

响应面优化黄桃果酒发酵工艺

王卫东*, 黄德勇, 郑义, 孙月娥

(徐州工程学院食品学院, 徐州 221111)

摘要: **目的** 以冷冻黄桃为原料, 研究了黄桃果酒发酵的最佳工艺。**方法** 通过单因素实验分别考察了酵母接种量、发酵时间、发酵温度以及初始糖度等因素对酒精度的影响。以酒精度为指标, 设计了响应面分析方案, 通过数学推导及实验分析, 得出黄桃果酒发酵的数学模型及相关参数。**结果** 黄桃果酒发酵的最佳工艺参数为: 酵母接种量 0.07%、发酵温度 26 °C、发酵时间 6.87 d, 在此优化条件下得到的黄桃果酒酒精度为 9.65%, 与回归方程的预测值(9.73%)基本一致。发酵期间果酒的总酚含量、还原力和清除羟基自由基能力变化不显著($P>0.05$)。**结论** 响应面试验设计可用于黄桃果酒发酵工艺参数优化。黄桃果酒较好地保留了黄桃汁的总酚, 可以开发为一种抗氧化性良好的新产品。

关键词: 黄桃; 果酒; 响应面

Optimization of fermentation processing of yellow peach fruit wine by response surface methodology

WANG Wei-Dong*, HUANG De-Yong, ZHENG Yi, SUN Yue-E

(College of Food Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221111, China)

ABSTRACT: Objective To determine the optimal process parameters of wine fermentation using yellow peach as the raw material. **Methods** Effects of yeast inoculums, fermentation time, temperature and initial sugar content on alcoholicity were studied by single experiments. Fermentation mathematical models and related parameters of yellow peach wine were obtained through response surface analysis, mathematical derivation and experimental analysis, with alcohol as an indicator. **Results** The optimum conditions of fermentation were: yeast inoculums 0.07%, temperature 26 °C and fermentation time 6.87 d. The alcoholicity was 9.65% under the optimized conditions. This actual result was basically consistent with the predictive value(9.73%) of the fitting equation. The antioxidant capacity of wine, measured by polyphenols, reducing power, and scavenging activity against hydroxyl radicals, was not changed significantly during fermentation($P>0.05$). **Conclusion** Response surface methodology can be used for the optimization of fermentation processing of yellow peach fruit wine. Yellow peach wine preserves the polyphenols in yellow peach juices and can be explored one kind of product which has antioxidant activity.

KEY WORDS: yellow peach; wine; response surface methodology

基金项目: 徐州市科技发展基金项目(XF12C011)

Fund: Supported by the Science and Technology Development Foundation of Xuzhou City (XF12C011)

*通讯作者: 王卫东, 博士, 副教授, 主要研究方向为果蔬加工。E-mail: wwd.123@163.com

*Corresponding author: WANG Wei-Dong, Associate Professor, College of Food Engineering, Xuzhou Institute of Technology, No.2 Lishui Road, Xincheng District, Xuzhou, China. E-mail: wwd.123@163.com

1 引言

黄桃, 又名黄肉桃, 隶属于蔷薇科桃属, 因其果肉呈金黄色而得名^[1]。黄桃汁多味美, 色泽艳丽, 芳香诱人, 营养丰富, 含有多种维生素和大量人体所需的纤维素、胡萝卜素、番茄黄素、番茄红素及微量元素^[2,3]。由于黄桃采收于 7 月下旬至 9 月上旬, 因此期间气温较高, 湿度较大而不易储藏, 一般除鲜食外, 常用以加工黄桃汁饮料、黄桃多糖及果脯等, 其中尤以黄桃罐头为主^[4,5]。因此, 急需对黄桃开展深加工技术研究, 通过开发新产品提高黄桃产业的规模和效益, 并满足消费者对黄桃产品的需求。

果酒是以新鲜水果为原料发酵而成的含酒精饮料, 其酒精度低, 保留了水果原有的糖类、氨基酸和矿物质等, 较以粮食酒为原料的蒸馏酒有较高的营养价值^[6,7]。近几年, 随着人们对健康生活的追求, 对具备良好的营养保健作用、风味独特的果酒需求量逐年增加, 年消费量正以 15% 的速度递增^[8]。很多学者对苹果、香蕉、山楂等水果发酵制备果酒的技术进行了研究, 但是缺乏黄桃果酒的文献报道。本试验对黄桃果汁发酵过程中的各种工艺参数对成品果酒的影响进行研究, 确定酿造黄桃果酒的最佳工艺参数, 以为其生产提供技术支持。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

冷冻黄桃(徐州青帝农业发展有限公司); 果胶酶(无锡锐阳生物科技有限公司, 酶活力 3000U/g); 果酒酵母(安琪酵母股份有限公司); 蔗糖(广州市华侨糖厂); 其他试剂均为分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

DS-1 高速组织捣碎机(上海标本模型厂); PC-1000 型数显式电热恒温水浴锅(上海跃进医疗器械厂); 722G 可见分光光度计(上海精科有限公司); 阿贝折光仪(上海精密科学仪器有限公司); TDL-80-2B 台式低速离心机(上海安亭科学仪器厂)。

2.2 实验方法

2.2.1 工艺流程

冷冻黄桃→打浆→果胶酶酶解→灭酶→离心取上清液→果汁成分调整→杀菌→迅速冷却→接种→发酵→澄清→成品陈酿

2.2.2 操作要点

打浆: 将冷冻黄桃置于 4 ℃冰箱中解冻至组织软化, 然后不加水打浆。黄桃浆要求为均一浆液, 无明显颗粒。

酶解: 将黄桃浆加热至 45 ℃, 加入 0.1%果胶酶, 恒温搅拌 3 h。

灭酶: 酶解后的黄桃浆升温至 95 ℃, 加热 5 min。

离心: 灭酶后的黄桃浆离心, 转速 4000 r/min, 离心 20 min, 得澄清黄桃汁, 装瓶待用。

成分调整: 采用手持折光仪测定黄桃澄清汁的含糖量, 通过加入蔗糖调整到所需要的含糖量。

杀菌: 将成分调整好的黄桃汁在 100 ℃加热 1 min, 迅速冷却。

接种: 将酵母菌用黄桃汁在 38 ℃的条件下保温活化 10 min, 加入即将进行发酵的果汁中, 装瓶发酵。

2.2.3 果酒发酵工艺优化试验

分别以酵母接种量、发酵温度、发酵时间以及含糖量为影响因素, 通过单因素试验考察其对果酒酒精度的影响。在此基础上, 以酒精度为响应值, 设计三因素三水平响应面试验, 优化黄桃果酒的发酵工艺参数。响应面试验因素水平如表 1 所示。

表 1 正交实验因素水平表
Table 1 The table of factors and levels of orthogonal experiment

因素	代码	水平		
		-1	0	1
酵母接种量(%)	X_1	0.05	0.06	0.07
发酵时间(d)	X_2	5	6	7
发酵温度(℃)	X_3	26	28	30

2.2.4 酒精度的测定

采用比色法测定果酒的酒精度^[9]。酒精度 Y 与吸光值 X 的回归方程为 $Y=10.758X-0.026$, $R^2=0.9993$ 。

2.2.5 总酚的测定

采用 Folin-Ciocalteu 法测定^[10]。

2.2.6 抗氧化能力的测定

还原力采用普鲁士兰法测定^[11], 清除羟基自由基能力测定采用邻二氮菲- Fe^{2+} 自氧化法(Fenton 法)^[12]。

2.2.7 数据处理方法

数据采用 OriginPro9.0 进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 酵母接种量对果酒发酵的影响

研究表明,若酵母量过多,发酵过快,不利用形成原酒的风味;若酵母量过少,易被杂菌污染^[13]。将黄桃汁糖度调整为 18%, 28 °C 发酵 6 d, 考察酵母接种量分别为 0.02%、0.03%、0.04%、0.05%、0.06%、0.07% 时对果酒酒精度的影响, 结果如图 1 所示。由图可知, 酵母接种量越大, 发酵后的果酒酒精度越高; 但是当酵母接种量高于 0.06% 时, 酒精度反而有所下降。这是由于接种量过大时, 发酵液中的糖更多的消耗在酵母菌的生长繁殖上, 用于生成酒精的糖相对减少, 并且因为营养物质的快速消耗和代谢产物的产生, 使酵母菌发酵环境恶化, 酵母菌过早衰老并产生自溶, 最终导致果酒的酒精度降低^[14]。因此选择最佳酵母接种量为 0.06%。

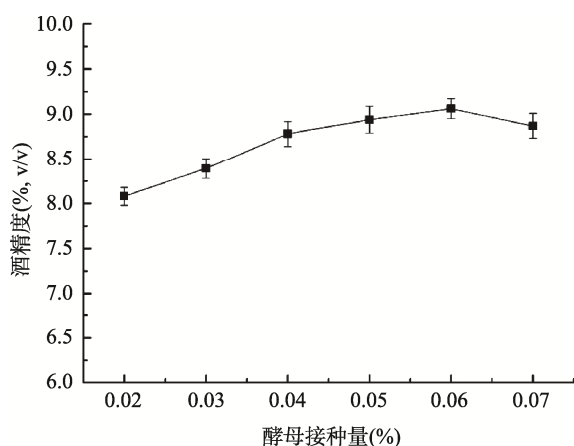


图1 酵母接种量对果酒发酵的影响

Fig. 1 Effect of inoculums of yeast on alcohol content

3.2 发酵温度对果酒发酵的影响

将黄桃汁糖度调整为 18%, 酵母接种量为 0.06%, 分别在 24、26、28、30、32 °C 时发酵 6 d, 考察发酵温度对果酒发酵的影响, 结果如图 2 所示。由图可知, 随着发酵温度的提高, 果酒的酒精度逐渐增加。但是当发酵温度增加到 30 °C 后, 酒精度基本保持不变。在实验中发现, 温度越高, 酒精发酵越剧烈, 果酒的整体感官质量会有所下降, 表现为果香味较淡, 有少量的杂气, 风味较差。发酵温度对蓝莓酒发

酵时的影响类似, 温度高, 发酵速度快, 但残糖含量相对偏高, 且成品酒可滴定酸高, 感官评定分数较低^[15]。因此发酵温度选择 28 °C。

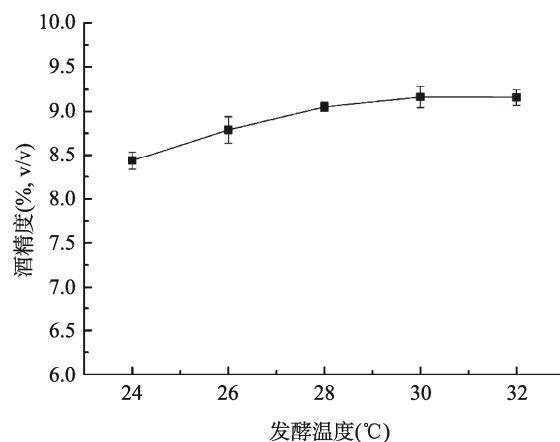


图2 发酵温度对果酒发酵的影响

Fig. 2 Effect of temperature on alcohol content

3.3 发酵时间对果酒发酵的影响

将黄桃汁糖度调整为 18%, 酵母接种量为 0.06%, 分别在 28 °C 下发酵 1、2、3、4、5、6、7 d 后, 测定果酒的酒精度, 结果如图 3 所示。由图可见, 在发酵过程的前 6 d 内, 酒精含量较快的增加, 发酵 6 d 达到最高。实验中发现, 在发酵 1 d 和 2 d 时, 果酒中出大量的泡沫, 较为浑浊。2 d 后, 泡沫逐渐消失, 果酒开始变得澄清, 酒香味加重; 随着时间的增加, 果酒的澄清效果逐渐变好, 酵母沉淀完全, 酒香与果香并存, 颜色加深, 发酵至 7 d 时酒体有极淡的杂气。因此最佳的发酵时间选择 6 d。

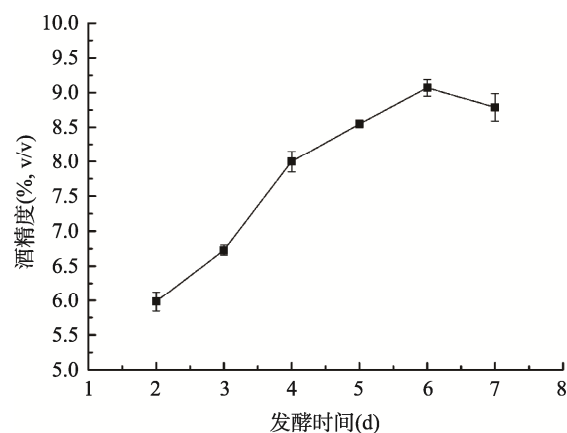


图3 发酵时间对果酒发酵的影响

Fig. 3 Effect of time on alcohol content

3.4 初始糖度对果酒发酵的影响

将初始含糖量分别调整为 14%、16%、18%、20%、22%时, 接种 0.06% 的酵母, 在 28 °C 下发酵 6 d 后, 测定酒精度, 结果如图 4 所示。由图 4 可知, 酒精度随初始糖度的增高而增高, 但当初始糖度超过 20% 后, 酒精度反而减小。这是由于初始糖度含糖量过高时, 高浓度的糖反而会抑制酵母菌的活动, 从而使果酒发酵停止。因此确定含糖量最佳在 20%。

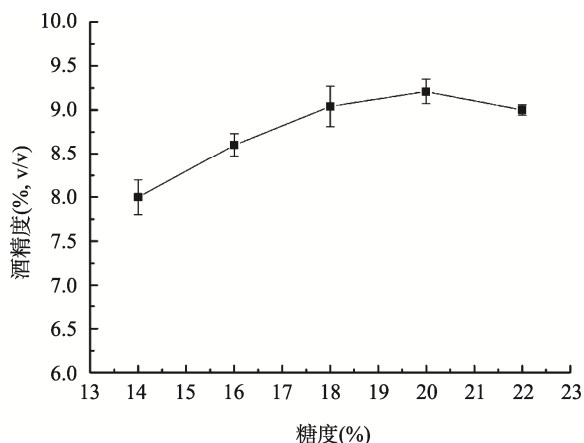


图 4 初始糖度对果酒酒精度的影响

Fig. 4 Effect of initial sugar content on alcohol content

3.5 最佳发酵工艺参数

3.5.1 响应面法试验设计及结果

根据 Box-Behnken 试验设计原理, 在单因素试验的基础上, 确定发酵的最佳含糖量为 20%, 选取酵母接种量(X_1)、发酵时间(X_2)、和发酵温度(X_3)三个影响因素, 采用三因素三水平的响应曲面试验设计对果酒发酵的酒精度(Y)进行优化, 试验设计与结果见表 2。

3.5.2 响应面优化结果分析

利用 Design Expert8.0 软件对表 2 中的数据进行二次多元回归拟合, 各实验因子对酒精度的影响可以用以下回归方程表示:

$$Y = 9.15 + 0.77X_1 + 0.69X_2 - 0.034X_3 + 0.44X_1X_2 - 5.00 \times 10^{-3}X_1X_3 - 7.50 \times 10^{-3}X_2X_3 - 0.81X_1^2 - 0.58X_2^2 - 0.20X_3^2$$

对该模型进行方差分析, 结果如表 3 所示。由表 3 可知, 模型 $P < 0.01$, 表明回归模型极显著, 失拟项 $P > 0.05$, 不显著, 表明该模型可以充分解释响应中的变异, 模型的拟合效果良好, 实验误差小; 相关系数

表 2 响应面实验结果

Table 2 Box-Behnken design with the observed responses

No.	酵母接种量 X_1 (%)	发酵时间 X_2 (d)	发酵温度 X_3 (°C)	酒精度 Y (% v/v)
1	-1	-1	0	7.06
2	1	-1	0	7.49
3	-1	1	0	7.16
4	1	1	0	9.36
5	-1	0	-1	7.27
6	1	0	-1	9.05
7	-1	0	1	7.25
8	1	0	1	9.01
9	0	-1	-1	7.54
10	0	1	-1	9.32
11	0	-1	1	7.45
12	0	1	1	9.20
13	0	0	0	9.15
14	0	0	0	9.14
15	0	0	0	9.17

$R^2 = 0.9665$, 说明该模型能阐释 96.65% 响应值的改变, 因而该模型的拟合度较好, 可以用此模型来分析和预测黄桃果酒发酵过程中酒精度的变化。各因素中, 酵母接种量和发酵时间对酒精度的影响极显著, 发酵温度的影响不显著。

用 Design Expert8.0 对模型优化求解, 得到果酒发酵的最佳工艺条件为: 酵母接种量为 0.07%、发酵时间 6.87 d、发酵温度是 25.78 °C, 此条件下发酵后果酒酒精度为 9.73%。

为验证实验结果的可靠性, 采用上述工艺条件进行发酵实验。根据实际生产的需要, 发酵温度取 26 °C, 实际测得果酒的酒精度为 9.65%, 相对误差为 0.82%。此时发酵的果酒, 果香浓郁, 酒香协调, 酒体澄清透明, 颜色呈微黄色, 风味较佳。因此, 本实验采用响应面法优化得到的黄桃果酒发酵工艺条件参数准确可靠, 具有一定的实用价值。

3.6 发酵对黄桃果酒总酚含量的影响

将黄桃汁按照最佳工艺条件发酵不同时间, 测定发酵后果酒中的总酚含量, 结果如图 5 所示。由图 5 可知, 发酵后果酒中总酚的含量虽然有所减少, 但

表 3 二次回归模型方差分析
Table 3 ANOVA for the regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P	显著性
模型	9.76	9	1.08	16.03	0.0035	**
X_1	3.52	1	3.52	52.09	0.0008	**
X_2	3.13	1	3.13	46.18	0.0011	**
X_3	3.13×10^{-4}	1	3.125×10^{-4}	4.618×10^{-3}	0.9485	
X_1X_2	0.65	1	0.65	9.58	0.0270	*
X_1X_3	0.03	1	0.03	0.38	0.5654	
X_2X_3	2.25×10^{-4}	1	2.25×10^{-4}	3.325×10^{-3}	0.9563	
X_1^2	1.60	1	1.60	23.65	0.0046	**
X_2^2	1.02	1	1.02	15.09	0.0116	*
X_3^2	0.043	1	0.043	0.64	0.4599	
残差	0.34	5	0.068			
失拟项	0.31	3	0.10	7.369	0.1218	
误差项	0.028	2	0.014			
总和	10.10	14				

$R^2=0.9665$ $R^2Adj=0.9062$

注: **表示极显著, 即 0.01 水平显著; *表示显著, 即 0.05 水平显著

并没有显著性差异($P>0.05$)。由于总酚是一类具有抗氧化活性的功能成分, 因此黄桃果酒可以较好地保留黄桃汁的抗氧化活性。

3.7 发酵对黄桃果酒抗氧化性的影响

发酵前后黄桃果酒还原力和清除羟基自由基能力如图 6 所示。由图 6 可知, 发酵前后果酒还原力和

对羟基自由基清除率总体上呈减小的趋势, 但是基本没有变化($P<0.05$)。对发酵期间果酒中的总酚含量与抗氧化性进行相关性分析, 其相关系数为 0.8886, 二者具有较强的相关性。众所周知, 食品体系中的抗氧化成分主要是 Vc、多酚类等小分子物质。黄桃果酒在发酵前后总酚含量并没有显著变化, 因此黄桃果酒具有与黄桃汁相当的抗氧化性。

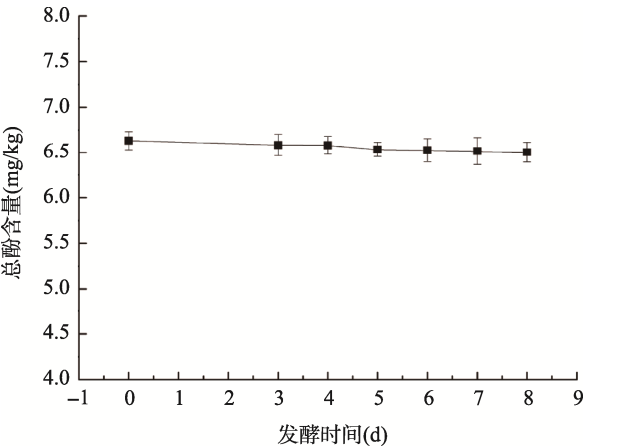


图 5 发酵时间对果酒总酚含量的影响
Fig. 5 Effect of time on polyphenols in wine during fermentation

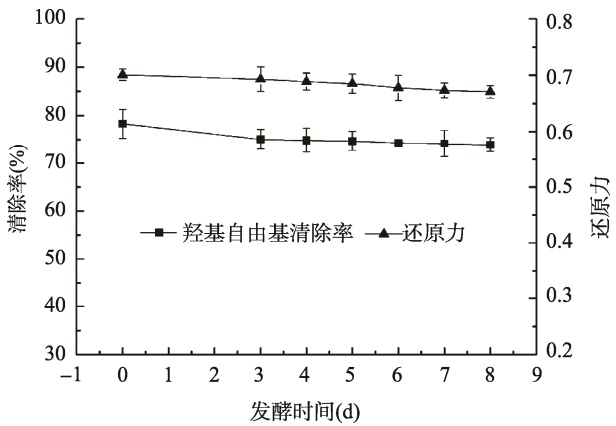


图 6 发酵时间对果酒抗氧化能力的影响
Fig. 6 Effect of fermentation time on antioxidant activity

4 结 论

采用 Box-Behnken 试验建立了黄桃果酒发酵的二次多项式数学模型。经检验证明该模型切实可行,能较好地预测黄桃果酒发酵后的酒精度。经优化后黄桃果酒发酵的工艺参数为:初始糖度 20%,酵母接种量 0.07%,发酵时间 6.87 d,发酵温度 26 °C,此条件下黄桃果酒的酒精度可达 9.65%。与黄桃汁相比,黄桃果酒发酵期间总酚含量没有发生显著性变化,抗氧化能力也保持不变。因此,利用黄桃为原料发酵制备果酒,既可以保持黄桃生理活性功能,又为消费者提供了新的产品,可以促进黄桃产业的发展。

参考文献

- [1] 董明, 王金祥, 徐昊, 等. 复合酶处理对金童 5 号黄桃去皮效果的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 205–208.
Dong M, Wang JX, Xu H, *et al.* Effect of Composite Enzyme Treatment on Peeling of Jin Tong 5 Yellow Peach [J]. Food & Mchnr, 2013, 29(1): 205–208.
- [2] 张璇, 孙娅, 王毓宁, 等. 不同品种黄桃的冰点温度及其影响因素分析[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(4): 37–41.
Zhang X, Sun Y, Wang YN, *et al.* Determination of Freezing Point Temperature of Different Yellow Peach Cultivars and Correlation Analysis of Impact Factors [J]. J Food Sci Tech, 2013, 31(4): 37–41.
- [3] 袁洪燕, 单杨, 李高阳. 黄桃酶法去皮的技术研究[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 151–155.
Yuan HY, Shan Y, Li GY. Study on Peeling the Yellow Peaches by Enzymatic Hydrolysis [J]. J Chin Inst Food Sci Tech, 2010, 10(2): 151–155.
- [4] 丁凡, 孙凤霞, 孟庆杰. 黄金冠桃制罐过程中主要营养物质的变化研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(2): 579–580.
Ding F, Sun FX, Meng QJ. Study on Nutrients Changes of Huangjinguan Peaches During Can Production [J]. J Anhui Agri Sci, 2014, 42(2): 579–580.
- [5] 姚佳, 张雅杰, 孔民, 等. 高静压对黄桃质构相关组分模拟体系的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(9): 44–48.
Yao J, Zhang YJ, Kong M, *et al.* Effects of High Hydrostatic Pressure on Peach Textural in Model System [J]. Food Ferment Ind, 2012, 38(9): 44–48.
- [6] 倪志婧, 马文平. 甜瓜果酒酿造工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(11): 6534–6535.
Nin ZJ, Ma WP. Study on the Technology of Melon Fruit Wine Preparation [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(11): 6534–6535.
- [7] 田瑞华. 沙棘果酒的研制[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
Tian RH. The Research and Production of Sea-buckthorn Ratafia [D]. Huhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [8] 肖春玲, 李桂峰, 尉丰婵, 等. 樱桃番茄果酒加工工艺技术的研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(2): 420–423.
Xiao CL, Li GF, Wei FC, *et al.* Studies on Processing Technology of Cherry-tomato Wine Fermentation [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(2): 420–423.
- [9] 魏冬梅, 张艳芳, 张予林. 利用比色法测定葡萄酒的酒精度[J]. 食品工业, 2010, (4): 45–46.
Wei DM, Zhang YF, Zhang YL. Determination of Alcoholicity with colorimetry in wine [J]. Food Ind, 2010, (4): 45–46.
- [10] Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents [J]. Am J Enol Vitic, 1965, (16): 144–158.
- [11] Dorman HJD, Kosar M, Kahlos K, *et al.* Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from Mentha species, hybrids, varieties, and cultivars [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(16): 4563–4569.
- [12] 姜平平, 吕晓玲, 姚秀玲. 紫心甘薯花色苷抗氧化活性体外实验研究[J]. 中国食品添加剂, 2002, (6): 8–11.
Jiang PP, Lv XL, Yao XL. Study in Vitro on Antioxidant Activities of Anthocyanins from Purple Core Sweet [J]. China Food Add, 2002, (6): 8–11.
- [13] 潘嫣丽. 木瓜西番莲复合果酒发酵工艺研究[J]. 酿酒, 2011, 38(4): 63–66.
Pan YL. Study on Fermentation Technology of Compound Wine of Pawpaw and Passion Fruit [J]. Liquor Making, 2011, 38(4): 63–66.
- [14] 邓红梅, 王春, 劳秋梅. 香蕉酒的酿造工艺研究[J]. 酿酒科技, 2011, (2): 84–88.
Dang HM, Wang C, Lao QM. Research on the Production Techniques of Banana Wine [J]. Liquor-making Sci & Tech, 2011, (2): 84–88.
- [15] 刘奔. 蓝莓酒酿造工艺研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2011.
Liu B. Study on brewing technology of Blueberry Wine [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2011.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



王卫东, 博士, 副教授, 主要研究方向为果蔬加工。
E-mail: wwd.123@163.com