

### 3 种鲜藕的质构特性及风味物质测定与评价

#### Evaluation of textural properties and flavor substances of three varieties of fresh lotus root

韩小苗<sup>1</sup> 罗庆<sup>2</sup> 吴苏喜<sup>1</sup>

HAN Xiao-miao<sup>1</sup> LUO Qing<sup>2</sup> WU Su-xi<sup>1</sup>

(1. 长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南长沙 410114; 2. 广西百色食品药品检验所, 广西百色 533000)

(1. School of Chemical and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Guangxi Baise Food and Drug Inspection Institute, Baise, Guangxi 533000, China)

**摘要:**为寻求适合莲藕食品生产的优良鲜藕品种,测定了湖北 3 个莲藕品种的理化特性,并利用质构仪、GC-MS 和电子鼻研究其质构特性和风味物质。结果表明,3 个品种之间的理化特性除了总纤维含量外均有显著差异,鄂莲 5 号的质构特性优于鄂莲 3 号和 4 号;GC-MS 检测出鄂莲 3 号、4 号、5 号的风味物质分别为 35, 28, 40 种,主要是酯类、烷烃类和芳香烃类,其中鄂莲 4 号的 28 种风味成分是 3 个莲藕品种共有的;鄂莲 5 号的风味物质种类和含量明显多于鄂莲 3 号和 4 号,特别是酯类物质含量较多,占总检出物质的 68.8%;电子鼻检测出 3 种莲藕的主成分差异与 GC-MS 检测出 3 种莲藕的风味物质差异结果具有一致性。综合评价得出,鄂莲 5 号是 3 个莲藕品种中较为优良的品种,较适合作为口感醇厚、风味柔和的莲藕食品生产原料。

**关键词:**莲藕; 风味物质; 质构特性; GC-MS; 电子鼻; 主成分分析

**Abstract:** Phy-chemical properties and flavor substances of the three varieties of Hubei lotus root were studied by electronic nose and GC-MS. The results showed that there were significant differences in the physical and chemical properties except the total fiber content among the three hybrid varieties, and texture properties of the hybrid variety NO.5 of lotus root were better than the hybrid varieties NO.3 and NO.4. Detection of flavor substances showed that 40 kinds of flavor substances were detected in NO.5, that 35 kinds of flavor substances were detected in NO.3, that 28 kinds of flavor substances were detected in NO.4. About the detected flavors, 28 are common among the three lotus varieties, which are mainly esters, alkanes and aromatic hydrocarbons. The number and content of flavor substances

in NO.5 were significantly higher than those in NO.4 and NO.3, especially the more material content of esters, accounting for 68.8% of the total detected substances. The volatile substances of lotus root by electronic nose was consistent with the result of different flavors of lotus root detected by GC-MS. The comprehensive evaluation showed that hybrid variety NO.5 of lotus root was good quality lotus root.

**Keywords:** lotus root; flavor substance; texture properties; GC-MS; electronic nose; principal component analysis

莲藕既是一种蔬菜又兼有水果特性,集营养和保健于一体。中国莲藕的种植面积大,仅湖北省就超过了  $6.31 \times 10^4 \text{ hm}^2$ <sup>[1]</sup>。莲藕因其独特风味而深受消费者的喜爱,也吸引了国内外学者对莲藕的广泛研究。目前研究主要集中在莲藕护色<sup>[2]</sup>、保鲜<sup>[3-5]</sup>、干燥<sup>[6]</sup>和生物活性物质提取及其抗氧化活性研究<sup>[7-8]</sup>等方面。而有关莲藕风味物质的研究才刚刚起步。刘军波等<sup>[9]</sup>利用电子鼻研究藕粉汁与鲜藕汁的风味物质差异,发现两者的挥发性风味物质种类保持了协调一致,但藕粉汁的热敏性风味物质略低于鲜藕汁。张文君等<sup>[10]</sup>利用固相微萃取—气质联用技术分析藕夹挥发性风味物质,从藕夹中共检出 53 种化合物,主要为醛类、含硫化合物、酯类、酮类以及呋喃类化合物。而对于直接影响莲藕食品口感和风味的鲜莲藕的风味研究还未见报道。

目前较为先进的食品风味分析技术有气相色谱法、液相色谱法、色—质联用法、电子鼻检测、顶空分析等。其中较为常用的风味研究技术是气质联用技术、电子鼻测定技术。Yanga Wenjian 等<sup>[11]</sup>通过 HS-SPME-GC-MS 和电子鼻研究热风干燥对金针菇挥发性化合物的影响。颜廷才等<sup>[12]</sup>利用气质联用和电子鼻评价 4 个品种葡萄采收后品质和挥发性物质的变化。Giovanni Pacioni 等<sup>[13]</sup>借助气质联用和电子鼻对商业松露油进行成分分析。Cheng Huan 等<sup>[14]</sup>利用 GC-MS-O 和电子鼻技术,结合主成分分析,成功区分了不同品种杨梅。但是利用气质联用和电子鼻协同对新鲜莲藕的风

基金项目:湖南省科技计划项目(编号:2016NK2136)

作者简介:韩小苗,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:吴苏喜(1965—),男,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: wusuxi@126.com

收稿日期:2017-05-06

味研究还未见涉及。同时,质构特性也是影响食品口感品质的一个重要指标,但是目前对鲜藕质构特性的研究却鲜有报道。本研究拟采用质构仪和气质联用仪、电子鼻等先进分析仪器,研究湖北省3个栽培的优质莲藕品种的理化性质、质构特性和风味物质组成,并比较不同品种莲藕的品质差异,旨在为莲藕食品生产寻求品质优良的莲藕原料品种。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

鲜藕样本:鄂莲3号、鄂莲4号和鄂莲5号,湖北菱湖尚品洪山菜薹农业发展有限公司;

榨汁机:HR2004型,飞利浦电子香港有限公司;

手动折光仪:PR-32 $\alpha$ 型,上海双旭电子有限公司;

质构仪:CT-3型,北京联合科力科技有限公司;

GC-MS仪器:安捷伦7890A型,南京利尔实验仪器设备有限公司;

氮吹仪:N-EVAP 111型,美国 Organomation 公司;

便携式电子鼻:PEN3型,德国 Airsense 公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 pH值的测定 按GB 10468—89执行。

1.2.2 水分含量的测定 按GB 8858—88执行。

1.2.3 挥发性酸度的测定 按GB 10467—89执行。

1.2.4 可溶性固形物含量的测定 采用手持折光仪测定。

1.2.5 可溶性膳食纤维含量的测定 按GB 5009—88执行。

1.2.6 质构特性的测定 采用质构仪测定。参数设置:采用TPA模式,P/45探头,触发力100 g,预压速度10.0 mm/s,下压速度0.5 mm/s,压后上行速度10.0 mm/s,两次压缩中间停顿5 s,受压变形35%。

1.2.7 GC-MS测定风味物质

(1) 风味物质提取:将新鲜莲藕去皮切丁,准确称取200 g莲藕和60 g氯化钠,放入榨汁机中,一起搅拌成泥状。准确称取50 g藕泥分别放入3个带盖螺口瓶中,再分别加入内标邻二氯苯溶液(0.26 mg/mL)10  $\mu$ L;将其混匀。然后,分别加入正戊烷/二氯甲烷(体积比2:1)30 mL。震荡1 h,过

滤;取滤液放入-80  $^{\circ}$ C冰箱中冰冻40 min。再将冰冻好的滤液迅速转移至150 mL的锥形瓶中,加入适量的无水硫酸钠,摇晃10 min,再静置30 min。将再一次过滤的滤液转移至带盖锥形瓶中,使用氮吹仪将滤液吹至0.5 mL,得到莲藕的风味物质提取液。

(2) 气相色谱条件设置:分离柱为DB-5色谱柱(30 m $\times$ 0.5 mm $\times$ 0.5 mm),起始温度40  $^{\circ}$ C,保持5 min,然后,以5  $^{\circ}$ C/min升温至70  $^{\circ}$ C,保持5 min,再以2  $^{\circ}$ C/min升温至90  $^{\circ}$ C,保持3 min,再以3  $^{\circ}$ C/min升温至180  $^{\circ}$ C,保持3 min,最后,以5  $^{\circ}$ C/min升温至240  $^{\circ}$ C,保持10 min。汽化室温度:250  $^{\circ}$ C;载气:He;流速:1 mL/min;分流比:10:1。

(3) 质谱条件设置:电离方式为EI;电子能量70 eV;离子源温度200  $^{\circ}$ C;发射电流200  $\mu$ A;接口温度250  $^{\circ}$ C;检测电压350 V。

(4) 进样检测:用微量注射器取1  $\mu$ L风味物质提取液,从GC-MS仪器进样口注入,按预定操作规程进行测定。

1.2.8 电子鼻测定莲藕风味物质 样品处理:将莲藕用榨汁机搅拌成泥,称取20 g至50 mL顶空瓶中,放置20 min待测,每种莲藕测3个平行。仪器设定:传感器清洗时间60 s,自动调零时间10 s,样品准备时间5 s,样品测试时间60 s,样品测定间隔时间1 s,内部流量300 mL/min,进样流量300 mL/min。选取测定过程中趋于稳定的第51~55 s数据用于后续分析,而且每次测量前后,传感器都要进行清洗和标准化。采用电子鼻 Winmuster 分析软件对数据进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 3种莲藕的理化性质和膳食纤维

3种莲藕的理化性质和膳食纤维含量测定结果见表1。由表1可知,3个品种除总膳食纤维无显著性差异外,其他指标均有显著性差异。其中鄂莲5号的水分含量高、酸度低、可溶性固形物高、膳食纤维含量也较高。

### 2.2 3种莲藕的质构特性

由表2可知,3种莲藕的硬度、黏着性、胶性、咀嚼性均有显著性差异;弹性、凝聚性、回复性则无显著性差异。质构特

表1 3种莲藕的理化性质和膳食纤维含量比较<sup>†</sup>

Table 1 Comparing physicochemical properties and dietary fiber content among the three varieties of lotus root

品种	水分/%	pH值	挥发性酸度/ (mg $\cdot$ g <sup>-1</sup> )	可溶性固 形物/%	可溶性膳食 纤维/%	不溶性膳食 纤维/%	总膳食纤维/ %
鄂莲3号	75.4 $\pm$ 1.54	6.35 $\pm$ 0.02	1.24 $\pm$ 0.15	7.07 $\pm$ 0.12	6.38 $\pm$ 0.04	60.21 $\pm$ 0.07	66.59 $\pm$ 0.03
鄂莲4号	67.2 $\pm$ 2.08 <sup>a</sup>	6.70 $\pm$ 0.02 <sup>A</sup>	0.90 $\pm$ 0.13 <sup>A</sup>	6.87 $\pm$ 0.12 <sup>A</sup>	5.97 $\pm$ 0.09 <sup>A</sup>	60.92 $\pm$ 0.09 <sup>A</sup>	66.90 $\pm$ 0.07
鄂莲5号	77.4 $\pm$ 1.34 <sup>B</sup>	6.48 $\pm$ 0.01 <sup>aB</sup>	1.03 $\pm$ 0.14 <sup>AB</sup>	7.57 $\pm$ 0.12 <sup>aB</sup>	6.21 $\pm$ 0.07 <sup>B</sup>	60.44 $\pm$ 0.25 <sup>AB</sup>	66.65 $\pm$ 0.19

<sup>†</sup> a, A表示鄂莲4号、鄂莲5号与鄂莲3号的方差分析(A为P<0.01,a为P<0.05);B表示鄂莲5号与鄂莲4号的方差分析(P<0.01)。

表2 3种莲藕的质构特性比较

Table 2 Comparing textural properties among the three varieties of lotus root

品种	硬度/g	黏着性/(g $\cdot$ s)	弹性	凝聚性	胶性/g	咀嚼性/g	回复性
鄂莲3号	11 897.6 $\pm$ 2 317.4	-20.7 $\pm$ 8.08	0.56 $\pm$ 0.08	0.26 $\pm$ 0.03	3 184.79 $\pm$ 888.8	1 822.94 $\pm$ 672.7	0.12 $\pm$ 0.01
鄂莲4号	11 239.2 $\pm$ 1 302.9 <sup>A</sup>	-14.2 $\pm$ 7.46 <sup>A</sup>	0.53 $\pm$ 0.07	0.26 $\pm$ 0.04	2 944.93 $\pm$ 387.9 <sup>A</sup>	1 570.69 $\pm$ 328.2 <sup>A</sup>	0.13 $\pm$ 0.02
鄂莲5号	13 195.7 $\pm$ 2 758.7 <sup>AB</sup>	-22.0 $\pm$ 9.19 <sup>aB</sup>	0.53 $\pm$ 0.04	0.25 $\pm$ 0.02	3 371.79 $\pm$ 1 009.1 <sup>AB</sup>	1 784.65 $\pm$ 485.6 <sup>AB</sup>	0.11 $\pm$ 0.01

<sup>†</sup> a, A表示鄂莲4号、鄂莲5号与鄂莲3号的方差分析(A为P<0.01,a为P<0.05);B表示鄂莲5号与鄂莲4号的方差分析(P<0.01)。

性是模仿口腔的咀嚼运动,其中硬度、黏着性、胶性、咀嚼性是食物咀嚼口感的重要指标。根茎类的食品硬度大与淀粉含量高有关,胶性与硬度呈正相关,它们均可以提高莲藕煮熟后的口感。咀嚼性越大则消耗的能量也越大,所以咀嚼性大的食物则会影响咀嚼的口感。鄂莲 5 号的硬度大、黏着性小、胶性大、咀嚼性适中,这些质构特性优于鄂莲 3 号和 4 号。

2.3 GC-MS 测定莲藕的风味物质

采用 GC-MS 联用技术对莲藕提取物进行测定分析,结果见图 1。

由图 1 可知,3 种莲藕的总离子色谱图有明显差异,鄂莲 5 号的风味物质峰明显多于其他 2 个品种。三者的风味物质丰度也有明显差异。

将图 1 中各未知物质的质谱图信息与质谱标准数据库的已知物质进行比对,发现:鄂莲 3 号共得到 35 种挥发性化合物,包括 17 种芳香烃、11 种烷烃、4 种酯类、2 种氯代物、1 种环状八元硫;鄂莲 4 号共得到 28 种挥发性化合物,包括 12 种芳香烃、10 种烷烃、3 种酯类、2 种氯代物、1 种环状八元硫;鄂莲 5 号共得到 40 种挥发性化合物,包括 17 种芳香烃、16 种烷烃、4 种酯类、2 种氯代物、1 种环状八元硫,见表 3。

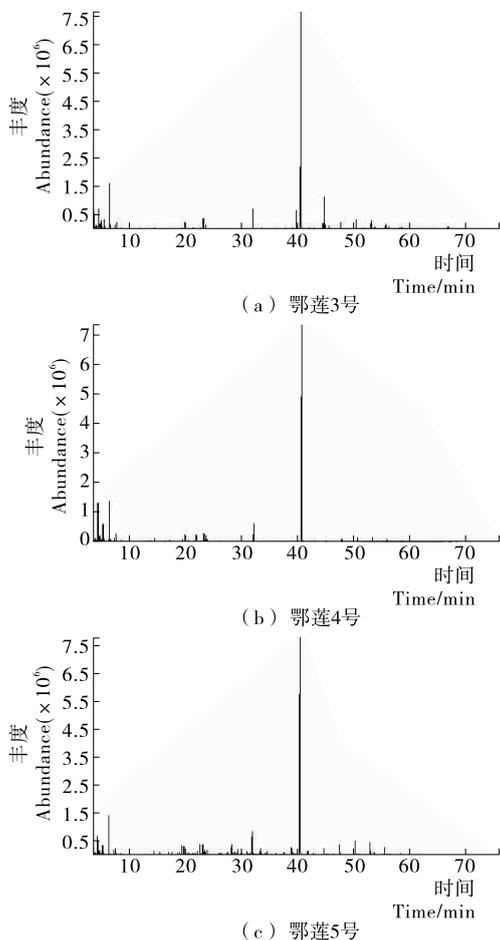


图 1 3 种莲藕提取液的总离子色谱图  
Figure 1 Total ion chromatograms of No.3, No.4 and No.5's extract

表 3 3 种莲藕的风味物质及其相对含量

Table 3 Flavor compounds and their contents of the three varieties of lotus root		%		
分类	风味物质	鄂莲 3 号	鄂莲 4 号	鄂莲 5 号
酯类	邻苯二甲酸二丁酯	60.85	58.33	64.83
	磷酸三丁酯	3.38	4.01	3.46
	苯甲酸乙酯	0.84	1.84	0.45
	十四酸甲酯	0.41	—	0.06
	甲苯	7.03	3.17	3.24
	1-甲基萘	2.11	2.21	2.40
	萘	1.66	1.76	1.76
	对二甲苯	1.97	1.31	1.29
	乙苯	0.86	0.85	0.83
	五甲基苯	0.57	—	0.59
芳香烃类	2-甲基萘	1.47	1.23	0.58
	1,2,3-三甲苯	0.32	0.31	0.29
	2,3-二氢-4,7-二甲基-1H-茚	0.12	0.44	0.22
	1,6-二甲基萘	0.14	—	0.19
	1-乙基-2-甲基苯	0.25	0.24	0.19
	茚	0.18	0.18	0.17
	1,2,3,4-四甲基苯	0.13	0.32	0.14
	1,2,4,5-四甲基苯	0.09	0.32	0.08
	2,7-二甲基萘	0.11	—	0.08
	1,4-二甲基萘	0.08	—	0.07
烷烃类	茚	0.01	—	0.03
	乙基环己烷	7.63	7.14	7.30
	二十一烷	1.06	4.58	2.35
	辛烷	3.19	1.70	1.48
	甲基环己烷	—	—	1.44
	9-甲基十九烷	—	3.63	1.22
	3-甲基庚烷	0.80	—	0.97
	顺-1,3-二甲基环己烷	0.68	—	0.71
	二十烷	0.45	2.08	0.58
	十八烷	0.34	1.16	0.57
其他	十一烷	0.43	0.60	0.28
	壬烷	0.23	0.23	0.20
	1,2,4-三甲基环戊烷	—	—	0.20
	十四烷	0.32	0.50	0.16
	十二烷	0.46	0.45	0.15
	1,1,3-三甲基环己烷	—	—	0.12
	1,2,4-三甲基环己烷	—	—	0.10
	四氯乙烯	0.93	0.55	0.31
	氯苯	0.47	0.29	0.16
	环状八元硫	0.43	0.57	0.75
酯类	65.48	64.18	68.80	
芳香烃	17.10	12.34	12.15	
烷烃	15.59	22.07	17.83	
其他	1.83	1.41	1.22	

由表3可知,鄂莲5号含有40种可以定量的风味物质,鄂莲3号含有35种风味物质,而鄂莲4号只有28种风味物质。其中,在酯类方面,鄂莲5号中检出4种酯类,占总检出物质的68.8%,鄂莲3号检出4种酯类,占总检出物质的65.48%,鄂莲4号只检出3种酯类(未检出十四酸甲酯),占总检出物质的64.18%;酯类物质是食物甘甜和芳香的主要贡献者,其种类与含量能明显影响食物的风味品质。鄂莲4号的蒸煮香味劣于鄂莲5号和3号,可能与十四酸甲酯缺乏有关。在烷烃类方面,鄂莲5号检出16种烷烃,占总检出物质的17.83%,鄂莲3号检出11种烷烃,占总检出物质的15.59%,鄂莲4号检出10种烷烃,占总检出物质的22.07%;3种莲藕的烷烃类含量存在差异,鄂莲5号检出的烷烃类物质最多,但含量与鄂莲3号烷烃类物质相近;鄂莲4号的烷烃种类最少,但是含量高于其他2种莲藕。在芳香烃类方面,鄂莲5号检出17种芳香烃,占总检出物质的12.15%,鄂莲3号检出17种芳香烃,占总检出物质的17.10%,鄂莲4号检出12种芳香烃,占总检出物质的12.34%;鄂莲3号的芳香烃种类与鄂莲5号相同,但含量更多;鄂莲4号的芳香烃种类明显少于鄂莲5号和3号。

综合以上理化性质、质构特性和风味物质分析可见,鄂莲5号的综合品质优于鄂莲3号和4号;3种莲藕的风味成分主要是酯类、烷烃类和芳香烃类等,其酯类中含量最多的是邻苯二甲酸二丁酯,占总检测物质含量的60%左右。可见,邻苯二甲酸二丁酯是莲藕的主要风味成分。

2.4 电子鼻分析莲藕的风味成分

2.4.1 电子鼻传感器阵列描述 PEN3型便携式电子鼻包括10个金属氧化物传感器阵列,可以分析不同的挥发性成分,传感器阵列及其性能描述见表4。

2.4.2 主成分分析 由图2可知,数据采集点所在的椭圆区域在图中有特定的分布区域且互不重叠,说明主成分分析法适用于不同品种莲藕挥发性物质分析<sup>[15]</sup>。第一主成分的贡献率为99.32%,第二主成分的贡献率为0.34%,二者的总贡

献率为99.66%,所受干扰较小,可以将不同品种莲藕完全分开。

3个品种莲藕椭圆区域在PC1轴差异较大,PC2轴差异不明显,表明电子鼻区分这3种莲藕主要是第一主成分起作用<sup>[16]</sup>。根据气质联机测得的各挥发性物质相对含量分析,可能是莲藕中的酯类物质相对含量差异造成的。其中鄂莲3号椭圆区域位于其他品种区域的略下方,可能是3种莲藕中的烷烃类含量差异的缘故。

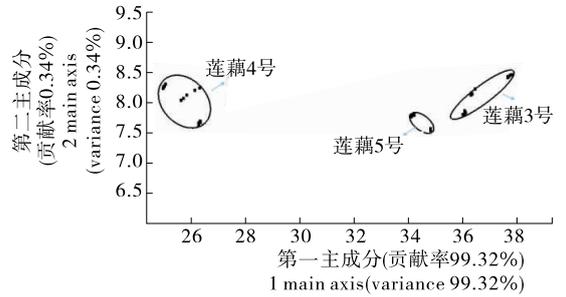


图2 3种莲藕的挥发性物质主成分分析  
Figure 2 Principal component analysis for the volatile substances of three varieties of louts

2.4.3 雷达图谱分析 由图3可知,电子鼻的10个传感器对不同品种的莲藕挥发性物质均有响应,且不同传感器的响应各不相同,表明利用PEN3电子鼻系统区分不同品种莲藕具有一定可行性<sup>[17]</sup>。S2、S5、S7、S9传感器的相对电阻率(G/G<sub>0</sub>)值较其他传感器更高,表明氮氧化物、烷烃类、芳香类及有机硫化物等莲藕挥发性成分对传感器较灵敏<sup>[18]</sup>。传感器S4、S10响应值变化不大,说明莲藕中不产生或很少产生氢气除甲烷外的烷烃类气体<sup>[19]</sup>。3种莲藕的雷达图谱(图3)具有相似的变化趋势和形状,说明它们挥发性物质的组成主体风味成分相近;但也存在一定差异,主要体现在S2(氮氧化物)、S5(烷烃、芳香类化合物)、S7(硫化物)、S9(芳香族化合物)号传感器上。这与气质联用测定莲藕中的酯类、芳香烃类、烷烃类含量有差异的结果相吻合。

3 结论

(1) 结合理化成分、质构特性和风味物质进行综合评价,鄂莲5号的综合性能好于鄂莲3号和4号,是3个莲藕品种

表4 PEN3型电子鼻标准传感器阵列与性能描述

Table 4 Standard sensor arrays and performance specification in electronic nose PEN3

传感器序号	传感器名称	敏感物质	参考物质	检测限/(mg·kg <sup>-1</sup> )
S1	W1C	芳香成分	甲苯	10.0
S2	W5S	氮氧化物	NO <sub>2</sub>	1.0
S3	W3C	氨水、芳香类化合物	苯	1.0
S4	W6S	对氢气有选择性	H <sub>2</sub>	0.1
S5	W5C	烷烃、芳香类化合物及极性小的化合物	丙烷	1.0
S6	W1S	甲烷	CH <sub>3</sub>	100.0
S7	W1W	硫化物、含硫有机化合物	H <sub>2</sub> S	1.0
S8	W2S	乙醇及部分芳香族化合物	CO	100.0
S9	W2W	芳香族化合物、有机硫化物	H <sub>2</sub> S	1.0
S10	W3S	烷烃	CH <sub>3</sub>	100.0

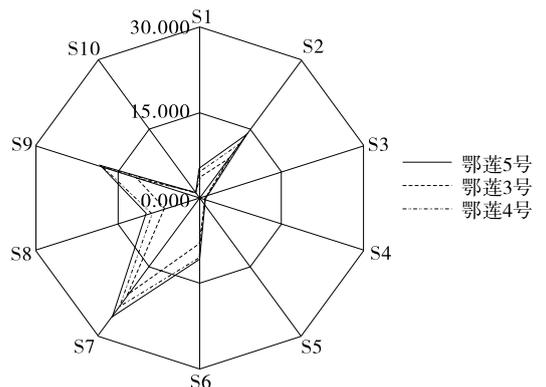


图3 3种莲藕的挥发性物质的雷达图

Figure 3 Radars charts of the volatile substances of three varieties of louts

中较为优良的莲藕品种,特别是其风味物质种类和含量最多,这为开发生产口感醇厚、风味柔和的莲藕食品提供了原料选择依据。

(2) 3 种莲藕的风味成分主要是酯类、烷烃类和芳香烃类,特别是酯类物质含量较多,占总检出物质的 65% 左右,鄂莲 5 号鲜藕的风味物质中酯类物质含量甚至达 68.8%。

(3) 莲藕的酯类风味物质主要是邻苯二甲酸二丁酯,其含量达总风味物质的 58%~65%。由于邻苯二甲酸二丁酯是一种常见的增塑剂,虽然其对身体基本无伤害,但是禁止在食品中添加。其来源以及是否会对莲藕制品的安全构成威胁还需要进一步研究。

### 参考文献

- [1] 熊桂云, 童军, 刘冬碧, 等. 湖北省莲藕生产与施肥现状调查[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(19): 3 934-3 939.
- [2] 金定樑, 夏文水. 柠檬酸亚锡二钠对鲜切莲藕护色作用的研究[J], 食品与机械, 2011, 27(4): 129-132.
- [3] 祝美云, 党建磊, 魏征, 等. 壳聚糖复合涂膜保鲜鲜切莲藕的研究[J], 食品与机械, 2010, 26(1): 145-147.
- [4] 张华, 董月强, 李星科, 等. 高密度二氧化碳技术对鲜切莲藕酶活性的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 170-172.
- [5] 刘小芳, 王发祥, 俞健, 等. 鲜切莲藕冷藏过程中优势腐败菌的分离与鉴定[J], 食品与机械, 2016, 32(4): 148-150.
- [6] 邢芳, 王建辉, 何新益, 等. 莲藕脆片组合干燥工艺研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 190-192.
- [7] 徐燕燕, 孙杰, 陈雅卉, 等. 莲藕多酚浸提工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 128-132.
- [8] 潘凤莲, 章玉平. 莲中生物活性物质研究进展[J]. 广东农业科学, 2010(10): 129-130.
- [9] 刘军波, 张愨, 任志灿. 以全藕粉为原料加工藕汁的稳定性及风

味[J]. 食品与生物技术学报, 2011(2): 228-233.

- [10] 张文君, 何慧, 杨尔宁, 等. SPME-GC-MS 法检测油炸藕夹挥发性风味物质[J]. 食品科学, 2012(14): 228-234.
- [11] YANGA W J, YUA J, PEIA F, et al. Effect of hot air drying on volatile compounds of *Flammulina velutipes* detected by HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 860-866.
- [12] 颜廷才, 邵丹, 李江阔, 等. 基于电子鼻和 GC-MS 评价不同品种葡萄采收后品质和挥发性物质的变化[J]. 现代食品科技, 2015(11): 290-297.
- [13] GIOVANNI P, LORENZO C, GIUSEPPE P, et al. Composition of commercial truffle flavored oils with GC-MS analysis and discrimination with an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2014, 146(7): 30-35.
- [14] CHENG Huan, CHEN Jian-le, CHEN Shi-guo, et al. Characterization of aroma-active volatiles in three Chinese bayberry (*Myrica rubra*) cultivars using GC-MS-olfactometry and an electronic nose combined with principal component analysis[J]. Food Research International, 2015, 72: 8-15.
- [15] XU Li-rong, YU Xiu-zhu, LIU Lei, et al. A novel method for qualitative analysis of edible oil oxidation using an electronic nose[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 229-235.
- [16] 段小明, 张蓓, 冯叙桥, 等. 不同压力处理大米制得米饭冷藏期间风味变化的电子鼻分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 325-330.
- [17] 朱丽云, 张拥军, 何杰民, 等. 不同工艺热反应风味香料的电子鼻检测[J]. 中国食品学报, 2012, 12(2): 207-212.
- [18] 张拥军, 蒋家新, 何杰民, 等. 电子鼻检测改性聚砜膜用于啤酒澄清处理的研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 199-203.
- [19] 李靖, 王成涛, 刘国荣, 等. 电子鼻快速检测煎炸油品质[J]. 食品科学, 2013, 34(8): 236-239.

(上接第 58 页)

- [8] 朱蓓薇, 曾名湧. 水产品加工工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 58.
- [9] 吕兵, 张静. 肉制品保水性的研究[J]. 食品科学, 2000, 21(4): 23-26.
- [10] LIDA H. Studies on the accumulation of dimethyl-propiothetin and the formation of dimethyl sulfide in aquatic organisms[J]. Bull Tokaairy. Fish. Res. Lab, 1998, 25(124): 55-63.
- [11] 郑皎皎. 鲤鱼肌肉热加工过程中品质变化的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2014: 28.
- [12] 刘铁玲, 何新益, 李响. 冻藏对鲢鱼、鲤鱼鱼肉质构影响的比较研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 13-18.
- [13] 齐海洋 胡文忠, 姜爱丽, 等. 热加工对鲤鱼肉质的影响研究[J]. 食品科技, 2011, 27(5): 144-146, 150.
- [14] 李凤林, 张忠, 李凤玉. 食品营养学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 24-49.
- [15] FRANOIS L, FREDERIC K, BRUNO L, et al. Differentiation of fresh and frozen/thawed fish, European sea bass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*), cod (*Gadus morhua*) and salmon (*Salmo salar*), using volatile compounds

by SPME/GC/MS[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(12): 2 560-2 568.

- [16] JIANG Jin-jin, ZENG Qing-xiao, ZHU Zhi-wei. Analysis of volatile compounds in traditional chinese fish sauce[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(2): 266-271.
- [17] RIVAS-CANEDO A, JUEZ-OJEDA C, NUNEZ M, et al. Volatile compounds in low-acid fermented sausage "espetic" and sliced cooked pork shoulder subjected to high pressure processing: A comparison of dynamic headspace and solid-phase microextraction[J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 18-26.
- [18] 杨锡洪, 解万翠, 吴海燕, 等. 快速发酵金丝鱼挥发性风味成分的 SPME-GC-MS 检测[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 102-105.
- [19] 马海建, 施文正, 宋洁, 等. 超高压处理对草鱼鱼肉风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 204-212.
- [20] 郑平安, 黄健, 孙静, 等. HS-SPME 结合 GC-MS 法分析鲈鱼肉加热前后挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 242-246.
- [21] 严子钧, 施文正, 齐自元, 等. 超高压对鳙鱼鱼糜风味的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(24): 107-112.