

# 基于 AEDA 和 OAV 值确定西瓜汁香气活性化合物的比较

何聪聪, 苏柯冉, 刘梦雅, 刘建彬, 刘野, 宋焕禄

(北京工商大学食品学院, 北京市食品风味化学重点实验室/食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 北京 100048)

**摘要:** 本研究采用溶剂辅助风味蒸发提取西瓜汁的香气成分, 利用气相色谱-质谱联用结合嗅闻仪定性定量分析其香气活性化合物, 共鉴定出 49 种化合物, 主要是小分子的酮、醛、硫醚等物质, 酯类物质中只检测到一种物质, 即乙酸乙酯, 且浓度较低。本研究首次检测到醚类物质。OAV 计算和 AEDA 两种方法共同鉴定出 11 中物质, 顺, 顺-3, 6-壬二烯醛、顺-3-壬烯-1-醇、反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇、反-2-壬烯醛、壬醛、1-壬醇、2-戊基呋喃、己醛、辛醛、顺-6-壬烯醛、反-2-辛烯醛。其中有五种香气活性物质, 即顺, 顺-3, 6-壬二烯醛、顺-3-壬烯-1-醇、顺-6-壬烯醛、顺-2-壬烯醛、反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇都能被实验员嗅闻到, 且具有较高的 OAV 值。这表明, AEDA 和 OAV 计算在西瓜汁香气活性化合物分析上具有一定的相似性。

**关键词:** 西瓜汁; 香气活性化合物; 气相色谱-嗅闻-质谱联用仪; 香气活性值; 香气稀释分析

文章编号: 1673-9078(2014)7-279-285

## Identification of Aroma-active Compounds in Watermelon Juice by AEDA and OAV Calculation

HE Cong-cong, SU Ke-ran, LIU Meng-ya, LIU Jian-bin, LIU Ye, SONG Huan-lu

(Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry/ Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

**Abstract:** Solvent assisted flavor evaporation and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-O-MS) were used in this study to identify aromatic compounds in watermelon juice. Forty-nine volatiles were identified, most of which were low molecular weight alcohols, aldehydes and sulfur-containing compounds. There was only one ester that detected in melon juice, considered as ethyl acetate with low concentration. Sulfur-containing compounds were identified for the first time as aroma compounds in watermelon. Eleven compounds, namely (Z)-3-Nonen-1-ol, (Z, Z)-3,6-nonadienal, (E,Z)-3,6-noandienol, (E)-2-nonenal, nonanal, 1-nonanol, 2-pentylfuran, hexanal, Octanal, (Z)-6-nonenal and (E)-2-octenal, were identified as the potent odorants in watermelon juice by both odor active value(OAV) and aroma extract dilution analysis(AEDA). In addition, five odorants including (Z)-3-Nonen-1-ol, (Z, Z)-3, 6-nonadienal, (E, Z)-3, 6-noandienol, (Z)-6-nonenal, (Z)-2-nonenal were detected by all of the panelists and showed higher OAVs, indicating that AEDA and OAV resulted in relatively similar watermelon aroma patterns.

**Key words:** watermelon juice; aroma-active compounds; gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry; aroma active value; aroma extract dilution analysis

我国是西瓜生成大国, 产量和消费量均居世界首位。在西瓜的加工产品中, 西瓜汁以其清爽的口感、诱人的颜色以及显著的功能性越来越受到消费者的欢

收稿日期: 2014-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31201400); 北京市委组织部优秀人才项目 (2011D005003000007)

作者简介: 何聪聪 (1989-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品风味化学  
通讯作者: 刘野 (1981-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬加工与食品风味。

迎, 消费量快速增长<sup>[1]</sup>。西瓜汁中含有类胡萝卜素、类黄酮、多酚类化合物以及维生素等有益成分, 大量的流行病学研究表明, 食用西瓜在一定程度上可以降低一些疾病的发展, 如癌症、冠心病等<sup>[2]</sup>。西瓜汁中的 L-瓜氨酸在预防肌肉酸痛有明显的效果, 这使得西瓜汁开发成运动饮料有很大的空间<sup>[3]</sup>。由于西瓜属于“热敏性”水果, 其风味很容易受到温度、氧气等因素的影响, 因此目前关于西瓜汁的研究多集中在加工方式对其品质影响方面, 如采用高压二氧化碳和高压

脉冲电场处理,在保证其达到良好的杀菌效果的同时,也能保持其良好的风味和品质<sup>[4-5]</sup>。但是对其西瓜汁香气成分的研究却很少。

SAFE (solvent assisted flavor evaporation) 是1999年 W Engel 等发明设计的<sup>[6]</sup>,其是在低温、高真空下进行蒸馏,馏出液通过液氮冷冻收集,得到的产物既没有“煮熟”味,也不含高沸点的色素。Havemose 等利用 SAFE 对低浓度化合物的高效萃取分析了牛奶的氧化产物<sup>[7]</sup>。段艳等采用微波辅助萃取耦合溶剂辅助风味蒸发法提取酱牛肉挥发性成分,结果表明,壬醛、5-甲基糠醛、薄荷酮、茴香脑、麦芽酚、反-肉桂醛、肉桂醇对酱牛肉的风味有重要贡献<sup>[8]</sup>。Rothe 和 Thomas 定义了 OAV 值 (aroma active value),它是香气物质的浓度与其阈值的比值<sup>[9]</sup>。阈值是一个参数,即能嗅到该物质的最小浓度,它广泛的用于气味模型的获得。在这个方法中,化合物的比值大于或者等于1,则认为该化合物对其香气有作用,且 OAV 值越大,对整体香气的贡献度就越大。AEDA 法 (aroma extract dilution analysis) 是通过计算每种香气化合物的香气稀释因子 (FD, flavor dilution factor),根据 FD 的大小来确定关键香气活性化合物。

为准确分析西瓜汁香气活性化合物,本研究选取了 SAFE 结合 GC-O-MS 对鲜榨西瓜汁挥发性成分进行定性和定量分析,比较由 OAV 值和 FD 因子获得的香气模式及香气活性化合物的异同,并对两种方法在西瓜汁香气分析上是适用性进行比较。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

京欣西瓜(选取八至九成熟,无腐烂、变质和虫蚀),北京市永辉超市(2013年夏);无水乙醚、正戊烷,分析纯,北京化学试剂公司;系列烷烃(C7-C22),色谱纯,西格玛-奥德里奇公司(中国)。

7890A-7000 型气质联机,配有 EI 离子源和 NIST2.0 数据处理系统,国 Agilent 公司;ODP2 嗅闻检测仪,德国 Gerstal 公司;DB-WAX 型毛细管柱,30 m×0.25 mm,0.25 μm 和 DB-5 型毛细管柱 30 m×0.25 mm,0.25 μm,美国 J&W 公司;HH-1 型超级恒温水浴锅,金坛市至翔科教仪器厂;40 mL 萃取瓶,北京玻璃仪器厂;HP1858 型榨汁机,飞利浦公司;手动固相微萃取进样器、50/30 μm DVB-CAR-PDMS,美国 Supelco 公司;摇床,常州华普达教学仪器有限公司;分液漏斗,北京玻璃仪器厂;分子涡轮泵,英国爱德华公司;氮吹仪,天津恒奥科技发展有限公司;

溶剂辅助风味蒸发装置, Glasbläserei Bahr, Manching, Germany。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 西瓜汁的制备

西瓜经清洗后取瓤,用榨汁机(飞利浦,HP1858)破碎,4层纱布过滤,过滤后的西瓜汁在4℃冷藏备用。

#### 1.2.2 SE/SAFE 操作

准确量取新鲜榨取的西瓜汁 100 mL,用乙醚与正戊烷(1:2) 100 mL 摇床处理 8 h,静置分层,用分液漏斗得到有机相 100 mL,依照图 1 安装 SAFE,将 500 mL 圆底烧瓶作为蒸馏瓶置于 40℃ 的恒温水浴中,将另一 250 mL 圆底烧瓶作为接收瓶置于液氮环境中,冷阱中也充满液氮。SAFE 的蒸馏头夹层循环水温度为 50℃,用分子扩散泵使系统压力保持在 10<sup>-4</sup> Pa。在 0.5 h 内将 100 mL 西瓜汁的乙醚/正戊烷的萃取液由滴液漏斗缓慢、均匀地滴入蒸馏瓶中,最终浓缩至 200 μL。

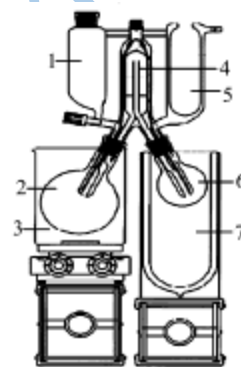


图 1 SAFE 装置示意图<sup>[5]</sup>

Fig.1 Schematic diagram of an SAFE instrument

注: 1.滴液漏斗; 2.蒸馏烧瓶; 3.恒温水浴; 4.蒸馏头; 5.冷阱; 6.接收瓶; 7.保温瓶。

#### 1.2.3 挥发性香气成分分析

采用 GC-O-MS 系统对西瓜汁挥发性香气成分进行分析。GC-O-MS 是由 7890AGC 装置、质谱和嗅闻装置组成。样品经进样口解析后,经 GC 分离后分别进入质谱检测器和嗅闻检测器,分流比为 1:1。实验人员在嗅闻口记录所闻到的香味特征和强度。

##### 1.2.3.1 GC 条件

DB-WAX 毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm),程序升温:初始温度,40℃,保持 3 min,以 5℃/min 升温到 200℃,保持 0 min,再以 10℃/min 升温到 250℃,保持 3 min。后运行 3 min。DB-5 毛细管柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)的升温程序同 DB-WAX。载气(He),恒定流速为 1.2 mL/min,进样口温度 250℃,压力 14.87 psi,分流比 10:1。

### 1.2.3.2 质谱条件

电子轰击 (electron impact, EI) 离子源, 电子能量 70 eV, 传输线温度 280 °C, 离子源温度为 230 °C, 四极杆温度为 150 °C, 质量扫描范围 m/z 40~250。

### 1.2.3.3 嗅觉检测器

接口温度为 220 °C。检测时为了防止实验员鼻腔干燥通入湿润的空气。用预处理后的样品及标准香味化合物对 3 位评价员培训后进行实验, 评价员在嗅觉检测口记录下闻到气味的的时间, 香味特性及香气强度。

## 1.2.4 化合物鉴定

### 1.2.4.1 定性分析

化合物由质谱数据库和文献报道的保留指数 RI 值和芳香特性来鉴定。利用系列正构烷烃换算成 RI 值, 所得的 RI 值以相关文献进行比较来进一步确定化合物。

$$RI=100 \times n + \frac{100(t_a - t_n)}{t_{n+1} - t_n} \quad (1)$$

注:  $t_a$  为样品 a 的保留时间;  $t_n$  为正构烷烃  $C_n$  的保留时间 (样品 a 的保留时间落在正构烷烃  $C_n$  和  $C_{n+1}$  之间)。

### 1.2.4.2 定量分析

根据对西瓜汁中挥发性香气化合物进行分离鉴定时添加内标的量, 和挥发性香气化合物的色谱峰面积与内标的色谱峰面积进行比较, 计算出每一种挥发性香气化合物相对于内标的量。

$$C_i = \frac{S_i}{S_A} C_A \quad (2)$$

注:  $C_i$  是未知化合物的浓度,  $S_i$  是内标物的浓度,  $C_A$  是未知化合物的峰面积,  $S_A$  是内标物的峰面积。

## 1.2.5 OAV 的计算

根据下面公式计算 OAV 值

$$OAV = \frac{C_i}{OT_i} \quad (3)$$

注:  $C_i$  是根据公式 2 计算出的浓度,  $OT_i$  是该化合物在水中的嗅觉阈值。

## 1.2.6 AEDA 操作方法

AEDA 法即按照一定的比例 (如 1:3, 1:9, 1:27) 逐步稀释样品, 并 GC-O 检测, 在嗅闻口感觉不到气味为止, 在最稀的浓度下仍然能闻到的成分被确定为样品的关键香气成分。香气稀释因子 FD, 香气化合物的浓度与最大稀释后的样品中该化合物的浓度比值, 即其稀释的倍数。

## 2 结果与分析

### 2.1 SAFE 法提取西瓜汁香气成分分析

由图 2 (DB-WAX)、图 3 (DB-5) 和表 1 看出, SAFE 法提取西瓜汁香气成分, 经过 DB-WAX 和 DB-5 毛细管柱分离, 最后由质谱检测到 49 种化合物。根据 GC-O 的嗅闻口闻到的香气可知, 其主要的香气特征包括清香味、甜香味、油脂味、水果香、花香味、刺激味等。

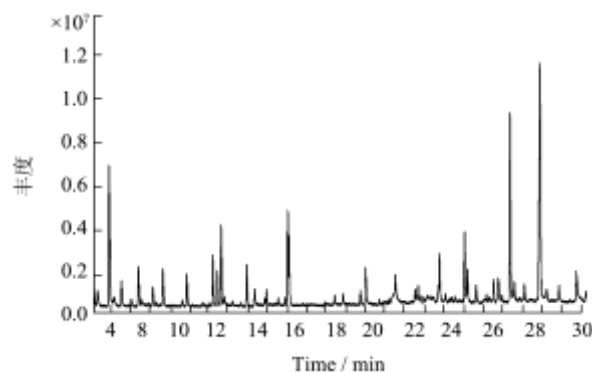


图 2 西瓜汁香气 DB-WAX 的总离子流图

Fig.2 Total ionic chromatogram in DB-WAX of volatile aroma component in watermelon juice

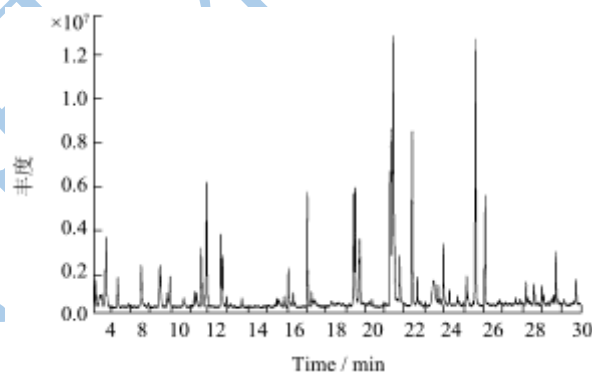


图 3 西瓜汁香气在 DB-5 的总离子流图

Fig.3 Total ionic chromatogram in DB-5 of volatile aroma component in watermelon juice

在这些化合物中, 包括低分子量的醇类、醛类、烯醛类、酮类、呋喃以及硫醚类物质, 酯类物质相对较少, 也有报道称西瓜汁的香气成分中不含酯类物质<sup>[10]</sup>。本文中只检测到一种酯类物质, 即乙酸乙酯, 且其浓度含量较低。醇类、醛类以及烯醛类物质已经在文献中有明确的报道, 但对于西瓜汁中硫醚类物质的报道还没有。Tang 和 Beaulieu 等都采用固相微萃取 (SPME) 鉴定西瓜汁香气, 没有检测到硫醚类物质<sup>[11]</sup>。本研究中采用的 SAFE 检测到硫醚物质, 可能是因为 SPME 的纤维涂层的填料不能吸附该类物质, 而在 SAFE 中经溶剂萃取后能提取出来, 同时说明了香气物质的萃取需要多种方法相结合。前人研究表明, 无籽或者其他品种的西瓜中含有己醛、反, 顺-2, 6 壬二烯醛、反-2-壬烯醛、顺-6-壬烯醛、顺-3-壬烯-1-醇、反, 顺-3, 6-壬二烯-1-醇等物质。

醇类和烯醛类物质的前体物质是脂肪酸（主要是亚油酸和亚麻酸），代谢的产物主要是 C6 和 C9 系列的物质，它们是由前体物质脂肪酸经过 LOX（脂氧合酶）途径逐步的过氧化、裂解及还原作用形成的<sup>[12]</sup>。该酶的作用机理是 LOX 特定的识别不饱和脂肪酸亚油酸和亚麻酸的 1, 4-异二烯结构，并使其发生过氧化

作用，形成过氧羟基脂肪酸。氢过氧化物裂解酶（HPL）是 LOX 途径的另一个重要酶，经过 HPL 作用过氧羟基脂肪酸裂解为醛类和含氧酸<sup>[13]</sup>。有报道称，在无籽西瓜中含量较高的反-2-壬烯醛的前体物质是亚油酸<sup>[14]</sup>。

表 1 京欣西瓜汁 SAFE 中挥发性香气物质

Table 1 Volatile aroma compounds in SAFE of JingXin melon juice

序号 <sup>a</sup>	化合物 <sup>b</sup>	CAS	LRI <sup>c</sup>		鉴定方法 <sup>d</sup>
			DB-WAX	DB-5	
1	乙酸乙酯	141-78-6	907	628	LRI,MS
2	1-戊烯-3-酮	1629-58-9	1019	-	LRI,MS
3	3-戊酮	96-22-0	978	636	LRI,MS
4	2-丁酮	78-92-2	1024	-	LRI,MS
5	二甲基二硫醚	624-92-0	1071	785	LRI,MS, 气味
6	反-2-庚烯醛	18829-55-5	-	951	LRI,MS
7	反-2-戊烯醛	1576-87-0	1124	754	LRI,MS
8	己醛	66-25-1	1081	801	LRI,MS, 气味
9	2-戊酮	6032-29-7	1118	-	LRI,MS
10	乙基甲基二硫醚	20333-39-5	1149	845	LRI,MS
11	1-戊烯-3-醇	616-25-1	1157	686	LRI,MS
12	甲基丙基二硫醚	2179-60-4	1178	913	LRI,MS
13	二乙基二硫醚	110-81-6	1219	932	LRI,MS
14	苯甲醛	100-52-7	-	960	LRI,MS
15	反-2-己烯醛	6728-26-3	1196	844	LRI,MS, 气味
16	2-乙酰基吡咯啉	85213-22-5	-	924	LRI,MS
17	二甲基三硫醚	3658-80-8	-	974	LRI,MS
18	乙基异丙基二硫醚	53966-36-2	1242	976	LRI,MS, 气味
19	1-辛烯-3-酮	4312-99-6	1313	982	LRI, 气味
20	6-甲基-5-庚烯-2-酮	110-93-0	1339	985	LRI,MS
21	2-戊基呋喃	3777-69-3	1231	993	LRI,MS, 气味
22	1-戊醇	71-41-0	1256	-	LRI,MS
23	辛醛	124-13-0	-	1004	LRI,MS, 气味
24	二异丙基二硫醚	4253-89-8	1259	1018	LRI,MS
25	顺-2-戊烯醇	1576-95-0	1337	-	LRI,MS
26	1-己醇	111-27-3	1353	851	LRI,MS, 气味
27	顺-3-己烯醇	928-96-1	1389	858	LRI,MS, 气味
28	壬醛	124-19-6	1392	1106	LRI,MS, 气味
29	未知		-	1119	LRI,MS, 气味
30	未知		-	1125	LRI,MS, 气味
31	顺-6-壬烯醛	2277-19-2	1437	1103	LRI,MS, 气味
32	顺-2-壬烯醛	60784-31-8	-	1134	LRI,MS, 气味
33	2-乙基-1-己醇	104-76-7	1487	1029	LRI,MS
34	未知		-	1038	LRI,MS, 气味
35	未知		-	1043	LRI,MS, 气味
36	二丙基三硫醚	6028-61-1	1441	1350	LRI,MS, 气味
37	顺, 顺-3, 6-壬二烯醛	21944-83-2	-	1097	LRI,MS, 气味

转下页

接上页

38	2, 6-二甲基-5-庚醛	106-72-9	-	1050	LRI,MS, 气味
39	反-2-辛烯醛	2548-87-0	1345	1060	LRI,MS, 气味
40	反-2-壬烯醛	18829-56-6	1549	1162	LRI,MS, 气味
41	反, 顺-2, 6-壬二烯醛	557-48-2	1576	1145	LRI,MS, 气味
42	1-壬醇	143-08-8	-	1146	LRI,MS, 气味
43	顺-3-壬烯醇	143-08-8	1671	1160	LRI,MS, 气味
44	反, 顺-3, 6-壬二烯醇	56805-23-3	1736	1159	LRI,MS, 气味
45	反, 反-2, 4-壬二烯醛	5910-87-2	-	1211	LRI,MS, 气味
46	反-6-壬烯醇	31502-19-9	-	1171	LRI,MS, 气味
47	癸醛	112-31-2	-	1209	LRI,MS
48	4-酮基壬醛	74327-29-0	1821	1247	LRI,MS
49	香叶基丙酮	689-67-8	1840	1455	LRI,MS

注: a.根据物质在 DB-WAX 上的出峰顺序; b.由 LRI、MS 和 ODP2 嗅闻口闻到的香味特征来确定的化合物; c.线性保留指数, 根据化合物的嗅闻时间与系列烷烃在相同气相条件下的出峰时间计算, 即由公式 2 计算得出; d.香气化合物由这些缩略词鉴定出, LRI 表示两个柱子上 (DB-WAX 和 DB-5) 的保留指数和文献中的香符合, MS 表示在 NIST 谱库中检索出来, 气味表示在嗅闻口可以嗅到气味。

## 2.2 AEDA 确定活性香气成分

表 2 AEDA 法确定京欣西瓜汁中的活性香气物质

Table 2 Odor-active compounds of JingXin melon juice characterized by aroma extract dilution analysis

序号 <sup>a</sup>	化合物 <sup>b</sup>	FD	香味特征 <sup>c</sup>
43	顺-3-壬烯-1-醇	729	清香、动物脂味
44	反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇	243	黄瓜味
39	反-2-辛烯醛	243	水果香、花香、油脂香
40	反-2-壬烯醛	243	瓜味、清香
28	壬醛	243	清香、花蜜香
37	顺, 顺-3, 6-壬二烯醛	81	瓜味、清香、稍有奶香
31	顺-6-壬烯醛	81	瓜香、清香
8	己醛	27	青草香
20	6-甲基-5-庚烯-2-酮	27	柠檬味、苹果味
10	未知 <sup>d</sup>	27	清香、稍有臭味
30	未知 <sup>d</sup>	27	甜橙香、清香
5	二甲基二硫醚	9	臭味
18	乙基异丙基二硫醚	9	稍有臭味
19	1-辛烯-3-酮	9	蘑菇味、泥土味
21	2-戊基呋喃	9	水果香、清香、甜香
37	2, 6-二甲基-5-庚酮	9	甜瓜香、清香
29	未知 <sup>d</sup>	9	油脂香、清香
41	反, 顺-2, 6-壬二烯醛	9	黄瓜香
42	1-壬醇	9	清香、瓜香
6	反-2-庚烯醛	3	清香
23	辛醛	3	水果香

注: a.序号和表 1 的相符合; b.由 LRI、MS 和 ODP2 嗅闻口闻到的香味特征来确定的化合物; c.实验员在嗅闻口闻到的

香味描述; d.由于浓度过低, 质谱没有检测到该物质。

本研究中, SAFE 法得到的凝缩液以 1:3<sup>n</sup> (n 取 1, 2, 3……) 进行稀释, 然后进 GC-O。FD≥3 的香气化合物共 21 种。如表 2 所示。它们呈现的香气特征多是瓜香、清香、水果香以及花香等。在这些香气化合物中, 18 种化合物由质谱、保留指数、香气特征以及标准品共同验证, 但是有三种物质 (序号 10、29、30) 只能在嗅闻口感觉到其香气, 质谱谱库中没有检索到这三种物质, 可能是这几种物质的浓度低于这个方法的检出限。顺-3-壬烯-1-醇、反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇、反-2-辛烯醛、反-2-壬烯醛、壬醛、顺, 顺-3, 6-壬二烯醛、顺-6-壬烯醛的 FD 因子较高, 表明这几种物质对西瓜汁的整体香气的贡献较大。大量的研究者证明, C9 系列的醇类、醛类以及烯醛类, 主要有反-2-壬烯醛、反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇、顺-6-壬烯醛, 表现出瓜香、黄瓜样的香气, 是葫芦科植物的主要的香气物质。其他不饱和的醛类对清香和瓜香也有贡献作用。但是, 含硫类的物质如二甲基二硫醚、乙基异丙基二硫醚等是其他品质的瓜类的重要香气物质<sup>[5]</sup>。

## 2.3 OAV 计算鉴定活性香气成分

在检索出的 49 种化合物中, 有 13 种化合物的 OAV 值大于 1, 这表明它们对西瓜汁的香气有贡献作用。在这些香气化合物中, 顺, 顺-3, 6-壬二烯醛的 OAV 值 (2032) 最大, 其次是顺-3-壬烯-1-醇 (1337.724)、顺-6-壬烯醛 (458.689)、顺-2-壬烯醛 (435.279) 反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇 (204.195)、反, 反-2, 4-壬二烯醛 (38.145)、反-2-壬烯醛 (36.631), 由此可以看出, 有 OAV 值确定的西瓜汁中的活性香

气成分是 C9 系列的烯醛类和醇类物质。Kemp 等人研究表明, C9 系列的醛类(包含烯醛类)是西瓜和甜瓜等中的重要香气物质<sup>[6]</sup>。本研究的结果和上述结论一致。

表 3 OAV 值确定京欣西瓜汁中香气物质

Table 3 Potent odorants in JingXin melon juice identified by OAV calculation

序号 <sup>a</sup>	化合物 <sup>b</sup>	浓度 <sup>c</sup> /( $\mu\text{g/L}$ )	阈值 <sup>d</sup> /( $\mu\text{g/L}$ )	OAV
37	顺, 顺-3, 6-壬二烯醛	20.32	0.01	2031.99
43	顺-3-壬烯-1-醇	1337.72	1	1337.72
31	顺-6-壬烯醛	9.17	0.02	458.69
32	顺-2-壬烯醛	17.41	0.04	435.28
44	反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇	612.58	3	204.20
45	反, 反-2, 4-壬二烯醛	3.43	0.09	38.15
40	反-2-壬烯醛	5.50	0.15	36.63
28	壬醛	27.48	1	27.48
42	1-壬醇	220.30	50	4.41
21	2-戊基呋喃	11.31	6	1.88
8	己醛	6.42	4.5	1.43
23	辛醛	9.92	8	1.24
39	反-2-辛烯醛	4.27	4	1.07

注: a.序号和表 1 的相符合; b.由 LRI、MS 和 ODP2 嗅闻口闻到的香味特征来确定的化合物; c.浓度根据公式 2 计算得出 d.水中的气味阈值。

由以上结果可以看出, AEDA 和 OAV 两种方法得到的结论有一定的相似性。但是二者也存在一定的差异, 如顺-2-壬烯醛有较高的 OAV (435.279), 而它的 FD 因子却很低; 6-甲基-5-庚烯-2-酮的 FD 因子较高 (27), 但是它的 OAV 却小于 1。二者的结果存在差异可能一下原因, 一方面 OAV 的计算没有考虑到各香气物质之间的拮抗和协同的作用, 而且利用水中的嗅觉阈值并不能真正的反映各个化合物的阈值。所以 OAV 小于 1 的化合物, 可能因为香气之间的协同作用而被实验员嗅闻到, 而 OAV 大于 1 的化合物, 因为拮抗作用没有被嗅闻到。另一方面, 有研究认为存在一种气味心理功能, 即每种化合物都有一种唯一的心理反应, 也就是浓度的响应函数, 并不是说相同的 OAV 具有相同的气味强度。这两种方法关于西瓜汁中重要的香气化合物, 下一步可以进行香气的重组和消除实验来验证。

### 3 结论

采用 SAFE 结合 GC-O-MS 法从鲜榨西瓜汁中分离得到 49 种香气化合物。包括醇类、醛类、烯醇类、烯醛类、硫醚类和呋喃类等。由 AEDA 和 OAV 两种方法共同鉴定出西瓜汁中 11 种重要的香气活性化合物, 包括顺, 顺-3, 6-壬二烯醛、顺-3-壬烯-1-醇、反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇、反-2-壬烯醛、壬醛、1-壬醇、2-戊基呋喃、己醛、辛醛、顺-6-壬烯醛、反-2-辛烯醛。此外, 有五种香气物质, 即顺, 顺-3, 6-壬二烯醛、顺-3-壬烯-1-醇、顺-6-壬烯醛、顺-2-壬烯醛、反, 顺-3, 6-壬烯-1-醇都能被实验员嗅闻到, 且具有较高的 OAV 值 (大于 100)。因此, 综合多种方法才能更准确的确定西瓜汁的香气活性化合物。

### 参考文献

- [1] 李菁.西瓜清汁动力非热杀菌工艺研究[D].北京:中国农业大学食品科学与营养工程学院,2006  
LI Jing. The study of non-thermal pasteurization and its kinetic analysis in watermelon juice [D]. Beijing: School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, 2006
- [2] Aguiló-Aguayo I, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O. Color and viscosity of watermelon juice treated by high-intensity pulsed electric fields or heat [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(2): 299-305
- [3] Martha P, Tarazona-Díaz, Fernando Acid, et al. Watermelon juice: Potential functional drink for sore muscle relief in athletes [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61: 7522-7528
- [4] 刘野,赵晓燕,邹磊.高压二氧化碳对鲜榨西瓜汁杀菌效果和风味的影响[J].食品科学,2012,33(3):82-88  
LIU Ye, ZHAO Xiao-yan, ZOU Lei. Influence of high pressure carbon dioxide on sterilizing affection and flavor compounds in fresh watermelon juice [J]. Food Science, 2012, 33(3): 82-88
- [5] M Igual, E García-Martínez, M M Camacho, et al. Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice [J]. Food Chemistry, 2010, 118: 291-299
- [6] Engel W, Bahr W, Schiberle P. Solvent assisted flavor evaporation-a new and versatile technique for the careful and direct isolation of aroma compound from complex food matrices [J]. European Food Research Technology, 1999, 209: 237-241
- [7] Havemose M S, Justesen P, Bredie W L P, et al. Measurement of volatile oxidation products from milk using

- solvent-assisted flavour evaporation and solid phase microextraction [J]. *International Dairy Journal*, 2007, 17(7): 746-752
- [8] 段艳,郑福平,王楠,等.MAE-SAFE/GC-MS 分析酱牛肉挥发性成分[J].*食品科学*,2013,34(18):250-254  
DUAN Yan, ZHENG Fu-ping, WANG Nan, et al. Analysis of volatiles in beef using MAE-SAFE/GC-MS [J]. *Food Science*, 2013, 34(18): 250-254
- [9] Rothe M, Thomas B. Aromastoffe des brotes. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 1963, 119: 302-310
- [10] Beaulieu J, Lea J M. Characterization and semiquantitative analysis of volatiles in seedless watermelon varieties using solid-phase microextraction [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54: 7789-7793
- [11] TANG Xiao-wei, HE Hong-ju, LIU Ye, et al. Identification of aroma compounds in watermelon juice by SPME-GC-MS [J]. *Acta Horticulturae*, 2012, 944: 183-191
- [12] Hatanaka A. The biogenesis of green odour by green leaves [J]. *Phytochemistry*, 1993, 34(5): 1201-1218
- [13] Olias J M, Perez A G, Rios J J, et al. Aroma of virgin olive oil: biogenesis of the "green" odor notes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1993, 41(12): 2368-2373
- [14] Forss D A, Dunstone E A, Ramshaw E H, et al. The flavor of cucumbers [J]. *Journal of Food Science*, 1962, 27: 90-93
- [15] Bauchot A D, Mottram D S, Dodson A T, et al. Effect of aminocyclopropane-1-carboxylic acid oxidase antisense gene on the formation of volatile esters in cantaloupe Charentais melon (cv. Vedrandais) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(11): 4787-4792
- [16] Kemp T R, Knavel D E, Stoltz L P. Cis-6-Nonenal-flavor component of muskmelon fruit [J]. *Phytochemistry*, 1972, 11, 3321-3322