

三种不同生产工艺的荔枝酒品质对比

朱云婷¹, 米生喜², 蔡勇建¹, 赵谋明¹, 邓欣伦³, 赵强忠¹

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (2. 广东省亚热带水果深加工工程(中试)研发中心, 广东广州 511458) (3. 广州市穗邦生物科技有限公司, 广东广州 511458)

摘要: 为了探索冷冻浓缩工艺对荔枝酒品质的影响, 以荔枝汁为原料, 通过直接发酵、发酵-冷冻浓缩、冷冻浓缩-发酵 3 种工艺分别生产发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒、浓缩-发酵荔枝酒, 并对比分析 3 种荔枝酒的基本组分、游离氨基酸含量、挥发性物质和感官评价。结果显示: 发酵荔枝酒的酒精度为 8.48%、总酸为 4.80 g/L、单宁含量为 0.53 g/L、游离氨基酸总量为 40.38 mg/L、醇酯比为 0.86, 果香清淡, 口感一般。发酵-浓缩荔枝酒和浓缩-发酵荔枝酒的酒精度为 16.10% 和 16.47%、总酸为 9.57 g/L 和 7.70 g/L、单宁含量为 1.02 g/L 和 1.13 g/L、游离氨基酸总量为 102.97 mg/L 和 493.17 mg/L, 均显著高于发酵荔枝酒 ($p < 0.05$), 其中发酵-浓缩荔枝酒的醇酯比为 0.50, 酒香增加, 但由于酸度及不良风味物质偏高, 口感欠佳, 而浓缩-发酵荔枝酒的醇酯比为 0.26, 果香浓郁, 口感甜润饱满, 酒体醇厚。荔枝汁先冷冻浓缩再发酵的工艺可以生产更高品质的荔枝酒。

关键词: 荔枝酒; 冷冻浓缩; 发酵; 品质

文章编号: 1673-9078(2018)11-185-193

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.11.028

Comparison of the Quality of *Litchi* Wines Produced through Three Different Winemaking Processes

ZHU Yun-ting¹, MI Sheng-xi², CAI Yong-jian¹, ZHAO Mou-ming¹, DENG Xin-lun³, ZHAO Qiang-zhong¹

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Guangdong Province Subtropical Fruit Deep Processing Engineering (pilot) R & D Center, Guangzhou 511458, China)

(3. Guangzhou Wenbang Biotechnology Co., Ltd. Guangzhou 511458, China)

Abstract: The effects of the freeze concentration technology on the quality of *Litchi* wine were studied. Three different winemaking processes, direct fermentation, fermentation-freeze concentration, and freeze concentration-fermentation led to the production of fermented *Litchi* wine, fermented-concentrated *Litchi* wine and concentrated-fermented *Litchi* wine, respectively, from *Litchi* juice. Then comparative analyses of physicochemical indicators, amino acids content and volatile substances and sensory evaluation of 3 *Litchi* wines were conducted. The obtained results showed that the fermented *Litchi* wine had an alcohol content of 8.48%, total acid of 4.80 g/L, tannin content of 0.53 g/L, total free amino acid of 40.38 mg/L and the alcohol-ester ratio of 0.86, with a light fruity smell and an ordinary mouthfeel. While the fermented-concentrated *Litchi* wine and the concentrated-fermented *Litchi* wine had 16.10% and 16.47% alcohol, 9.57 g/L and 7.70 g/L total acid, 1.02 g/L and 1.13 g/L tannin content, 102.97 mg/L and 493.17 mg/L total free amino acid, respectively, which were significantly higher than those of the fermented *Litchi* wine ($p < 0.05$). The fermented-concentrated *Litchi* wine had an alcohol-ester ratio of 0.50 with an increase of wine aroma, but the acidity and content of undesirable flavor were high (which didn't taste good). The concentrated-fermented *Litchi* wine had the alcohol-ester ratio of 0.26 with a strong fruity smell and full-bodied mouthfeel (superior to the other two *Litchi* wines). The study indicates the freeze concentration before fermentation could result in the production of *Litchi* wine of high quality.

Key words: *Litchi* wine; freeze concentration; fermentation; quality

荔枝是我国南方特有的水果, 其果肉柔嫩, 风味

收稿日期: 2018-03-18

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFD0400803); 国家自然科学基金面上项目(31571883)

作者简介: 朱云婷(1993-), 女, 硕士, 研究方向: 食品生物技术

通讯作者: 赵强忠(1976-), 男, 教授, 研究方向: 食品生物技术、乳品科学

独特, 营养价值高, 但由于其季节性强、易腐烂、不耐贮藏, 将其进行深加工具有重要的意义^[1]。荔枝汁酿造的荔枝酒具有独特怡人的香味, 深受消费者喜爱。荔枝汁的天然糖度一般在 140~165 g/L, 酿酒酒精度在 8%左右, 低于市售荔枝酒的酒精度(9.5%~16%)^[2], 为了提高酒精度, 目前工业化生产最常用的方式是在发酵醪中添加糖至 220~300 g/L^[3], 成本低廉, 但此法

生产的荔枝酒口味淡薄。另外,荔枝汁的总酸含量偏低,易受产酸菌污染,对发酵环境的洁净度有较严格的要求,所需的发酵温度较低(10~15℃)^[4],通过添加酸虽能有效地抑制挥发酸的生成,但不利于提高产品品质及档次。通过冷冻浓缩技术,全程低温、无汽-液界面,可最大化的保护产品原有的风味特性,能有效地解决果汁固形物含量偏低、原酒酒精度及风味不足的问题。

目前冷冻浓缩技术在果酒行业中的应用多数是对果汁进行冷冻浓缩再发酵,取代外源糖来提高固形物^[5-7],使产品的感官品质得到显著提高;少数是对发酵后的酒进行冷冻浓缩^[8,9],适当地提高酒精度及风味。曾新安等^[3]将糖度为250 g/L 冷冻浓缩荔枝汁进行超低温长时间的发酵,得到酒精度为12.0%±1%、残糖为2.2 g/L、总酸为6.5 g/L、挥发酸为0.65 g/L、果香浓郁、酒体协调的高品质荔枝酒。Petzold G等^[9]通过对赤霞珠红酒进行冷冻浓缩,发现相比起原酒,浓缩酒的酒精度、酸度和总酚含量均显著地提高。鲜有文章对发酵-冷冻浓缩、冷冻浓缩-发酵这两种工艺生产的果酒品质进行对比分析。不同工艺生产的荔枝酒品质存在差异,这主要由有机酸、单宁、氨基酸和挥发性物质等成分之间的相互作用决定。

本研究采用直接发酵工艺生产发酵荔枝酒,联合发酵及冷冻浓缩工艺生产发酵-浓缩荔枝酒和浓缩-发酵荔枝酒,对比不同工艺所得产品的基本理化指标、游离氨基酸和挥发性物质,以期冷冻浓缩技术提高荔枝酒品质提供参考价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

荔枝(产地:广西桂平市麻垌镇;品种:禾荔);活性干酵母 DV10, LALLEMAND;氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、次甲基蓝、单宁酸、福林酚、5-磺基水杨酸等均为分析纯,广州市丛源仪器有限公司。

1.2 仪器与设备

冷冻浓缩设备,由广东省亚热带水果深加工工程(中试)研发中心自行研制;A300 全自动氨基酸分析仪,德国曼默博尔公司;1310-ISQ II 气相色谱-质谱联用仪、TR-5ms 弹性石英毛细管色谱柱,美国 Thermo 公司;75 μm CAR/PDMS 固相微萃取头,美国 Supelco 公司。

1.3 方法

1.3.1 荔枝酒生产工艺

以新鲜荔枝去皮去核、机械压榨得到的荔枝汁(总糖为144 g/L、总酸(以酒石酸计)为3.2 g/L)生产荔枝酒,根据发酵和冷冻浓缩的不同生产工艺,制备出发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒以及浓缩-发酵荔枝酒,具体生产工艺流程见图1。

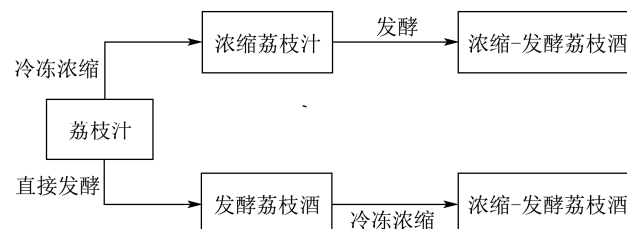


图1 荔枝酒的生产工艺流程图

Fig.1 The flow chart of the production of Litchi wine

其中:(1)发酵工艺为:取0.3 g/kg 活性干酵母 DV10^[4]经活化后与果汁混合,按每1 L 果汁添加1 mL 6%亚硫酸溶液计,使SO₂的浓度达60 mg/L,在15℃^[4]洁净环境下发酵,发酵期间每日测定糖度变化,待糖度不再显著下降时即发酵结束(其中发酵荔枝酒、浓缩-发酵荔枝酒的发酵时间分别为6、11 d),加硅藻土澄清分离,冷藏。(2)冷冻浓缩工艺:冷媒温度-20℃,冷冻时间控制结晶率在50%左右,经2次结晶-压滤分离操作,使浓缩荔枝汁的总糖为280 g/L、总酸为6.1 g/L;使发酵-浓缩荔枝酒的酒精体积分数较发酵荔枝酒提高1倍左右。

1.3.2 基本理化指标测定

酒精、总糖、总酸、pH 值、挥发酸和干浸出物的测定:参照GBT 15038-2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》;单宁含量的测定:采用Folin-ciocalteus法^[2]。

1.3.3 风味物质的测定

1.3.3.1 游离氨基酸的测定

根据庄明珠^[10]的方法进行游离氨基酸的测定并做恰当的修改。

(1) 游离氨基酸测试液的制备

取4 mL 荔枝酒加入1 mL 15 g/100 mL 的5-磺基水杨酸,振荡混匀,4℃静置60 min;用高速离心机进行离心(12000 r/min, 4℃, 15 min),上清液经0.22 μm 的水溶性滤膜过滤后即得游离氨基酸测试液,取氨基酸测试液上机进行测试。

(2) 游离氨基酸测定:氨基酸自动分析仪

外标法进行组分的定量,进样量为20 μL,浓度单位以mg/L表示。

测试条件:分离柱温度保持在60℃;反应器温度:115℃;流动相流速:160 μL/min;茚三酮溶液流速:80 μL/min;双通道紫外检测波长,分别为440 nm 和570 nm;进样量20 μL;分析柱:membraPureT259 钠离子交换柱。

1.3.3.2 挥发性物质的测定

根据赵谋明等^[11]的方法进行挥发性物质的测定并做恰当的修改。取 8 mL 荔枝酒和 1.4 g NaCl 于 20 mL 顶空瓶中, 采用 75 μ m CAR/PDMS 固相微萃取头^[12], 待测。测试条件: 样品通过 TR-5MS (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m) 弹性石英毛细管色谱柱进行分离; 载气为高纯度氦气 (1.0 ml/min); 分流比为 10:1; 升温程序: 起始温度 40 $^{\circ}$ C, 保持 2 min, 以 5 $^{\circ}$ C/min 升至 120 $^{\circ}$ C, 保持 2 min, 再以 7 $^{\circ}$ C/min 升至 220 $^{\circ}$ C, 保持 5 min; 质谱条件: 电子轰击电离 (EI) 离子源, 电子能量 70 eV, 电子倍增管电压 350 V, 离子扫描范围 33~350 m/z , 扫描速度 3.0 scans/s, 离子源温度 250 $^{\circ}$ C, 传输线温度 250 $^{\circ}$ C。

1.3.3.3 挥发性物质的鉴定和定量

参照赵谋明等^[11]对挥发性化合物的定性与定量: 气相色谱-质谱数据使用 Xcalibur 软件 (版本 2.0) 分析处理, 化合物的鉴定根据 Wiley 和 NIST08 数据库检索 (正、反匹配度均大于 750) 确定初步结果, 随后通过 NIST MS Search 2.0 软件中内置谱库和“NIST

Chemistry Web Book”在线谱库中文献所报道的标准物质科瓦茨保留指数 (Retention Index, RI) 与实验计算得到的 RI 值进行对比, 完成化合物的定性分析 (计算值与文献报道值正负偏差小于 20)。RI 值通过正构烷烃 (C6~C33) 计算得到, 以公式 (1) 计算。

$$RI = \left[n + \frac{t(a) - t(n)}{t(n+1) - t(n)} \right] \times 100 \quad (1)$$

式中: $t(a)$ 为待测组分 a 的保留时间; n 和 $n+1$ 分别为待测组分 a 流出前后正构烷烃碳原子数, $t(n)$ 和 $t(n+1)$ 分别为具有 n 和 $n+1$ 个碳原子的正构烷烃的保留时间。

化合物相对峰面积通过峰面积归一化法计算。

1.3.4 感官评定

参照秦献泉等^[1]的模糊综合评判法, 其中评价项目由 5 个因素构成: 颜色、光泽、香气、口味和风格, 各因素的权重分别为 0.05、0.05、0.30、0.40 和 0.20; 各因素的评价有 5 个等级: 很好、较好、一般、较差和差, 各等级分别设定为: 100 分、85 分、70 分、60 分和 40 分; 邀请 5 名多年从事果酒行业的品酒人员对荔枝酒进行感官评定, 评分标准如表 1 所示。

表 1 荔枝酒的感官评价表^[1]

Table 1 The sensory evaluation table of Litchi wine

感官评价标准	评价项目				
	颜色 (5 分)	光泽 (5 分)	香气 (30 分)	滋味 (40 分)	风格 (20 分)
很好	黄色甚至金黄色	澄清透明、有光泽	果香、酒香浓馥优雅, 协调悦人	酒体丰满、醇厚协调、怡畅、爽口、回味悠长	典型完美、风格独特、优雅名贵
较好	微黄至浅黄	澄清透明, 无悬浮物	果香、酒香醇正, 愉悦	酒质柔顺, 柔和爽口	典型明确、风格良好
一般	微黄带绿	澄清至微浑, 无明显悬浮物	具有果香、酒香, 无异味	酒体协调、纯正无杂	有典型性, 但风格不够怡雅
较差	褐色	较浑, 失光	果香、酒香不足, 或带有不愉快气味	酒体寡淡、不协调, 或有其它明显的缺陷	典型性不明显
差	色泽太深	浑浊不堪	气味不良	过酸或过涩、过苦, 或平淡、有异味	不具有荔枝酒的典型性

1.3.5 数据统计与分析

基本理化指标实验平行测定 3 次, 采用 SPSS 20.0 进行数据统计分析, 采用 ANOVA 进行差异显著性分析, 采用 excel 作荔枝酒的感官评价结果图。

2 结果与讨论

2.1 荔枝酒的基本理化指标

荔枝酒的基本理化指标如表 2 所示, 结合果酒的生产工艺可知, 荔枝汁直接发酵可生产得到酒精度为 8.48% 的发酵荔枝酒, 发酵荔枝酒进一步冷冻浓缩可得到酒精度为 16.10% 的发酵-浓缩荔枝酒; 荔枝汁先

冷冻浓缩后发酵可生产浓缩-发酵荔枝酒, 其酒精度为 16.47%。3 种荔枝酒的糖分均小于 4.00 g/L, 说明三种荔枝酒均属于干型酒^[13], 且均发酵较完全。发酵荔枝酒和浓缩-发酵荔枝酒的总酸含量在 4.00~8.00 g/L 范围内, 均符合 QB/T4262-2011^[13]; 发酵-浓缩荔枝酒总酸为 9.57 g/L, 已超出 QB/T4262-2011 规定的范围。发酵荔枝酒与发酵-浓缩荔枝酒的 pH 相近, 说明发酵-浓缩荔枝酒中增加的酸类物质大多为未电离的弱酸, 这与孙卉卉^[14]等对葡萄汁冷冻浓缩前后的结果一致。3 种荔枝酒挥发酸值均低于标准值 1.20 g/L, 其中浓缩-发酵荔枝酒的挥发酸高于其它两种荔枝酒, 这可能是浓缩荔枝汁的高糖度形成高渗透压的环境, 影响酵母

菌的代谢,使产酸菌更有机会活动^[15]。单宁与唾液蛋白质缔合产生的涩味也是一种适宜的风味,具有抗氧化性。单宁含量大小依次为:浓缩-发酵荔枝酒~发酵-浓缩荔枝酒>发酵荔枝酒。发酵-浓缩荔枝酒的干浸出物含量约为发酵荔枝酒的2倍,说明经过冷冻浓缩可以很好地保留原有的物质。

表 2 荔枝酒的基本理化指标

Table 2 The basic physicochemical indexes of Litchi wine

项目	发酵荔枝酒	发酵-浓缩荔枝酒	浓缩-发酵荔枝酒	QB/T4262-2011 ^[13]
酒精/(%, 体积分数)	8.48±0.13 ^b	16.10±0.10 ^a	16.47±0.35 ^a	5.00~18.00
总糖/(g/L)	1.70±0.03 ^c	3.27±0.00 ^a	2.19±0.00 ^b	≤4.00
总酸/(g/L, 以酒石酸计)	4.80±0.15 ^c	9.57±0.25 ^a	7.70±0.11 ^b	4.00~8.00
pH 值	3.50±0.01 ^a	3.50±0.01 ^a	3.41±0.01 ^b	-
挥发酸/(g/L)	0.43±0.00 ^c	0.60±0.00 ^b	0.81±0.10 ^a	≤1.20
单宁含量/(g/L)	0.53±0.03 ^b	1.02±0.04 ^a	1.13±0.03 ^a	-
干浸出物/(g/L)	16.00±0.80 ^c	30.90±1.20 ^b	41.20±0.26 ^a	≥16.00

注: 同一行中不同字母表示在 $p<0.05$ 水平上差异显著,“-”表示无。

2.2 荔枝酒的游离氨基酸含量分析

游离氨基酸本身具有呈味性,可与酒中的醇、烯烃、酸、酯类等物质协同构成独特的风味^[16],在食用过程中不会水解,直接被感官感知,对滋味有一定的贡献作用。3种荔枝酒的游离氨基酸含量如表3所示,共检测出16种氨基酸,其中包括8种必需氨基酸。不同工艺生产的荔枝酒游离氨基酸含量差异大,发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒和浓缩-发酵荔枝酒的游离氨基酸总量分别为40.38 mg/L、102.97 mg/L和493.17 mg/L,其中浓缩-发酵荔枝酒的必需氨基酸含量是发酵-浓缩荔枝酒的4.15倍,这与梁贵秋等^[17]的实验结果相似:冷冻浓缩桑果汁发酵酒的水解氨基酸总量是加糖桑果原汁发酵酒的3.69倍。浓缩-发酵荔枝酒中游

离氨基酸含量更高的原因可能是:(1)浓缩荔枝汁具有更多的起始营养物质,发酵时间更长,可以为蛋白质分解或其它产氨基酸的复杂反应提供更多的底物及时间^[18];(2)浓缩-发酵荔枝酒的酒精度较发酵荔枝酒高,在发酵过程中可促使更多非极性氨基酸(如Gly, Ala, Val等)的溶解;(3)未经冷冻浓缩的荔枝汁营养物质含量较低,其中包括氮源,在氮源不足的情况下,微生物会消耗氨基酸生成醇类物质^[19]。

三种荔枝酒的游离氨基酸均以甜味氨基酸为主,尤以甜味型的丙氨酸(Ala)含量较高,这与沈颖等^[18]的研究结果一致。另外,三种荔枝酒中,浓缩-发酵荔枝酒的甜味氨基酸占比(62.06%)最高且苦味氨基酸占比(13.47%)最低,这可能会使浓缩-发酵荔枝酒的口感更甜润饱满。

表 3 荔枝酒的游离氨基酸含量

Table 3 The content of free amino acid in Litchi wine

氨基酸种类	含量/(mg/L)			氨基酸种类	含量/(mg/L)		
	发酵荔枝酒	发酵-浓缩荔枝酒	浓缩-发酵荔枝酒		发酵荔枝酒	发酵-浓缩荔枝酒	浓缩-发酵荔枝酒
Asp	-	2.39	30.91	Tyr	0.94	2.00	15.87
Thr	1.08	6.43	49.65	Phe	3.15	6.67	22.43
Ser	0.33	3.18	12.46	His	4.26	10.11	34.04
Glu	1.67	4.45	12.58	Lys	2.93	7.38	13.46
Gly	2.46	6.46	75.50	Arg	6.81	11.48	14.58
Ala	5.04	15.14	134.43	总含量	40.38	102.97	493.17
(Cys) ₂	8.10	17.04	56.34	必需氨基酸	10.77	33.11	137.37
Val	0.91	2.08	25.57	甜味氨基酸	13.17	41.32	306.08
Met	-	1.55	4.36	苦味氨基酸	10.42	24.11	66.41
Ile	1.26	3.54	7.23	鲜味氨基酸	4.60	11.83	26.04
Leu	1.44	5.46	14.67	芳香族氨基酸	12.19	25.71	94.64

注:“-”表示未检测到或痕量。

2.3 荔枝酒的挥发性成分分析

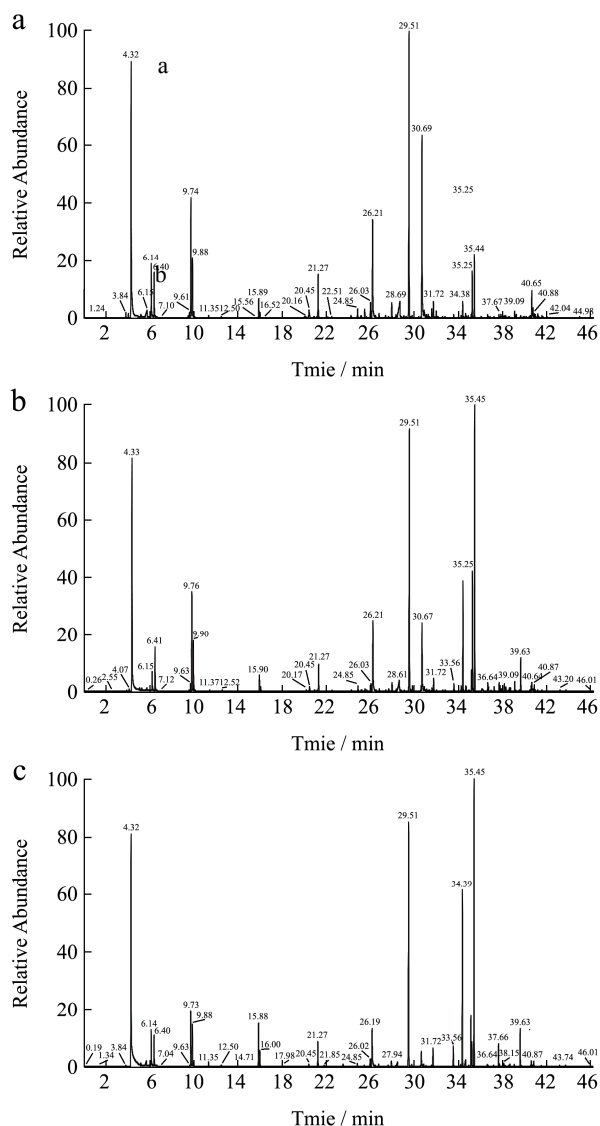


图2 荔枝酒 HS-SPME-GC-MS 总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram (TIC) of Litchi Wine

注：a、b、c 分别为发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒以及浓缩-发酵荔枝酒。

3 种荔枝酒的 HS-SPME-GC-MS 总离子流图和解谱结果分别如图 2 和表 4 所示。由表 4 可知，发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒、浓缩-发酵荔枝酒分别被检测出 98、98 和 93 种挥发性化合物，均以酯类(46.48%、60.02%、73.42%)、醇类 (39.78%、30.23%、19.20%) 化合物为主。

酯类物质具有明显的果香味或花香味，荔枝酒中峰面积百分比高的酯类物质为辛酸乙酯、癸酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸香茅酯和乙酸苯乙酯，张斌等^[20]初步推断出辛酸乙酯、癸酸乙酯等酯类物质构成新鲜荔枝酒的主体香，与本研究结果一致。其中：辛酸乙酯在 3 种荔枝酒中面积百分比相近；癸酸乙酯

在发酵荔枝酒中面积百分比最低 (3.42%)，在浓缩-发酵荔枝酒中面积百分比最高 (19.76%)；乙酸乙酯在发酵-浓缩荔枝酒中面积百分比最低 (3.67%)，在浓缩-发酵荔枝酒中面积百分比最高 (10.43%)。浓缩-发酵荔枝酒中较高的癸酸乙酯和乙酸乙酯赋予其浓郁的果香味。

醇类物质中多为高级醇，具有呈香和助香的作用，若含量过多，就会导致苦、涩，刺激性味道增大，易上头。荔枝酒中峰面积百分比最高的醇类物质为苯乙醇，其次为 3-甲基丁醇、2-甲基-1-丁醇、2-甲基丙醇。Pkc O 等^[21]利用 GC-O 研究荔枝果的关键香气活性物质，证明苯乙醇对荔枝的玫瑰花香香气有贡献；3-甲基丁醇具有典型的杂醇油味，刺舌，微涩稍苦，香蕉味^[22]；2-甲基-1-丁醇具有杂醇油的气味和甜香^[23]；2-甲基丙醇有令人不愉快的气息^[23]。三种荔枝酒中醇类化合物峰面积百分比从高到低依次为：发酵荔枝酒>发酵-浓缩荔枝酒>浓缩-发酵荔枝酒，初步判定前两种酒的醇味较突出，这可能是浓缩荔枝汁的营养氮源更充足，降低了氨基酸作为氮源通过转氨作用生成高级醇的可能性^[24]。

酸类物质在发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒和浓缩-发酵荔枝酒中的占比不高，分别为 4.09%、2.34%、1.78%，其中乙酸、正辛酸、正己酸为 3 种荔枝酒中主要的酸类芳香物质^[25]；同时，已知荔枝酒的醇类物质、酯类物质的面积百分比，计算得浓缩-发酵荔枝酒的醇酯比 (0.26) 小于发酵荔枝酒 (0.86) 和发酵-浓缩荔枝酒 (0.50)，则浓缩-发酵荔枝酒的酯香味更突出，这可能是浓缩-发酵荔枝酒的发酵时间更长，更多的酸类物质与醇类物质经微生物酯化生成酯类物质^[26]。

烯类物质中，共鉴定出 18 种，虽然其面积百分比相对较少 (0.78%~2.00%)，但烯烃类物质的阈值极低，是荔枝汁的主要香气成分，在酿造过程中含量不断下降消失^[27]。浓缩-发酵荔枝酒的烯烃类物质占比较其它两种酒低，可能是由于浓缩-发酵荔枝酒发酵初始糖浓度较高，导致其发酵时间更长，从而使得烯烃类物质相对较少。

将发酵荔枝酒经冷冻浓缩处理得发酵-浓缩荔枝酒，大部分挥发性物质化合物都得到保留，其中，一些保留指数相对较大的酯类物质（如辛酸乙酯、辛酸 3-甲基丁酯、乙酸香叶酯等）所占的面积百分比有一定的提高，这可能与它们的分子量较大、非极性较强、亲水性差，容易在冷冻浓缩的分离过程中与冰晶分离有关；而分子量较小的易挥发物质（乙酸乙酯、乙酸）及部分醇类物质所占的面积百分比降低，这可能的原

因是易挥发物质在冷冻浓缩的搅拌过程中，部分挥发损失，且一些含有亲水基团（如羟基）的醇类物质被冰晶夹带，造成芳香物质的损失，此结果与 F.L.Moreno 等^[28]、门戈阳等^[29]、赵芳等^[30]研究冷冻浓缩后芳香物质的损失情况相似。

表 4 荔枝酒主要的挥发性成分
Table 4 The main volatile components of *Litchi* wine

化合物名称	RI	m/z	峰面积百分比/%		
			发酵荔枝酒	发酵-浓缩荔枝酒	浓缩-发酵荔枝酒
酯类（32种）			30种	31种	29种
乙酸乙酯	<600	43	10.43	3.67	7.54
乙酸异丁酯	772	43	0.45	0.35	0.97
丁酸乙酯	801	43	0.13	0.08	0.16
乙酸异戊酯	876	43	2.40	2.05	5.62
2-甲基丁基乙酸酯	879	43	0.80	0.77	2.67
正己酸乙酯	999	88	2.51	1.57	1.58
辛酸乙酯	1198	88	20.81	19.61	19.28
乙酸苯乙酯	1264	104	2.14	1.72	2.68
正辛酸异丁酯	1351	57	0.11	0.27	0.13
乙酸香茅酯	1356	43	0.51	3.30	5.87
乙酸香叶酯	1386	69	0.19	1.16	3.07
9-癸烯酸乙酯	1389	55	1.23	3.09	0.69
癸酸乙酯	1397	88	3.42	18.88	19.76
辛酸 3-甲基丁酯	1450	70	0.20	0.60	0.16
月桂酸乙酯	1596	88	0.12	1.69	2.11
其它			1.03	1.21	1.13
		小计	46.48	60.02	73.42
醇类（22种）			22种	21种	21种
2-甲基丙醇	609	43	3.79	3.73	2.91
3-甲基丁醇	731	55	10.33	8.30	4.53
2-甲基-1-丁醇	735	41	4.62	3.78	3.59
1-辛烯-3-醇	980	57	0.84	0.41	0.26
里那醇	1109	71	0.37	0.12	0.06
苯乙醇	1125	91	17.17	12.52	6.87
香叶醇	1260	69	0.78	0.27	0.18
A-毕橙茄醇	1653	43	1.00	0.31	0.22
其它			0.88	0.79	0.58
		小计	39.78	30.23	19.20
酸类（7种）			7种	7种	7种
乙酸	<600	43	1.40	0.40	0.96
正己酸	978	60	0.46	0.32	0.11
辛酸	1179	60	1.92	1.33	0.51
癸酸	1366	60	0.15	0.17	0.11
其它			0.16	0.12	0.09
		小计	4.09	2.34	1.78

转下页

接上页

烯烃类 (18 种)				18 种	18 种	16 种
萘烯	1250	121	0.61	0.13	0.03	
紫穗槐烯	1500	105	0.06	0.17	0.06	
衣兰油烯	1520	105	0.06	0.38	0.18	
其它			1.24	1.29	0.51	
		小计	1.97	1.97	0.78	
醛类 (5 种)				5 种	5 种	5 种
乙醛	< 600	44	0.92	0.42	0.16	
乙缩醛	728	45	0.80	1.07	0.18	
其它			0.12	0.10	0.04	
		小计	1.84	1.59	0.38	
酮类 (5 种)				5 种	5 种	5 种
2-庚酮	890	43	0.12	0.01	0.01	
4-羟基-2-丁酮	958	43	0.17	0.13	0.04	
其它			0.70	1.02	2.32	
		小计	0.99	1.16	2.37	
醚类 (3 种)				3 种	3 种	3 种
苯乙基甲基醚	1094	45	1.20	0.74	0.47	
反式玫瑰醚	1138	139	0.43	0.21	0.22	
顺式玫瑰醚	1121	139	1.63	0.78	0.78	
		小计	3.26	1.73	1.47	
其它 (8 种)				8 种	8 种	8 种
2,4,5-三甲基-1,3-二氧戊烷	725	43	0.17	0.08	0.06	
橙花醇氧化物	1163	67	1.05	0.57	0.42	
其它			0.37	0.32	0.11	
		小计	1.59	0.97	0.59	
总计 (100 种)				98 种	98 种	93 种
		总计	100	100	100	

2.4 荔枝酒的感官评价对比分析

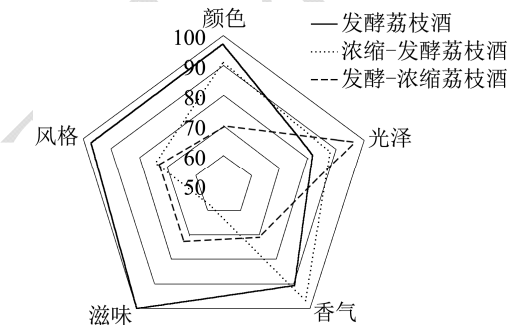


图3 荔枝酒的感官评价结果图

Fig.3 The figure of sensory evaluation of Litchi wine

荔枝酒的感官评价结果如图3所示，其采用模糊综合评判法^[1]，计算得到发酵荔枝酒、发酵-浓缩荔枝酒、浓缩-发酵荔枝酒的总分分别为：73.5、76.05 和 95.7，可知3个酒样的感官品质优劣顺序为：浓缩-发

酵荔枝酒>发酵-浓缩荔枝酒>发酵荔枝酒。发酵荔枝酒的果香清淡、酒体协调、口感一般。发酵-浓缩荔枝酒的香气最好，可能是发酵-浓缩荔枝酒的香气物质得到有效地富集且醇酯比大于浓缩-发酵荔枝酒（表4），而高级醇具有呈香助香的作用，使发酵-浓缩荔枝酒的酒香更突出。但发酵-浓缩荔枝酒的滋味远不如浓缩-发酵荔枝酒，其原因可能是：（1）荔枝酒浓缩之后酸度偏高（表2）；（2）荔枝酒浓缩过程会富集酒中原有的部分不良风味物质，如含硫化合物、杂醇油等进一步富集（如3-甲基丁醇），使得口感尖锐、辛酸，从而降低荔枝酒的品质。结合表2和表3的结果发现：浓缩-发酵荔枝酒干浸出物更多，呈味氨基酸更丰富，酸甜更协调，果香味更加浓郁，酒体更醇厚，故而综合口感最佳。

3 结论

本文对比分析了3种不同工艺(直接发酵、发酵-冷冻浓缩、冷冻浓缩-发酵)生产的荔枝酒品质。发酵荔枝酒的酒精度为8.48%、总酸为4.80 g/L、单宁含量为0.53 g/L、游离氨基酸总量为40.37 mg/L、醇酯比为0.86,果香清淡,酒体协调,口感一般。发酵-浓缩荔枝酒和浓缩-发酵荔枝酒的酒精度为16.10%和16.47%、总酸为9.57 g/L和7.70 g/L、单宁含量为1.02 g/L和1.13 g/L、游离氨基酸总量为105.36 mg/L和493.17 mg/L,均显著高于发酵荔枝酒($p < 0.05$),其中发酵-浓缩荔枝酒的挥发性物质得到有效地保留,醇酯比0.50,酒香增加,但不良风味物质及酸度偏高,口感欠佳,而浓缩-发酵荔枝酒的醇酯比0.26,果香浓郁,口感甜润饱满,酒体醇厚,其综合感官品质最优。综上所述,先冷冻浓缩后发酵的联合工艺可以很好的提高荔枝酒品质。

参考文献

- [1] 秦献泉,李鸿莉,李冬波,等.基于模糊综合评判法的荔枝酒感官评价研究[J].西南农业学报,2016,29(6):1443-1447
QIN Xian-quan, LI Hong-li, LI Dong-bo, et al. Study on *Litchi* wine sensory evaluation based on fuzzy comprehensive evaluation [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(6): 1443-1447
- [2] 沈颖.荔枝酒中主要风味成分的研究[D].广州:仲恺农业工程学院,2013
SHEN Ying. Research on the main flavor components of *Litchi* wine [D]. Guangzhou: Zhong Kai University of Agriculture and Engineering, 2013
- [3] 曾新安,于淑娟,岳强,等.一种冷冻浓缩后超低温发酵荔枝酒的酿造方法:CN,1840635[P]2006-10-04
ZENG Xin-an, YU Shu-juan, YUE Qiang, et al. A method for the brewing of *Litchi* wine after freeze-concentration: CN, 1840635 [P] 2016-10-04
- [4] 钟秋平,方佳.低温发酵荔枝澄清汁酿制优质荔枝酒[J].热带作物学报,2005,26(3):74-78
ZHONG Qiu-ping, FANG Jia. The fermentation of clarified *Litchi* juice in low temperature to produce high quality *Litchi* wine [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2005, 26(3): 74-78
- [5] Wu Y Y, Xing K, Zhang X X, et al. Influence of freeze concentration technique on aromatic and phenolic compounds, color attributes, and sensory properties of cabernet *Sauvignon* wine [J]. Molecules, 2017, 22(6): 899
- [6] Zhang Q, Sun X, Sheng Q, et al. Effect of suspension freeze-concentration technology on the quality of wine [J]. South African Journal of Enology & Viticulture, 2016, 37(1): 39-46
- [7] Miyawaki O, Gunathilake M, Omote C, et al. Progressive freeze-concentration of apple juice and its application to produce a new type apple wine [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 171: 153-158
- [8] 张春娅,张军,王树生,等.葡萄酒两种冷冻浓缩方法比较[J].中外葡萄与葡萄酒,2006,6:4-7
ZAHNG Chun-ya, ZHANG Jun, WANG Shu-sheng, et al. Comparison of two cooling and concentrating methods of wine [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2006, 6: 4-7
- [9] Petzold G, Orellana P, Moreno J, et al. Vacuum-assisted block freeze concentration applied to wine [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 330-335
- [10] 庄明珠.酱油鲜味肽的分离纯化鉴定及呈味特性研究[D].广州:华南理工大学,2015
ZHUANG Ming-zhu. The purification and identification of umami peptides from soy sauce and the study of its taste characteristic [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015
- [11] 赵谋明,蔡宇,曹永,等.10种市售鸡肉香精的挥发性风味化合物分析[J].现代食品科技,2016,32(9):275-286
ZHAO Mou-ming, CAI Yu, CAO Yong, et al. Analysis of volatile flavor compounds in ten commercial chicken flavors [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(9): 275-286
- [12] 卢柯,薛楚然,乔慧,等.不同萃取纤维对荔枝冰酒香气分析[J].食品科学,2014,35(20):224-229
LU Ke, XUE Chu-ran, QIAO Hui, et al. Analysis of aroma composition of litchi ice wine by different extraction fibers [J]. Food Science, 2014, 35(20): 224-229
- [13] QBT 4262-2011,荔枝酒[S]
QBT 4262-2011, *Litchi* wine [S]
- [14] 孙卉卉,马会勤,陈尚武.冰冻浓缩对低糖葡萄汁及葡萄酒品质的影响[J].食品科学,2007,28(5):86-89
SUN Hui-hui, MA Hui-qin, CHEN Shang-wu. Effects on qualities of lower sugar grape must and wine with freeze concentration technology [J]. Food Science, 2007, 28(5): 86-89
- [15] 钟秋平,黄盼盼,赵新河.葡萄冰酒干酵母 R2 发酵冰荔枝酒工艺条件的优化[J].中国酿造,2008,51(4):53-56
ZHONG Qiu-ping, HUANG Pan-pan, ZHAO Xin-he. Optimization on the fermentation conditions of ice *Litchi* wine fermented by dry yeast R2 [J]. China Brewing, 2008, 51(4): 53-56

- [16] 张婷,杨波,罗瑞明,等.苦苦菜发酵过程中氨基酸组成与含量变化对其营养与风味的影响[J].食品工业科技,2015,36(3):367-371
ZHANG Ting, YANG Bo, LUO Rui-ming, et al. Effect of amino acid composition and content on the nutritional value and flavor of dandelion during the fermentation process [J]. Science & Technology of Food Industry, 2015, 36(3): 367-371
- [17] 梁贵秋,吴婧婧,董桂清,等.冷冻浓缩技术对桑果酒发酵的影响[J].食品与发酵科技,2015,51(4):53-56
LIANG Gui-qiu, WU Jing-jing, DONG Gui-qing. Impact of freeze-concentration technology on the mulberry wine fermentation [J]. Food and Fermentation Technology, 2015, 51(4): 53-56
- [18] 沈颖,刘晓艳,白卫东,等.荔枝酒酿造过程中氨基酸的变化[J].食品与发酵工业,2012,38(5):191-196
SHEN Yin, LIU Xiao-yan, BAI Wei-dong, et al. Study on variation of amino acid during brewing process of *Litchi* wine [J]. Food & Fermentation Industries, 2012, 38(5): 191-196
- [19] 盖宝川,籍保平,张泓,等.苹果酒发酵过程中酵母对氨基酸利用的研究[J].食品与发酵工业,2005,31(11):34-38
GAI Bao-chuan, JI Bao-ping, ZHANG Hong, et al. Study on the utilization of amino acids during the cider making [J]. Food & Fermentation Industries, 2005, 31(11): 34-38
- [20] 张斌,曾新安,陈勇,等.高强电场作用下荔枝酒香气成分变化分析[J].食品科学,2007,28(12):386-390
ZHANG Bin, ZENG Xin-An, CHEN Yong, et al. Aroma components analysis of *Litchi* wine treated by electric field [J]. Food Science, 2007, 28(12): 386-390
- [21] Pkc O, Acree T E. Gas chromatography/olfactory analysis of *Lychee* [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1998, 46(6): 2282-2286
- [22] 李晓娟,吴泉琦,叶翌冬,等.发酵杨梅酒陈酿过程中的甲醇及杂醇油变化[J].福建农业学报,2015,30(1):69-74
LI Xiao-juan, WU Xiao-qi, YE Yi-dong, et al. Changes of methanol and fusel oil in fermented red bayberry wine during aging [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2015, 30(1): 69-74
- [23] 胡远芳,杨兴芝,余爱农.醪糟的头香成分研究[J].食品工业科技,2009,30(2):91-93
HU Yuan-fang, YANG Xing-zhi, YU Ai-nong. Study on top note compounds of Lao Zao [J]. Food Industry Technology, 2009, 30(2): 91-93
- [24] Rankine B C. Formation of higher alcohols by wine yeasts, and relationship to taste thresholds [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 18(12): 583-589
- [25] 舒肇甦,覃云飞,肖维强,等.黑叶荔枝鲜果汁与发酵酒液的香气成分及其变化[J].广东农业科学,2008,26(1):67-69
SHU Zhao-su, QIN Yun-fei, XIAO Wei-qiang, et al. Aromatic compounds of fresh juice and fermented wine made of *Litchi* (cv. Heiye) [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2008, 26(1): 67-69
- [26] Saerens SM, Delvaux F, Verstrepen KJ, et al. Parameters affecting ethyl ester production by *saccharomyces cerevisiae* during fermentation [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2008, 74(2): 454-461
- [27] 黄小红,邓开野,缪晓平.荔枝酒酿造过程香气成分变化的研究[J].中国酿造,2011,30(6):187-192
HUANG Xiao-hong, DENG Kai-ye, MIAO Xiao-ping. Changes of aroma components of *Litchi* wine during brewing process [J]. China Brewing, 2011, 30(6): 187-192
- [28] F L Moreno, Quintanilla-Carvajal M X, Sotelo L I, et al. Volatile compounds, sensory quality and ice morphology in falling-film and block freeze concentration of coffee extract [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 166: 64-71
- [29] 门戈阳,钟瑞敏,廖彩虎,等.中试规模局部块冰式冷冻浓缩苹果醋芳香成分的变化[J].现代食品科技,2016,32(11):222-227
MEN Ge-yang, ZHONG Rui-min, LIAO Cai-hu, et al. Changes in aromatic composition of apple vinegar with application of partial block freeze-concentration: A pilot study [J]. Modern Food Science & Technology, 2016, 32(11): 222-227
- [30] 赵芳,曹清明,吴继军,等.荔枝汁结冰-解冻浓缩过程中品质的变化规律[J].食品科技,2012,37(5):46-51
ZHAO Fang, CAO Qing-ming, WU Ji-jun, et al. Influence of ice-thawing concentration treatment on the quality of *Litchi* juice [J]. Food Science & Technology, 2012, 37(5): 46-51