

“几种特殊食品产品开发及安全解决方案” 特约专栏文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.04.008

三白瓜酒发酵及其香气成分分析

李小燕, 陈文波, 钟 鸣, 李 慧, 强婉丽, 张连慧, 张晨悦, 卢 玉

(中粮营养健康研究院, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209)

摘 要: 以山西产三白瓜为主要原料, 使用实验室保藏酿酒酵母 BH8 (编号为 B) 和商业白葡萄酒酿酒酵母 Enarts ES181 (编号为 E) 发酵三白瓜汁并分析发酵酒中的香气成分。研究表明, 两株酵母都表现出了较好的三白瓜酒发酵性能, 发酵至第 6 天时达到发酵终点, 产生的酒精浓度为 5.96% (E), 5.50% (B), 残留葡萄糖含量为 0.37 g/L (B) 和 0.30 g/L (E), 果糖含量为 2.03 g/L (B) 和 1.05 g/L (E), 并伴随着总酸含量的增加。采用顶空固相微萃取气质联用法 (HS-SPME-GC-MS), 在两种三白瓜发酵酒中共检出 47 种香气成分, 主要为酯类和醇类, 酵母 B 在产酯类风味物质方面相对优势更大。感官品评两种三白瓜发酵酒, 酒体协调, 具有浓郁的三白瓜果香。实验所选用的酵母可用于三白瓜酒的发酵, 三白瓜可开发成三白瓜酒。

关键词: 三白瓜; 酵母发酵; 风味物质; HS-SPME-GC-MS; 三白瓜酒

中图分类号: TS261.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)04-0048-06

网络首发时间: 2020-06-17 12:03:08

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200617.1017.005.html>

Fermentation of sanbai melon wine and analysis of its aroma components

LI Xiao-yan, CHEN Wen-bo, ZHONG Ming, LI Hui, QIANG Wan-li,
ZHANG Lian-hui, ZHANG Chen-yue, LU Yu

(Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing Key Laboratory of Nutrition,
Health & Food Safety, Beijing 102209, China)

Abstract: Sanbai melon wine was prepared with the brewing yeast strain BH8 which stored in our laboratory and the commercial strain Enarts ES181, respectively. The aroma components were further analyzed. The results showed that both yeasts trains exhibited good fermentation capacity. With the increase of total acid content, both of the fermented wines reached the end point of fermentation on the 6th day, and the alcohol concentration produced is 5.96% (E) and 5.50% (B), residual glucose content is 0.37 g/L (B) and 0.30 g/L (E), fructose content is 2.03 g/L (B) and 1.05 g/L (E). Yeast strain B had a greater comparative advantage in producing ester flavor substances. Moreover, a total of 47 aroma components, mainly esters and alcohols, were detected in two kinds of fermented wine by Headspace solid phase microextraction GC-MS (HS-SPME-GC-MS). The results of sensory evaluation showed that the two fermented wines were well coordinated and presented a homonious aroma of Sanbai melon. The study results indicated that the yeast strains in the experiment could be used in the brewing of sanbai melon wine, and the sanbai melon could be developed into sanbai melon wine.

收稿日期: 2020-02-25

基金项目: 国家重点研发计划-中澳乳品未来技术联合研究中心 (2016YFE0101200)

作者简介: 李小燕, 女, 1993 年出生, 硕士, 工程师, 研究方向为食品发酵。

通讯作者: 李慧, 女, 1972 年出生, 博士, 高级工程师, 研究方向为粮食发酵和食品安全。

Key words: saibaimelon; yeast fermentation; aroma compound; HS-SPME-GC-MS; sanbai melon wine

三白瓜,原名三白西瓜 (*Citrullus lanatus* cv. Sanbai (*Citrullus lanatus* (Tunb.) Matsum & Nakai cv. Sanbai)) 是中国栽培历史悠久的一种瓜果,属于被子植物亚门、双子叶植物纲、葫芦目、葫芦科、西瓜属^[1-3]。它因白皮、白瓢、白籽而得名“三白瓜”。三白瓜含有丰富的矿物质和多种维生素,成熟果实除含有大量水分外,瓢肉含糖量一般为 5%~12%,包括葡萄糖、果糖和蔗糖。历史资料显示,三白瓜始种于西汉,曾被定为明清两代贡品^[3-4]。目前,三白瓜的种植地主要分布在中国河北省威县、山西省万荣县一带,是当地居民夏末秋初的主要水果。

古医书记载:三白瓜瓢亦称“白虎汤”,能除暑热,治血痢,解酒毒,治口疮;其皮曰“翠衣”,亦有生津解烦之奇效;其籽甘寒,清肺润肠,补中宜人,主治肠痛^[3]。在中医学上瓜汁和瓜皮都能入药。作为地方特色农业产品,三白瓜因具有败火清热解毒的功效得到当地老百姓的认可。另外,三白瓜具有其他西瓜品种无法超越的耐贮性能,最长可以存贮到第二年的清明^[4]。此时,三白瓜甜度会因双糖水解为单糖而降低,内部为蜜汁状,风味更加香甜醇厚。因此,三白瓜具有较高的综合利用和研究开发价值。

目前三白瓜的研究和消费方式主要集中在瓜汁和瓜瓢直接生食或开发成果汁、瓜皮加工制成菜蔬或蜜饯,瓜子榨油等等,但开发成三白瓜发酵酒的研究及产品较少。

本研究拟以山西产三白瓜为原料,同时配合使用部分玉米深加工产品——淀粉糖浆,利用实验室保藏的酿酒酵母和商业酿酒酵母,研究开发三白瓜发酵酒产品,以期扩大三白瓜增值途径,提高三白瓜经济附加值,将我国三白瓜地方资源优势进一步转化为经济优势提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

三白瓜:产地山西

酵母:酿酒酵母 BH8 (*Saccharomyces cerevisia*), 中国农业大学惠赠,由李慧博士从中国科学院植

物所的“北红”酿酒葡萄中分离筛选;EnartsES181 英纳帝斯公司意大利,商业白葡萄酒酿造酵母。为方便说明,将酵母 BH8 和 ES181 重新编号为 B 和 E。

玉米淀粉糖浆、F55 果葡糖浆:中粮生化能源(衡水)有限公司。

1.1.2 培养基

YPD 固体培养基(酵母粉 1%、蛋白胨 2%、葡萄糖 2%、琼脂 2%、酵母粉、蛋白胨、琼脂);北京陆桥技术有限责任公司;10°P 麦汁培养基:实验室制备。

1.1.3 试剂

葡萄糖、果糖、蔗糖:分析纯,上海源叶生物科技有限公司;无水乙醇、氯化钠、浓硫酸、冰醋酸、琥珀酸、乳酸、柠檬酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。果胶酶(XXL,酶活力 1 400 PECTU):诺维信(中国)。

1.2 主要仪器和设备

IPP260 低温培养箱:德国 Memmert 公司;Scan1200 自动菌落计数仪:法国 Interscience 公司;AC2-4S1 生物安全柜:新加坡 ESCO;THZ-98AB 恒温振荡器:上海一恒科学仪器有限公司;SQ510C 立式压力蒸汽灭菌器:日本 YAMATO 公司;LA-20AT 高效液相色谱仪:日本岛津公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头及萃取手柄:美国 Supelco 公司;6890N-5973I 气质联用仪:美国 Agilent 公司;7890B-5977 榨汁机:九阳 JYZ-V911。

1.3 实验方法

1.3.1 酵母活化

从斜面上挑取 1 环酵母菌,接入无菌的 30 mL 麦汁中,28 °C 摇床培养 18 h,转速 150 rpm。

1.3.2 三白瓜汁制备

自来水清洗干净三白瓜后,用生理盐水洗涤 3 遍,再用蒸馏水清洗 3 遍,控干,将三白瓜一分为二,剔除瓜籽,取瓜肉及瓜汁用打浆机破碎,添加 0.03 g/L 的果胶酶和 70 mg/L 的 SO₂,混合均匀 3 h 后,过滤备用。

1.3.3 成分调整

使用玉米淀粉糖浆调糖至 120 g/L,使用柠檬酸调酸至 4.6 g/L;

1.3.4 三白瓜酒酿造

使用灭菌的三角瓶,三角瓶体积/三白瓜汁

的体积为 5/2, 活化菌种接种量为 0.5%, 静止培养, 培养温度为 25 。使用透气封口膜或添加有浓 H₂SO₄ 的发酵栓封口。发酵结束后将发酵上清液转入无菌量筒并添加 30 mg/L 的 SO₂, 4 后发酵。

1.3.5 酵母生长测定

酵母菌液或三白瓜酒发酵液梯度稀释后涂布 YPD 平板, 28 培养 72 h 后计算活菌落数。

1.3.6 葡萄糖、果糖、酒精的检测

按李慧等^[5]的方法, 色谱柱为 Aminex HPX-87H (300 mm×7.8 mm, Bio-Rad; USA)。柱温: 65 ; 流动相为 0.005 mol/L H₂SO₄, 流速为 0.600 mL/min。检测器为示差检测器, 进样量为 20 μL。

1.3.7 CO₂ 失重的测定

接种前、接种后及发酵过程中, 用电子天平称重(精确到 0.01 g)发酵瓶, 称前先摇晃三角瓶, 以赶除二氧化碳。

1.3.8 总酸的测定

按国标 GB/T 15038—2006^[6]指示剂法进行。

1.3.9 总糖的测定

按国标 GB/T 15038—2006^[6]直接滴定法进行。

1.3.10 三白瓜酒香气成分检测

参考 Xiao Z、王松廷等的方法检测三白瓜酒的香气成分^[7-8]。

将固相微萃取头插入气相色谱的进样口中, 270 老化 1 h, 并进行空白实验, 直至无色谱峰出现。将样品装入样品瓶, 装液量为整个样品瓶容积的 1/3~1/2, 并加入 2 g 氯化钠, 将固相微萃取头插入样品瓶中, 45 萃取 45 min, 在温度为 270 的气质联用仪进样口中解吸 5 min, 进样分析。

气相色谱(GC)条件: HP-INNOWAX MS 型色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm); 载气为氦气(He), 流速 1 mL/min; 柱温起始为 50 , 保持 5 min, 以 6 /min 升温至 160 , 保持 3 min, 再以 20 /min 升温至 230 ; 不分流进样。质谱(MS)条件: 电离方式为电子电离(electron ionization, EI)源, 电子能量 70 eV, 发射电流为 200 μA, 离子源温度为 230 , 四级杆 150 ,

全扫描模式, 扫描质量范围 50~550 amu, 无溶剂延迟。

定性分析方法: 经过分析得到的图谱和美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)谱库中的标准图谱进行对比, 保留下匹配度>80%的组分。

定量分析方法: 采用峰面积归一化法计算各组分的相对含量, 进行定量分析

1.3.11 数据处理

所有的实验进行 3 次, 使用 Excel 2016 软件进行数据分析, 数据为平均值±sd, 使用软件 OriginPro 2016 绘图。

2 结果与分析

2.1 三白瓜酒的发酵速率及酵母生长曲线

发酵酒酿造过程中, 酵母菌除了利用糖进行生长繁殖外, 还通过胞内酶的作用把可发酵性糖转化成酒精等物质^[9]。酵母发酵速率及糖的转化率是评价发酵酒主发酵进程及发酵产品综合品质^[10]的主要参数。

三白瓜酒发酵过程中 CO₂ 失重及酵母生长动态变化见图 1,

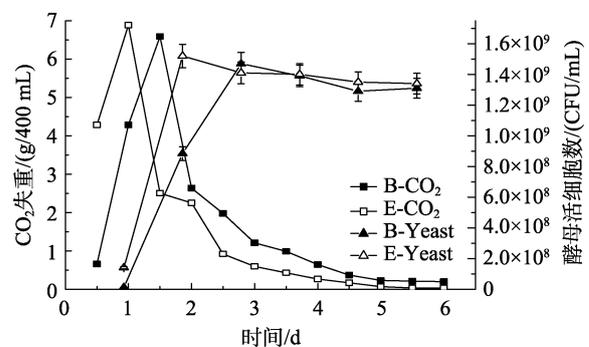


图 1 酵母菌株 B 和 E 在三白瓜汁中发酵 CO₂ 失重及酵母生长动态曲线

注: 图中数据为平均值±sd (n=3)

如图 1 所示, 当发酵进行到第 2 d 和第 3 d 时, 商业酵母 E 和实验室保藏酵母 B 分别开始进入稳定期, 酵母数为 1.52×10⁹ CFU/mL (E) 和 1.47×10⁹ CFU/mL (B)。CO₂ 失重分别在第 1.0 d (E) 和第 1.5 d (B) 达到最大值, 发酵至第 6 d 后, CO₂ 失重稳定在 0.2 g/400 mL 以下, 基本达到发酵终点。结果显示, 实验室保藏酵母和商业酵母在三白瓜汁中都表现出了较好的发酵性能,

本研究所选用的两株酵母可以用于三白瓜酒的发酵。

2.2 三白瓜酒发酵过程糖消耗及酒精产生的变化

三白瓜酒发酵过程中糖及酒精动态变化见图 2。

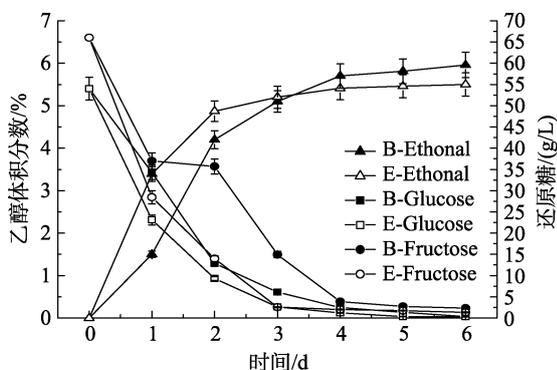


图 2 酵母菌株 B 和 E 在三白瓜汁中发酵糖消耗及酒精产生动态曲线

注：图中数据为平均值±sd (n=3)

如图 2 所示,当发酵进行到第 2 d 和第 3 d 时,商业酵母 E 和 B 的糖消耗速率和酒精生成速率加快,发酵至第 6 d 时,发酵液中的葡萄糖含量为 0.37 g/L (B) 和 0.3 g/L (E),果糖含量为 2.03 g/L (B) 和 1.05 g/L (E),未检出蔗糖。两种酵母发酵的三白瓜酒总糖含量低于 4 g/L,满足干型果酒标准要求 (NY/T 1508—2017)^[11]及干型葡萄酒标准要求 (GB 15037—2006)^[12]。发酵至第 6 d 时,发酵基本结束,最终产生的酒精浓度为 5.96% (E), 5.5% (B)。结果显示,成分调整后的三白瓜汁适于酵母发酵酿造三白瓜酒。

2.3 三白瓜酒酸度及有机酸的含量

酸度对发酵酒品质有直接影响,合适的酸度及不同的有机酸含量对酒体平衡以及滋味起着重要作用^[13]。三白瓜酒酸度 (酒石酸计) 及有机酸的含量见表 1。

表 1 三白瓜酒酸度及有机酸的含量

	酸度/ (g/L)	pH	琥珀酸/ (g/L)	乳酸/ (g/L)	乙酸/ (g/L)
B 酵母	5.06±0.15	3.61±0.05	0.19±0.07	0.63±0.04	0.50±0.03
E 酵母	5.30±0.19	3.51±0.09	0.20±0.02	0.76±0.03	0.72±0.02

如表 1 所示,发酵结束后,三白瓜酒酸度为 5.06 g/L (B), 5.30 g/L (E)。同时三白瓜酒酿造过程中会产生少量琥珀酸、乳酸和乙酸。琥珀酸浓度分别为 0.19 g/L (B), 0.20 g/L (E), 乳酸浓度分别为 0.63 g/L (B) 和 0.76 g/L (E)。两种酵母发酵的三白瓜酒中乙酸的含量都低于果酒标准要求 (NY/T 1508—2017)^[11]及葡萄酒标准要求 (GB 15037—2006)^[12]。琥珀酸、乳酸和乙酸不存在于三白瓜中,是酵母在生长和发酵过程中的代谢产物^[14]。两种酵母发酵的三白瓜酒中都检出了琥珀酸、乳酸和乙酸,虽然含量不高,但对酒的酸味和酒体的稳定性有重要影响^[15]。

2.4 三白瓜酒香气成分检测

发酵酒酿造过程中,酵母可将原料中原有的成分转化入酒体中,同时生成新的物质,形成不同发酵酒的独特风味^[16]。两种三白瓜酒的香气成分分析结果见表 2。

表 2 三白瓜酒香气成分分析

编号	RT/min	化合物名称	相对质量分数/%	
			B 酵母	E 酵母
醇类				
1	6.451	乙醇	27.36	30.95
2	9.323	异丁醇	0.56	1.3
3	12.089	(±)-2-甲基-1-丁醇	2.19	4.19
4	12.202	异戊醇	7	8.11
5	19.402	(S)-(+)-2-辛醇	0.23	
6	26.209	苯乙醇	3.79	5.63
7	27.901	橙花叔醇	0.71	1.12
8	31.456	3,7,11-三甲基-6,10-十二碳二烯-1-醇	0.74	1.23
9	32.792	反式-金合欢醇		0.44
		种类小计	8	8
		相对含量小计	42.58	52.97
酯类				
10	9.525	乙酸异戊酯	1.76	

续表 2

编号	RT/min	化合物名称	相对质量分数/%	
			B 酵母	E 酵母
11	11.828	己酸乙酯	1.12	0.35
12	16.493	辛酸乙酯	7.54	4.1
13	18.66	壬酸乙酯	0.48	0.62
14	20.785	癸酸乙酯	3.26	5.24
15	21.271	辛酸异戊酯	0.79	
16	21.823	乙基 9-癸烯酸酯	11.57	5.63
17	24.316	乙酸苯乙酯	1.71	0.86
18	24.595	月桂酸乙酯	1.94	3.74
19	24.969	癸酸异戊酯	0.24	0.62
20	25.319	反油酸乙酯		0.24
21	28.014	2-甲基肉豆蔻酸甲酯		0.86
22	28.014	十四酸乙酯	0.58	
23	31.124	棕榈酸乙酯	2.02	0.82
24	33.284	异戊酸苯乙酯	0.22	
25	34.181	硬脂酸乙酯	0.28	
		种类小计	14	11
		相对含量小计	33.51	23.08
脂肪酸类				
26	17.568	乙酸	0.17	0.31
27	25.195	己酸		0.26
28	28.495	辛酸	5.67	
29	30.34	壬酸	0.2	
30	31.854	癸酸	1.58	0.36
		种类小计	4	3
		相对含量小计	7.62	0.93
烯炔类				
31	12.392	环辛四烯	0.2	0.27
32	21.188	(E)-beta-金合欢烯	0.51	0.42
33	22.084	(+)-喇叭烯	0.27	0.79
34	22.47	(S)-1-甲基-4-(5-甲基-1-亚甲基-4-己烯基)环己烯		0.32
35	22.725	3,7,11-三甲基-1,3,6,10-十二碳-四烯	0.24	
36	25.206	Alpha-姜黄烯		0.23
37	31.171	乙基-四甲基环戊二烯		0.92
		种类小计	4	6
		相对含量小计	1.22	2.95
其他类				
38	24.156	1,3,3-三甲基-1,2-二氢茛	0.92	1.31
39	22.322	(1S-外)-2-甲基-3-亚甲基-2-(4-甲基-3-戊烯基)双环[2.2.1]庚烷		0.9
40	26.073	(1S)-1,2-二氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)-萜	4.6	6.49
41	27.551	愈创兰油烃		0.4
42	30.435	4-异丙基联苯	0.35	
43	30.441	二对甲基苯甲烷		0.79
44	30.661	2-甲氧基-4-乙烯苯酚		0.31
45	31.035	卡达萜	7.63	8.53
46	31.99	2,4-二叔丁基苯酚	0.78	1.23
47	33.931	愈创兰油烃	0.29	0.62
		种类小计	6	9
		相对含量小计	14.57	20.58

如表 2 所示, 两种三白瓜酒中共鉴定出 47 种香气成分。实验室保藏酵母 B 发酵酒中检测出 36 种, 其中酯类 14 种, 占 33.51%; 醇 9 种, 占 42.58%;

酸 3 种, 占 7.62%。商业酵母 E 发酵酒中检测出 37 种, 其中酯类 11 种, 占 23.08%; 醇 8 种, 占 52.97%; 酸三种, 占 0.93%。

酯类物质是通过酸和醇酯化反应或者酵母代谢产生的,不同的酵母菌株细胞内具有不同的酯酰辅酶 A 的活性^[17]。辛酸乙酯、月桂酸乙酯和乙酸异戊酯赋予酒体水果香气,癸酸乙酯具有椰子香气。酵母 B 发酵酒中这 4 种酯类物质相对含量为 7.54%、1.94%、1.76%和 3.26%,酵母 E 发酵酒为 4.10%、3.74 %、0%和 5.24%。因此,两种酵母都可在三白瓜酒酿造过程中形成风味较好的酯类化合物,酵母 B 在产酯类风味物质方面相对优势更大。

两种发酵酒中的醇类物质主要是乙醇,另外还检测出异丁醇、异戊醇、苯乙醇和橙花叔醇和(±)-2-甲基-1-丁醇。苯乙醇和橙花叔醇可赋予酒愉快的花香味,酵母 B 发酵酒中苯乙醇和橙花叔醇的相对百分含量分别为 3.79%和 0.71%,酵母 E 发酵酒中为 5.63%和 1.12%。

两种发酵酒中均检出了乙酸、癸酸两种酸,相对含量分别为 0.17%和 1.58% (B), 0.31%和 0.36% (E)。乙酸有强烈的酸味,癸酸具有愉快的脂肪气味,它们在酒精饮料中的含量主要取决于所应用的菌株^[18]。酵母 B 发酵酒中还检测出了具有水果香味的辛酸,相对含量为 5.67%,这些有机酸对三白瓜酒的风味有积极的贡献。

色、香、味是构成发酵酒的三要素,香气成分的分子种类、含量、相互之间的比例及人们的感知阈值决定了发酵酒的香味^[19]。发酵酒发酵过程中,由于酵母菌株本身之间存在的差异,也将使发酵酒风味物质含量有所差异。香气成分分析发现本研究使用酵母 B 发酵酒醇酯比为 1.27,酵母 E 发酵酒醇酯比为 2.30,感官品评两种发酵酒,虽有差异,但都具有典型的三白瓜风味,酒体相对协调。

3 结论

本研究以山西产三白瓜为主要原料,利用实验室保藏的酿酒酵母和商业酿酒酵母,研究三白瓜发酵酒酿造工艺,测定了三白瓜酒酿造过程中的理化指标并分析了三白瓜酒中的香气成分。实验结果表明,两种酵母酿造的三白瓜酒,虽然香气成分有差异,但两种酵母都可以充分将三白瓜中的糖分转化为酒精,代谢产生少量发酵酸。感官品评三白瓜发酵酒,酒体较协调并具有浓郁的

三白瓜果香。本研究所选用的酵母可用于三白瓜果酒的酿造,配合使用部分玉米深加工产品——淀粉糖浆,可开发低酒精度的三白瓜发酵酒饮料,丰富三白瓜产品,提高三白瓜应用开发价值。

参考文献:

- [1] WANG F, XI Y, LIU W, et al. Sanbai melon seed oil exerts its protective effects in a diabetes mellitus model via the Akt/GSK-3beta/Nrf2 pathway[J]. *J Diabetes Res*, 2019: 5734723.
- [2] WANG F, LI H, ZHAO H, et al. Antidiabetic activity and chemical composition of sanbai melon seed oil[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2018: 5434156.
- [3] 黄晨, 刘文智, 李薇, 等. 威县三白西瓜产业发展现状及对策[J]. *河北农业*, 8: 42-44.
- [4] 王运飞. 运城市三白瓜产业发展现状及对策研究[D]. 山西农业大学, 2015.
- [5] 李慧, 王惠玲, 吴雅琨, 等. 天然葡萄酒酵母菌种的分离、鉴定和酿造性能评价[J]. *食品与发酵工业*, 2010, 36(11): 14-20.
- [6] 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S].
- [7] XIAO Z, ZHOU X, NIU Y, et al. Optimization and application of headspace-solid-phase micro-extraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry for the determination of volatile compounds in cherry wines[J]. *Journal of Chromatography B*, 2015, 978-979: 122-130.
- [8] 王松廷, 杨生玉, 张彭湃. GC-MS 法分析西瓜精酿啤酒中的风味物质[J]. *中国酿造*, 2016(10): 171-174.
- [9] 李红, FARKAS G, SZILARD K, 等. 啤酒麦汁的糖组成及啤酒酵母糖代谢的特征[J]. *酿酒科技*, 2015(6): 23-26.
- [10] DAVID A M, ERIC A J, LUCA C. Yeast diversity and persistence in botrytis-affected wine fermentations[J]. *Applied & Environmental Microbiology*, 2002, 68(10): 4884-4893.
- [11] 绿色食品果酒: NY/T 1508—2017[S].
- [12] 葡萄酒: GB 15037—2006[S].
- [13] 马丽娜, 袁源, 林丽静, 等. 不同酿酒酵母在菠萝果酒中的发酵特性[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(3): 12-16+21.
- [14] YE M, YUE T, YUAN Y. Evolution of polyphenols and organic acids during the fermentation of apple cider[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(14): 2951-2957.
- [15] 杨春霞, 苟春林, 单巧玲. 葡萄酒酿造过程中有机酸变化规律研究[J]. *中国酿造*, 2017, 36(4): 83-86.
- [16] 杜刚, 黄卫东. 在葡萄酒发酵过程中, 发酵温度和发酵培养基对甘油和乙醇代谢的影响[C]// 2012.
- [17] VALERO E, MOYANO L, MILLAN M C, et al. Higher alcohols and esters production by *Saccharomyces cerevisiae*. Influence of the initial oxygenation of the grape must[J]. *Food Chemistry*, 2002, 78(1): 57-61.
- [18] SATORA P, TADEUSZ T. Influence of indigenous yeasts on the fermentation and volatile profile of plum brandies[J]. *Food Microbiology*, 2010, 27(3): 418-424.
- [19] 杨新, 卢红梅, 杨双全, 等. 桑葚及桑葚果酒的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 261-266. 完