

# 基于电子鼻与 SPME-GC-MS 法分析不同脱水方式下 萧山萝卜干中的挥发性风味物质

刘大群, 华颖

(浙江省农业科学院食品科学研究所, 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 浙江杭州 310021)

**摘要:** 为了解传统风脱水以及盐脱水对萧山萝卜干中挥发性风味物质的影响, 基于电子鼻 (E-Nose) 和固相微萃取-气-质联用 (SPME-GC-MS) 两种技术, 对不同脱水方式萧山萝卜干中挥发性风味物质进行分析。电子鼻检测结果显示, 不同脱水方式萧山萝卜干中挥发性风味物质差异明显, 盐脱水萝卜干在LY2/LG、LY2/G、LY2/AA、LY2/GH、LY2/gCTL、LY2/gCT传感器响应值相对于风脱水萝卜干的响应值偏小, 说明采用电子鼻系统可以显著区分。采用SPME-GC-MS方法, 分别从风脱水和盐脱水萧山萝卜干中检测出58和35种挥发性香气物质。其中风脱水萝卜干产生大量挥发性风味成分, 且其挥发性香气成分种类高于盐脱水萝卜干, 尤其是萝卜特征性风味物质-异硫氰酸酯类化合物的相对含量差异较大, 相当含量分别为11.65%和0.37%。

**关键词:** 萧山萝卜干; 固相微萃取-气相色谱-质谱法; 电子鼻; 风味物质

文章编号: 1673-9078(2014)2-279-284

## Detection of Volatile Flavor Compounds in Different Dehydrated Xiaoshan Pickled Radish by SPME-GC-MS and E-Nose Methods

LIU Da-qun, HUA Ying

(Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** In order to understand the influences of wind dehydration and salt dehydration on the volatile flavor compounds in Xiaoshan pickled radish, the volatile flavor compounds were detected through E-Nose and SPME-GC-MS. Significant difference of volatile flavor compounds was found in different dehydrated pickled radish. The sensor response value of the salt dehydrated relative to the wind dehydrated was low in LY2/LG, LY2/G, LY2/AA, LY2/GH, LY2/gCTL and LY2/gCT, which illustrated that the E-Nose system could obviously distinguish. Totally 58 and 35 volatile compounds were detected from wind and salt dehydrated Xiaoshan pickled radish, and wind dehydrated one produced larger kinds of volatile flavor compounds than salt dehydrated one. Moreover, the characteristic flavor compound of radish-isothiocyanates showed large difference in relative content in wind dehydrated and salt dehydrated pickled radish, being of 11.65% and 0.37%, respectively.

**Key words:** Xiaoshan pickled radish; SPME-GC-MS; E-Nose; flavor compounds

萧山萝卜干是浙江省的地方特产, 是萧山地区传统的加工蔬菜, 于 2004 年获国家原产地地域产品保护。萧山萝卜干采用当地盛产良种萝卜为原料, 取其肉质肥嫩细密, 含糖多, 味甘不辣者, 经脱水、腌制而成。萧山萝卜干具有色泽黄亮、条形均匀、咸甜适宜、脆嫩松口、营养丰富的特色, 内含丰富蛋白质、维生素 C、脂肪、糖分及钙、磷、铁等营养成分, 为早餐佐食之佳品, 在医学上还有消炎、防暑和开胃等作用<sup>[1]</sup>。据《中国土特产大全》记载, 萧山萝卜干

“食之有消炎、防暑开胃的作用, 是早餐佐食之佳肴”。

传统萧山萝卜干的加工工艺主要沿用风脱水腌制法, 先去掉蒂、叶、尾、须, 洗净施刀, 或成条块, 或成桔片, 或成花状, 经过自然风吹刮、蒸发萝卜条中的水分后, 再进行腌制, 再出缸晾晒, 如此反复 2~3 次, 再封坛保存。如今, 随着经济社会的发展, 传统的风脱水萝卜干的制作技艺逐渐被方便快捷的盐脱水技术所替代, 传统的风脱水萝卜干的民间手工技艺面临失传。风脱水萝卜干经过复杂加工工艺后, 产品肉质厚实、香气浓郁、味道鲜美, 而且保存时间长。而盐脱水的工艺固然快捷又有经济效益且可以机械化生产, 但与风干萝卜干的口感、风味不可同日而语。

收稿日期: 2013-09-23

基金项目: 浙江省植物食品加工技术创新团队项目 (2010R50032)

作者简介: 刘大群 (1979-), 男, 助理研究员, 主要研究方向: 蔬菜精深加工与综合利用

电子鼻是采用传感器模拟人的嗅觉来分析样品气味的一种新型仪器,能够分析识别和检测复杂风味及成分,具有快速、客观等优点<sup>[2-4]</sup>。固相微萃取-气质联用方法(SPME-GC-MS)是对食品中挥发性物质的分析较为常用的方法。具有操作时间短,样品量小,无需萃取溶剂,集采样、萃取、浓缩、进样于一体,能够尽可能减少被分析的挥发性物质的损失,较为真实地反映风味成分等优点<sup>[5-7]</sup>。

本研究基于电子鼻以及 SPME-GC-MS 方法分析比较不同脱水方式下萧山萝卜干主要挥发性风味成分,确定不同脱水方式下其主要风味物质的变化,为萧山萝卜干工艺的优化和风味的调配提供理论参考依据,对提升其质量和工艺水平具有十分重要的意义

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及脱水方式

#### 1.1.1 材料

萧山萝卜干:由杭州党山酱萃食品有限公司提供。其加工过程除添加食盐外未使用其他添加剂,加工后风脱水采用封坛保存,盐脱水采用真空包装。

#### 1.1.2 不同脱水方式萧山萝卜干加工工艺

风脱水工艺:将萝卜均匀地切成带皮萝卜条,选择通风向阳之处晾晒,脱去 60% 左右的水,手搓柔软无硬条,单条扭曲不断裂;然后分 3 次进行腌制:第一次在晾晒后,加 3% 的盐,入缸压实,腌制 3~5 d,出缸晾晒 2 d,脱水 25% 左右后进行第二次腌制。第二次腌制加 1.5% 的盐,拌匀,分层入缸压实,5~7 d 后出缸,晾晒至表面水干后进行第三次腌制。第三次腌制加 2% 的盐,拌匀,入缸压实,一周后装坛。坛口加盖面盐 25 g,再盖粽箬,并塞入粗草绳,使之紧密,最后用水泥封口。

盐脱水工艺:将洗涤后的鲜萝卜条分 3 次腌制,第一次按总量的 4% 加盐腌制,池满后覆盖竹垫,压上榨石,直至压石出水,2~4 d 后翻池;第二次腌制与翻池同时进行,加入 4~6% 的食用盐腌制,1~2 d 后翻池;然后进行第三次腌制,再进行漂洗、脱盐、调配、包装等工艺。

### 1.2 主要仪器

FOX3000 型电子鼻,内置 12 个 T/P 和 LY 类型金属氧化物传感器(LY2/LG, LY2/G, LY2/AA, LY2/GH, LY2/gCTL, LY2/gCT, T30/1, P10/1, P10/2, P40/1, T70/2, PA/2),组成传感器阵列;法国 Alpha MOS 公司。

固相微萃取器手柄、SPME 装置、65  $\mu\text{m}$  聚二甲基硅氧烷-二乙烯基苯(PDMS-DVB)萃取头:美国 Supelco 公司;相相色谱-质谱联用仪(Trace DSQGC-MS):美国 Finnigan 质谱公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 电子鼻检测样品的制备

取 2 g 样品,装入 10 mL 样品瓶中,并用压盖器将带 Teflon/Silicone (TEF/SIL) 垫的钢制瓶盖密闭,放于电子鼻自动进样器上。产生时间 900 s,产生温度 60  $^{\circ}\text{C}$ ,进样针进样量 2500  $\mu\text{L}$ ,每个样品进样 3 次。

#### 1.3.2 固相微萃取样品的制备方法

取萧山萝卜干 2 g 于 10 mL 的样品瓶内,将老化好的萃取头插入样品瓶,伸出纤维与上空气中,60  $^{\circ}\text{C}$  温度下萃取 30 min,在进样口解析 5 min,用于 GC-MS 分析。

色谱条件:石英毛细管柱,CP-Wax52CB (30  $\text{m}\times 0.25\text{ mm}$ , 0.25  $\mu\text{m}$ );程序升温:40  $^{\circ}\text{C}$  保持 2 min,以 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至 100  $^{\circ}\text{C}$ ,保持 2 min;再以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  上升到 250  $^{\circ}\text{C}$ ,进样口温度:250  $^{\circ}\text{C}$ ;载气 He,流速 1  $\text{mL}/\text{min}$ 。

质谱条件:电离方式 EI,电子能量 70 eV,离子源温度 250  $^{\circ}\text{C}$ ,传输线温度 250  $^{\circ}\text{C}$ 。扫描质量范围 45~300 amu。

#### 1.3.3 数据处理

电子鼻数据分析采用 Alphasoft V11 操作及数据处理软件系统,其带有 PCA(主成分分析)等多变量统计分析功能。

GC-MS 试验数据由 Xcalibur 软件处理,未知化合物经计算机检索同时与 NIST 谱库和 Wiley 谱库相匹配,只有当正反匹配度均大于 800(最大值为 1000)的鉴定结果才予以确认。按峰面积归一化法计算各组分的相对含量。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同脱水方式萧山萝卜干电子鼻分析

为了清晰地反映电子鼻 12 根传感器对不同脱水方式萧山萝卜干的响应差异,将响应曲线峰值点进行雷达图分析(图 1)。从图 1 可以看到两种脱水方式的萝卜干传感器上响应强度最大值处于 0.1~0.35 之间,在 LY2/LG、LY2/G、LY2/AA、LY2/GH、LY2/gCTL、LY2/gCT 传感器上的响应强度差异显著,盐脱水萝卜干在 LY2/LG、LY2/G、LY2/AA、LY2/GH、LY2/gCTL、LY2/gCT 传感器响应值相对于风脱水萝卜干的响应值

偏小。为此本试验提取以上 6 根传感器进行数据采集及 PCA 分析, 结果见图 2。

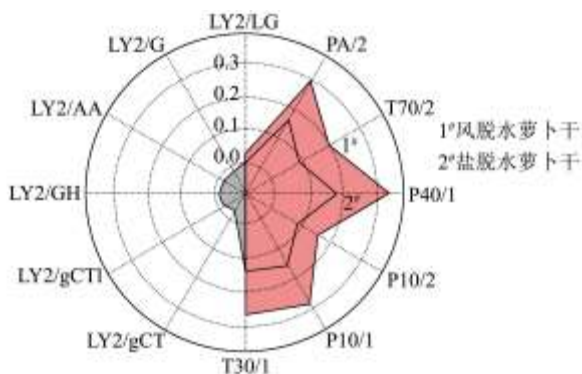


图 1 不同脱水方式萝卜干电子鼻传感器响应强度雷达图

Fig.1 Sensor response value of different dehydrated Xiaoshan pickled radish

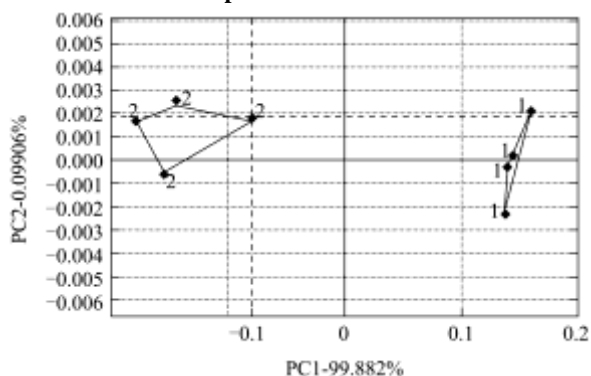


图 2 不同脱水方式萝卜干电子鼻 PCA 图

Fig.2 Principal component analysis based on different dehydrated Xiaoshan pickled radish

注: 1#为盐脱水、2#为风脱水。

图 2 是 6 根传感器对不同脱水方式萧山萝卜干挥发性成分变化响应值的主成分分析结果。从图 2 可知, 不同脱水方式萝卜干可以较好地用电子鼻系统进行区分, 其第一主成分(PC1)贡献率达到了 99.882%。

## 2.2 不同脱水方式萧山萝卜干中挥发性成分变化

分别对风脱水和盐脱水萧山萝卜干进行 SDE-GC-MS 分析, 得到两种脱水方式的萝卜干的总离子流图, 见图 3~4。

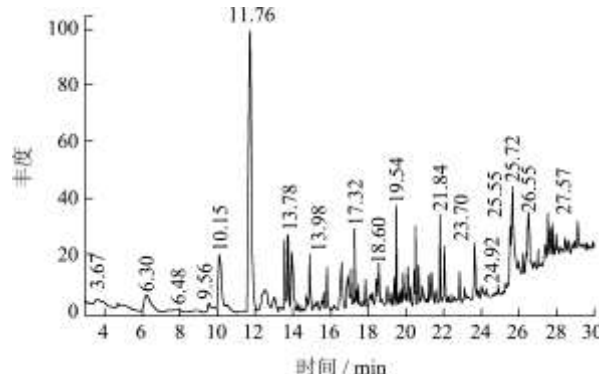


图 3 风脱水萝卜干总离子流图

Fig.3 GC-MS chromatogram of wind dehydrated pickled radish

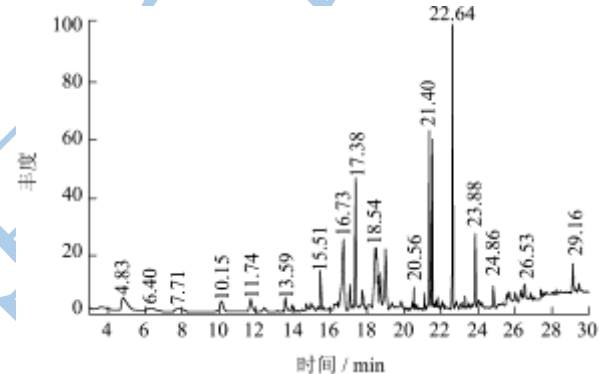


图 4 盐脱水萝卜干总离子流图

Fig.4 GC-MS chromatogram of salt dehydrated pickled radish

## 2.3 萧山萝卜干挥发性成分的 GC-MS 鉴定

总离子流图中各峰经质谱扫描后所得的质谱图, 按各峰的质谱裂片与文献核对, 采用计算机进行质谱数据库检索以及人工谱图解析, 扣除由萃取头带来的硅氧烷类杂质峰, 经综合分析鉴定, 本试验分别从风脱水和盐脱水萝卜干中鉴定出 58 和 35 种挥发性化合物, 峰面积之和分别占总离子流出色谱峰面积的 93.26% 和 84.34%, 结果见表 1。

表 1 不同脱水方式萧山萝卜干挥发性物质 SPME-GC-MS 分析结果

Table 1 SPME-GC-MS analysis results of Volatile compounds from different means of dehydration in Xiaoshan pickled radish

序号	保留时间 /min	化合物名称	分子式	相对含量	
				风脱水	盐脱水
1	4.77	二甲基二硫醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	0.15	3.03
2	9.56	环己酮	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0.42	
3	11.76	二甲基三硫醚	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>3</sub>	16.34	1.50
4	12.47	天竺葵醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O		0.56
5	12.55	十一醛	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	2.78	

转下页

接上页

6	13.03	正戊基苯	C <sub>11</sub> H <sub>16</sub>	0.84	
7	13.17	2-十六醇	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> O		0.13
8	13.61	甲酸甲酯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	1.94	1.03
9	13.78	糠醛	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	2.30	
10	14.00	乙酸	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>		0.62
11	14.29	三甲基十二烷醇	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> O	0.06	
12	14.55	E-2-甲基-3-十六碳烯酸	C <sub>17</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	2.78	0.06
13	14.94	安息香醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	2.14	0.70
14	15.30	3-甲硫基壬醛	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> OS	0.28	
15	15.65	十六酸	C <sub>37</sub> H <sub>72</sub> O <sub>4</sub>	0.34	1.95
16	15.85	(反·反)-3,5-辛二烯-2-酮	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	0.89	
17	16.36	4-萜烯醇		0.21	0.8
18	16.73	石竹烯	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>		8.16
19	16.97	苯乙醛	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.90	
20	17.12	(E)-2-癸烯醛	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	0.97	1.31
21	17.32	3-甲基丁酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1.99	
22	17.41	4-甲基苯酚	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.08	
23	17.51	9,12,15 十八碳三烯酸	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O	0.12	
24	17.57	γ-十一内酯	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	0.18	
25	17.89	4-乙基苯甲醛	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.4	
26	18.18	十二烷醛	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O	0.34	1.06
27	18.24	β-D-环戊五醇	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	0.34	
28	18.48	甲氧基苯基肼	C <sub>8</sub> H <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	0.09	
29	18.50	异硫氰酸苯乙酯	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> NS		11.65
30	18.60	2-十一烯醛	C <sub>11</sub> H <sub>20</sub> O	1.77	
31	19.05	Z-11-肉豆蔻烯酸甲酯	C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	0.25	5.48
32	19.26	2,4-十二碳二烯醛	C <sub>12</sub> H <sub>20</sub> O	0.36	
33	19.42	烯丙基苯甲醚	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O	0.04	
34	19.54	正己酸	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1.40	
35	19.89	5-十八烯醛	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O	0.82	1.63
<hr/>					
36	20.13	2,2,4-三甲基-1,3-羧基 异丙基乙酸异丁酯	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>4</sub>	0.97	
<hr/>					
37	20.27	苯乙醇	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.60	
38	20.48	(E)-苯甲酸-2-己烯-1-醇酯	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	0.17	
39	20.54	α-亚乙基-苯乙醛	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O	1.43	1.14
40	20.72	庚酸	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	0.12	
41	20.93	3,7,11-三甲基-1-十二烷醇	C <sub>15</sub> H <sub>32</sub> O	0.32	
42	21.13	3-(甲硫基)丙基异硫氰酸酯	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NS <sub>2</sub>		0.37
43	21.27	氨基甲酸苯酯	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub>	0.41	
44	21.40	2-乙基-3-羟基-4-吡喃酮	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1.31	5.20
45	21.54	4-甲氧基安息香醛	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>		4.74
46	21.63	4-羟基硬脂酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>3</sub>	0.86	
47	21.84	辛酸	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	1.37	0.63

转下页

接上页

48	22.09	5-甲基-2-苯基-2-己烯醛	C <sub>13</sub> H <sub>16</sub> O	0.86	0.63
49	22.45	3-羟基十二烯酸	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>3</sub>	0.26	
50	22.66	9,15 (Z,Z) -十八烯酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.05	7.89
51	22.88	反式-2-十二烯酸	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	0.41	
52	23.17	1,3-辛二醇	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O <sub>2</sub>	0.19	0.26
53	23.70	14-甲基十五烷酸甲酯	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	2.12	
54	23.88	1-(3-甲基-2-丁酮)-4-(1-丙烯)苯	C <sub>14</sub> H <sub>18</sub> O		4.03
55	24.08	棕榈酸乙酯	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	0.77	
56	25.72	11-Z-硬脂酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	14.72	3.55
57	26.02	十三烷酸	C <sub>13</sub> H <sub>26</sub> O <sub>2</sub>		2.35
58	26.86	6,9,12,15-二十二碳四烯酸甲酯	C <sub>23</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>		2.27
59	26.55	反-9-油酸甲酯	C <sub>21</sub> H <sub>40</sub> O <sub>4</sub>	11.02	4.77
60	27.06	9-十六碳烯酸乙酯	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	2.05	
61	27.45	二十烷酸	C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>		1.64
62	27.57	9-氧代壬酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	4.96	
63	27.69	烷基苯甲酸酯	C <sub>19</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	1.36	
64	27.85	亚油酸乙酯	C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	0.56	
65	28.04	10,13-硬脂酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	1.13	1.11
66	28.28	硬脂酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	0.53	0.56
67	28.49	油酸	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	1.08	0.7
68	28.63	(E)-9-硬脂酸	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	0.74	
69	29.16	n-棕榈酸酯	C <sub>35</sub> H <sub>68</sub> O <sub>5</sub>	1.37	1.67
70	29.49	10-十八烯酸甲酯	C <sub>19</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>		1.12

采用风脱水方式的萝卜干检测出 58 种挥发性化合物，主要为酯类化合物、醇类、醛类化合物、酸类化合物。采用盐脱水方式的萝卜干检测出 35 种挥发性化合物，主要为酯类化合物、醛类化合物、酸类化合物。具体见表 2。

表 2 不同脱水方式萧山萝卜干中挥发性风味物质类别分析

Table 2 Classification of volatile flavor compounds from different means of dehydration in Xiaoshan pickled radish

物质类别	被检出化合物数/个		相对含量/%	
	风脱水	盐脱水	风脱水	盐脱水
酯类	19	12	45.22	41.47
醇类	6	3	1.72	1.19
醛类	11	7	12.19	3.56
酸类	10	7	10.49	7.89
酮类	3	1	2.62	5.2
甲基硫醚化物	2	2	16.49	4.53
其他	7	3	4.53	12.19

## 2.4 不同脱水工艺萧山萝卜干中挥发性风味

### 主要成分分析

### 2.4.1 甲基硫化物类化合物

萝卜挥发性风味物质中，主要是酯类、硫醚类等化合物，它们共同构成了腌制萝卜的风味物质成分。在萝卜腌制过程中，由于芥子苷酶的作用，一些芥子苷被分解成二甲基二硫醚、二甲基三硫醚等硫醚化合物<sup>[8]</sup>。风脱水和盐脱水工艺萧山萝卜干中检测出硫醚化合物均为 2 个，但是含量差异较大，风脱水工艺中硫醚化合物相对含量为 16.49%，而盐脱水工艺中硫醚化合物相对含量仅为 4.53%。硫醚化合物含量的差异为说明风脱水萝卜干比盐脱水萝卜干香气浓厚提供了解释依据。

### 2.4.2 酯类化合物

由表 1 可知，风脱水和盐脱水工艺萧山萝卜干中分别检测出酯类物质 19 和 11 个，相对含量分别为 45.22% 和 41.47%，风脱水萝卜干中 11-Z-硬脂酸甲酯和反-9-油酸甲酯的相对含量较高，分别为 14.72% 和 11.02%。在盐脱水工艺萝卜干中检测出异硫氰酸酯类化合物 2 个，分别是异硫氰酸苯乙酯和 3-(甲硫基)丙基异硫氰酸酯，相当含量分别为 11.65% 和 0.37%。异硫氰酸酯类化合物是萝卜辛辣味的来源，萝卜皮中含有相当多的异硫氰酸酯类物质。曾凡坤<sup>[9]</sup>从泡渍大头

菜中检测到含量为 56.4% 异硫氰酸酯类物质。在传统的风脱水萝卜干中没有检测到异硫氰酸酯类物质,可能是异硫氰酸酯类物质在经过传统的加工工艺如多次翻晒以及长期保存过程后已经被降解,这也为解释传统工艺的萧山萝卜干具有“味甘而不辣”的特点提供了依据。

### 2.4.3 酸类化合物

风脱水工艺萝卜干和盐脱水工艺萝卜干中酸类物质相当含量分别为 10.49% 和 7.89%, 主要为烷烃类和烯炔类酸。盐脱水工艺萝卜干中酸类物质种类和含量的减少,可能是由于脱盐工艺使得酸类物质损失。

### 2.4.4 醛醇类化合物

醛醇类化合物一般是脂质的降解产物,都具有香气。在传统的风脱水萝卜干中检测到烯醛和二烯醛化合物,其总含量为 12.19%, 而盐脱水工艺萝卜干中含量为 3.56%。一般而言,烯醛和二烯醛来源于亚油酸酯和亚麻酸酯的氢过氧化物的降解,通常具有香气。

## 3 结论

采用电子鼻(E-Nose)和顶空固相微萃取-气-质联用(SPME-GC-MS)两种技术对不同脱水方式萧山萝卜干中挥发性风味物质进行分析。电子鼻结果显示,不同脱水方式萧山萝卜干中挥发性风味物质差异明显。采用GC-MS方法,从风脱水和盐脱水萧山萝卜干中分别检测出58和35种挥发性香气物质。其中风脱水产生大量挥发性风味成分,且其挥发性香气成分种类高于盐脱水。传统风脱水萝卜干中主体挥发性风味物质为二甲基三硫醚、硬脂酸甲酯、油酸甲酯、十一醛、安息香醛、正己酸等。盐脱水工艺萝卜干中主体挥发性风味物质为异硫氰酸苯乙酯、肉豆蔻烯酸甲酯、十八烯酸甲酯、油酸甲酯等。

## 参考文献

- [1] 邹礼根,吴元锋,朱丽敏. 萧山萝卜干腌制过程中乳酸菌分离及其特性研究[J]. 中国食品学报, 2007, 7(2): 81-85  
Zou Ligen, Wu Yuanfeng, Zhu Limin. Studies on the Isolation and Characteristics of Lactic Acid Bacteria from Natural Pickled Process of Xiaoshan Dried Radish Slices [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2007, 7(2): 81-85

- [2] 张玉玉,黄明泉,陈海涛,等. 7 种面酱的电子鼻和电子舌辨别分析[J]. 中国食品学报, 2012, 12(1): 198-204  
Zhang Yu yu, Huang Ming quan, Chen Haitao, et al. Discrimination and Analysis of Seven Kinds of Fermented Flour Paste by Electronic Nose and Electronic Tongue [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(1): 198-204
- [3] Burattia S, Benedetti S, Scampicchio M. Characterization and classification of Italian Barbera wines by using an electronic nose and an amperometric electronic tongue [J]. Analytica Chimica Acta, 2004, 525: 133-139
- [4] DOLEMAN B J, NATHAN S L. Comparison of odor detection thresholds and odor discriminabilities of a conducting polymer composite electronic nose versus mammalian olfaction [J]. Sensors and Actuators B, 2001, 72(1): 41-50
- [5] Vaz J M. Screening direct analysis of PAHS in atmospheric particulate matter with SPME [J]. Talanta, 2003, 60(4): 687-693
- [6] Lin H H, Sung Y H, Huang S D. Solid-phase microextraction coupled with high-performance liquid chromatography for the determination of phenylurea herbicides in aqueous samples [J]. Journal of chromatography, 2003, 1012(1): 57-66
- [7] Camara J S, Alves M A, Marques J C. Multivariate analysis for the classification and differentiation of Madeira wines according to main grape varieties [J]. Talanta, 2006, 68(5): 1512-1521
- [8] 李学贵. 萝卜干的腌制的原理及方法[J]. 江苏调味副食品, 2010, 27(3): 30-33  
Li Xue-gui, Principle and method of pickling radish [J]. Jiangsu Condiment and Subsidiary Food, 2010, 27(3): 30-33
- [9] 曾凡坤,王金美. 蒸馏萃取-气相色谱-质谱联用对不同腌制工艺大头菜挥发性风味物质的分析. 食品科学[J]. 2011, 32(8): 197-201  
Zeng Fan-kun, Wang Jin-mei. Effect of Pickling Process on Volatile Flavor Compounds in Pickled Mustard Root as Analyzed by SDE/GC-MS [J]. Food Science, 2011, 32(8): 197-201