

两种发酵方式柑橘果醋品质特性的比较

杨宇驰¹, 杨馨悦¹, 周秀娟², 薛桂新^{1*}

(1. 延边大学 农学院, 吉林 延吉 133000; 2. 吉林省产品质量监督检验院, 吉林 长春 130000)

摘要:以柑橘为原料,在单因素试验的基础上通过正交试验对柑橘果醋一次发酵法发酵条件进行优化,并对一次发酵法与二次发酵法制备的柑橘果醋的品质特性进行比较。结果表明,柑橘果醋一次发酵法最优发酵条件为酒精度6.0%vol、柑橘果汁含量为50%、发酵温度34℃,在此优化条件下,柑橘果醋中总酸含量为6.0%,酒精转化率为96.31%,分别比优化前提高了0.27%、5.24%。一次发酵法和二次发酵法制备的柑橘果醋中最高总酸含量无显著差异($P>0.05$),但一次发酵法的启动时间比二次发酵法延迟48 h,整个发酵时间延迟了24 h。以柑橘果汁为参比,一次发酵法与二次发酵法制备的柑橘果醋相比,黄色度(b^* 值)、透光率、嗅觉成分、味觉中的鲜味和丰富度更相近于柑橘果汁。

关键词:一次发酵;二次发酵;条件优化;柑橘果醋;品质特性

中图分类号:TS275.4

文章编号:0254-5071(2020)09-0152-05

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2020.09.029

引文格式:杨宇驰,杨馨悦,周秀娟,等.两种发酵方式柑橘果醋品质特性的比较[J].中国酿造,2020,39(9):152-156.

Comparative of quality characteristics of *Citrus* fruit vinegar prepared by two fermentation methods

YANG Yuchi¹, YANG Xinyue¹, ZHOU Xiujuan², XUE Guixin^{1*}

(1. College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133000, China;

2. Jilin Provincial Product Quality Supervision and Inspection Institute, Changchun 130000, China)

Abstract: Using *Citrus* as raw material, the fermentation conditions of *Citrus* fruit vinegar prepared by primary fermentation method were optimized by orthogonal tests based on single factor tests, and the quality characteristics of *Citrus* fruit vinegar prepared by primary fermentation and the secondary fermentation method were compared. The results showed that the optimal fermentation conditions of *Citrus* fruit vinegar by primary fermentation method were alcohol content 6.0%vol, *Citrus* juice content 50%, and fermentation temperature 34℃. Under these optimized conditions, the total acid content of *Citrus* fruit vinegar was 6.0%, and the alcohol conversion rate was 96.31%, which were 0.27%, 5.24% higher than those before optimization, respectively. There was no significant difference in the highest total acid content of *Citrus* vinegar prepared by primary fermentation and secondary fermentation method ($P>0.05$). But the start-up time of primary fermentation method was delayed by about 48 h compared with secondary fermentation method, and the entire fermentation time was delayed by 24 h. Using *Citrus* juice as a reference, the yellowness (b^* value), light transmittance, olfactory components, umami and richness of the taste of the *Citrus* vinegar prepared by primary fermentation method were more similar to *Citrus* juice compared with secondary fermentation method.

Key words: primary fermentation; secondary fermentation; condition optimization; *Citrus* fruit vinegar; quality characteristics

柑橘 (*Citrus reticulata*) 常温贮藏期较短^[1], 季节性收获时易造成大量堆积腐烂现象, 影响果农经济收入以及当地的经济的发展^[2]。柑橘含水量较高, 适合加工成饮料^[3]、果酒和果醋等液体产品。柑橘加工成果酒产品, 柠檬苦素等会导致果酒味苦。若先加工成果酒再加工成果醋, 在醋酸发酵过程中柠檬苦素等会逐渐减少或消失, 果醋品质较好^[4-5]。因此, 柑橘加工成果醋更适合, 既能增加农民收入, 缓解滞销, 降低损失, 还能增加果醋新品种, 提高附加值, 这对提高柑橘综合利用, 推动果醋产业化发展都具有重要意义。

果醋液态发酵法分一次发酵法和二次发酵法。一次发酵法是用新鲜的果汁与食用酒精相融合发酵制成果醋,

而二次发酵法是果汁先酿成果酒然后再发酵成果醋^[6]。一次发酵法与二次发酵法相比制作工艺少了果酒酿造过程, 节省了一定的成本, 果醋品质也更柔和。近年来, 从果醋品种看, 国内外学者已对葡萄^[7]、苹果^[8-9]、桑葚^[10]、火龙果^[11-12]、山枣果醋^[13-14]及其果醋饮料进行了研究, 但对柑橘果醋研究得较少^[15-16]。从研究内容看, 主要集中于果醋发酵条件^[17]、发酵基质^[18-19]及醋酸菌筛选, 且果醋的发酵方式多偏向于二次发酵, 对果醋的一次发酵法研究得较少。

本研究对一次发酵法制备柑橘果醋的发酵条件进行优化, 并对一次发酵和二次发酵柑橘果醋的品质特性进行对比, 为一次发酵法柑橘果醋的酿造提供技术依据。

收稿日期: 2020-06-16

修回日期: 2020-07-12

基金项目: 柑橘醋产业化关键技术研究(2018222409000036)

作者简介: 杨宇驰(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工。

*通讯作者: 薛桂新(1964-), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为农产品加工。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

柑橘:市售;柑橘果酒(酒精度为12%vol,总糖含量1.0 g/100 mL, pH值为3.4);实验室自酿;沪酿1.01醋酸菌:上海酿造科学研究所;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*):意大利AEB公司;白砂糖(食品级):广东大华糖业有限公司;95%食用酒精:牡丹江白酒厂;氢氧化钠、酚酞、葡萄糖(均为分析纯):天津科密欧化学试剂有限公司。

醋酸菌活化培养基^[20]:酵母浸膏1 g、葡萄糖0.1 g、食用酒精4 g、蒸馏水100 mL, 121 °C高压蒸汽灭菌30 min。

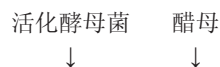
1.2 仪器与设备

WY-055型手持糖度仪:长春市第四光学仪器厂;SW-CJ型净化工作台:上海新苗医疗器械制造有限公司;CM-5型色差仪:北京柯尼卡美能达投资有限公司;UV1101型紫外分光光度计:上海新茂仪器有限公司;PEN3型电子鼻仪器:德国AIRSENSE公司;SA204B型味觉传感系统:日本Insent公司。

1.3 实验方法

1.3.1 两种发酵方式制备柑橘果醋发酵工艺及操作要点

(1) 柑橘果醋二次发酵法发酵工艺



柑橘→去皮→榨汁→过滤→调糖→酒精发酵→醋酸发酵→柑橘果醋→杀菌→贮存

操作要点:

柑橘:选择无霉烂、成熟适度的果实。

去皮、榨汁、过滤:柑橘去皮后将果肉榨汁,待榨汁完全,用120目的滤布过滤。

调糖:在柑橘果汁中添加白砂糖,调整糖度为20 °Bx。

活化酵母菌:35~38 °C无菌蒸馏水中加入10%干酵母和0.2%白砂糖,充分搅拌,确保酵母完全溶解,盖上保鲜膜在35~38 °C条件下水浴活化20~30 min。

酒精发酵:在无菌条件下,柑橘果汁中加入0.02%活化后的酵母,然后室温(20~24 °C)条件下密封发酵至酒精度为12%vol。

醋母培养:无菌环境中将醋酸菌接入醋酸菌活化培养基,在30 °C条件下进行恒温培养至醋酸菌菌落数>10⁸ CFU/mL。

醋酸发酵:按10%(V/V)的接种量将醋母接种至酒精度为6%vol的柑橘果酒中,32 °C条件下进行发酵,每隔12 h取样进行酸碱滴定,两次测定醋酸含量不再增加时结束发酵。

柑橘果醋杀菌:70 °C条件下杀菌30 min,常温下贮存。

贮存:在无菌的条件下进行灌装贮存。

(2) 柑橘果醋一次发酵法发酵工艺



柑橘→去皮→榨汁→杀菌→醋酸发酵→柑橘果醋→杀菌→贮存

操作要点:

柑橘果汁杀菌:90 °C条件下恒温杀菌30 min。

醋酸发酵:按10%(V/V)的接种量将醋母接种至初始酒精度为6%vol、柑橘果汁含量为50%(蒸馏水稀释柑橘原果汁至50%)的发酵基质中,32 °C条件下恒温发酵。每隔12 h取样进行酸碱滴定,两次测定醋酸含量不再增加时结束发酵。

其他操作要点同二次发酵工艺。

1.3.2 柑橘果醋一次发酵法发酵工艺优化

(1) 单因素试验

采用单因素轮换法依次考察初始酒精度(4%vol、5%vol、6%vol、7%vol)、柑橘果汁含量(25%、50%、75%)及发酵温度(30 °C、32 °C、34 °C)3个因素对柑橘果醋中总酸含量及酒精转化率的影响。酒精转化率计算公式^[21]如下:

$$\text{酒精转化率} = \frac{W_1}{W_2 \times 1.304} \times 100\%$$

式中:W₁为柑橘果醋发酵过程中最高总酸含量,%;W₂为柑橘果酒中的酒精含量,%;1.304为转换系数。

(2) 正交试验

在单因素试验的基础上,以总酸含量(Y₁)及酒精转化率(Y₂)为评价指标,选择酒精度(A)、柑橘果汁含量(B)、发酵温度(C)进行3因素3水平的正交试验,试验因素与水平见表1。

表1 柑橘果醋一次发酵法发酵工艺优化正交试验因素与水平
Table 1 Factors and levels of orthogonal tests for *Citrus* fruit vinegar fermentation process optimization by primary fermentation method

水平	A 酒精度/%vol	B 柑橘果汁含量/%	C 发酵温度/°C
1	5	25	30
2	6	50	32
3	7	75	34

1.3.3 一次发酵和二次发酵柑橘果醋品质特性的比较

(1) 总酸含量的比较

采用最优一次发酵法和二次发酵法制备柑橘果醋,发酵过程中每隔12 h取样测定总酸含量,对两种发酵工艺柑橘果醋中总酸含量的变化进行比较。

(2) 感官特性的比较

以柑橘果汁为参比,参照SCHREYER S K等^[22]的方法测定其L*值(明亮度)、a*值(红色度)、b*值(黄色度);参照李明泽等^[23]的方法测定其透光率;参考董画等^[24]的方法进行电子鼻嗅觉成分分析;参考李腾宇^[25]的方法进行电子舌味觉成分的分析。

1.3.4 数据分析

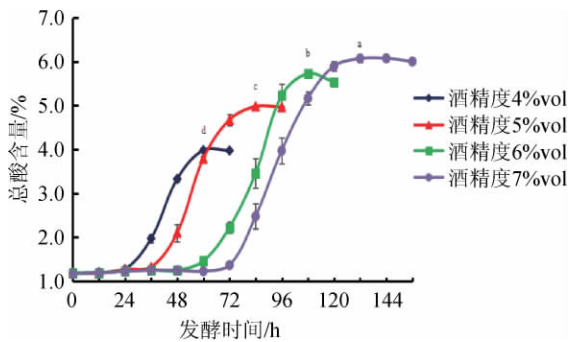
采用Excel 2013和SPSS 22.0统计软件分析数据和绘图。

2 结果与分析

2.1 柑橘果醋一次发酵法发酵工艺优化单因素试验

2.1.1 酒精度对柑橘果醋中总酸含量的影响

酒精度对柑橘果醋中总酸含量的影响见图1。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图1 酒精度对一次发酵法柑橘果醋中总酸含量的影响

Fig. 1 Effect of alcohol content on total acid contents in *Citrus* fruit vinegar prepared by primary fermentation method

由图1可知,发酵基质中酒精度不同,发酵启动时间和结束时间、总酸含量均不同。随着酒精度的增加,发酵启动时间和结束时间延迟,这可能由于较高酒精度对醋酸菌活性具有抑制作用^[26]。随着酒精度的增加,最高总酸含量呈增加的趋势,这是因为酒精是醋酸发酵的底物,在一定范围内底物充足,醋酸含量高。当酒精度为4%vol、5%vol、6%vol、7%vol时,最高总酸含量分别为3.98%、4.98%、5.73%、6.07%,且均具有显著性差异 ($P < 0.05$),酒精转化率分别为95.30%、95.15%、91.07%、83.22%。基于总酸含量和酒精转化率两方面考虑,确定最优的酒精度为6%vol。

2.1.2 柑橘果汁含量对柑橘果醋中总酸含量的影响

柑橘果汁含量对柑橘果醋中总酸含量的影响见图2。

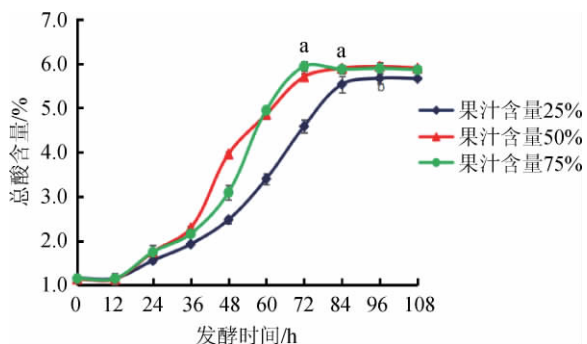


图2 柑橘汁含量对一次发酵法柑橘果醋中总酸含量的影响

Fig. 2 Effect of *Citrus* juice content on total acid contents in *Citrus* fruit vinegar prepared by primary fermentation method

由图2可知,当柑橘果汁含量为25%时,发酵结束时柑橘果醋中总酸含量显著低于柑橘果汁含量为50%和75%

的柑橘果醋 ($P < 0.05$),而柑橘果汁含量为50%和75%时,柑橘果醋中总酸含量无显著差异 ($P > 0.05$),说明发酵基质中柑橘果汁含量增高到一定范围对柑橘果醋总酸含量影响不大。柑橘果汁含量为25%、50%、75%时,柑橘果醋中酒精转化率分别为90.23%、94.45%、94.51%,50%和75%的酒精转化率无显著性差异 ($P > 0.05$),但均与果汁含量25%的酒精转化率存在显著性差异 ($P < 0.05$)。由此可知,确定最优的柑橘果汁含量为50%。

2.1.3 发酵温度对柑橘果醋中总酸含量的影响

发酵温度对柑橘果醋中总酸含量的影响见图3。

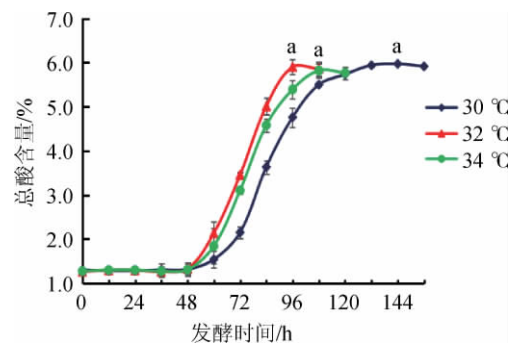


图3 发酵温度对一次发酵法柑橘果醋总酸含量变化

Fig. 3 Effect of fermentation temperature on total acid contents of *Citrus* fruit vinegar prepared by primary fermentation method

由图3可知,随着发酵温度的升高,总酸含量无显著差异 ($P > 0.05$),发酵温度为30°C、32°C、34°C时,柑橘果醋中酒精转化率分别为95%、93.9%、92.58%,也无显著差异 ($P > 0.05$),但发酵结束时间有差异,32°C时发酵时间最短,30°C时发酵时间最长。由此可知,确定最优发酵温度为32°C。

2.2 柑橘果醋一次发酵法发酵工艺优化正交试验

在单因素试验的基础上,以总酸含量 (Y_1) 及酒精转化率 (Y_2) 为评价指标,其中总酸含量为主要评价指标,选择酒精度 (A)、柑橘果汁含量 (B)、发酵温度 (C) 进行3因素3水平的正交试验,试验设计与结果见表2,以总酸含量为评价指标正交试验的方差分析见表3。

由表2可知,9号试验组柑橘果醋总酸含量最高为6.6%,柑橘果醋的总酸含量的最佳优化组合为 $A_3B_3C_2$,即酒精度为7%vol、柑橘果汁含量为75%、发酵温度为32°C,与极差分析结果一致。但是,总酸含量 $> 6.0\%$ 的试验号为5、7、9号,酒精转化率 $> 96\%$ 的试验号为1、3、4、5号,从总酸含量和转化率考虑,确定5号试验组即 $A_2B_2C_3$ 为优化组合,即酒精度6%vol、柑橘果汁含量为50%、发酵温度34°C,在此最优条件下,柑橘果醋中总酸含量为6.0%,酒精转化率为96.31%。

表2 柑橘果醋一次发酵法发酵工艺优化正交试验结果与分析
Table 2 Results and analysis of orthogonal tests for *Citrus* fruit vinegar fermentation process optimization by primary fermentation method

试验号	A 酒精度	B 柑橘汁含量	C 发酵温度	Y ₁ 总酸含量/%	Y ₂ 酒精转化率/%
1	1	1	1	4.992±0.007	96.20±0.009
2	1	2	2	4.929±0.017	94.98±0.010
3	1	3	3	4.985±0.024	96.07±0.011
4	2	1	2	5.994±0.010	96.21±0.030
5	2	2	3	6.000±0.064	96.31±0.008
6	2	3	1	5.868±0.026	94.19±0.023
7	3	1	3	6.010±0.029	82.45±0.025
8	3	2	1	5.310±0.017	72.85±0.014
9	3	3	2	6.600±0.012	90.55±0.023
k ₁	4.969	5.665	5.390		
k ₂	5.954	5.413	5.841		
k ₃	5.973	5.818	5.665		
R	1.004	0.405	0.451		

表3 以总酸含量为评价指标的正交试验结果方差分析
Table 3 Variance analysis of orthogonal tests results using total acid content as evaluation index

因素	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
A	5.924	2	2.971	69.028	0.000	**
B	0.752	2	0.376	8.735	0.002	**
C	0.930	2	0.465	10.804	0.001	**

注：“**”表示对结果影响极显著(P<0.01)。

由表3可知,3个因素对一次发酵法制备的柑橘果醋的总酸含量影响均为极显著(P<0.01),其中酒精度影响最大,其次是发酵温度,最后是柑橘果汁含量,这与表2极差分析结果一致。

2.3 两种发酵方式柑橘果醋品质特性比较

2.3.1 两种发酵方式柑橘果醋发酵过程中总酸含量变化的比较

两种发酵方式制备的柑橘果醋发酵过程中总酸含量的变化见图4。

由图4可知,一次发酵法和二次发酵法对柑橘果醋最高总酸含量无显著影响(P>0.05),但对发酵启动时间和整个发酵时间有影响,一次发酵法的启动时间比二次发酵法延迟了48 h、整个发酵时间延迟了24 h,这是因为一次发酵法是酒精直接加入果汁中,酒精和果汁需要一段融合适应过程^[2]。一次发酵法发酵一旦启动,总酸增加很快,达到最高值后下降趋势也较快,出现醋酸过氧化现象比二次发酵法快,其结束时间需要人为及时控制。

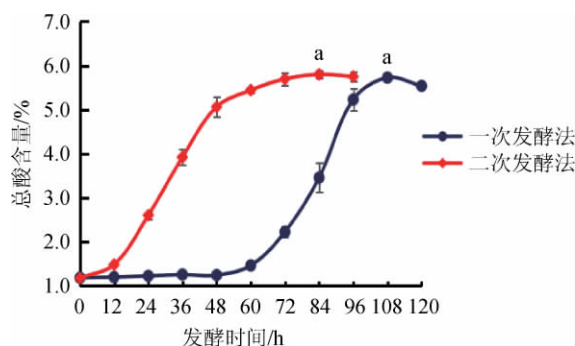


图4 两种发酵方式柑橘果醋总酸含量变化
Fig. 4 Changes of total acid contents of *Citrus* fruit vinegar prepared by two fermentation methods

2.3.2 两种发酵方式柑橘果醋色度和透光率的比较

以柑橘果汁为参比,两种发酵方式制备的柑橘果醋的色度及透光率见表4。

表4 两种发酵方式柑橘果醋、果汁的L*值、a*值、b*值和透光率
Table 4 L*, a*, b* value and light transmittance of *Citrus* fruit vinegar prepared by two fermentation methods and juice

种类	L*值	a*值	b*值	透光率/%
柑橘果汁	83.92±0.11 ^c	2.77±0.02 ^a	35.94±0.24 ^a	74.37±0.004 ^c
一次发酵柑橘果醋	89.04±0.13 ^b	-1.01±0.01 ^b	30.13±0.10 ^b	76.07±0.001 ^b
二次发酵柑橘果醋	91.38±0.05 ^a	-1.76±0.00 ^c	23.54±0.05 ^c	87.30±0.004 ^a

由表4可知,一次发酵法和二次发酵法制备的柑橘果醋的L*值、a*值、b*值和透光率均存在显著差异(P<0.05),L*值及透光率均显著高于柑橘果汁(P<0.05),a*值、b*值均显著低于柑橘果汁(P<0.05)。以柑橘果汁为参比,一次发酵法制备的柑橘果醋的黄色度(b*值)和透光率与柑橘果汁更相近。

2.3.3 两种发酵方式柑橘果醋嗅觉成分的比较

柑橘果汁、两种发酵方式柑橘果醋的电子鼻主成分分析(principal component analysis, PCA)结果见图5。

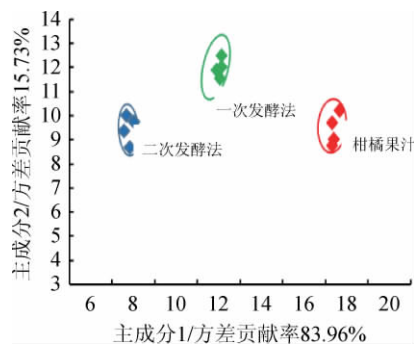


图5 柑橘果汁及两种发酵方式制备的柑橘果醋的电子鼻主成分分析结果
Fig. 5 Principal component analysis results of *Citrus* juice and *Citrus* fruit vinegar prepared by two fermentation methods using electronic nose

由图5可知,PC1和PC2累计方差贡献率为99.69%,保留了几乎所有的原始信息。一次发酵法和二次发酵法制备的柑橘果醋、柑橘果汁样品在PC1轴距离较远,能很好区分开,在PC2轴距离较近,差异不大,可见样品嗅觉成分有差异,并且差异主要体现在第一主成分上。由图5亦可知,一次发酵法制备的柑橘果醋在PC1轴与果汁的距离较近,说明一次发酵法制备的柑橘果醋比二次发酵法果醋更接近于柑橘果汁的气味。

2.3.4 两种发酵方式柑橘果醋味觉成分的比较

电子舌有五个传感器,可检测出咸味、酸味、苦味、鲜味、涩味五种基本味觉感官指标及鲜味(丰富度)、苦味(回味-A)、涩味(回味-B)三种回味。两种发酵方式柑橘果醋、柑橘果汁味觉分析的雷达图见图6。

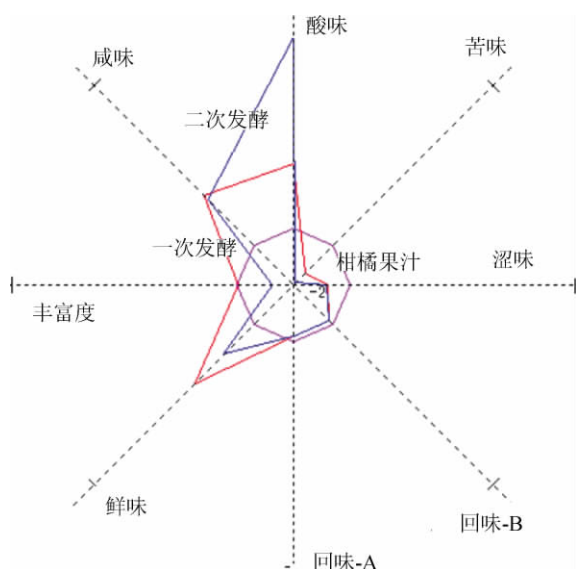


图6 柑橘果汁及两种发酵方式制备的柑橘果醋的味觉雷达图
Fig. 6 Tasteradar chart of Citrus juice and Citrus fruit vinegar prepared by two fermentation methods

由图6可知,一次发酵法、二次发酵法制备的柑橘果醋与柑橘果汁相比,苦味、涩味、咸味、苦味(回味-A)、涩味(回味-B)5个味觉指标几乎都相同,只有酸味、鲜味、丰富度三者之间存在差异。二次发酵法制备的柑橘果醋酸味远大于一次发酵法制备的柑橘果醋和柑橘果汁;一次发酵法制备的柑橘果醋鲜味、丰富度均大于二次发酵法制备的柑橘果醋。即一次发酵法制备的柑橘果醋刺激性没二次发酵法果醋那么强烈,味道更接近于柑橘果汁。

3 结论

一次发酵法制备柑橘果醋的最优发酵条件为酒精度6%vol,柑橘果汁含量50%,发酵温度34℃,在此优化条件下,总酸含量为6.00%,酒精转化率为96.31%,比优化前分别提高0.27%、5.24%。一次发酵法制备的柑橘果醋与二次发酵法果醋相比,最高总酸含量无明显差异($P>0.05$),但启动时间延迟了48h,整个发酵时间延迟了24h。一次发酵

法制备的柑橘果醋黄色度、透光率、嗅觉成分和味觉中的鲜味及丰富度与柑橘果汁更相近。

参考文献:

- [1] BARRECA D, BELLOCCO E, CARISTI C, et al. Flavonoid profile and radical-scavenging activity of Mediterranean sweet lemon (*Citrus limetta* Risso) juice[J]. *Food Chem*, 2011, 129(5): 417-422.
- [2] 李建婷, 张晓丹, 秦丹. 我国柑橘类果酒的研究现状[J]. *农产品加工*, 2016(11): 62-65.
- [3] 单杨. 现代柑橘工业[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 7.
- [4] 王松林, 彭荣, 崔榕, 等. 类柠檬苦素生物转化与脱苦研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(9): 279-283.
- [5] 晏敏, 周宇, 贺肖寒, 等. 柑橘籽中柠檬苦素及类似物的生物活性研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(2): 290-296.
- [6] 康超, 杨玉霞, 冯珍, 等. 响应面法优化百香果果醋发酵工艺及质量分析[J]. *中国酿造*, 2018, 37(8): 186-191.
- [7] TEFAYE W, GARCÍA-PARRILLA M C, TRONCOSO A M. Set up and optimization of a laboratory scale fermentor for the production of wine vinegar[J]. *J I Brewing*, 2012, 106(4): 215-220.
- [8] 张霁红, 张永茂, 韩舜愈. 混菌发酵及曲面响应法优化苹果醋发酵工艺[J]. *酿酒科技*, 2011(6): 39-41.
- [9] 郑瑞婷, 刘长海, 蔡素华. 苹果醋酿造工艺研究[J]. *广东农业科学*, 2010, 22(6): 140-142.
- [10] 徐辉艳, 濮智颖, 王汉屏, 等. 桑葚果醋发酵工艺条件的研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(2): 164-165.
- [11] 宁恩创, 刘小玲, 秦小明, 等. 火龙果果醋及其醋饮料的工艺研究[J]. *中国酿造*, 2008, 27(3): 82-84, 94.
- [12] 肖敏. 红心火龙果醋研发与工业生产[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [13] 刘禹彤. 山枣果醋发酵工艺优化研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [14] 卫拯友, 党永, 吴富强, 等. 酸枣醋饮料工艺研究[J]. *陕西农业科学*, 2010, 91(1): 31-34.
- [15] 陈婷婷, 刘青娥. 柑橘果醋酿造工艺新进展[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(10): 269-270.
- [16] 陈学先. 柑橘全果低苦制醋及柑橘醋饮料的研制[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [17] 张旺, 史学伟, 郑晓吉, 等. 库尔勒香梨果醋发酵工艺条件的优化[J]. *中国调味品*, 2018, 43(9): 41-48.
- [18] 侯爱香. 果醋酿造对优良菌种的选育及果醋饮料的研制[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [19] 陆敏, 肖敏, 周景瑞, 等. 红心火龙果醋的发酵工艺的研究[J]. *中国酿造*, 2018, 37(2): 184-188.
- [20] 郭明焯, 刘军, 王洋, 等. 一株醋酸菌液态扩大培养及应用用于固态发酵醋研究[J]. *中国调味品*, 2015, 40(12): 1-4.
- [21] 杜娟, 刘彩云, 闵钰, 等. 响应面法优化山药胡萝卜果醋的发酵条件[J]. *北方园艺*, 2018(23): 131-137.
- [22] SCHREYER S K, MIKKELSEN S R. Chemometric analysis of square wave voltammograms for classification and quantitation of untreated beverage samples[J]. *Sensor Actuat B-Chem*, 2000, 71(1): 147-153.
- [23] 李明泽, 张霁红, 宋娟, 等. 五种澄清剂对半固态发酵苹果醋的澄清效果[J]. *甘肃农业科技*, 2018, 57(2): 13-17.
- [24] 董画, 何雨, 薛桂新. 电子鼻技术对山葡萄酒酒龄的识别[J]. *中国酿造*, 2018, 10(37): 87-92.
- [25] 李腾宇. 红糖醋发酵过程品质分析与电子舌在发酵过程的监控[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
- [26] 张海玲, 程倩倩, 尹新雅, 等. 山药-梨复合型果醋发酵工艺[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(19): 188-193, 199.