

石榴五味子保健酒发酵工艺优化及抗氧化活性研究

The optimization of fermentation process and antioxidant activity of *Pomegranate* and *Schisandra* health wine

尹乐斌^{1,2} 周娟¹ 李立才¹ 金小柯¹

YIN Le-bin^{1,2} ZHOU Juan¹ LI Li-cai¹ JIN Xiao-ke¹

雷志明¹ 廖聪¹ 赵良忠^{1,2}

LEI Zhi-ming¹ LIAO Cong¹ ZHAO Liang-zhong^{1,2}

(1. 邵阳学院生物与化学工程系, 湖南 邵阳 422000;

2. 豆制品加工技术湖南省应用基础研究基地, 湖南 邵阳 422000)

(1. Department of Biological and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang, Hunan 422000, China; 2. Soybean Processing Techniques of the Application and Basic Research in Hunan Province, Shaoyang, Hunan 422000, China)

摘要:以石榴原汁、五味子为原料,添加葡萄酒用高活性酵母对石榴五味子保健酒发酵工艺进行优化,并对石榴五味子保健酒总酚、黄酮含量及抗氧化活性进行测定。试验结果表明,石榴五味子保健酒的最优发酵条件为五味子提取液添加量 10%、菌种添加量 3%、发酵温度 28℃、发酵时间 6 d。在此条件下所得酒品色泽艳若朝霞,药香酒香协调、优雅,酒精度为 12.8% vol,感官评分平均为 89 分,总酸(以乳酸计)为 4.4 g/L,总糖(以葡萄糖计)为 63.0 g/L,黄酮、总酚含量分别为 13.29、413.00 mg/L。抗氧化测定结果表明样品具有较强的 FRAP 还原活性,此外,样品稀释 100 倍后对 DPPH、ABTS 自由基的清除率分别达到 92.38% 和 95.20%,样品稀释 10 倍后对 OH 自由基的清除率达到 91.54%。

关键词:石榴;五味子;保健酒;抗氧化

Abstract: Using *Pomegranate* juice and *Schisandra* as raw materials, adding high activity yeast to optimize the fermentation process of their health wine, from which the total phenolic and flavonoids content and antioxidant activities were determined.

基金项目:“湖湘青年英才”支持计划(编号:2016RS3035);邵阳学院“双一流”建设产学研合作平台(编号:邵院通[2018]50号);邵阳学院 2018 年研究生科研创新项目(编号:CX2018SY046)

作者简介:尹乐斌(1982—),男,邵阳学院副教授,博士。

E-mail: lbyin0731@qq.com

收稿日期:2018-08-27

The experimental results showed that the optimal fermentation conditions were: with the addition of 10% *Schisandra* extract and 3% yeast, fermented at 28℃ for 6 days. Under above conditions, the color of the liquor was bright and radiant, with the unique harmony fragrance of medical herbs and liquor aroma. Finally, the result showed that alcohol content was 12.8% (vol), the sensory score was 89 points, and the total acid content (in lactic acid) was 4.4 g/L. The sugar (with glucose) was 63.0 g/L, and the flavonoids and total phenol content were 13.29 mg/L and 413.00 mg/L, respectively. The results of antioxidant assay showed that the sample had preferable FRAP reduction activity. In addition, the DPPH and ABTS free radical scavenging rates were 92.38% and 95.20%, respectively. After the sample was diluted ten folds, the OH radical scavenging rate reached 91.54%.

Keywords: *Pomegranate*; *Schisandra*; health wine; antioxidant

保健酒是指对人体具有保健作用的饮料酒,在中国已经有 1 000 多年的发展历史^[1]。随着人们生活水平的提高,对健康越来越重视,保健酒行业迎来了历史发展的机遇期,近年来成为了研究热点^[2]。石榴(*Punica granatum* L)是石榴科石榴属植物石榴的成熟果实,也被称作金罌、丹若等^[3-4]。其鲜果中总糖含量占 14%~18%,适宜作酿酒原料,此外,石榴中还含有多酚类、黄酮类、脂肪酸、生物碱、维生素、鞣质等多种生理活性成分^[5],具有抗肿瘤抗炎、抗氧化、保护肝脏等生理活性作用^[6]。五味子

[*Schisandra chinensis* (Turcz) Baill]是木兰科植物五味子的干燥果实,具有收敛固涩、益气生津、补肾宁心、抗氧化作用^[7-8]。目前对石榴酒的研究主要集中在其发酵工艺优化^[9]及澄清条件选择^[10]方面,对其抗氧化活性能力的探究还鲜有报道。张洪亚等^[11]的研究结果表明,石榴酒具有较好的体外抗氧化活性及斑马鱼体内抗氧化活性,但该文并未报道石榴酒的酿造工艺及抗氧化有效成分的测定。

本试验拟以石榴与五味子为原料酿酒,对其发酵工艺进行优化,并测定其体外抗氧化活性,为石榴酒的保健功能研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 主要原料与试剂

石榴:市售;

五味子:药店自购;

果胶酶:江苏富盛德生物工程有限公司;

安琪葡萄酒用高活性酵母:安琪酵母股份有限公司;

没食子酸标准品:江苏永健医药科技有限公司;

芦丁:中国药品生物制品检定所;

Folin-Ciocalteu 显色剂:上海麦克林生化科技有限公司;

L-Ascorbic acid(Vc);生工生物工程(上海)股份有限公司;

2,2-连氨基-双-(3-乙基苯并二氢噻唑啉-6-磺酸) [2, 2'-Azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]:上海如吉生物科技发展有限公司;

1,1-二苯基-2-苦肟基自由基 [1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical, DPPH]:Sigma 公司;

2,4,6-三吡啶三吡嗪 [2,4,6-Tris (2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ]:上海麦克林生化科技有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 设备与仪器

立式自动压力蒸汽灭菌锅:GI54DWS 型,济宁曲阜圣泰机械有限公司;

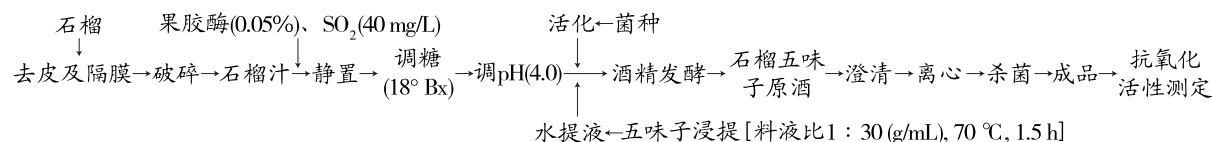
电热恒温培养箱:HPX-9272MBE 型,上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

双人单面(垂直)净化工作台:SW-CJ-2FD 型,江苏通净净化设备有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV-1780 型,岛津仪器(苏州)有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程



1.3.2 单因素试验方法

(1) 五味子提取液添加量对石榴五味子保健酒的影响:固定菌种添加量 4%,发酵温度 28℃,发酵时间 6 d,五味子提取液添加量分别为 5%,10%,15%,20%,25%,以酒精度、感官评分、糖度及酸度为评价标准对石榴五味子保健酒进行综合评价。

(2) 菌种添加量对石榴五味子保健酒的影响:固定发酵温度 28℃,发酵时间 6 d,五味子添加量 10%,菌种添加量分别为 1%,2%,3%,4%,5%,以酒精度、感官评分、糖度及酸度为评价标准对石榴五味子保健酒进行综合评价。

(3) 发酵温度对石榴五味子保健酒的影响:固定五味子提取液添加量 10%,菌种添加量 3%,发酵时间 6 d,发酵温度分别为 16,20,24,28,32℃,以酒精度、感官评分、糖度及酸度为评价标准对石榴五味子保健酒进行综合评价。

(4) 发酵时间对石榴五味子保健酒的影响:固定五味子提取液添加量 10%,菌种添加量 3%,发酵温度 28℃,发酵时间分别为 3,4,5,6,7 d,以酒精度、感官评分、糖度及酸度为评价标准对石榴五味子保健酒进行综合评价。

1.3.3 正交试验方法 在单因素试验的基础上,以感官评分为评价标准,进行正交试验对石榴五味子保健酒发酵工艺进行优化。

1.3.4 指标测定方法

(1) 酒精度:按 GB 5009.225—2016《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》执行。

(2) 总糖:采用费林法,按 GB/T 12456—2008 执行。

(3) 酸度:采用酸碱滴定法,按 GB/T 12456—2008 执行。

(4) 总酚含量:采用 Folin-Ciocalteu 法^[12]。

(5) 黄酮含量:参考文献^[13]。

(6) 感官评分:由 10 位食品专业人员组成感官评价小组,根据 GB/T 15038—2006 葡萄酒、果酒通用分析方法,按照表 1 中的感官评价标准对石榴五味子保健酒进行感官评定。

(7) 抗氧化活性测定:参照张洪亚等^[11]的方法,将石榴酒原汁分别稀释不同的倍数再测定其 DPPH 自由基、ABTS 自由基、OH 自由基的清除活性及铁离子还原力(Ferric reducing ability of plasma, FRAP)。DPPH 自由基清除率测定参照文献^[14];ABTS 自由基清除率测定参

表 1 石榴五味子保健酒感官评价标准

Table 1 The sensory evaluation criteria of *Pomegranate* and *Schisandra* health wine

项目	评分标准	得分
口味 (40 分)	口感清爽润滑、优雅、醇和饱满	21~40
	口感较清爽、优雅、较醇和	11~20
	口感差,入喉黏口、粗糙	0~10
风味 (30 分)	石榴味足,药香酒香协调突出	21~30
	石榴味足,药香酒香较协调	11~20
	石榴味不足,药香酒香不协调	0~10
色泽 (15 分)	色泽呈亮红色,均匀,澄清,无明显沉淀物	11~15
	色泽呈亮红色稍偏暗,较均匀,较澄清,少许沉淀物	6~10
	色泽偏黄暗沉无光泽,沉淀物明显	0~5
风格 (15 分)	具有典型风格	11~15
	较有典型风格	6~10
	缺乏典型风格	0~5

照文献[15]; OH 自由基清除率测定参照文献[16]; FRAP 还原力测定参照文献[17]。

1.4 数据处理

运用 Office Excel 2003 和 Origin 9.0 绘图软件及正交设计助手软件对数据进行处理分析。

2 结果分析

2.1 单因素结果与分析

2.1.1 五味子提取液添加量的影响 如图 1 所示,随着五味子提取液添加量的增大,酒精度先下降后趋于稳定,感官评分则呈先略微上升后下降的趋势,当添加量为 10% 时感官评分最高。这是因为,在发酵之前,将石榴原液的初始糖度统一调为 18°Bx,而五味子提取液中的主要成分是木脂素、有机酸、酚类及苷类等物质,糖类物质少,所以在分装过程中,随着五味子提取液添加量的增加,初始发酵液的糖度也就降低,而酵母发酵的底物主要是糖类物质,故而酒精度略有下降但酵母能利用的糖类物质有限,因此之后酒精度趋于稳定。另外,五味子本身有一定的刺激性中药味,添加过少药味不足,不能体现保健酒特征,添加过多时,药味过重与酒味不协调,不为人们接受,因此当五味子提取液添加量进一步增加时感官评分降低。残留糖度、原酒酸度的变化趋势基本一致,都是先下降,后基本保持不变(图 2)。残留糖度的变化主要与初始糖度的变化及酵母发酵能力有关。而原酒中有机酸的来源主要有两个方面,一方面是原石榴汁中含有的有机酸,另一方面是在发酵过程中乙醇被氧化产生的有机酸,因此,原酒酸度变化的趋势与酒精度的一致。综上所述,五味子提取液的最佳添加量为 10%。

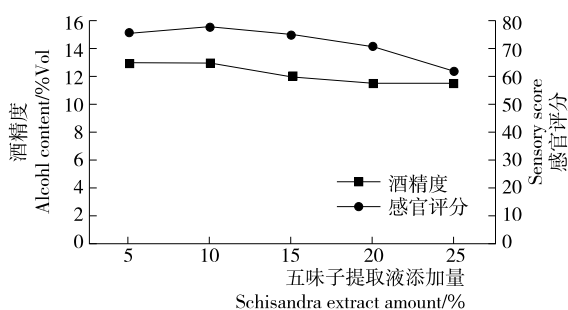


图 1 五味子添加量对酒精度及感官评分的影响

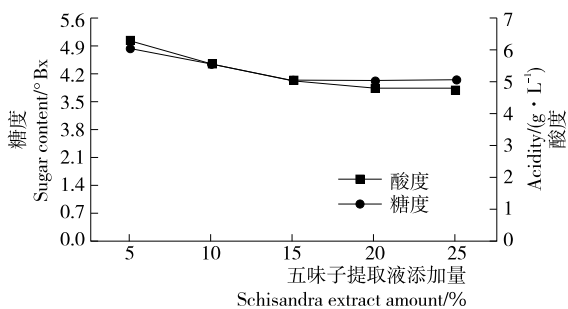
Figure 1 Effect of *Schisandra* addition on alcohol content and sensory score ($n=3$)

图 2 五味子添加量对糖度及酸度的影响

Figure 2 Effect of *Schisandra* addition on sugar degree and acidity ($n=3$)

2.1.2 菌种添加量的影响 随着酵母菌添加量的增加,酒精度和感官评分都呈先上升后下降的趋势,当酵母菌添加量为 3% 时,达到最高(图 3)。这是因为当菌种添加量过少时,石榴五味子保健酒发酵不完全,酒精度过低,无法掩盖五味子的药味,另外甜度也太高,原酒呈现出来的风格很不协调。随着菌种添加量的增加,酒精度逐渐升高,糖类物质含量下降,原酒呈现的风味也越来越协调;但是,当菌种添加量继续增加时,由于菌数过多,部分酵母自溶使原酒出现苦味,另外,由于酒精生成的速度过快,在相同的发酵时间内,部分酒精发生氧化生成醛、酸等,一方面酒精度降低,另一方面还会出现“上头”的症状,原酒的口感也较差。原酒的酸度受酒精度的影响一

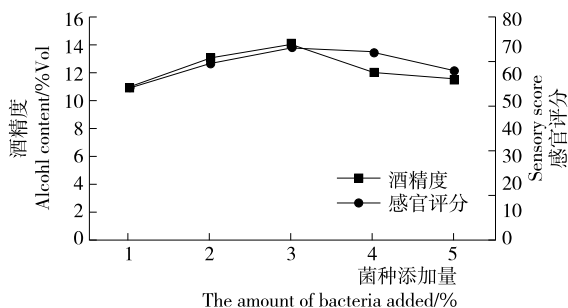


图 3 菌种添加量对酒精度及感官评分的影响

Figure 3 Effect of yeast addition on alcohol content and sensory score ($n=3$)

直呈现上升趋势,而残糖的量随着菌种的增加呈逐渐降低最后基本保持不变的趋势(图4)。这是因为菌种添加过少时,发酵不完全,导致残糖含量高,由于酵母能利用的糖类是有限的,所以,尽管菌种添加量在增加,残糖的量也不变。综合各方面因素,最终确定菌种添加量为3%。

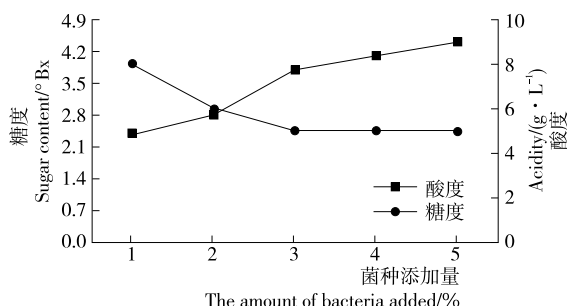


图4 菌种添加量对糖度及酸度的影响

Figure 4 Effect of yeast addition on sugar degree and acidity ($n=3$)

2.1.3 发酵温度的影响 发酵温度对石榴五味子保健酒品质影响比较明显,如图5所示,酒精度随着温度的升高而升高,而感官评分随着温度的升高呈先上升后下降的趋势。产生这种现象的原因可能是在一定范围之内,酵母的代谢活动随着温度的升高而加快,酒精的产量也随之增多,产品风味逐渐变得丰满^[18]。可是到了一定温度以后,酵母的代谢活动受到抑制,酒精度增长开始变得缓慢。与此同时,由于发酵温度升高,原酒中甲醇和杂醇油含量增高^[19],原酒品质变差,饮用过后容易出现头晕症状,原酒的感官评分降低。如图6所示,原酒的酸度随着温度升高而不断增加这是因为温度升高以后,乙醇转变成乙酸的反应也加快,28℃以后酸度上升趋势变得明显。残糖含量则受酵母代谢活动的影响随着温度升高呈明显的下降趋势,到一定程度以后,由于酵母能利用的糖浓度有限,所以呈基本不变的趋势,结合各方面因素确定最佳发酵温度为28℃。

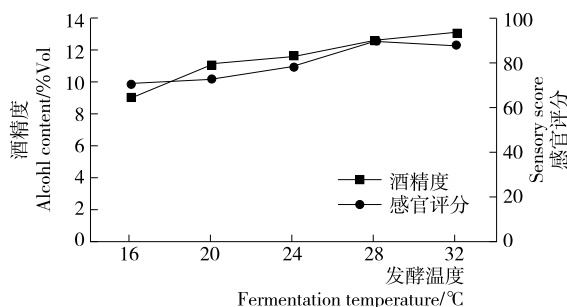


图5 发酵温度对酒精度及感官评分影响

Figure 5 Effect of fermentation temperature on alcohol and sensory score ($n=3$)

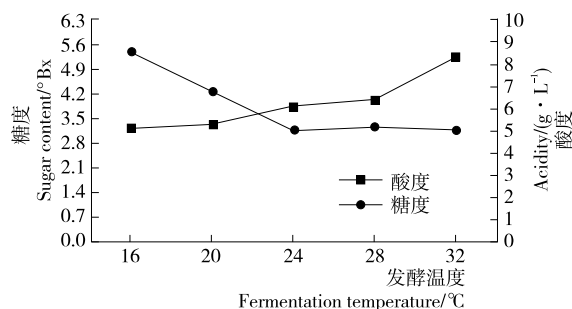


图6 发酵温度对糖度及酸度的影响

Figure 6 Effect of fermentation temperature on sugar degree and acidity ($n=3$)

2.1.4 发酵时间的影响 在其他发酵条件都确定的情况下,发酵时间主要影响的是感官评分,从图7可以看出,酒精度随发酵时间的延长呈先上升后略有下降的趋势,而感官评分则呈先上升后下降的趋势,酸度在整个发酵过程中都缓慢上升(图8)。这主要是由于随着发酵时间的延长,酒精积累上升,酒的品质也逐渐变得丰满,可是到了一定时间以后,残糖含量不足,酒精度增加抑制了酵母的生长繁殖,部分酵母发生自溶,使原酒产生了苦味物质从而影响感官评分。由于发酵容器体积一定所以空间中氧的含量也是一定的,因此抑制了酒精的氧化,这就是随时间的延长酒精度下降不明显,酸度上升也不明显的原因。因此,确定发酵时间5d为最佳。

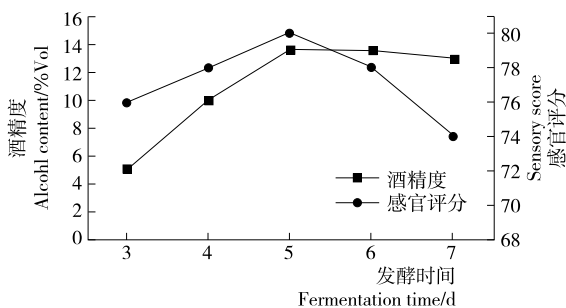


图7 发酵时间对酒精度及感官评分的影响

Figure 7 Effect of fermentation time on alcohol and sensory score ($n=3$)

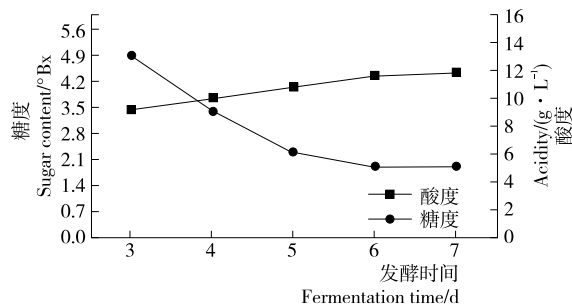


图8 发酵时间对糖度及酸度的影响

Figure 8 Effect of fermentation time on sugar degree and acidity ($n=3$)

2.2 正交结果

在单因素试验基础上,以五味子提取液添加量、菌种添加量、发酵温度、发酵时间为变量,进行正交试验,试验因素水平见表 2,通过感官评分确定石榴五味子保健酒最佳生产工艺条件,正交试验结果见表 3。

表 2 石榴五味子保健酒正交试验因素水平设计表
Table 2 The factor and level of the orthogonal test of Pomegranate and Schisandra health wine

水平	A 五味子提取液添加量/%	B 菌种添加量%	C 发酵温度/℃	D 发酵时间/d
1	5	2	24	4
2	10	3	28	5
3	15	4	32	6

表 3 石榴五味子保健酒正交试验结果
Table 3 The orthogonal test results of Pomegranate and Schisandra health wine

试验号	A	B	C	D	感官评分
1	1	1	1	1	68.0
2	1	2	2	2	86.5
3	1	3	3	3	84.1
4	2	1	2	3	78.3
5	2	2	3	1	86.0
6	2	3	1	2	80.3
7	3	1	3	2	73.2
8	3	2	1	3	84.2
9	3	3	2	1	85.3
k_1	79.5	73.1	77.5	79.7	
k_2	81.5	85.5	83.3	80.0	
k_3	80.9	83.2	81.1	82.2	
极差 R	2.0	12.4	5.8	2.4	

由表 3 可知,各因素对石榴五味子保健酒感官评分的影响程度大小依次为 $B>C>D>A$,工艺最优组合为 $A_2B_2C_2D_3$ 。对正交试验中各因素的相关性进行方差分析,结果如表 4。

表 4 石榴五味子保健酒方差分析表
Table 4 The variance analysis of Pomegranate and Schisandra health wine

因素	偏差平方和	自由度	F 值	F 临界值	显著性
A	6.27	2	1.00		
B	260.54	2	41.56	$F_{0.01(2,2)}=99.00$	*
C	52.52	2	8.38	$F_{0.05(2,2)}=19.00$	
D	10.82	2	1.73		
误差	6.27	2			
总和	336.42	10			

由表 4 可知,菌种添加量对石榴五味子保健酒的感官质量的影响显著,五味子提取液添加量,发酵温度和发酵时间对石榴五味子保健酒感官质量的影响不显著。综上所述,石榴五味子保健酒的最优工艺组合为五味子提取液添加量 10%、菌种添加量 3%、发酵温度 28℃、发酵时间 6 d。在此条件下,进行 3 次验证实验,所得酒品色泽艳若朝霞,药香酒香协调,优雅,酒精度为 12.8% vol,感官评分平均为 89 分,总酸(以乳酸计)为 4.4 g/L,总糖(以葡萄糖)为 63.0 g/L,黄酮、总酚含量分别为 13.29,413.00 mg/L。

2.3 产品抗氧化分析

2.3.1 对 DPPH 自由基的清除作用 产品不同稀释倍数及不同浓度 V_c 对 DPPH 自由基清除活性如图 9 所示。从图 9 可以看出,随着样品稀释的不断减少及 V_c 浓度的不断增加对 DPPH 自由基的清除率也不断增加,当产品稀释倍数为 100 倍时对 DPPH 自由基的清除活性达到了 92.38%,与浓度为 0.032 mg/mL 的 V_c 清除能力相当,后继续增加样品浓度,对 DPPH 自由基的清除效果增加不明显,说明在本研究所述的石榴五味子保健酒发酵工艺条件下得到的产品对 DPPH 自由基的清除活性较强。

2.3.2 对 ABTS 自由基的清除作用 产品及 V_c 对 ABTS 自由基的清除效果略好于对 DPPH 自由基的清除效果(图 10), V_c 浓度为 0.032 mg/mL 时对 ABTS 自由基的清除率达到了 99.24%,比同浓度 V_c 对 DPPH 自由基清除率高了 6.86%。随着产品浓度的增加,对 ABTS 自由基的

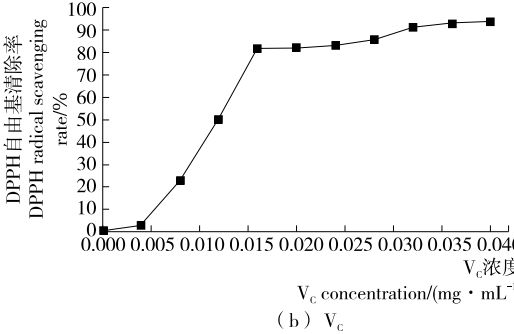
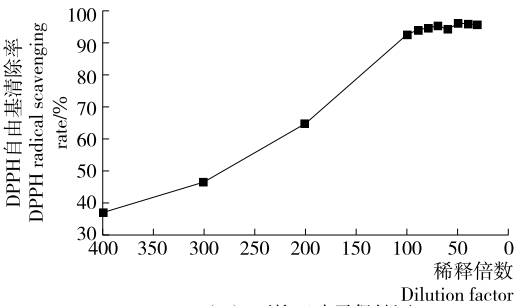


图 9 产品稀释倍数、 V_c 浓度与 DPPH 自由基清除率之间的关系
Figure 9 The relationship between product dilution times and DPPH radical scavenging rate ($n=3$)

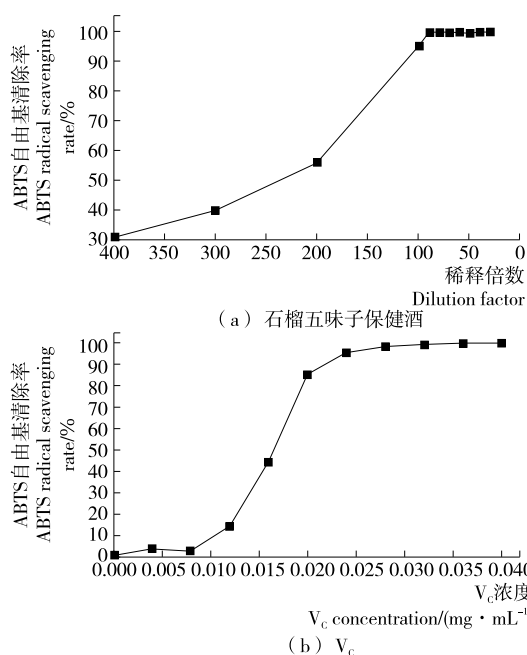


图 10 产品稀释倍数、 V_c 浓度与 ABTS 自由基清除率之间的关系

Figure 10 The relationship between product dilution times and ABTS free radical clearance ($n=3$)

清除活性逐渐增强,当产品稀释 100 倍时,对 ABTS 自由基的清除活性达到 95.20% 相当于 0.024 mg/mL V_c 的,表明产品清除效果明显。

2.3.3 产品对 OH 自由基的清除作用 OH 自由基具有强氧化活性,是生物体内活性氧代谢的产物,能引发不饱和脂肪酸的过氧化反应,对机体损伤极大^[11,20]。图 11 表示的是样品稀释倍数与 OH 自由基的清除关系,从图 11 中可以看出, V_c 对 OH 自由基的清除效果很好,浓度仅为 0.020 mg/mL 的 V_c 清除率就能达到 99.58%,而样品对 OH 自由基表现出的清除效果就远不如对 DPPH 自由基与 ABTS 自由基,但依然表现出较强的清除活性,当样品稀释倍数为 10 倍时对 OH 自由基的清除活性能达到 90% 以上。

2.3.4 FRAP 还原力 FRAP 被广泛用于食品保健品抗氧化分析,其反应原理是在 pH 条件下,利用亚铁离子与 TPTZ 生成蓝紫色复合物来测量样品抗氧化能力,蓝紫色越深说明抗氧化能力越强,由图 12 可以看出,当 V_c 的浓度达到 0.032 mg/mL 时其还原能力已经达到上限,而石榴五味子保健酒的还原力虽然随着稀释倍数的降低逐渐升高,但还远不如 V_c 。从试验结果可以看出产品的抗氧化活性较强,一方面是因为产品综合了石榴中含有大量酚类物质,且在发酵过程中酚类物质不会存在大的损失^[21];另外一方面是因为石榴中有机酸含量多使样品 pH 较低,样品中的花青素得以保留^[22]。除此之外,五味子也表现出一定的抗氧化活性。

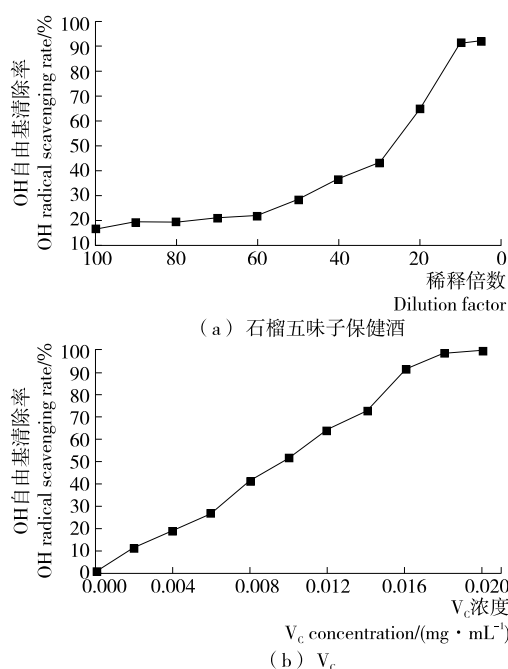


图 11 产品稀释倍数、 V_c 浓度与 OH 自由基清除率之间的关系

Figure 11 The relationship between product dilution times and OH free radical clearance ($n=3$)

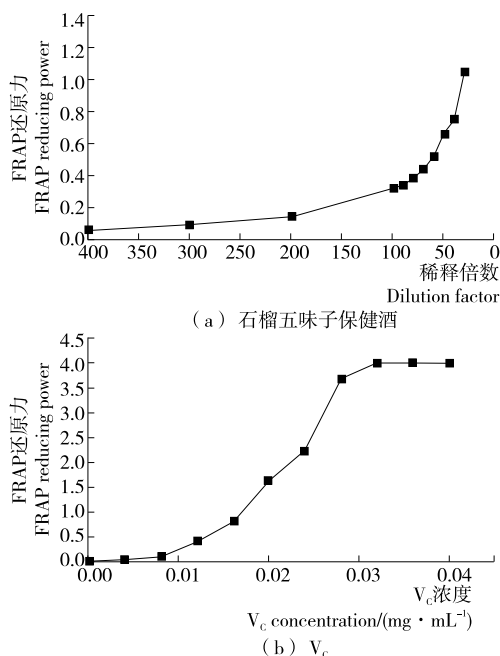


图 12 产品稀释倍数、 V_c 浓度与 FRAP 还原力之间的关系

Figure 12 The relationship between product dilution times and FRAP reducing power ($n=3$)

3 结论

石榴五味子保健酒的最优工艺条件为五味子提取液添加量 10%、菌种添加量 3%、发酵温度 28 °C、发酵时间

6 d。该工艺条件下制得的石榴五味子保健酒色泽均匀、艳若朝霞,优雅、澄清无沉淀,药香酒香协调,口味醇厚,石榴滋味突出,整体风格独特,黄酮、总酚含量分别为 13.29,413 mg/L。对产品进行了 DPPH、ABTS、OH 自由基的清除除活性及 FRAP 还原力的测定,结果表明在此工艺下生产制作的石榴五味子保健酒具有较强的抗氧化活性。

参考文献

- [1] 侯争. 药酒文化源远流长[J]. 开卷有益: 求医问药, 2012(8): 5-7.
- [2] 张琛. 保健酒行业机会多 谁能突围成功犹未可知[J]. 中国食品, 2018(1): 80-82.
- [3] 关晓弯. 不同温度贮藏对采后石榴品质的影响及相关基因的表达[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016: 1-4.
- [4] 邢佳, 陆文娟, 赵云霞. 石榴叶多酚的纯化及抗氧化活性研究[J]. 南京师大学报 自然科学版 2015, 38(3): 84-90.
- [5] 闫恒, 张辉. 石榴化学成分及其药理作用研究进展[J]. 中国处方药, 2016(2): 18-19.
- [6] 谢莉, 田莉. 石榴抗肿瘤有效成分的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2016(2): 211-215.
- [7] 曲中原, 王一横, 邹翔. 中药五味子研究进展[J]. 食品与药品, 2018(1): 71-75.
- [8] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[M]. 2010 年版. 北京: 医药科技出版社, 2010: 66-66.
- [9] 李兰, 高广西. 石榴酒发酵条件的优化[J]. 酿酒, 2010(6): 82-85.
- [10] 刘亚萍, 楚杰, 何秋霞. 发酵石榴酒澄清剂的筛选及澄清条件优化[J]. 食品工业科技, 2017(3): 175-179, 185.
- [11] 张洪亚, 王振国, 刘邦刚. 石榴酒体外及斑马鱼体内抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(19): 18-23.
- [12] ZENGIN G C, SHARIKURKCU A, AKTUMSEK A, et al. A comprehensive study on phytochemical characterization of *Haplophyllum myrtifolium* Boiss. endemic to Turkey and its inhibitory potential against key enzymes involved in Alzheimer, skin diseases and type II diabetes[J]. Industrial Crops & Products, 2015, 53: 244-251.
- [13] 杨岚, 李华峰, 刁海鹏. 蒲公英花中总酚酸和总黄酮含量测定及其抗氧化性能研究[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 160-163.
- [14] MOYO B, OYEDEMI S, MASIKA P J, et al. Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflower seed cake[J]. Meat Science, 2012, 91(4): 441-447.
- [15] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay[J]. Free Radical Biology and Medicine, 1999, 26(9/10): 1231-1237.
- [16] SMIRNOFF N, CUMBES Q J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes[J]. Phytochemistry, 1989, 28(4): 1 057-1 060.
- [17] AKTUMSEK A, ZENGIN G, GULER G O, et al. Antioxidant potentials and anticholinesterase activities of methanolic and aqueous extracts of three endemic Centaurea L. species[J]. Food & Chemical Toxicology, 2013, 55(3): 290-296.
- [18] 刘琪, 黄大川, 袁日. 酥枣高粱复合果酒的工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2015(33): 146-148.
- [19] 田晓菊, 张宝善, 张百刚. 影响石榴酒发酵过程中甲醇和杂醇油生成量的几个工艺因素[J]. 安徽农业科学, 2009(33): 16 705-16 707.
- [20] AL-SHERAJI S H, ISMAIL A, MANAP M Y, et al. Prebiotics as functional foods: A review[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1 542-1 553.
- [21] 李明月, 郝雅兰, 樊明涛. 石榴酒酿造过程中的多酚及其抗氧化性[J]. 天津农业科学, 2014(11): 19-23.
- [22] 热娜古丽, 克热木. 加工中石榴汁营养成分及抗氧化活性的变化[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012: 25-34.
- [5] SOFI B A, WANI I A, MASOODI F A, et al. Effect of gamma irradiation on physicochemical properties of broad bean (*Vicia faba* L.) starch[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013(54): 63-72.
- [6] NASAR-ABBAS S M, SIDDIQUE K H M, PLUMMER J A, et al. Faba bean (*Vicia faba* L.) seeds darken rapidly and phenolic content falls when stored at higher temperature, moisture and light intensity[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009(42): 1 703-1 711.
- [7] COLES R, KIRWAN M. Food and Beverage Packaging Technology[M]. London: Blackwell Publishing Ltd., 2011: 263-288.
- [8] 李家政. 果蔬自发气调包装原理与应用[J]. 包装工程, 2011, 32(15): 33-38.
- [9] 庄应强, 费伟英, 屠娟丽, 等. 9 个鲜食蚕豆品种低温保鲜比较试验[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(24): 130-131.
- [10] NASAR-ABBAS S M, PLUMMER J A, SIDDIQUE K H, et al. Nitrogen retards and oxygen accelerates colour darkening in faba bean (*Vicia faba* L.) during storage[J]. Post-harvest Biology and Technology, 2008(47): 113-118.
- [11] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工出版社, 2011: 152-154.
- [12] 朱麟, 凌建刚, 尚海涛, 等. 因子分析法综合评价冰温结合 1-MCP 处理对‘玉露’水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(9): 1 164-1 172.
- [13] 朱麟, 凌建刚, 尚海涛, 等. 冰温对湖景蜜露桃贮藏品质影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 115-118.
- [14] 丁晔, 刘敦华, 雷建刚, 等. 不同处理羊羔肉挥发性风味物质的比较及主成分分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 16-20.

(上接第 148 页)