

## 东魁杨梅果实储藏期挥发性有机化合物成分的变化

张洁<sup>1</sup>, 郭金星<sup>2</sup>, 张汝忠<sup>2</sup>, 王星星<sup>1</sup>, 张晓玲<sup>1</sup>, 刘琳<sup>1</sup>, 侯平<sup>1</sup>, 张汝民<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省仙居县林业局, 浙江 仙居 317300)

**摘要:** 为探讨杨梅 *Myrica rubra* 果实在储藏过程中释放挥发性有机化合物(VOCs)的变化, 采用热脱附-气相色谱-质谱联用技术(TDS-GC-MS)测定了储藏过程中东魁杨梅 *Myrica rubra* ‘Dongkui’果实释放 VOCs 的成分和相对含量。结果表明: 杨梅果实释放的 VOCs 中共检测出 62 种化合物, 包括萜烯类、酯类、醇类、醛类、酮类和其他烃等 6 类, 其中, 石竹烯是杨梅果实释放 VOCs 的主要成分, 其相对含量占 VOCs 总量的 47.06%; 在储藏过程中, 萜烯类化合物相对含量变化较大, 在储藏 4 d 时达到最高(95.91%), 石竹烯相对含量占萜烯类总量的 62.74%; 醛类化合物相对含量在采摘当天最高, 其中糠醛和正己醛含量较高, 是醛类的主要成分, 随后不断下降; 醇类化合物相对含量先下降后上升, 在储藏 6 d 达到最高, 为 5.80%。图 3 表 1 参 23

**关键词:** 经济林学; 杨梅; 果实储藏; 挥发性有机化合物; 热脱附-气相色谱-质谱联用技术

中图分类号: S663.9 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)01-0143-08

### Changes in volatile organic compounds (VOCs) during storage for *Myrica rubra* ‘Dongkui’

ZHANG Jie<sup>1</sup>, GUO Jin-xing<sup>2</sup>, ZHANG Ru-zhong<sup>2</sup>, WANG Xing-xing<sup>1</sup>,  
ZHANG Xiao-ling<sup>1</sup>, LIU Lin<sup>1</sup>, HOU Ping<sup>1</sup>, ZHANG Ru-min<sup>1</sup>

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Forest Enterprise of Xianju County, Xianju 317300, Zhejiang, China)

**Abstract:** To determine changes in volatile organic compounds (VOCs) during storage for fruits of *Myrica rubra*, the composition and relative content of VOCs were analyzed using thermo desorption system-gas chromatography-mass spectrum (TDS-GC-MS). Results showed that *M. rubra* emitted 62 types of VOCs, mainly as terpenoids, esters, alcohols, aldehydes, and ketones, in which caryophyllene was the main compound with a relative content of 47.06%. The relative content of terpenoids showed a great difference during storage. After 4 days storage, the relative content of terpenoids was highest (95.91%) with the relative content of caryophyllene accounting for 62.74%. Measuring on the same day as picking, the relative content of aldehydes was highest with furfural and hexanal being the main components, but these decreased during storage. Alcohols first decreased and then increased with a relative content on the 6th day storage 5.80%. [Ch, 3 fig. 1 tab. 23 ref.]

**Key words:** cash forestry; *Myrica rubra*; fruit storage; VOCs; TDS-GC-MS

中国果蔬生产有着悠久的历史, 2005 年, 蔬菜产量达到 5.6 亿 t, 果蔬总产值超过 4 000 亿元<sup>[1]</sup>。由于生产的季节性、地域性和产品的易腐性, 给果蔬采后处理、储藏保鲜等环节带来了极大困难。国家农产品保鲜工程技术研究中心研究发现, 中国每年生产的果蔬损失率高达 30%, 而发达国家果蔬损失率则控制在 5% 以下<sup>[2]</sup>。因此, 果蔬储藏技术的发展是保证果蔬栽培产业迅速发展的重要环节。杨梅 *Myrica rubra* 属于杨梅科 Myricaceae 杨梅属 *Myrica* 的亚热带常绿果树, 原产于中国东南部, 是特色水果, 浙江省的

收稿日期: 2011-04-22; 修回日期: 2011-06-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972397); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2010FR058)

作者简介: 张洁, 从事植物生理生态学研究。E-mail: zhangjie8699@126.com。通信作者, 张汝民, 教授, 博士, 从事植物生理生态学研究。E-mail: ruminzhang@sohu.com

栽培面积最大，产量最高，品质最佳。然而杨梅成熟于高温多雨季节，又为浆果且无外果皮，极不耐储藏，故民间有“一日味变，二日色变，三日色味皆变”之说<sup>[3]</sup>。因此，许多学者对杨梅采后储藏保鲜进行了研究，戚行江等<sup>[4]</sup>用微容气调的储藏环境对杨梅的保鲜效果进行研究；胡西琴<sup>[5]</sup>研究了杨梅储藏期间呼吸强度、乙烯释放量和可溶性果胶等若干生理指标的变化；茅林春等<sup>[6]</sup>用1-甲基环丙烯对杨梅处理，进而研究杨梅采后呼吸强度、乙烯释放量、相对电导率和总糖等指标的变化。香气是果实品质的重要组成部分，因此，研究果实储藏过程香气成分的变化对香气质量评价体系的建立具有重要的意义。热脱附-气相色谱-质谱(TDS-GC-MS)联用技术是近年来挥发物分析领域先进的技术手段，乜兰春等<sup>[7]</sup>用该技术研究了不同品种苹果 *Malus domestica* 果实的香气成分。杨晓东等<sup>[8]</sup>用水蒸气蒸馏法分析了木叶杨梅储藏过程中挥发油的变化。但对杨梅储藏过程中挥发性有机化合物(VOCs)变化的研究尚未见报道。本研究以东魁杨梅 *Myrica rubra* ‘Dongkui’为材料，采用TDS-GC-MS技术对其果实储藏过程中 VOCs 成分进行采集和分析，以期为杨梅储藏过程果实品质评价提供新的参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

杨梅鲜果品种为东魁，于2010年7月1日采自浙江仙居果园。选大小均匀、无病虫、无机械损伤的鲜果，10个鲜果作为1份样品。采摘当天对1份样品进行挥发物的采集和测定，计为储藏0 d，其余的储藏于10℃冰箱中，分别在储藏2，4和6 d时进行挥发物的采集和测定。

### 1.2 杨梅挥发物的测定

VOCs 成分的采集参照冯青等<sup>[9]</sup>的方法，利用QC-1型大气采样仪(北京市劳动保护科学研究所科技发展公司)，采用动态顶空套袋采集法收集杨梅果实 VOCs 成分，采集时间为 20 min·样品<sup>-1</sup>。对室内空气采集作为对照。重复3次。

仪器为 TDS-GC-MS。TDS 条件：系统载气压力为 20 kPa，进样口温度 250 ℃，脱附温度 250 ℃(10 min)，冷阱温度 -100 ℃(保持 3 min)，冷阱进样时温度骤然升温至 260 ℃。GC 条件：色谱柱为 30 m × 250 μm × 0.25 μm 的 HP-5MS 柱。程序升温：初始温度为 40 ℃，保持 3 min 后以 6 ℃·min<sup>-1</sup> 的速率升至 250 ℃，保持 3 min 后以 10 ℃·min<sup>-1</sup> 的速率升至 270 ℃，保持 5 min。MS 条件：电离方式为 EI，电子能量为 70 eV，离子源温度为 230 ℃，接口温度为 280 ℃，四级杆温度为 150 ℃，质量范围为 29~400，灯丝电流为 150 μA。

### 1.3 谱图检索及成分鉴定

由 TDS-GC-MS 操作得到各样品质谱相对丰度图及总离子流(TIC)图。将 TIC 图中各峰代表的化学信息利用专用软件 Xcalibur 和标准谱库 NIST08，结合经典气相色谱保留时间数据和相关化学经验，进行杨梅果实挥发性组分中各化学成分的鉴定。相对含量采用面积归一化法计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同储藏期杨梅果实挥发物成分分析

采用 TDS-GC-MS 对杨梅果实不同储藏时间挥发性有机物进行分析结果见图 1 和表 1。从表 1 可看

表 1 不同储藏期杨梅果实挥发物及其相对含量

Table 1 Identified volatile compounds and their relative contents in *Myrica rubra* flesh at different storage time

保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%			
			0	2	4	6 d
4.25	3-羟基-2-丁酮 2-butanone, 3-hydroxy-	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.71	4.84	2.64	—
4.28	3-甲基-1-丁醇 1-butanol, 3-methyl-	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	—	—	—	3.32
4.70	异戊酸甲酯 isovaleric acid, methyl ester	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	—	0.98	—	1.21
5.18	正己醛 hexanal	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.55	0.55	—	—
6.17	糠醛 furfural	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	2.35	—	—	—

表1(续)

保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%			
			0	2	4	6 d
6.76	顺式-3-己烯醇 3-hexen-1-ol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	0.86	1.10	—	1.36
7.12	4-甲基-2-己内酯 2-oxepanone, 4-methyl-	C <sub>7</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.17	—	—	—
7.26	乙酸异戊酯 1-butanol,3-methyl-,acetate	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	0.48	0.50	0.15	0.65
7.43	2, 6-二甲基-1,5-庚二烯 1,5-heptadiene, 2,6-dimethyl-	C <sub>9</sub> H <sub>16</sub>	0.45	1.04	—	0.55
7.56	苯乙烯 styrene	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	0.59	—	0.24	3.79
7.69	环己酮 cyclohexanone	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0.81	—	—	—
8.58	己酸甲酯 hexanoic acid, methyl ester	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	1.83	2.47	0.39	0.84
8.79	α-蒎烯 α-pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.61	1.84	0.45	1.71
9.53	苯甲醛 benzaldehyde	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	0.39	—	—	—
10.11	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	0.18	—	—	1.12
10.36	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-heptene-2-one	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O	—	0.69	—	1.10
10.42	β-蒎烯 β-pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.34	1.81	0.85	2.01
10.75	水芹烯 phellandrene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	—	0.49
10.87	4-己烯-1-醇乙酸酯 4-hexen-1-ol-acetate	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>	0.21	—	—	0.15
11.08	萜品烯 terpinen	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	0.40	—	0.97
11.30	邻-异丙基苯 o-cymene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	—	—	—	1.09
11.39	柠檬烯 d-limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	0.33	1.38	0.37	2.02
11.45	2-乙基-1-己醇 1-hexanol, 2-ethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	0.30	—	0.16	—
11.68	反式罗勒烯 trans-ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.80	5.43	1.04	5.07
11.98	罗勒烯 ocimene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	6.20	10.71	2.45	10.25
12.25	松油烯 terpinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	0.36	—	1.06
12.42	苯乙酮 acetophenone	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.15	—	—	—
12.99	萜品油烯 terpinolen	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	0.93	0.43	0.73
13.31	芳樟醇 linalool	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.16	2.23	0.24	0.51
13.41	壬醛 nonanal	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.30	0.40	0.12	0.22
13.85	1,3,8-对-薄荷三烯 1,3,8-p-menthatriene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	—	—	—	0.38
14.06	2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0.72	1.28	0.46	1.12
14.35	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 2,6-dimethyl-2,4,6-octatriene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	0.32	0.11	0.32
15.14	l-( )-薄荷醇 l-( )-menthol	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	—	0.35	0.20	0.21
15.72	3,7-二甲基-1-辛酮 1-octanol,3,7-dimethyl-	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	0.39	—	0.23	—
16.01	癸醛 decanal	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O	0.22	0.48	—	0.19
19.16	十三烷 tridecane	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	—	0.34	0.16	0.21
19.95	罗汉柏烯--i2 thujopsene-(i2)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	—	0.25
20.90	花柏烯 chamigrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.27	0.61	—	0.28
21.10	丁子香烯 clovane	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.63	3.83	1.71	6.18
21.49	长叶松萜烯-(v4) longifolene-(v4)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.14	0.90	0.68	1.34
21.90	树油烯 eremophilene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.52	0.99	0.22	0.71
22.16	反式石竹烯 trans-caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	0.56	0.40

表1(续)

保留时间/min	化合物名称	分子式	相对含量/%			
			0	2	4	6 d
22.56	异丁子香烯 isocaryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	12.59	4.36	5.65	4.19
23.15	石竹烯 caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	47.06	6.24	62.08	6.56
23.40	别香树烯 (-)-alloaromadendrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	0.75	—
23.52	古芸烯 gurjunene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.27	2.19	4.71	3.20
23.83	蛇麻烯-(v1) humulen-(v1)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	6.99	8.51	4.24	11.28
23.92	葎草烯 humulene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	14.45	3.88	11.23
24.13	雪松烯 himachalene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.36	0.42	—	0.21
24.30	马榄烯 maaliene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.22	1.05	0.47	1.07
24.57	桉叶烯 eudesmene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.68	3.98	0.59	2.71
24.81	芹子烯 selinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	4.79	1.47	2.83
25.06	α-金合欢烯 α-farnesene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1.48	1.11	0.16	0.44
25.24	环氧香树烯 alloanomadendrene oxide-(2)	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1.24	1.43	0.84	1.68
25.42	杜松烯 cadinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.11	0.63	0.20	0.53
25.87	愈创木烯 guaiene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	—	0.30
26.09	雪松烯-1-氧化物 diepicedrene-1-oxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.14	1.40	0.41	0.71
26.23	环氧异香橙烯 isoaromadendrene epoxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	0.12	1.17	0.38	0.93
26.49	石竹烯醇 caryophyllenyl alcohol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	—	—	—	0.18
26.60	长叶松香芹酮 longipinocarvone	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O	—	0.41	0.13	—
26.79	环氧石竹烯 caryophyllene oxide	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	2.06	1.12	0.17	0.15

说明: ‘—’表示未检出。

出: 不同储藏期杨梅果实共检测出 62 种 VOCs 成分, 其中采摘当天、储藏 2, 4 和 6 d 分别检出 42 种、43 种、38 种和 51 种。四者共同成分 25 种。杨梅 VOCs 主要由萜烯类、酯类、酮类、醛类、醇类和其他烃组成。其中萜烯类化合物是杨梅 VOCs 的主要成分, 相对含量大于 5% 的包括石竹烯、蛇麻烯-(V1)、异丁子香烯、顺式罗勒烯、反式罗勒烯、葎草烯等。酯、醛、酮、醇类化合物, 主要包括己酸甲酯、壬醛、3-羟基-2-丁酮和顺式-3-己烯醇。

## 2.2 东魁杨梅不同储藏阶段 VOCs 成分的变化

2.2.1 萜烯类化合物成分的变化 不同储藏阶段萜烯类化合物相对含量的变化见图 2。采摘当天, 石竹烯的相对含量最高, 占萜烯类总量的 52.48%, 其次是异丁子香烯(14.04%), 蛇麻烯-(V1)(7.79%)和顺式罗勒烯(6.91%), 其他几种均不足总量的 5.00%。储藏 2 d 时, 有 7 种成分是采摘当天未曾检测到, 其中葎草烯的含量最高, 占萜烯类总量的 16.78%, 其次是芹子烯(5.55%), 其他几种均不足总量的 5.00%。与采摘当天比, 除石竹烯(7.24%), 异丁子香烯(5.06%), α-金合欢烯(1.28%)和环氧石竹烯(1.30%)的含量在萜烯类总量中所占的比例下降外, 其他成分所占比例均增加, 其中顺式罗勒烯和蛇麻烯-(V1)含量在总量中所占比例最高, 分别为 12.43% 和 9.87%。储藏 4 d 时, 新检出反式石竹烯和别香树烯, 但两者的含量均不足萜烯类总量的 1.00%, 蒽品烯、松油烯、癸醛、花柏烯和雪松烯消失。当天石竹烯的含量急剧上升, 占萜烯类总量的 64.72%, 其次是异丁子香烯和古芸烯, 分别占总量的 5.89% 和 4.90%。其他成分的含量均不足总量的 5.00%, 且与储藏 2 d 比, 在总量中所占比例均显著下降。储藏 6 d 时, 有 6 种成分是储藏前未曾检测到的, 其中邻-异丙基苯的含量最大, 占当天萜烯类总量的 1.27%, 其他几种均不足总量 1.00%。蒽品烯、松油烯、癸醛、花柏烯和雪松烯又被重新检测出, 但含量在总量中所占的比例有所下降。别香树烯、长叶松香芹酮消失。与储藏 4 d 比, 除石竹烯(97.66%), 异丁子香烯(4.90%), 古芸烯(3.73%)的含量在总量中的比例下降外, 其他的均显著上升, 其中蛇麻烯-(v1), 葎草烯和顺式罗勒

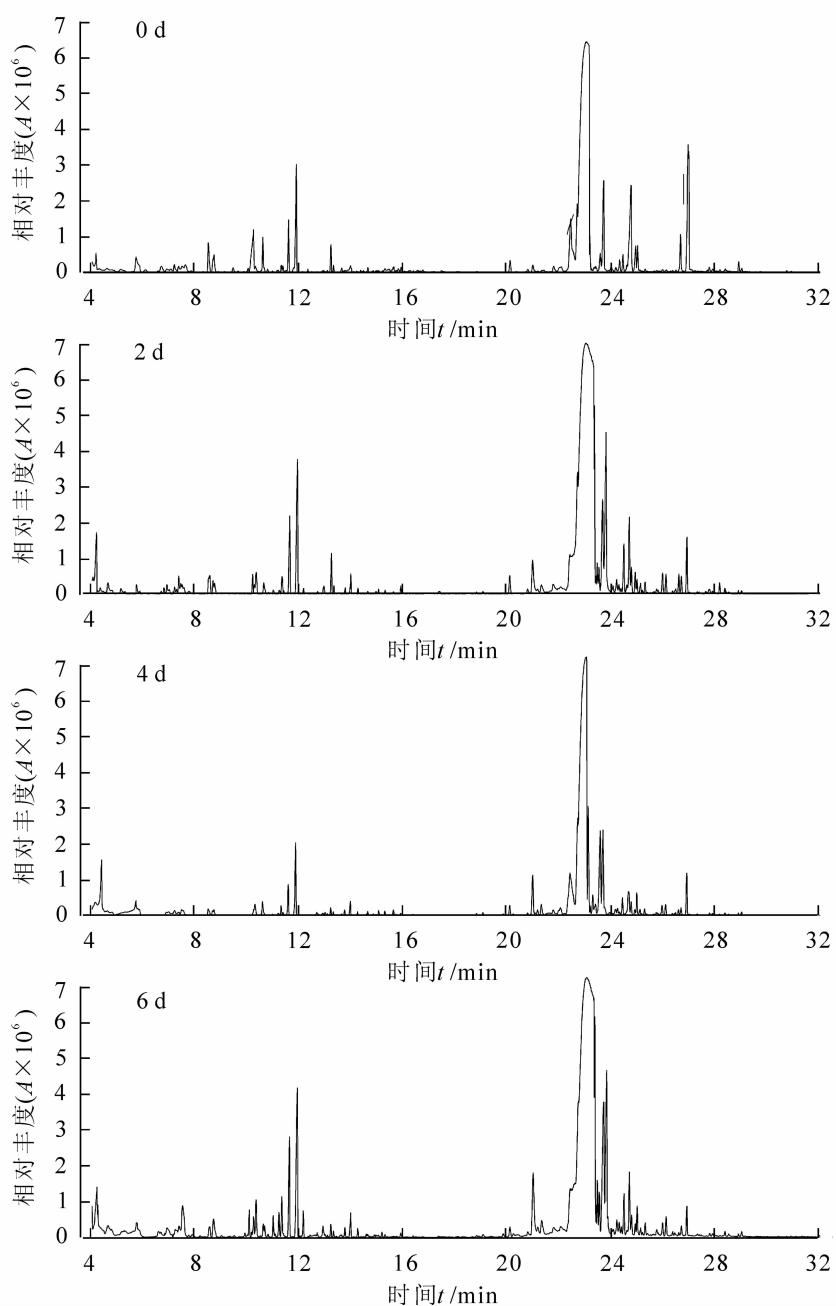


图 1 不同储藏期杨梅果实挥发物总离子图

Figure 1 Total ion current chromatograms of volatile compounds in *Myrica rubra* flesh at different storage time

烯含量在总量中所占比例最高, 分别为 13.17%, 13.11% 和 11.97%。

**2.2.2 其他化合物成分的变化** 萜烯类化合物是杨梅果实 VOCs 的主要成分, 但其他化合物也是构成杨梅风味的重要参数, 判断杨梅果实食用品质的重要因素。采摘当天, 杨梅果实挥发性物质的其他成分以醛类和酯类相对含量较高(图 3), 其中糠醛和己酸甲酯的相对含量分别为 2.35% 和 1.83%, 其他物质的含量均不足 1.00%。储藏 2 d 时, 酮类、酯类和其他烃的相对含量上升, 醛类和醇类的相对含量下降(图 3)。从表 1 可看出: 新检测出异戊酸甲酯、6-甲基-5-庚烯-2-酮和十三烷, 但糠醛、苯甲醛、苯乙烯和环己酮等 11 种物质消失。与采摘当天比, 其他物质的相对含量均有增加, 其中 3-羟基-2-丁酮的含量增加了 6 倍多。储藏 4 d 时, 酯、醛、酮、醛类和其他烃的相对含量均显著下降(图 3)。重新检测到苯乙烯、2-乙基-1-己醇和 3,7-二甲基-1-辛酮, 但相对含量均下降。异戊酸甲酯、正己醛、顺式-3-己烯醇等 5 种物质消失。与储藏 2 d 比, 其他物质的相对含量均下降, 其中己酸甲酯的含量下降了 6 倍多。储藏 6 d 时,

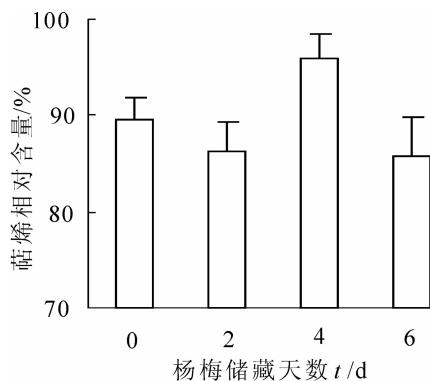


图2 不同储藏阶段杨梅果实萜烯类成分的变化

Figure 2 Change of the peak area percent of terpenes in *Myrica rubra* flesh at different storage time

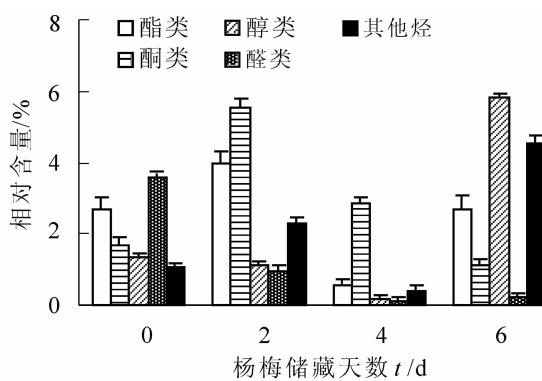


图3 不同储藏阶段杨梅果实其他成分的变化

Figure 3 Change of the peak area percent of the other compositions in *Myrica rubra* flesh at different storage time

酯类、醇类和其他烃的相对含量均显著上升, 醛类和酮类的相对含量仍下降(图3)。新检测出3-甲基-1-丁醇, 但3-羟基-2-丁酮、2-乙基-1-己醇和3,7-二甲基-1-辛酮消失。重新检测出异戊酸甲酯、顺式-3-己烯醇和1-辛烯-3-醇等6种物质, 除2,6-二甲基-1,5-庚二烯和4-己烯-1-醇乙酸酯的相对含量下降外, 其他物质的相对含量均有所增加。与储藏4 d比, 其他物质的相对含量均上升, 其中苯乙烯的含量上升了15倍多。

### 3 讨论

每种成熟果实中含有多种挥发性物质, 但不是每种物质都一样重要, 只有具有较高香气值(相对含量/香气闭值)的少数物质对果实的风味起重要作用<sup>[10]</sup>。构成果实的香气物质主要包括酯类、醇类、醛类、萜类和挥发性酚类物质等。苹果, 草莓 *Fragaria ananassa*, 甜瓜 *Cucumis melon*, 甜樱桃 *Prunus avium* 和香蕉 *Musa paradisiaca* 果实香气的主要成分<sup>[11-12]</sup>是低分子酯类物质。大枣 *Zizyphus jujube* 的挥发性成分主要为高分子酯类物质<sup>[13]</sup>。番茄 *Solanum lycopersicum* 果实挥发性物质以醇类、酮类和醛类物质为主<sup>[14]</sup>。萜类物质是葡萄 *Vitis vinifera* 香气的重要组成部分, Okamoto 等<sup>[15]</sup>从葡萄挥发性物质中鉴定出36种单萜类物质, 并认为沉香醇和牻牛儿醇为其主要香气成分。本研究中, 杨梅 VOCs 主要成分是萜烯类化合物, 储藏期间相对含量均超过85.00%。在采摘当天, 石竹烯相对含量占当天萜烯类总相对含量的52.48%, 是杨梅 VOCs 的一个典型特征, 这与康文怀等<sup>[16]</sup>用 HS-SPME-GC-MS 技术在分析杨梅的特征香气中, 得出的结果一致。除此之外, 杨梅具有青草香气特征的醛类物质主要有糠醛和正己醛。

果实香气物质是随着果实的成熟逐渐产生, 但对苹果、梨和香蕉等呼吸跃变型果实研究发现, 绝大多数香气物质是在呼吸跃变开始之后大量产生, 因为乙烯可以通过增强呼吸, 为脂肪酸和氨基酸代谢提供能量和物质保证, 促进和调节果实香气的产生<sup>[17-21]</sup>。阿拉瓦甜瓜 *Cucumis melon* ‘Arava’未成熟时, 其挥发性物质以中链醛和醇为主, 发生呼吸跃变后, 乙酸酯类占总挥发性物质的77%<sup>[22]</sup>。用乙烯利处理采后的苹果, 可促进香气的形成, 且支链酯的增加早于直链酯, 表明乙烯利对某些氨基酸积累的促进作用早于脂肪酸<sup>[21]</sup>。在常温储藏过程中, 大久保桃 *Amygdalus persica* ‘Okubo’ 果实出现乙烯释放高峰的时期与品质最佳期一致, 均为采后3 d,  $\gamma$ -癸内酯的含量也达到储藏期间的较高值, 而乙烯释放量与醛类物质含量和“青草型”香气成分含量呈显著负相关, 乙酰辅酶A 羧化酶合成酶(ACC)氧化酶与脂肪氧合酶(LOX)共同调控乙烯的合成, 进而调节香气的释放, 影响果实的风味<sup>[23]</sup>。在本研究中, 储藏4 d时, 萜烯类的相对含量达到最高, 其中石竹烯的含量也达到最高值(表1), 而酯类、醇类、醛类和酮类的相对含量却是最低值。储藏6 d时, 萜烯类的相对含量明显下降, 而醇类和其他烃的含量却急剧上升, 可能是杨梅在储藏4 d时呼吸跃变, 产生大量乙烯, 随后果实衰老, 导致影响鲜食品质的醇类等化合物明显增加, 如3-甲基-1-丁醇和苯乙烯等。呼吸和乙烯释放是否对杨梅的挥发性物质产生影响, 有待进一步的研究证实。

**参考文献:**

- [1] 胡小松. 我国果蔬贮藏与加工发展专题报告[J]. 食品与机械, 2007, **23** (4): 3 - 7.  
HU Xiaosong. Special report on the development of fruit and vegetable storage and processing in China [J]. *Food & Mach*, 2007, **23** (4): 3 - 7.
- [2] 李里特, 王颉, 丹阳, 等. 我国果品蔬菜储藏保鲜的现状和新技术[J]. 无锡轻工大学学报, 2003, **22** (2): 106 - 109.  
LI Lite, WANG Jie, DAN Yang, et al. State and new technology on storage of fruits and vegetables in China [J]. *J Wuxi Univ Light Ind*, 2003, **22** (2): 106 - 109.
- [3] 王白坡, 黎章矩, 喻卫武, 等. 浙江省杨梅资源的利用及生态效益[J]. 浙江林学院学报, 2001, **18** (2): 155 - 160.  
WANG Baipo, LI Zhangju, YU Weiwu, et al. utilization of myrica rubra resources in Zhejiang and their ecological effect [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2001, **18** (2): 155 - 160.
- [4] 戚行江, 梁森苗, 周利秋, 等. 微容气调环境对杨梅的保鲜效果研究[J]. 浙江农业学报, 2003, **15** (4): 237 - 240.  
QI Xingjiang, LIANG Senmiao, ZHOU Liqiu, et al. Study on effects of small controlled-atmosphere environment on keeping bayberry fruits fresh [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2003, **15** (4): 237 - 240.
- [5] 胡西琴, 余歆, 陈力耕. 杨梅果实储藏期间若干生理特性的研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2001, **27** (2): 179 - 182.  
HU Xiqin, YU Xin, CHEN Ligeng. Studies of Chinese bayberry fruits on some physiological characters during the storage [J]. *J Zhejiang Univ Agric & Life Sci*, 2001, **27** (2): 179 - 182.
- [6] 茅林春, 方雪花, 庞华卿. 1-MCP 对杨梅果实采后生理和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2004, **37** (10): 1532 - 1536.  
MAO Linchun, FANG Xuehua, PANG Huaqing. Effect of 1-MCP on postharvest physiology and quality of Chinese bayberry fruit [J]. *Sci Agric Sin*, 2004, **37** (10): 1532 - 1536.
- [7] 包兰春, 孙建设, 陈华君, 等. 苹果不同品种果实香气物质研究[J]. 中国农业学报, 2006, **39** (3): 641 - 646.  
NIE Lanchun, SUN Jianshe, CHEN Huajun, et al. Study on fruit aroma of different apple cultivars [J]. *Sci Agric Sin*, 2006, **39** (3): 641 - 646.
- [8] 杨晓东, 肖珊美, 韩铮, 等. 杨梅果实挥发油的气-质联用分析[J]. 果树学报, 2008, **25** (2): 244 - 249.  
YANG Xiaodong, XIAO Shanmei, HAN Zheng, et al. GC-MS analysis of volatile components in bayberry (*Myrica rubra*) fruit [J]. *J Fruit Sci*, 2008, **25** (2): 244 - 249.
- [9] 冯青, 张汝民, 高岩, 等. 3种百合科植物挥发物成分分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28** (3): 513 - 518.  
FENG Qing, ZHANG Rumin, GAO Yan, et al. Constituent analysis of volatile organic compounds in three Liliaceae [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (3): 513 - 518.
- [10] YONG H, PATERSON V J. The effects of harvest maturity, ripeness and storage on kiwifruit aroma [J]. *J Sci Food Agric*, 1995, **36** (5): 352 - 358.
- [11] UEDA Y, TSUDA A, BAI J H, et al. Characteristic pattern of aroma ester formation from banana, melon and strawberry with reference to the substrate specificity of ester synthetase and alcohol contents in pulp [J]. *J Jpn Soc Food Sci Technol*, 1992, **39**: 183 - 187.
- [12] BERNALTE M J, HERNADEZ M T, VIDAL-ARAGON M C. Physical, chemical, flavor and sensory characteristics of two sweet cherry varieties grown in 'Valle del Jerte' (Spain) [J]. *J Food Qual*, 1999, **22** (4): 403 - 416.
- [13] 穆启运, 陈锦屏. 红枣挥发性物质在烘干过程中的变化研究[J]. 农业工程学报, 2001, **17** (4): 99 - 101.  
MU Qiyun, CHEN Jinping. Variation of volatile compounds of Chinese dates during toast [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2001, **17** (4): 99 - 101.
- [14] TANDON K S, BALDWIN E A, SHEWFELT R L. Aroma perception of individual volatile compounds in fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by the medium of evaluation [J]. *Postharv Biol Technol*, 2000, **20**: 261 - 268.
- [15] OKAMOTO G, LIAO K, FUSHIMI T. Aromatic substances evolved from the whole berry, skin and flesh of 'Muscat of Alexandria' grapes [J]. *Sci Rep Fac Agric Olcayama Univ*, 2001, **90**: 21 - 25.

- [16] 康文怀, 徐岩, 范文来, 等. 基于 HS-SPME 和 GCMS 定量分析杨梅特征香气成分[J]. 食品工业科技, 2009, **12**(3): 381 – 384.  
KANG Wenhui, XU Yan, FAN Wenlai, et al. Quantitative analysis of characteristic aromatic compounds in red berry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc) by HS-SPME and GC/MS [J]. *Sici Technol Food Ind*, 2009, **12**(3): 381 – 384.
- [17] 倪兰春, 孙建设, 黄瑞虹. 果实香气形成及其影响因素[J]. 植物学通报, 2004, **21**(5): 631 – 637.  
NIE Lanchun, SUN Jianshe, HUANG Ruihong. The biosynthesis and affecting factors of aroma in some fruits [J]. *Chin Bull Bot*, 2004, **21**(5): 631 – 637.
- [18] TONUTTI P, BONGHI C, RAMINA A. Fruit firmness and ethylene biosynthesis in three cultivars of peach [J]. *J Hort Sci*, 1996, **71**(1): 141 – 147.
- [19] 张晓萌, 贾惠娟. 挥发性香气物质和乙烯生产在‘湖景蜜露’桃果实发育过程上的变化[J]. 植物生理与分子生物学报, 2005, **31**(1): 41 – 46.  
ZHANG Xiaomeng, JIA Huijuan. Changes in aroma volatile compounds and ethylene production during ‘Hujingmilu’ peach (*Prunus persica* L.) fruit development [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 2005, **31**(1): 41 – 46.
- [20] 高红岩. 乙烯对番茄风味、香气调控作用的机理研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.  
GAO Hongyan. *Role of Ethylene in the Flavor and Aroma Volatiles Biosynthesis in Tomato Fruit* [D]. Beijing: China Agricultural University, 2006.
- [21] SONG J, BANGERTH F. Production and development to volatile aroma compounds of apple fruit sat different times of maturity [J]. *Acta Hort*, 1994, **368**: 150 – 159.
- [22] SHALIT M, KATZIR N, TADMOR Y, et al. Acetyl-CoA: alcohol acetyl transferase activity and aroma formation in ripening melon fruits [J]. *J Agric Food Chem*, 2001, **49**: 794 – 799.
- [23] 李杨昕, 王贵禧, 梁丽松. ‘大久保’桃常温储藏过程中香气成分变化及其与乙烯释放的关系[J]. 园艺学报, 2011, **38**(1): 35 – 42.  
LI Yangxin, WANG Guixi, LIANG Lisong. The changes of volatile compositions of ‘Okubo’ peach and its relationship with ethylene and relevant enzymes stored at ambient temperature [J]. *Acta Hort Sin*, 2011, **38**(1): 35 – 42.