sup>	64.68±2.16 <sup>a</sup>
E	19.33±1.51 <sup>ab</sup>	14.33±0.53 <sup>cd</sup>	11.33±0.08 <sup>bc</sup>	11.67±1.08 <sup>bc</sup>	6.67±1.08 <sup>a</sup>	7.00±1.00 <sup>ab</sup>	70.33±2.02 <sup>cd</sup>
F	21.33±1.08 <sup>b</sup>	13.67±0.21 <sup>bc</sup>	9.33±0.53 <sup>a</sup>	6.67±0.53 <sup>a</sup>	7.67±1.53 <sup>a</sup>	7.33±1.53 <sup>ab</sup>	66.00±1.22 <sup>ab</sup>

### 3 结论

通过测定6个不同莲藕品种所制取藕圆子的色泽、质构特性、水分含量、脂肪含量,并结合挥发性风味成分和感官评价等指标对比分析,发现不同莲藕品种所制备藕圆子风味及综合品质存在较大差异。6种藕圆子水分含量为55.25%~60.34%,粗脂肪含量为9.16%~15.02%。其中‘鄂莲五号’藕圆子水分含量较高,粗脂肪含量较低。6种藕圆子的亮度在35.83~52.99之间,‘鄂莲五号’、‘芦林湖藕’、‘红芽莲藕’的 $L^*$ 值显著高于其他品种( $P<0.05$ );‘鄂莲五号’藕圆子的质构综合评分显著高于其他品种( $P<0.05$ )。采用HS-SPME-GC-MS技术分析鉴定出104种挥发性风味物质,种类及含量存在较大差异,主要贡献风味的物质为醛类、醇类和呋喃类;电子鼻技术分析鉴定得出各个品种藕圆子挥发性成分种类类似,但含量存在一定差异。其中‘鄂莲五号’藕圆子中挥发性物质种类和含量最丰富,同时通过感官分析结果显示鄂莲五号的表皮色泽金黄、口感好、风味浓郁,与HS-SPME-GC-MS和电子鼻的检测结果一致。综上所述,受试品种中最适合用于制备藕圆子的莲藕品种为‘鄂莲五号’。

#### 参考文献

[1] SRUTHI A, PANJIKKARAN S T, ANEENA E R, et al. Insights into the composition of lotus rhizome[J]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2019, 8(3): 3550-3555.  
 [2] 郭凤领, 吴金平, 周洁, 等. 湖北省水生蔬菜产业调研报告及对策建议[J]. *中国瓜菜*, 2020, 33(8): 80-84. [GUO F L, WU J P, ZHOU J, et al. Research report and countermeasures of aquatic veg-

数据信息。‘鄂莲五号’、‘鄂莲六号’、‘沔城藕’、‘芦林湖藕’、‘红芽莲藕’、‘新垦莲藕’距离较近,风味方面有相似,但是每个样品都存在一定距离,说明不同品种藕圆子的风味物质之间存在差异性。

### 2.6 不同品种藕圆子的感官品质分析

作为油炸食品,藕圆子的感官属性尤其是风味直接影响消费者的购买欲<sup>[31]</sup>,因此需对藕圆子进行客观的感官评价。对6种藕圆子样品的滋味、气味、咀嚼、色泽、形状、硬度6个方面的感官评价得分进行汇总,结果如表8所示。样品A(‘鄂莲五号’)的咸香适口,藕香浓郁,咀嚼性好,色泽金黄,综合评分最高。

etable industry in Hubei Province[J]. *Chinese Cucurbits and Vegetables*, 2020, 33(8): 80-84.]

[3] 姚伟钧, 王金国. 荆楚饮食文化论略[J]. *湖北经济学院学报*, 2004(2): 113-119. [YAO W J, WANG J G. A study on Jingchu dietary culture[J]. *Journal of Hubei University of Economics*, 2004(2): 113-119.]

[4] 欧阳玲花, 朱雪晶, 何家林, 等. 不同品种马铃薯用于真空油炸薯条的适宜性[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(19): 230-236.

[OUYANG L H, ZHU X J, HE J L, et al. Suitability of different potato varieties for processing vacuum fried chips[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(19): 230-236.]

[5] LI H, YANG X, WANG Q, et al. Distinct methylome patterns contribute to ecotypic differentiation in the growth of the storage organ of a flowering plant (sacred lotus)[J]. *Molecular Ecology*, 2021, 30(12): 2831-2845.

[6] KURASHITA H, KURODA K, NARIHIRO T, et al. Accurate evaluation of blackening disease in lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) using a quantitative PCR-based assay for *Hirschmanniella diversa* Sher and *H. imamuri* Sher[J]. *Crop Protection*, 2021, 139: 105380.

[7] 杨松, 伍玉菡, 陈敏, 等. 不同品种莲藕加工脆片适宜性评价[J]. *食品与机械*, 2019, 35(7): 199-203, 209. [YANG S, WU Y H, CHEN M, et al. Suitability evaluation for processing chips from different lotus root cultivars[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(7): 199-203, 209.]

[8] 韩丽娟, 黄楚雄, 李洁, 等. 不同品种莲藕水煮风味物质比较[J]. *食品科学*, 2020, 41(22): 245-251. [HAN L J, HUANG C X, LI J, et al. Comparison of flavor substances of water-boiled lotus roots from different varieties[J]. *Food Science*, 2020, 41(22): 245-251.]

[9] 王清章, 卢海强, 陈宇标. 莲藕圆子及低脂藕片加工与保藏

- [J]. *食品科技*, 2000(1): 26–27. [WANG Q Z, LU H Q, CHEN Y B. Processing and preservation of lotus root balls and low fat lotus root slices[J]. *Food Science and Technology*, 2000(1): 26–27.]
- [10] 杨春梅, 包萨日娜, 吴金鸿, 等. 大豆组织蛋白素肉丸子的研制[J]. *食品科学*, 2011, 32(6): 301–306. [YANG C M, BAO S R N, WU J H, et al. Development of textured soybean protein meatballs[J]. *Food Science*, 2011, 32(6): 301–306.]
- [11] 王永倩, 刘卫光, 高杰, 等. 油条风味物质的顶空固相微萃取条件优化及成分分析[J]. *农产品加工*, 2017(8): 30–36. [WANG Y Q, LIU W G, GAO J, et al. Optimization of HS-SPME to study the odorant extracts and analysis of flavor composition from Youtiao[J]. *Farm Products Processing*, 2017(8): 30–36.]
- [12] 汪倩. 燕麦麸猪肉丸的配方优化及烹饪、储藏和复热对其品质影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2017. [WANG Q. Studies on the development of oat bran pork meatballs and the effects of cooking, storing and reheating to its qualities[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.]
- [13] CANIO F, MARTINELLI E, PERUZZINI M, et al. The use of virtual tours to stimulate consumers' buying and visit intentions: An application to the parmigiano reggiano cheese[J]. *Italian Journal of Marketing*, 2021(3): 1–18.
- [14] 李艺, 谭宏渊, 王雨婷, 等. 茯苓全粉对白鲢鱼糜凝胶特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 64–69. [LI Y, TAN H Y, WANG Y T, et al. Effect of poria cocos full powder on surimi gel[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 64–69.]
- [15] 张文君, 何慧, 聂志奎, 等. 油炸藕片加工工艺和质构特性研究[J]. *食品科学*, 2012, 33(10): 141–145. [ZHANG W J, HE H, LIE Z K, et al. Processing technology and texture properties of fried lotus root slices[J]. *Food Science*, 2012, 33(10): 141–145.]
- [16] NISHINARI K, FANG Y. Perception and measurement of food texture: Solid foods[J]. *Journal of Texture Studies*, 2018, 49(2): 160–201.
- [17] 韩小苗, 罗庆, 吴苏喜. 3种鲜藕的质构特性及风味物质测定与评价[J]. *食品与机械*, 2017, 33(9): 64–68. [HAN X M, LUO Q, WU S X. Evaluation of textural properties and flavor substances of three varieties of fresh lotus root[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(9): 64–68.]
- [18] 施帅, 李志方, 陈桃桃. 水油混合式油炸方式对泰州龙香芋丸品质的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(5): 168–173. [SHI S, LI Z F, CHEN T T. Effect of oil-water mixed frying method on the quality characteristics of Taizhou dragon taro balls[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(5): 168–173.]
- [19] CHANG C, WU G, ZHANG H, et al. Deep-fried flavor: Characteristics, formation mechanisms, and influencing factors[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(9): 1496–1514.
- [20] 吴燕, 周君, 明庭红, 等. 基于电子鼻结合气相色谱-质谱联用技术解析不同产地马铃薯挥发性物质的差异[J]. *食品科学*, 2016, 37(24): 130–136. [WU Y, ZHOU J, MING T H, et al. Analysis of volatile components of potato from different habitats by electronic nose and GC-MS[J]. *Food Science*, 2016, 37(24): 130–136.]
- [21] SUN J, MA M, SUN B, et al. Identification of characteristic aroma components of butter from Chinese butter hotpot seasoning [J]. *Food Chemistry*, 2020, 338(4): 127838.
- [22] 金润楠, 李子函, 赵开丽, 等. 基于气质联用的不同产地温州蜜柑香气成分比较分析[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 252–260. [JIN R L, LI Z H, ZHAO K L, et al. A comparative analysis of aroma components of satsuma mandarin from different producing areas based on HS-SPME-GC-MS[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(2): 252–260.]
- [23] 刘璐, 黄文, 程薇, 等. 烫漂方式对香菇挥发性成分的影响[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(3): 210–215, 265. [LIU L, HUANG W, CHENG W, et al. Effect of blanching treatment on the volatile components of *Lentinus edodes* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(3): 210–215, 265.]
- [24] 唐小闲, 董明琴, 罗杨合, 等. 莲藕片汽蒸加工工艺及其挥发性风味物质变化研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(12): 61–69. [TANG X X, DONG M Q, LUO Y H, et al. Steam processing technology of lotus root slices and the changes of Its volatile flavoring substances[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(12): 61–69.]
- [25] LUO X, XIAO S, RUAN Q, et al. Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying[J]. *Food Chemistry*, 2022, 372: 131260.
- [26] YIN F, ZHANG X, SONG S, et al. Identification of aroma types and their characteristic volatile compounds of Chinese faint-scent cigarettes based on descriptive sensory analysis and GC-MS and partial least squares regression[J]. *European Food Research & Technology*, 2015, 242(6): 1–12.
- [27] 郑开迪, 梁杉, 张敏, 等. 添加马铃薯全粉对面条挥发性风味化合物的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(6): 239–245. [ZHENG K D, LIANG S, ZHANG M, et al. Effects of potato flour on volatile flavor compounds in noodles[J]. *Food Science*, 2020, 41(6): 239–245.]
- [28] 陆宽, 王雪雅, 孙小静, 等. 电子鼻结合顶空 SPME-GC-MS 联用技术分析贵州不同品种辣椒发酵后挥发性成分[J]. *食品科学*, 2018(4): 199–205. [LU K, WANG X Y, SUN X J, et al. Analysis of the volatile components of fermented hot pepper from different varieties grown in Guizhou by electronic nose combined with SPME-GC-MS[J]. *Food Science*, 2018(4): 199–205.]
- [29] WANG X, GUO M, SONG H, et al. Characterization of key odor-active compounds in commercial high-salt liquid-state soy sauce by switchable GC/GC×GC-olfactometry-MS and sensory evaluation[J]. *Food Chemistry*, 2020, 342(3): 128224.
- [30] 张文君, 何慧, 杨尔宁, 等. SPME-GC-MS 法检测油炸藕片挥发性风味物质[J]. *食品科学*, 2012, 33(14): 228–234. [ZHANG W J, HE H, YANG N N, et al. Detection of volatile flavor components in fried lotus root stuffed with meat by SPME-GC-MS[J]. *Food Science*, 2012, 33(14): 228–234.]
- [31] DERY E K, CAREY E E, SSALI R T, et al. Sensory characteristics and consumer segmentation of fried sweetpotato for expanded markets in Africa[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(3): 1419–1431.