

不同酿酒酵母对甜瓜酒香气品质的影响分析

杨 婷^{1,2}, 祝 霞^{1,2}, 赵宾宾^{1,2}, 马腾臻^{1,2}, 张建华^{1,2}, 杨学山^{2,3}, 韩舜愈^{1,2,*}

(1.甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2.甘肃省葡萄与葡萄酒工程学重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3.甘肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要:以酿酒酵母XR、D254、VR、VL1发酵的甜瓜酒为试材,采用顶空固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术分别对其进行香气成分分析。结果表明:4种不同酵母发酵酒样共鉴定出86种香气成分,包括酯类19种、醇类29种、酸类12种、醛酮类17种、烯炔类2种、萜烯类4种、酚类3种,其中相同成分有35种。根据定量结果和气味活度值判断出主要香气贡献物有12种。通过主成分分析和感官评价综合判断,酵母VL1酿造酒样香气浓郁、协调,品质最佳,是适合甜瓜酒酿造的优良菌株。

关键词:酿酒酵母;甜瓜酒;香气;主成分分析

Analysis of Aromatic Compositions of Sweet Melon Wines Fermented with Different Yeast Strains

YANG Ting^{1,2}, ZHU Xia^{1,2}, ZHAO Binbin^{1,2}, MA Tengzhen^{1,2}, ZHANG Jianhua^{1,2}, YANG Xueshan^{2,3}, HAN Shunyu^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Key Laboratory of Viticulture and Enology, Lanzhou 730070, China;

3. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The aromatic compositions of sweet melon wines fermented with four different wine yeast strains, i.e., XR, D254, VR and VL1, respectively, were analyzed by headspace solid-phase micro extraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that 86 flavor compounds were identified, including 19 esters, 29 alcohols, 12 acids, 17 aldehydes and ketones, 2 alkenes, 4 terpenes and 3 phenols. Besides, 35 components were common to the four wines. Quantitative analysis and evaluation of odor activity value (OAV) indicated that 12 components made great contribution to the aroma of sweet melon wines. Through principal component analysis and sensory evaluation, it is concluded that wine yeast strain VL1 is the most suitable strain for making sweet melon wine having the best quality with elegant aroma.

Key words: *Saccharomyces cerevisiae*; sweet melon wine; aroma; principal component analysis

中图分类号: TS262.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 14-0145-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201514028

甜瓜 (*Cucumis melon* L.) 是葫芦科黄瓜属植物,在中国栽培历史悠久,种植面积位居世界第一。甜瓜果实香甜、多汁爽口,富含大量的维生素、矿物质、有机酸、可溶性固形物等物质,除鲜食外,甜瓜还可以制成甜瓜干、甜瓜汁、甜瓜罐头、甜瓜酒等深加工产品,增加其产业附加值。其中以新鲜甜瓜为原料,人工添加优良酿酒酵母发酵而成的甜瓜酒,不仅可以保留甜瓜特有风味及原有的营养成分,而且在酿造过程中还可以促进挥发性风味物质的形成,改善产品品质,使其口味与风格独特^[1]。

香气是甜瓜酒食用品质最重要的评价指标之一^[2]。国内外关于甜瓜及其产品香气物质的研究大多集中在甜瓜

果实香气成分的分析方面,张娜等^[3]用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(headspace solid-phase micro extraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)联用技术,共检测出了‘玉金香’甜瓜常温贮藏过程中71种香气成分;马永昆等^[4]在成熟的‘金皇后’甜瓜中鉴定出45种挥发性香气化合物,并初步确定出9种主要特征香气物质;Verzera等^[5]分析出2个甜瓜品种共66种挥发性香气化合物,其中醇类是构成2个品种甜瓜香气的最主要化合物。目前酒类香气成分的研究主要集中在葡萄酒、蓝莓酒、树莓酒等方面^[6-9]。而关于甜瓜酒香气成分,尤其是不同酵母对甜瓜酒香气成分的影响研究鲜有报道。

收稿日期: 2014-12-09

作者简介: 杨婷 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为葡萄及葡萄酒。E-mail: lalating2009@163.com

*通信作者: 韩舜愈 (1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为果蔬加工及葡萄酒风味化学。E-mail: gsndhsy@163.com

本实验以甘肃省主栽甜瓜品种‘玛瑙’为原料酿造甜瓜酒,采用HS-SPME和GC-MS联用技术,结合主成分分析及感官评定,比较不同酵母发酵的甜瓜酒中香气化合物组成,从而筛选出适宜酿造的酵母菌株,为甜瓜酒生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

甜瓜(品种:‘玛瑙’),采收于甘肃省民勤县甜瓜栽培基地;酿酒酵母XR 法国Lamotte-Abiet公司;酿酒酵母Lavin ICV D254 法国Lallemand公司;酿酒酵母Fermicru VR5 荷兰DSM Food Specialties公司;酿酒酵母VL1 法国Laffort公司;2-辛醇(色谱纯) 美国Sigma公司;其余试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

FVC-01果蔬破碎机、SJE-01螺旋榨汁机 上海沃迪机械有限公司;NRY-200空气恒温摇床 上海南荣试验设备有限公司;265079 GC-MS联用仪、TG-WAX色谱柱 美国Thermo Scientific公司;SPME装置、50/30 μm 二乙基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS) 萃取头 美国Surpelco公司;FloMem-0015螺旋平板膜小试设备 厦门福美科技有限公司;5 L玻璃发酵罐 温州市宏兴生物工程设备有限公司。

1.3 方法

1.3.1 甜瓜酒的制备工艺及操作

甜瓜分选→去皮榨汁→过滤 $\xrightarrow{\text{SO}_2}$ 糖酸调配→果胶酶处理 $\xrightarrow{\text{酵母活化}}$ 发酵→陈酿→过滤→装瓶→成品

将充分成熟、无腐烂变质的甜瓜去瓤去皮,切块后榨汁。发酵前甜瓜汁中含糖量为10° Brix,按照17 g/L糖转化体积分数1%酒精加白砂糖调配,使含糖量为18° Brix。添加40 mg/L SO_2 抑菌,30 mg/L果胶酶澄清处理后,用柠檬酸调整果汁pH值至3.7。按推荐用量(200 mg/L)称取于4 °C保存的酿酒活性干酵母,接种至10 倍体积1:1比例的果汁与水的混合液中,在37 °C条件下活化30 min后加入5 L发酵罐。在恒温箱中保持发酵温度为(16±1) °C,每天测定含糖量,当残糖不大于4.0 g/L时,认为主发酵结束。后发酵结束后按40 mg/L添加 SO_2 进行陈酿6~12个月,得到原酒经过滤装瓶,密封贮存。

1.3.2 甜瓜酒香气成分分析

1.3.2.1 甜瓜酒香气成分提取

将5 mL发酵结束后的甜瓜酒放入20 mL萃取瓶,加入1.5 g NaCl和50 μL 质量浓度为8.3 mg/L的2-辛醇溶液作为内标,密封好后置于40 °C水浴,顶空萃取30 min后,GC-MS进样解吸10 min^[10]。

1.3.2.2 GC-MS条件

参照马腾臻等^[10]方法并略作修改。

色谱条件: TG-WAX色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.5 μm); 进样口温度250 °C; 升温程序: 初温50 °C保持5 min,以6 °C/min升至230 °C,保持10 min; 载气: 高纯He; 分流比30:1; 流速1.0 mL/min; 不分流进样。

质谱条件: 电子电离源; 电子能量70 eV; 传输线温度230 °C; 离子源温度250 °C; 质量扫描范围 m/z 50~450。

1.3.2.3 香气成分的定性与定量

由GC-MS分析所得的样品质谱图经计算机在NIST、Wiley数据库检索比对及资料参考,进行定性分析。各成分的含量采用内标法进行半定量分析。按公式(1)计算:

$$X_i = \frac{A_i}{A_s} \times C_s \quad (1)$$

式中: X_i 为待测成分的质量浓度/($\mu\text{g/L}$); C_s 为内标2-辛醇的质量浓度/($\mu\text{g/L}$); A_s 为内标物的峰面积; A_i 为待测物的峰面积。

得到的各香气物质采用SPSS 19.0软件进行主成分分析。

1.3.3 香气贡献评价

各香气物质对甜瓜酒整体香气的贡献采用气味活性值(odor activity value, OAV)进行评价。按公式(2)计算:

$$\text{OAV} = \frac{C}{T} \quad (2)$$

式中: C 为香气物质质量浓度/($\mu\text{g/L}$); T 为相应的感官阈值/($\mu\text{g/L}$)。

一般认为, OAV大于1的成分为样品的主体呈香化合物, OAV越大,对香气的贡献也就越大^[11]。

1.3.4 甜瓜酒香气成分的感官分析

参照GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》,由7位专家组成的评价小组分别从外观(20分)、香气(40分)、口感(30分)、典型性(10分)4个方面对不同酵母酿造的甜瓜酒进行感官分析^[12]。感官评价标准如表1所示。

表1 甜瓜酒感官评价表

Table 1 Criteria for sensory evaluation of melon wine

项目	满分	要求
外观	20	色泽鲜明光亮, 澄清透明, 无明显悬浮物, 悦目协调
香气	40	具有纯正、优雅、愉悦、浓郁的果香和酒香
口感	30	酒体丰满, 醇厚协调, 酸甜适中, 柔和爽口
典型性	10	风格独特, 典型完美

2 结果与分析

2.1 甜瓜酒香气构成

图1分别为4种酵母菌XR、D254、VR5、VL1酿造的甜瓜酒的GC-MS总离子图。经过谱库检索比对, 鉴定出的芳香化合物定性及半定量结果见表2。

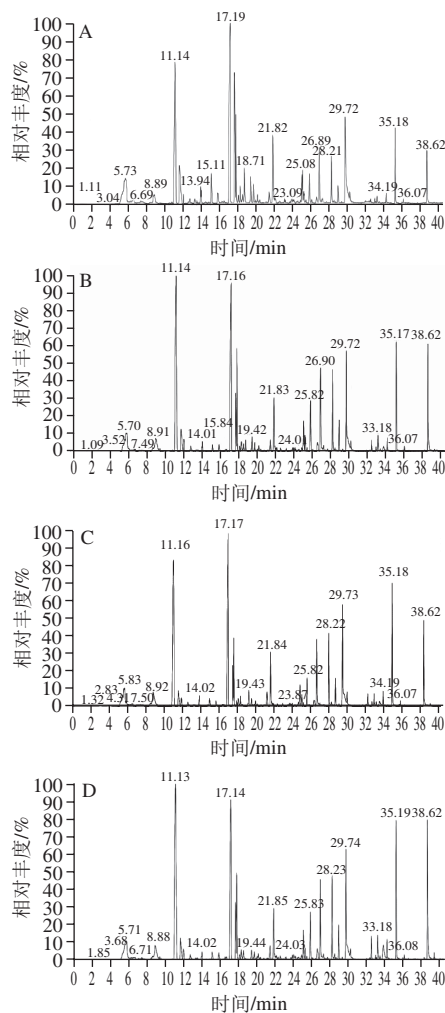


图1 XR酵母菌(A)、D254酵母菌(B)、VR5酵母菌(C)、VL1酵母菌(D)发酵的甜瓜酒香气成分GC-MS总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion current chromatograms of volatile compounds in melon wines fermented with yeast strains XR (A), D254 (B), VR5 (C), and VL1 (D), respectively

由表2可知, 在4种酵母菌酿造的甜瓜酒中, 共鉴定出86种香气成分, 包括酯类19种、醇类29种、酸类

12种、醛酮类17种、烯炔类2种、萜烯类4种、酚类3种。其中, XR、D254、VR5、VL1酵母菌酿造的甜瓜酒中各定性检测出54、61、65、56种成分, 四者共有香气成分为35种, 占总组分的40.70%。4种酵母菌发酵的甜瓜酒中主要香气成分相同, 但含量不同。由此可以看出, 4种酵母菌酿造的甜瓜酒在香气成分的种类上既有相似之处, 又具备各自特有的香气组分, 从而构成不同酵母菌品种甜瓜酒风味的相似性与典型性。

表2 不同酵母菌发酵的甜瓜酒香气成分及含量

Table 2 Aroma components in melon wines fermented with different yeasts

编号	化合物名称	分子式	含量/($\mu\text{g/L}$)				阈值/ ($\mu\text{g/L}$)	OAV ^[10-14]			
			XR	D254	VR5	VL1		XR	D254	VR5	VL1
酯类											
A1	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂		95.63	132.25		12 300	\	<1	<1	\
A2	乙酸异丁酯	C ₆ H ₁₂ O ₂		35.57	54.97		1 605	\	<1	<1	\
A3	丁酸乙酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	86.58	51.44	107.8	31.00	20	4.33	2.57	5.39	1.55
A4	2-乙氧基乙酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₃			19.24		\	\	\	\	\
A5	2-糠酸乙酯	C ₈ H ₁₀ O ₃	11.84	21.29	30.91	30.25	200	<1	<1	<1	<1
A6	乙酸异戊酯	C ₇ H ₁₄ O ₂		1 452.07	1 555.82	1 676.10	30	\	48.40	51.86	55.87
A7	正己酸乙酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	1 747.56	1 145.70	871.22	1 720.78	14	124.83	81.84	62.23	122.91
A8	苯甲酸乙酯	C ₉ H ₁₀ O ₂			111.96		1 000	\	\	<1	\
A9	庚酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	42.74				300	<1	\	\	\
A10	辛酸甲酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	48.47	13.37			\	\	\	\	\
A11	乙酸苯乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₂		43.08	44.68	59.94	\	\	\	\	\
A12	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	4 417.36	3 308.72	2 435.05	3 669.06	26	169.90	127.26	93.66	141.12
A13	壬酸乙酯	C ₁₁ H ₂₂ O ₂	66.81	27.75	5.43	31.57	1 300	<1	<1	<1	<1
A14	反-4-癸烯酸乙酯	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	170.06	170.17	94.09	143.82	500	<1	<1	<1	<1
A15	癸酸乙酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	576.26	720.24	571.03	823.33	575	1.00	1.25	<1	1.43
A16	2-甲基-2-丙烯酸癸酯	C ₁₄ H ₂₆ O ₂		41.60	31.48	54.71	\	\	\	\	\
A17	月桂酸乙酯	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	90.80	81.88	86.71	97.18	\	\	\	\	\
A18	癸酸酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂		49.89			\	\	\	\	\
A19	肉豆蔻脑酸甲酯	C ₁₃ H ₂₆ O ₂				32.17					\
醇类											
B1	异丁醇	C ₄ H ₁₀ O	7.31	236.01	142.37	307.68	82 000	<1	<1	<1	<1
B2	1-丁醇	C ₄ H ₁₀ O		25.17			150 000	\	<1	\	\
B3	3-甲氧基丙醇	C ₅ H ₁₂ OS	69.29	101.78	127.89		\	\	\	\	\
B4	1-戊醇	C ₅ H ₁₂ O	7 141.30	9 793.17	8 363.34	12 248.48	3 000	2.38	3.26	2.79	4.08
B5	3-甲基-1-戊醇	C ₆ H ₁₄ O		4.23	7.02	10.59	1 000	\	<1	<1	<1
B6	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	796.32	225.16	258.69	317.00	52	15.31	4.33	4.97	6.10
B7	顺-3-庚烯-1-醇	C ₇ H ₁₄ O	45.36	56.37	66.89	77.19	\	\	\	\	\
B8	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	182.75	267.97	312.8	499.78	41	4.46	6.54	7.63	12.19
B9	庚醇	C ₇ H ₁₆ O	412.51	297.95	258.19	422.18	200	2.06	1.49	1.29	2.11
B10	苯乙醇	C ₈ H ₁₀ O	1 273.22	2 159.26	2 714.73	3 420.98	82	15.53	26.33	33.11	41.72
B11	1-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	168.67	141.86	166.02	185.09	20	8.43	7.09	8.30	9.25
B12	1-辛醇	C ₈ H ₁₈ O	1 737.37	1 256.55	1 412.52	1 456.64	\	\	\	\	\
B13	3-苯丙醇	C ₉ H ₁₂ O	10.86	6.56	9.15	13.77	\	\	\	\	\
B14	3,6-壬二烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	3 661.76	3 230.29	3 452.75	4 077.05	\	\	\	\	\
B15	反-2-壬烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O		64.19			\	\	\	\	\
B16	顺-3-壬烯-1-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	1 320.96	2 123.16	1 888.73	2 310.25	\	\	\	\	\
B17	顺-6-壬烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	1 047.58	1 942.11	1 903.11	2 334.33	\	\	\	\	\
B18	1-壬醇	C ₉ H ₂₀ O	105.10	119.23	151.75	162.81	\	\	\	\	\
B19	2,6-二甲基-4-庚醇	C ₉ H ₂₀ O		34.99	30.12	44.61	\	\	\	\	\
B20	(S)·(+)-6-甲基-1-辛醇	C ₉ H ₂₀ O	89.22	49.73	35.60	142.13	\	\	\	\	\
B21	1,9-壬二醇	C ₉ H ₁₈ O ₂	71.39				\	\	\	\	\

续表2

编号	化合物名称	分子式	含量/(μg/L)				阈值/ (μg/L)	OAV ^[15-16]			
			XR	D254	VR5	VL1		XR	D254	VR5	VL1
B22	异胡薄荷醇	C ₁₀ H ₁₈ O	14.39		22.44						
B23	(+)-薄荷-1-烯-9-醇	C ₁₀ H ₁₈ O		21.97	26.52						
B24	1-十一醇	C ₁₁ H ₂₄ O	732.36	1 291.34		1 471.82					
B25	5-辛氧-1-戊醇	C ₁₂ H ₂₄ O ₂		24.90	55.92						
B26	月桂醇	C ₁₂ H ₂₄ O	24.55	13.44							
B27	2-十六烷醇	C ₁₆ H ₃₄ O	4.50								
B28	叔十六硫醇	C ₁₆ H ₃₂ S	15.32	5.76		32.52					
B29	紫罗兰醇	C ₁₅ H ₂₆ O				17.82					
酸类											
C1	乙酸	C ₂ H ₄ O ₂	256.89	270.20	343.97	391.81	300 000	<1	<1	<1	<1
C2	丙酸	C ₃ H ₆ O ₂		52.74		81 001			<1	<1	<1
C3	异丁酸	C ₄ H ₈ O ₂	71.37			230		<1			
C4	2-甲基丙酸	C ₄ H ₈ O ₂		95.02	76.05	125.20	2 300		<1	<1	<1
C5	2-甲基丁酸	C ₅ H ₁₀ O ₂	223.96	402.49	166.67		30	7.47	13.42	5.56	
C6	己酸	C ₆ H ₁₂ O ₂	160.51	407.91	352.68	738.13	580	<1	<1	<1	1.27
C7	辛酸	C ₈ H ₁₆ O ₂	1 052.24	2 523.11	2 165.38	4 000.53	1 354 500	<1	<1	<1	<1
C8	癸酸	C ₁₀ H ₂₀ O ₂		281.01	317.81	1 140.15					
C9	(E)-11-二十烯酸	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	19.12			8.44					
C10	顺-8,11,14-二十碳三烯酸	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	13.42		9.88		1 036 420	<1		<1	
C11	2-甲基己酸	C ₇ H ₁₄ O ₂		573.27							
C12	9-癸烯酸	C ₁₀ H ₁₈ O ₂		27.69							
醛酮类											
D1	2-甲基-4-羟基-3-酮	C ₈ H ₁₄ O ₂	369.26	392.57	523.25	584.50					
D2	6-甲基-5-庚烯-2-酮	C ₈ H ₁₄ O		10.20	38.20	36.30					
D3	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O	43.27								
D4	2-辛酮	C ₈ H ₁₆ O	224.66	162.76	193.45	154.97					
D5	2,2,6-三甲基环己酮	C ₉ H ₁₈ O	24.05		19.42						
D6	2-壬酮	C ₉ H ₁₈ O	36.50		19.43	41		<1			<1
D7	β-大马烯酮	C ₉ H ₁₆ O	72.25	212.11	250.16	6	12.04	35.35	41.69		
D8	α-大马酮	C ₉ H ₁₆ O	160.27	93.77		528.46					
D9	α-紫罗酮	C ₉ H ₁₆ O		338.76	470.79	11			30.80	42.80	
D10	β-紫罗兰酮	C ₉ H ₁₆ O	28.46	29.43	92.66	104.80	5	5.69	5.89	18.53	20.96
D11	香叶基丙酮	C ₁₀ H ₁₈ O	40.58	68.92	115.92	126.57					
D12	甲基十七烷基甲酮	C ₁₈ H ₃₆ O		17.63							
D13	正辛醛	C ₈ H ₁₆ O		14.17		50				<1	
D14	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	82.15	74.23	135.27	219.79	15	5.48	4.95	9.02	14.65
D15	β-环柠檬醛	C ₁₀ H ₁₈ O	91.61	126.91	147.96	184.06					
D16	(Z)-4-癸烯醛	C ₁₀ H ₁₈ O		52.92							
D17	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	28.17	87.50	109.37	1 000		<1	<1	<1	<1
其他类											
E1	苯乙稀	C ₈ H ₈	59.67	45.72	34.95	50.12					
E2	环辛四烯	C ₈ H ₈	33.11	36.99							
E3	香茅烯	C ₈ H ₁₆	111.30	69.33							
E4	橙花醇	C ₁₀ H ₁₈ O		16.50		500				<1	
E5	香叶醇	C ₁₀ H ₁₈ O	27.99	30.34	22.08	39.94	1	27.99	30.34	22.08	39.94
E6	香茅醇	C ₁₀ H ₂₀ O	419.15	386.59	477.62	47.03	100	4.19	3.87	4.78	<1
E7	苯酚	C ₆ H ₆ O	9.30			140 000		<1			
E8	2-甲氧基-4-甲基苯酚	C ₉ H ₁₀ O ₂	9.46	13.98							
E9	2,4-二叔丁基苯酚	C ₁₆ H ₂₂ O	23.83		36.79	200			<1		<1

注：\ 未查到相关资料。

2.2 不同酵母菌发酵的甜瓜酒主要香气成分比较

挥发性香气成分对甜瓜酒的感官特征有重要影响，是酒体质量的重要组成部分，主要由酯类、醛类、醇

类、酮类等化合物组成^[15]。各香气物质对甜瓜酒整体香气的贡献取决于OAV。从表2可以看出，甜瓜酒香气成分中OAV大于1的化合物共有12种，D254酵母菌发酵的甜瓜酒中OAV最高的为辛酸乙酯、己酸乙酯、香叶醇，VR5和XR酵母菌发酵的甜瓜酒样中为辛酸乙酯、己酸乙酯、乙酸异戊酯、β-大马烯酮，VL1酵母菌发酵的甜瓜酒样中为辛酸乙酯、己酸乙酯、α-紫罗酮。说明这些化合物在甜瓜酒典型性香气形成中起着非常重要的作用。

2.2.1 醇类化合物

醇类物质是酒中主要香气物质，主要由糖代谢、氨基酸脱羧和脱氢产生^[16]。在4种甜瓜酒中共检测出醇类物质29种，其中四者共有14种，但含量差距较大，4种酒中含量最高的都是1-戊醇、3,6-壬二烯-1-醇和苯乙醇，它们都是果酒发酵中酵母的代谢产物^[11]，含量之和均占总醇含量的60%以上，其中1-戊醇、3,6-壬二烯-1-醇都具有浓郁的花香果香，而苯乙醇是由苯丙氨酸代谢产生，具有独特的紫罗兰香、丁香、茴香和玫瑰香味，是赋予甜瓜酒浓郁优雅风味特征的主要化合物之一^[17-18]。4种甜瓜酒中，VL1酵母菌所发酵的酒样中醇类物质含量（29 657.62 μg/L）最高，XR酵母菌发酵酒样中醇类含量（18 917.70 μg/L）最低。

2.2.2 酯类化合物

4种甜瓜酒中共检测出酯类物质19种，共有成分8种。大多数酯类具有花、果的芳香气味，可增加酒体香气的复杂性和典型性。XR、D254酵母菌发酵的甜瓜酒酯类含量差别不大，分别为7 258.48、7 258.40 μg/L，而VR5酵母菌酿造的酒样中酯类含量最低，为6 152.64 μg/L，VL1酵母菌酿造的酒样中酯类含量最高，为8 369.90 μg/L。不同酵母菌酿造的甜瓜酒酯类化合物含量大多不同，D254、VL1酵母菌酿造的甜瓜酒中主要酯类成分为辛酸乙酯和正己酸乙酯，二者都具有令人愉悦的花香、果香、酒香，给甜瓜酒增添雅致的香气^[19]。而XR、VR5酵母菌酿酒的酒样中主要酯类成分为辛酸乙酯和乙酸异戊酯，后者呈香蕉味^[20]。

2.2.3 酸类化合物

酸类物质大部分来源于酵母菌和乳酸菌代谢的副产物。在4种酒中检测到12种酸，其中3种酸类物质是4种酒共有的。XR、D254、VR5、VL1 4种酵母菌发酵的甜瓜酒中酸含量分别达到1 797.51、3 979.74、4 086.14、6 404.26 μg/L。酸类物质中含量最高的成分为辛酸，质量浓度范围为1 052.24~4 000.53 μg/L，占总酸相对含量的57.96%~62.47%，远高于其他脂肪酸类香气化合物。据报道，当酸类物质的含量低于阈值时，对酒的感官质量有积极贡献，可以使酒中的各种香气趋于协调、平衡，但如果高于阈值则会对香气带来负面影响^[21]。此外酸类物质还可以与醇类化合物发生作用，生成相应的酯类，

从而赋予酒体愉快的香味。在本实验中,所测出的酸类物质与阈值相比,基本上均处于低浓度水平。

2.2.4 其他类化合物

在4种甜瓜酒中还检测到12种酮类、5种醛类,相对含量为3.29%~5.92%;2种烃类,相对含量为0.11%~0.20%;4种萜烯类,相对含量为1.33%~1.87%;3种挥发性酚类物质,相对含量为0.03%~0.09%。尽管这些物质的含量较低,但对酒体香气依然具有一定的贡献。如在4种酒样中都检测到 β -紫罗酮、壬醛、香茅醇和香叶醇,都具有玫瑰样的花香;VR5酵母菌发酵的酒样中检测出的橙花醇具有清甜柔美的橙花气息;D254、XR酵母菌发酵的酒样中检测出的香茅烯带有像玫瑰、铃兰和苹果花的气息。由于这些萜烯类组分感官阈值一般都非常低,所以其OAV很高,对总体香气的形成有不可忽视的作用^[22-23]。

2.3 主成分分析

为进一步判断不同酵母菌发酵的甜瓜酒中挥发性香气化合物的差异,对86种香气化合物的含量进行主成分分析,相关矩阵的特征值和贡献率见表3。主成分1的方差贡献率为48.67%,主成分2的贡献率为33.50%,二者累计贡献率已经达到82.17%,基本上能反映样品的风味品质信息,因此选取前2个主成分进行分析。

由图2a可知,XR、D254、VR5、VL1酵母菌分别酿造的甜瓜酒根据各香气成分的得分明显分为4个区域,并且4个酒样相距都比较远。图2b为鉴定出的86种香气化合物载荷图,因子的载荷系数反映了甜瓜酒中各挥发性香气化合物对各主成分的影响,相关系数越大,说明主成分对该变量的代表性就越强。从图2b可以看出,3-甲基-1-戊醇(B5)、 β -环柠檬醛(D15)、乙酸苯乙酯(A11)、苯乙醇(B10)、顺-6-壬烯醇(B17)、2,6-二甲基-4-庚醇(B19)、2-糠酸乙酯(A5)、乙酸异戊酯(A6)、顺-3-庚烯-1-醇(B7)与主成分1高度正相关,而月桂醇(B26)、辛酸甲酯(A10)、1,9-壬二醇(B21)、庚酸乙酯(A9)、异丁酸(C3)、2-辛酮(D4)与主成分1呈高度负相关;正己酸乙酯(A7)、庚醇(B9)、叔十六硫醇(B28)、(S)-(+) -6-甲基-1-辛醇(B20)、 α -大马酮(D8)、辛酸乙酯(A12)、2-壬酮(D6)与主成分2呈高度正相关, β -大马烯酮(D7)、乙酸乙酯(A1)、乙酸异丁酯(A2)、3-甲硫基丙醇(B3)、苯甲酸乙酯(A8)与主成分2呈高度负相关。

结合图2可知,VL1酵母菌酿造的甜瓜酒样品位于主成分1的右上侧,苯甲醇、3-甲基-1-戊醇对其有显著影响,香气品质最佳,其次是D254酵母菌酿造的酒样,VR5和XR酵母菌酿造的甜瓜酒的香气品质最差。

表3 主成分的特征值及贡献率

Table 3 Eigen values, contribution and cumulative contribution of principal components

主成分	特征值/%	贡献率/%	累积贡献率/%
1	41.859	48.673	48.673
2	28.808	33.498	82.171
3	15.333	17.829	100.000

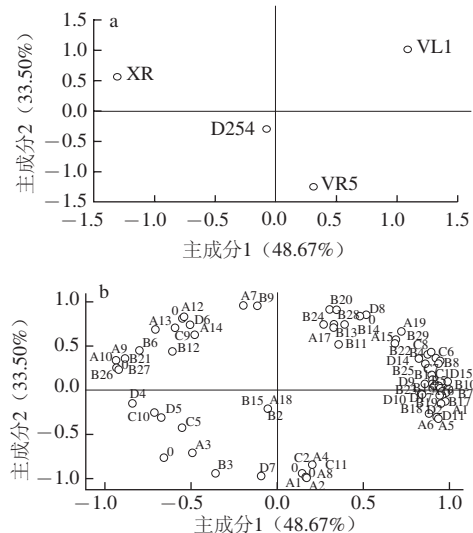


图2 挥发性化合物主成分分析的得分散点图(a)和因子载荷图(b)

Fig.2 Score (a) and corresponding loadings plots (b) from PCA of volatile aroma compounds

2.4 不同酵母菌发酵的甜瓜酒感官评价

表4 不同酵母发酵的甜瓜感官评价表

Table 4 Sensory evaluation of melon wines fermented with different yeasts

酒样	项目得分				总分
	外观	香气	口感	典型性	
XR1	16.57±0.79 ^a	33.15±0.69 ^a	26.37±1.07 ^a	6.00±0.82 ^a	82.57
D254	17.00±0.82 ^a	35.24±1.13 ^b	27.00±0.82 ^a	6.86±0.69 ^b	86.29
VR5	16.57±0.98 ^a	34.67±1.15 ^b	26.57±1.62 ^a	5.00±0.58 ^c	83.00
VL1	16.86±0.90 ^a	36.00±0.82 ^b	28.72±0.76 ^b	7.43±0.79 ^b	89.57

注:同列肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表4可知,在4种酒样中,VL1酵母菌酿造的甜瓜酒感官得分最高,为89.57。其中,4种酒样外观上差异不显著,在香气的感官评分中,XR酵母菌酿造的甜瓜酒与D254、VL1、VR5酵母菌酿造的甜瓜酒差异显著;在口感风味上,VL1酵母菌酿造的甜瓜酒与XR、D254、VR5酿造的差异显著;在典型性评分上,VL1酵母菌酿造的甜瓜酒与D254酵母菌酿造的甜瓜酒差异不显著,但与XR、VR5酵母菌酿造的甜瓜酒差异显著。

3 结论

采用HS-SPME和GC-MS联用技术,通过定性和定量相结合的方法分析不同酵母菌发酵的甜瓜酒的香气成

分,在4种酒样中共检测出香气成分86种,其中在XR、D254、VR5、VL1酵母菌酿造的甜瓜酒中各定性检测出香气成分分别为54、61、65、56种,四者共有的香气成分为35种。不同酵母发酵的甜瓜酒中,醇类、酯类和酸类均为影响香气的三大类主要化合物,但在4种酒中含量差别很大。

计算各香气物质的OAV判断可知,4种酒样中主要的香气贡献物有12种。其中D254酵母菌发酵的甜瓜酒最为关键的活性香气物质为辛酸乙酯、己酸乙酯、香叶醇,VR5、XR酵母菌发酵的甜瓜酒中为辛酸乙酯、己酸乙酯、乙酸异戊酯、 β -大马烯酮,VL1酵母菌发酵的甜瓜酒为辛酸乙酯、己酸乙酯、乙酸异戊酯、 α -紫罗酮。由此可以看出,4种酵母菌酿造的甜瓜酒在香气种类上具有相似性,同时各香气含量及特征香气成分上又具有差异性,从而说明不同的酵母在酿造过程中可形成不同的香气特性。

除酒体中各香气成分的含量、感官阈值外,甜瓜酒最终的香气特征以及口感需求还取决于人体嗅觉感官分析的参与^[24]。因此,通过主成分分析和感官评价综合判断,最终得出VL1酵母菌酿造的甜瓜酒酒体醇香、品质最佳,感官得分在4种酒样中最高,评价最好。

参考文献:

- [1] REDDY L V A, REDDY O V S. Effect of fermentation conditions on yeast growth and volatile composition of wine produced from mango (*Mangifera indica* L.) fruit juice[J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 89(4): 487-491.
- [2] 陈娟, 阚建全, 杜木英, 等. 不同品种桑葚的蜂蜜发酵酒香气成分的GC-MS分析[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 169-173.
- [3] 张娜, 蒋玉梅, 李霁昕, 等. “玉金香”甜瓜常温贮藏期间香气构成变化分析[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 96-100. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201416018.
- [4] 马永昆, 周珊, 陈计峦, 等. 用SPME方法分析不同成熟度哈密瓜香气的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(7): 136-139.
- [5] VERZERA A, DIMA G, TRIPODI G, et al. Fast quantitative determination of aroma volatile constituents in melon fruits by headspace-solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Analytical Methods, 2011, 4(2): 141-149.
- [6] TUFARIELLO M, CAPONE S, SICILIANO P. Volatile components of *Negroamaro* red wines produced in Apulian Salento area[J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 2155-2164.
- [7] 严红光, 张文华, 丁之恩. 不同酵母菌发酵对蓝莓果酒香气物质影响研究[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 94-97.
- [8] 宋建强, 王华, 胡劲光, 等. 黑莓起泡酒香气成分的GC/MS分析研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(8): 145-149.
- [9] 王家利, 辛秀兰, 陈亮, 等. 气相色谱-质谱法分析比较不同酵母发酵红树莓果酒的香气成分[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 107-112. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201406022.
- [10] 马腾臻, 李颖, 张莉, 等. 油橄榄酒的酿造及香气成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 161-166. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201418032.
- [11] CAPONE S, TUFARIELLO M, SICILIANO P. Analytical characterisation of *Negroamaro* red wines by “Aroma Wheels”[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2906-2915.
- [12] 王励治, 蒋和体. 野生猕猴桃干酒酿造工艺[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 484-487.
- [13] ESCUDERO A, GOGORZA B, MELUS M A, et al. Characterization of the aroma of a wine from Maccabeo. Key role played by compounds with low odor activity values[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(11): 3516-3524.
- [14] ZEA L, MOYANO L, MORENO J, et al. Discrimination of the aroma fraction of Sherry wines obtained by oxidative and biological ageing[J]. Food Chemistry, 2001, 75(1): 79-84.
- [15] PANG X, GUO X, QIN Z, et al. Identification of aroma-active compounds in Jiashi muskmelon juice by GC-O-MS and OAV calculation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(17): 4179-4185.
- [16] 何兰兰, 张妮, 于海燕. 基于气相色谱-质谱联用对樱桃酒香气分析[J]. 食品工业科技, 2013, 34(21): 141-148.
- [17] 李艳, 康俊杰, 成晓玲, 等. 3种酿酒酵母酿造赤霞珠干葡萄酒的香气成分分析[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 378-382.
- [18] 郭惜雅, 张丽玲, 黄鹭强. 固相微萃取-气质联用分析杨桃酒的主要香气成分[J]. 农产品加工, 2011(5): 92-94.
- [19] 宋东, 李德美, 邓小明, 等. 京白梨酒发酵与香气分析[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 133-138.
- [20] 盖禹含, 辛秀兰, 杨国伟, 等. 不同酵母发酵的蓝莓酒香气成分GC-MS分析[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 171-174.
- [21] MOLINA A M, GUADALUPE V, VARELA C, et al. Differential synthesis of fermentative aroma compounds of two related commercial wine yeast strains[J]. Food Chemistry, 2009, 117(2): 189-195.
- [22] STYGER G, PRIOR B, BAUER F F. Wine flavor and aroma[J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2011, 38(9): 1145-1159.
- [23] 李纪涛, 蒋一鸣, 束俊霞, 等. 不同酿酒酵母发酵的紫薯糯米酒香气成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 202-207. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201416039.
- [24] 李华, 涂正顺, 王华, 等. 猕猴桃果酒香气成分的气相色谱/质谱分析[J]. 分析化学, 2002, 30(6): 695-698.