

## 本土酿酒酵母对刺葡萄酒香气的影响

陈文婷<sup>1,2</sup>, 白描<sup>1,2</sup>, 谭君<sup>1</sup>, 唐婉莹<sup>1,2</sup>, 杨国顺<sup>1,2\*</sup>

(1.湖南农业大学园艺园林学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省葡萄工程技术研究中心, 湖南 长沙 410128)

**摘 要:** 为探索本土野生酵母在刺葡萄酒酿造生产中的应用价值, 改良刺葡萄酒品质, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME) 和气相色谱-质谱联用(GC-MS) 技术对1株商业酿酒酵母和6株野生酿酒酵母所酿刺葡萄酒的挥发性物质进行分析, 并用统计建模软件 RGui 构建热图, 分析各菌株对刺葡萄酒香气的影响。结果表明: 刺葡萄酒中的挥发性物质主要为酯类物质, 其次是醇类物质; LE28、LD22 与商业酵母 RC212 处于同一分支, 其刺葡萄酒呈香物质含量趋势一致; LD1015 独成一支, 其香气物质总含量显著高于其他菌株的, 但含有闻起来令人不愉快的气味; HME11、HXD21 及 XHB48 与商业酵母 RC212 间的差异较大, HME11 和 HXD21 与其他供试菌株相比, 其所酿刺葡萄酒具有更浓郁的果香和花香。

**关 键 词:** 刺葡萄酒; 本土酵母; 香气; 挥发性物质

中图分类号: TS261.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2018)01-0111-06

## Effects of indigenous *Saccharomyces cerevisiae* on the wine aroma of *Vitis davidii* Foëx

CHEN Wenting<sup>1,2</sup>, BAI Miao<sup>1,2</sup>, TAN Jun<sup>1</sup>, Tang Wanying<sup>1,2</sup>, YANG Guoshun<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Horticulture and Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.Hunan Engineering and Technology Research Center for Grapes, Changsha, Hunan 410128, China)

**Abstract:** The volatile components in wine *Vitis davidii* respectively fermented with a commercial strain *Saccharomyces cerevisiae* and 6 indigenous *Saccharomyces cerevisiae* strains were determined to explore aroma effects of indigenous yeast on *V. davidii*, as well as its improvement on wine quality by using head space solid phase micro extraction (HS-SPME) and the gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) in the study. RGui, a statistical modeling software, was employed to create heat map for analyzing the effects of various strains on wine aroma. The results demonstrated that the ester substance were the principal aroma components in these wine samples, the next were alcohols. The heat map showed that LE28 and LD22 were the closest branches to the commercial *S. cerevisiae* RC212, and they tended to present the same content on aroma substance in these three wine samples. The total aroma substance content fermented from LD1015, the inimitable strain, was the highest, but released unpleasant smelling. There was great different aroma among strains HME11, HXD21 and HXB48 from commercial strain RC212. However, there were more outstanding and stronger fruity and floral aroma fermented from HME11 and HXD21 than that of fermented with other strains.

**Keywords:** *Vitis davidii* wine; indigenous yeast; aroma; volatile components

刺葡萄(*Vitis davidii* Foëx)是中国重要的野生葡萄资源, 属于东亚种群<sup>[1]</sup>, 在湖南、江西、贵州等省的山地被广泛栽培, 获得其鲜果销售收入已成为

这些地区农民脱贫致富的重要途径<sup>[2]</sup>。刺葡萄果实具有轻微的野蔷薇、紫罗兰及树莓香气。刺葡萄酒作为中国南方的特色葡萄酒具有独特的香气和口

收稿日期: 2017-10-10

修回日期: 2017-11-30

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-29-ZP-9); 湖南省科技计划项目(2013FJ6102); 湖南省研究生科研创新项目(CX2015B246)

作者简介: 陈文婷(1989—), 女, 湖南常德人, 博士, 主要从事刺葡萄及刺葡萄酒研究, 477813135@qq.com; \*通信作者, 杨国顺, 博士, 教授, 主要从事葡萄栽培生理研究, guoshunyang@aliyun.com

感<sup>[3]</sup>。以刺葡萄为原料酿制葡萄酒,可以丰富中国酒类的品种,提高刺葡萄果品的附加值。刺葡萄酒具有清新独特的果香,但整体浓郁度较低,缺乏层次感<sup>[4]</sup>。不同酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)在发酵过程中所产生的醇类和酯类等挥发性物质的差异,是导致葡萄酒香气存在差异的重要原因。这些醇类和酯类影响葡萄酒香气的浓郁度和复杂度<sup>[5-10]</sup>。目前,国内外关于酵母对葡萄酒香气影响的研究主要集中于传统欧亚种(*Vitis vinifera*)酿酒葡萄品种<sup>[5-12]</sup>,仅有少量关于长孢洛德酵母(*Lodderomyces elongisporus*)与酿酒酵母混合发酵对刺葡萄酒增香效果影响的研究<sup>[13]</sup>,而关于野生酿酒酵母对刺葡萄酒香气直接影响的研究鲜有报道。笔者以本课题组分离的6株野生酿酒酵母启动发酵刺葡萄酒,通过对所酿刺葡萄酒挥发性物质的分析,研究不同酿酒酵母对刺葡萄酒香气的影响,探索本土酿酒酵母的应用潜力。现将研究结果报道如下。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验菌株为本课题组2012—2013年于湖南省怀化和常德等地分离的6株野生酿酒酵母菌,其编号分别为HME11、HXD21、LE28、LD1015、HXB48、LD22;对照为商业酵母菌株RC212(由法国Lalemand生产)。酿酒原料为2014年9月于怀化市中方县采收的刺葡萄‘湘珍珠’(10年生平棚露地栽培,年产22.500 t/hm<sup>2</sup>)。葡萄果实的总糖、总酸含量分别为(160.22±4.56)、(3.52±0.03)g/L, pH为3.60±0.01。将YPD培养基121℃高压灭菌20 min,备用。YPD培养基的葡萄糖含量为2%,蛋白胨含量为2%,酵母浸粉含量为1%(固体YPD加入2%琼脂)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 刺葡萄酒的发酵

将供试菌株用YPD培养基活化,划线,并挑取单菌落28℃培养至 $OD_{600\text{nm}}=2$ ,备用。刺葡萄采收后立即除梗,破碎(破碎程度为70%),并分成多份置于发酵罐中。所有发酵罐(共21个)的体积均为10 L。将7 L葡萄汁加入罐中,然后分别添加偏重亚硫酸钾625 mg(折合SO<sub>2</sub>的质量浓度为50 mg/L),

添加果胶酶140 mg至其质量浓度为20 mg/L,添加蔗糖至总糖质量浓度为220 g/L。将培养好的菌液按3%质量比接种量接种于刺葡萄汁,控制发酵温度为25~28℃。7个酿酒酵母试验均进行3次发酵重复。各样本发酵结束后,待发酵汁的密度为0.993时进行澄清过滤,添加偏重亚硫酸钾625 mg,装瓶打塞,于12℃冷库贮藏。

#### 1.2.2 挥发性物质的检测

检测样品的制备:采用顶空固相微萃取方法(HS-SPME)和PDMS/CAR/DVB固相微萃取头(Supelco,美国),参考文献[14]中方法略作调整:于15 mL样品瓶中加入8 mL酒样和2.4 g NaCl,置于40℃加热台,磁力搅拌平衡30 min,将已活化的萃取头插入样品瓶中(距离液面1 cm的顶空部分)吸附45 min,然后将萃取头插入气相色谱进样口,250℃解吸附10 min后进入GC采集数据。

GC-MS检测:仪器为Agilent7890A-7000C(GC-MS),毛细管柱为DB-WAX IU30 m×0.25 mm,0.25 μm(Agilent,美国)。载气为高纯氦气,流速为1 mL/min。采取手动进样不分流模式,进样口温度为250℃,热解析10 min。柱温箱升温程序为30℃保持10 min,2℃/min升温至70℃,保持1 min,然后以5℃/min升温至150℃,保留1 min。以20℃/min升温至230℃,保持1 min。质谱接口温度为280℃,离子源温度为230℃。电离方式为EI,离子能量为70 eV,质量扫描范围为30~500 u。7个样品均至少重复检测3次。

挥发性物质的定性与定量分析:将标准物质和4-甲基-2-戊醇(用于无标准品物质的定量)混合,溶于葡萄酒模拟液中制作成混标(葡萄酒模拟液的乙醇体积分数为12.5%,总酸含量为6 g/L,用1 mol/L NaOH调节pH值为3.3~3.5),各物质终浓度分别为50.000、5.000、0.500、0.050、0.005 mg/L,采用同一GC-MS条件制作混标标准曲线。标准溶液现配现用。用质谱全离子扫描图谱,通过与标准品的色谱保留时间比较,同时将质谱峰与NIST11标准谱库进行比对和定性分析,另外根据葡萄酒香气相关文献核对香气物质。对于能购买到标准品的物质,利用混标的标准曲线对样品酒中的这些物质进行定量分析;没有标样的物质根据其化学结构相似、碳原子数相近的标样进行定量分析,其余的用

4-甲基-2-戊醇的标准曲线进行定量分析。

香气物质活度值(odor activity value, *OAV*)的测定：*OAV* 是物质的浓度与其相应嗅觉阈值(odor threshold, *OTH*)的比值(*OTH* 数据来自 <http://www.thresholdcompilation.com>)。通常认定香气活度值大于 1 的香气物质为活性香气物质<sup>[15]</sup>。

### 1.3 数据分析

挥发性物质定性分析采用软件 MassHunter Qualitative B.07.00；定量分析采用软件 MassHunter Quantitative B.07.01。用 Excel 进行数据整理；用

SPSS 19.0 进行显著差异性分析；采用 Biobase、Limma 和 Gplots 程序包进行聚类分析，绘制热图(heatmap)。

## 2 结果与分析

在包括商业酵母 RC212 在内的 7 株酵母菌发酵的刺葡萄酒中，共鉴定出 73 种挥发性物质，不同菌株刺葡萄酒样中的挥发性物质总量为 242.63~366.98 mg/L，所有样本中醇类和酯类物质的含量较多，其他类型挥发性物质含量较少(表 1)。

表 1 酿酒酵母发酵刺葡萄酒挥发性物质的含量

供试菌株	含量/(mg·L <sup>-1</sup> )					
	醇类	酯类	酸类	醛酮类	其他物质	总计
RC212	(76.04±4.41)d	(112.95±3.91)d	(7.01±0.34)c	(24.06±1.62)d	(22.56±1.61)bc	(242.63±11.89)e
HME11	(91.13±0.34)b	(163.16±2.03)b	(9.77±0.17)b	(33.01±0.14)b	(23.99±0.56)b	(321.07±3.25)b
HXD21	(97.97±0.75)a	(157.81±0.77)b	(6.61±0.04)c	(32.26±0.20)b	(24.10±0.25)b	(314.74±2.01)b
LE28	(82.92±0.64)c	(135.79±2.41)c	(6.67±0.14)c	(28.07±0.44)c	(16.05±0.69)d	(265.50±4.32)d
LD1015	(101.61±6.61)a	(171.05±8.07)a	(12.0±0.75)a	(35.81±0.23)a	(46.48±2.79)a	(366.98±20.53)a
HXB48	(95.51±0.32)ab	(126.05±1.75)d	(5.43±0.01)d	(20.84±0.09)e	(12.29±0.19)e	(257.13±2.36)de
LD22	(96.53±3.99)ab	(136.16±3.03)c	(11.18±0.27)b	(21.45±0.85)e	(21.45±0.85)c	(284.58±9.50)c

数据后英文字母不同示数据间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.1 不同酵母刺葡萄酒含醇类物质的差异分析

葡萄酒中的醇类物质主要为乙醇。本研究中将甲醇和乙醇外的醇类物质归为高级醇。根据其化学结构，又将高级醇分为杂醇、C6 醇和芳香醇 3 类。所有样本中共检测到 17 种高级醇。样本间高级醇含量的差异较大。RC212 酒样中醇类的总含量最低，LD1015 酒样中醇类的总含量最高。LD1015、HXD21、HXB48 和 LD22 酒样中醇类的含量显著高于其他酒样的(表 1)。

不同酒样中杂醇的含量有差异，其中 RC212 酒样中的含量最低。所有样本中，2-甲基-1-丁醇是含量相对较高的杂醇，其 *OTH* 较高，为 329 mg/L，其 *OAV* 低于 1，所以，其对刺葡萄酒特征香气的贡献不明显。于各酒样中均检测到了呈蘑菇香味的蘑菇醇(1-辛烯-3-醇)，虽然其含量不高，但其 *OTH* 非常低，为 1 μg/L。各类醇的 *OAV* 最大，达 206.31~1 822.01，对刺葡萄酒特征香气的贡献明显；呈青草植物味的庚醇在各酒样中的含量为 0.22~3.24 mg/L，其 *OTH* 为 0.25 mg/L，LD1015 酒样中的 *OAV* 显著高于其他酒样的，为 12.96。

7 个酒样中所含的 C6 醇主要有 4 种，样本间含量差异较大(LE28 中的含量为 0.11 mg/L，而 LD1015 中的含量高达 12.79 mg/L)。各样本中 C6 醇 *OAV* 大于 1 的仅有己二醇。己二醇具有温和的甜香味，它在不同的酒样中的 *OAV* 为 49.93~416.95，其中，LD1015 中的 *OAV* 最高，而 HME11 和 LE28 发酵酒样中不含己二醇。

芳香醇是一类具有苯环结构的醇类，常具有与花卉气味类似的芳香气息。本研究不同酒样中所含的芳香醇主要是苯甲醇和苯乙醇。所有本土野生酵母发酵酒样中的苯乙醇含量(14.04 mg/L)均显著高于 RC212 的，其中，HME11 的含量最高，为 25.04 mg/L。苯甲醇具有玫瑰等特征香味，但 7 个酒样中的苯甲醇含量均低于其嗅觉阈值。

### 2.2 不同酵母刺葡萄酒含酯类物质的差异分析

7 个刺葡萄酒样中含酯类物质共 32 种，总含量为 112.95~171.05 mg/L。本研究中按化学结构将酯类分为乙醇酯、乙酸酯和其他酯类，其中，乙酸乙酯既是乙醇酯，也是乙酸酯，所以将其归为其他酯类。GC-MS 结果表明，所有刺葡萄酒样中含量最

高的酯类物质为乙酸乙酯，其含量为 19.32~55.18 mg/L，具有与菠萝气味类似的香气，其 OAV 为 2.58~7.36，HXB48 样本中乙酸乙酯的含量最低。不同样本中乙醇酯类和乙酸酯类的含量存在差异，如 LE28 中乙酸异戊酯的含量最高，LD1015 中丁酸乙酯、水杨酸甲酯、庚酸乙酯的含量较高。

7 个酒样中共鉴定到 17 种乙醇酯，其含量为 41.66~91.55 mg/L。HME11 和 LD1015 乙醇酯的含量较高，RC212 的含量最低。乙醇酯使葡萄酒呈各种果香和花香，其中己酸乙酯的作用最明显，它具有青苹果、紫罗兰香气，且其 OTH 低至 5 μg/L，而所有检测酒样的 OAV 均达 1 000 以上。另外，具有草莓、苹果、香蕉香气的丁酸乙酯的 OAV 为 59.05~841.05，具有菠萝、梨、果香花香辛酸乙酯的 OAV 为 30.14~50.21，具有轻微水果香丁二酸二乙酯的 OAV 为 13.70~24.33，具有愉悦水果香气癸酸乙酯的 OAV 为 8.15~35.99。

各样本中所含的乙酸酯主要为乙酸异戊酯，其含量为 4.74~11.15 mg/L，其中商业酵母 RC212 的含量最低，HXD21、HME11 和 LD22 的含量相对较高。乙酸异戊酯使葡萄酒呈香蕉甜香味，7 个酒样的 OAV 达 157.95~371.80。

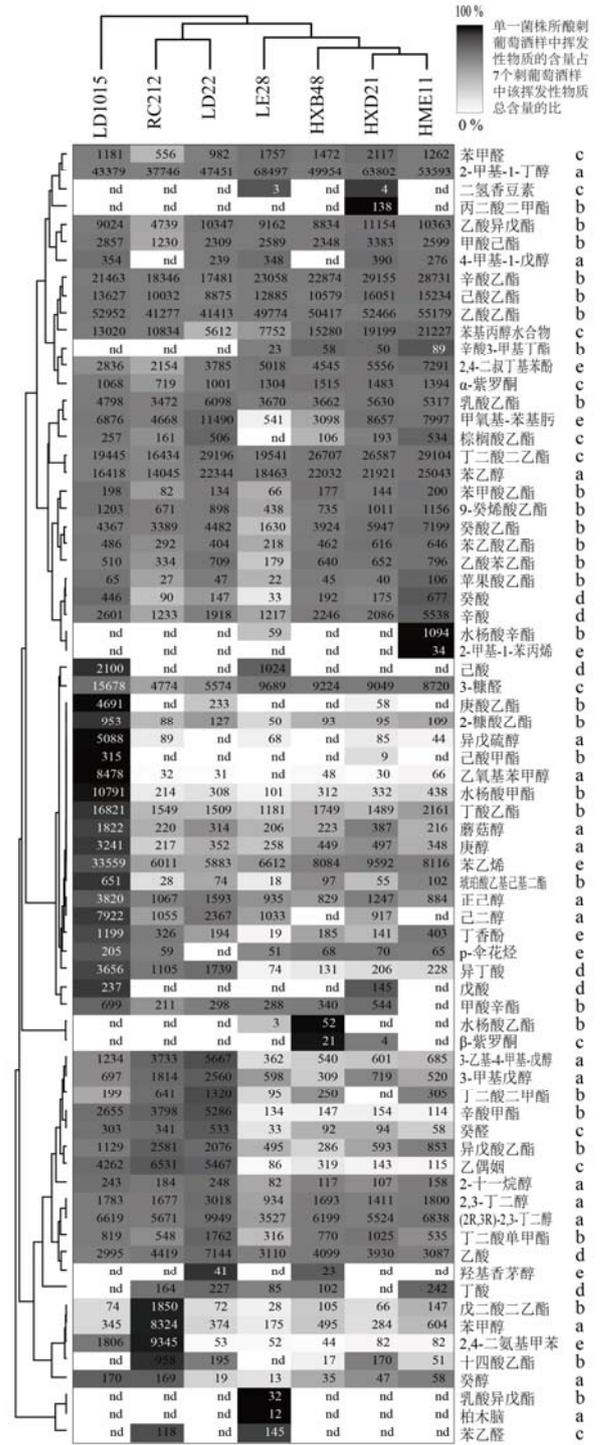
其他酯类主要为丁二酸单甲酯、甲酸己酯等，7 个酒样其他酯类(乙酸乙酯除外)的总体含量均不高，其中，具有柑橘、橙子香味的辛酸甲酯和具有薄荷香气的水杨酸甲酯在各样本中的 OAV 多大于 1，且不同样本间 OAV 的差异显著。

### 2.3 不同酵母刺葡萄酒中含酸类和醛酮类及其他挥发性物质的差异分析

7 个酒样中共检测到 7 种酸类物质，总含量为 5.43~12.00 mg/L。检测到的大部分有机酸都具有奶酪、汗水、变质油脂或令人不愉悦脂肪味等酸败气味，但在大部分样本的 OAV 均低于 1。仅有奶酪、脂肪酸味的辛酸，在 7 个酒样中的 OAV 均大于 1，且 HME11 的最大，为 11.08。

所有样本中共鉴定到醛酮类物质共 9 种，其总含量为 20.84~35.81 mg/L。7 个酒样中，LD22 和 HXB48 的醛酮类物质含量相对较低，LD1015 的最高。具有橙子、柠檬香气的癸醛在 7 个样本中的 OAV 均大于 1，其中，LD22、RC212 和 LD1015 的癸醛含量较高。具有香料、汽油气味的苯乙炔和具有丁香、蜂蜜香味的丁香酚在各样本中的含量较高，且其 OAV 均大于 1，样本间存在差异。

2.4 不同酵母刺葡萄酒所含挥发性物质的聚类分析  
共检测到 73 种挥发性物质，其中，具有嗅觉阈值信息的挥发性物质共 36 种。不同酵母发酵刺葡萄酒的挥发性物质含量聚类分析的结果见图 1。



a 醇类；b 酯类；c 醛酮类；d 酸类；e 其他类别物质；nd 表示未检测到。图中数值为刺葡萄酒样中挥发性物质的质量浓度(μg/L)。

图 1 7 个刺葡萄酒样中 73 种挥发性物质含量的聚类分析结果

Fig.1 Result of cluster analysis using the content of 73 compounds in the seven *V. divadii* wines

由图 1 可见,商业酵母 RC212 与 LD22 距离最近,聚为一支;LE28、HXB48、HEM11 及 HXD21 聚为另一支, HXD21 和 HME11 处于同一小分支,距离更近;LD1015 独为一支。

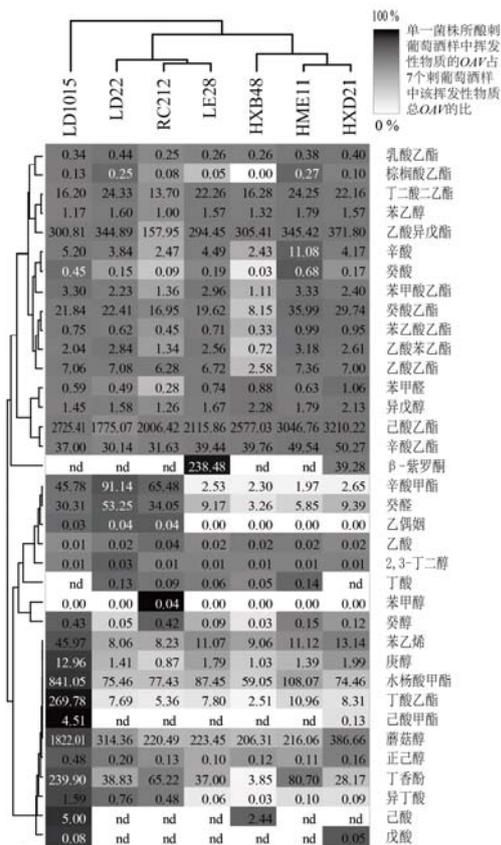
由图 2 可见,以商业酵母 RC212 为参照,LD22 和 LE28 与其相似性高,聚为一支,表明 LD22 和 LE28 对刺葡萄酒特征香气的影响与商业酵母 RC212 较一致;HXB48、HXD21 和 HME11 聚为另一支,与 RC212 距离较远,表明 HXB48、HXD21 和 HME11 对刺葡萄酒香气的影响较一致,且与商业酵母 RC212 的差异较大;LD1015 独为一支,表明在这 7 个供试酵母中 LD1015 最为独特。理论上,采用 OAV 进行 Heatmap 分析更能直观地反映不同酵母对刺葡萄酒香气影响的差异,因为一些含量很高的挥发性物质可能由于其嗅觉阈值过高或没有明显香气特征而对香气的贡献不大,故其挥发性物质含量的聚类分析结果不能准确显示不同菌株对香气影响的差异。本研究所检测到的挥发性物质

中,一些物质现在还没有嗅觉阈值供参考,因而无法计算其 OAV。这些物质对刺葡萄酒香气的影响还有待研究。

### 3 结论与讨论

酵母在葡萄汁中通过其新陈代谢产生乙醇、CO<sub>2</sub> 和多种挥发性次级代谢产物,这些物质含量的变化对葡萄酒香气的影响极大<sup>[16-18]</sup>。通常,中等浓度(质量浓度低于 300 mg/L)的杂醇能给葡萄酒带来比较满意的香气复杂度,当葡萄酒中杂醇含量高于 300 mg/L 时,则会产生闻起来令人不愉快的气味<sup>[19-20]</sup>。本研究中,各酒样的总醇含量均低于 300 mg/L。7 个酒样中蘑菇醇的 OAV 都很高,这可能是 7 个酒样均有蘑菇香气的原因;7 个酒样中,具有臭味的异戊硫醇在 LD1015 酒样中的含量最高,这使 LD1015 酒样带有明显的硫化物气味。葡萄酒香气成分中最重要的是酯类物质<sup>[21]</sup>,而乙酸酯对葡萄酒香气的影响比乙醇酯的影响更明显<sup>[9-10]</sup>。本研究中乙酸异戊酯在各酒样中的 OAV 均较高,其中 HXD21、HME11 和 LD22 酒样具有明显青香蕉香气的主要原因。乙醇酯中己酸乙酯、辛酸乙酯、辛酸丙酯的差异能够反应不同菌株间的多样性<sup>[22]</sup>。本研究中,己酸乙酯和辛酸乙酯在 7 个酒样中的含量和 OAV 均较高,它们使葡萄酒呈复杂的果香和花香<sup>[23-24]</sup>,其中, HME11 和 HXD21 酒样中的己酸乙酯含量比其他菌株发酵酒样中的更高,所以, HME11 和 HXD21 酒样的果香和花香气味更浓郁。酸类物质浓度低于阈值时可增加葡萄酒香气的复杂性,但超过阈值会使酒的香气不佳<sup>[25]</sup>。本研究中,LD1015 酒样中的异丁酸和己酸、HXB48 酒样中的己酸及 7 个酒样中辛酸的 OAV 均大于 1,这对各酒样香气的影响不佳。

本研究结果表明,与商业酵母 RC212 相比,6 株本土野生酿酒酵母对刺葡萄酒香气有不同程度的影响,其中,LD1015 表现独特,其酒样中挥发性物质具有更高的 OAV,但也含有浓度较高的呈臭味的异戊硫醇和高于嗅觉阈值的 3 种酸类物质;与商业酵母 RC212 一样,LD22 和 LE28 酒样挥发性物质的总 OAV 低,表现为较低的香气浓郁度,这 3 株菌对刺葡萄酒香气的影响较一致;HXB48、HXD21 和 HME11 酒样与商业酵母 RC212 酒样的



图中数值为刺葡萄酒样中挥发性物质的 OAV。

图 2 7 个刺葡萄酒样中 36 种挥发性物质香气物质活度值(OAV)的聚类分析结果

Fig.2 Result of cluster analysis using the OAV of 36 compounds in the seven *V. divadii* wines

差异明显,表明 HXB48、HXD21 和 HME11 对刺葡萄酒的影响与商业酵母 RC212 的影响存在差异,所以,可考虑用其酿造出风味独特的葡萄酒,但 HXB48 酒样香气的浓郁度较低,且含较高浓度的酸类物质,而 HXD21 和 HME11 酒样中具有更多的果香和花香,对刺葡萄酒的香气品质有明显改善,因此,在后续工业生产试验中,可以选择 HXD21 和 HME11 进行刺葡萄酒工业发酵,以获得具有本土特色的优质刺葡萄酒。

#### 参考文献:

- [1] 孔庆山. 中国葡萄志[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:1-80.
- [2] 刘昆玉,方芳,石雪晖,等. 腺枝葡萄与刺葡萄对葡萄黑痘病和霜霉病的抗性[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2013,39(1):46-51.
- [3] 鲍瑞峰. 刺葡萄果实与刺葡萄酒香气成分的研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2010.
- [4] 周俊. 刺葡萄酒品质与工艺研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.
- [5] ÁLVAREZ-PÉREZ J M, CAMPO E, SAN-JUAN F, et al. Sensory and chemical characterisation of the aroma of Prieto Picudo rosé wines: the differential role of autochthonous yeast strains on aroma profiles[J]. Food Chem, 2012, 133(2): 284-292.
- [6] 何英霞,蒋玉梅,李霁昕,等. 不同酶和酵母对干红葡萄酒香气影响的差异分析[J]. 农业工程学报,2016,32(增刊1):325-332.
- [7] 刘峻溪,姜凯凯,韩爱芹,等. 野生酵母和商品酵母发酵葡萄酒中挥发性成分差异研究[J]. 食品工业科技,2016,37(12):226-232,255.
- [8] 苗丽平,赵新节,董书甲,等. 商业酵母对马瑟兰干红葡萄酒香气成分的影响[J]. 中国酿造,2016,35(10):56-61.
- [9] STYGER G, PRIOR B, BAUER F F. Wine flavor and aroma[J]. J Ind Microbiol Biotechnol, 2011, 38(9): 1145-1159.
- [10] STRIBNY J, QUEROL A, PÉREZ-TORRADO R. Differences in enzymatic properties of the *Saccharomyces kudriavzevii* and *Saccharomyces uvarum* alcohol acetyltransferases and their impact on aroma-active compounds production[J]. Front Microbiol, 2016(7): 897.
- [11] 马海燕,曹雪丹. 不同酵母发酵宁夏赤霞珠葡萄酒风味分析[J]. 食品研究与开发,2017,38(3):152-156.
- [12] 蒋丽,车振明,邢亚阁,等. 不同酵母菌株对霞多丽冰葡萄酒香气成分的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2015(1):36-39.
- [13] 陈超奇. 优选长孢洛德酵母应用于刺葡萄酒增香酿造的效果分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [14] 张明霞,赵旭娜,杨天佑,等. 顶空固相微萃取分析白酒香气物质的条件优化[J]. 食品科学,2011,32(12):49-53.
- [15] TAO Y, LIU Y, LI H. Sensory characters of cabernet sauvignon dry red wine from Changli county (China)[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 565-569.
- [16] FLEET G H. Yeast interactions and wine flavour[J]. Int J Food Microbiol, 2003, 86(1/2): 11-22.
- [17] VERNOCCHI Pamela, PATRIGNANI Francesca, NDAGIJIMANA Maurice, et al. Trebbiano wine produced by using *Saccharomyces cerevisiae* strains endowed with  $\beta$ -glucosidase activity[J]. Ann Microbiol, 2015, 65(3): 1565-1571.
- [18] SAERENS S M, DELVAUX F, VERSTREPEN K J, et al. Parameters affecting ethyl ester production by *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation[J]. Appl Environ Microbiol, 2008, 74(2): 454-461.
- [19] SUZZI G, ARFELLI G, SCHIRONE M, et al. Effect of grape indigenous *Saccharomyces cerevisiae* strains on Montepulciano d'Abruzzo red wine quality[J]. Food Research International, 2012, 46(1): 22-29.
- [20] EBELER S E. Analytical chemistry:unlocking the secrets of wine flavor[J]. Food Reviews International, 2001, 17(1): 45-64.
- [21] TORRENS J, URPÍ P, RIU-AUMATELL M, et al. Different commercial yeast strains affecting the volatile and sensory profile of cava base wine[J]. Int J Food Microbiol, 2008, 124(1): 48-57.
- [22] POZO-BAYÓN MA, G-ALEGRÍA E, POLO MC, et al. Wine volatile and amino acid composition after malolactic fermentation: effect of *Oenococcus oeni* and *Lactobacillus plantarum* starter cultures[J]. J Agric Food Chem, 2005, 53(22): 8729-8735.
- [23] CHAVES-LÓPEZ C, SERIO A, OSORIO-CADAVID E, et al. Volatile compounds produced in wine by Colombian wild *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. Annals of Microbiology, 2009, 59(4): 733-740.
- [24] FORDE C G, COX A, WILLIAMS E R, et al. Associations between the sensory attributes and volatile composition of Cabernet Sauvignon wines and the volatile composition of the grapes used for their production[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(6): 2573-2583.
- [25] 杨莹,徐艳文,薛军侠,等. 葡萄酒相关酵母的香气形成及香气特征[J]. 微生物学通报,2007,34(4):757-760.

责任编辑:王赛群  
英文编辑:王 库