

复合抗氧化剂在柑橘-枸杞果酒中应用效果研究

刘琨毅¹, 王琪^{1*}, 郑佳², 周书来³

(1.宜宾职业技术学院, 四川 宜宾 644003; 2.五粮液集团技术研究中心, 四川 宜宾 644000; 3.乐山职业技术学院, 四川 乐山 614000)

摘要:为寻找适合柑橘-枸杞果酒抗氧化的复合抗氧化剂,通过单因素试验研究抗坏血酸、竹叶黄酮、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-2Na)、茶多酚对柑橘-枸杞果酒抗氧化效果的影响,在此基础上采用正交试验得出最优复合抗氧化剂的配方为:抗坏血酸0.6‰、竹叶黄酮0.07‰、EDTA-2Na 0.026‰、茶多酚0.06‰。用此复合抗氧化剂来代替发酵过程中的SO₂,果酒的理化指标(酒精度、总酸、总糖、还原糖等)没有明显的变化而挥发性成分更优,致使其感官评分有所提高。柑橘-枸杞果酒色泽亮黄、透明、果香与酒香和谐。

关键词:果酒; 抗氧化; 抗坏血酸; 竹叶黄酮; 乙二胺四乙酸二钠; 茶多酚

中图分类号:TS262

文章编号:0254-5071(2017)01-0120-06

doi:10.11882/j.issn.0254-5071.2017.01.025

Application of compound antioxidants in orange-wolfberry fruit wine

LIU Kunyi¹, WANG Qi^{1*}, ZHENG Jia², ZHOU Shulai³

(1. Yibin Vocational and Technical College, Yibin 644003, China; 2. Technological Research Center of Wuliangye Group, Yibin 644000, China; 3. Leshan Vocational and Technical College, Leshan 614000, China)

Abstract In order to obtain compound antioxidants suitable for citrus-wolfberry fruit wine, the effects of ascorbic acid, bamboo leaf flavonoids, ethylene diamine tetraacetic acid-disodium salt (EDTA-2Na) and tea polyphenols on antioxidation of citrus-wolfberry fruit wine were researched on the basis of single factor experiments. The optimum formula of composite antioxidants was ascorbic acid 0.6‰, bamboo leaf flavonoids 0.07‰, EDTA-2Na 0.026‰ and tea polyphenols 0.06‰ by orthogonal experiments. Using this compound antioxidant to replace SO₂ in wine fermentation, the physicochemical indexes (such as alcohol content, total acid, total sugar, reducing sugar, etc) in the fruit wine had no significant changes, but the volatile components were better, so sensory score of fruit wine was increased. The orange-wolfberry fruit wine was bright yellow color, transparent with harmonious aroma and bouquet.

Key words fruit wine; antioxidant; ascorbic acid; bamboo leaf flavonoids; EDTA-2Na; tea polyphenols

柑橘富含维生素、有机酸及矿物质等多种生物活性物质,有利于调节人体新陈代谢,具有降低胆固醇、软化血管、预防冠心病的功效^[1-5]。枸杞是一种药食两用的水果,其主要含枸杞多糖、类胡萝卜素及多种氨基酸与微量元素,有助于降低血糖血脂、延缓衰老、改善人体免疫功能、预防肿瘤及消除疲劳^[6-9]。复合果酒是以两种或两种以上水果为原料经发酵而得的低度饮料酒,在单一的果酒基础上结合多种果酒的营养特点及功效,酿造出风味独特的酒类饮品,因而越来越受到人们的重视^[1,4,10-11]。为避免复合果酒色泽褐变、风味劣化,在果酒发酵过程中,需加入抗氧化剂来抑制果酒被氧化^[12-13]。二氧化硫是果酒中广泛使用的抗氧化剂,但其具有刺激性的“硫味”和“灼烧”感并且具有一定的毒性,故世界卫生组织一直要求降低食品中的二氧化硫浓度^[14-15]。目前要寻找新型、高效、无毒副作用的抗氧化剂来替代这类化学抗氧化剂,所以开发适用于复合果酒的新型抗氧化剂有着广阔的应用前景。

抗坏血酸是一种在果酒发酵中常用的还原剂,能显著降低果酒的氧化还原电位,防止和减缓氧化反应的进行^[16-18]。竹叶黄酮是淡竹叶和淡竹沥的主要活性物质,对超氧负离子自由基和对羟自由基的有效清除作用,且具有较好的抗氧化能力^[19-20]。乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)二钠在果酒中能很好地防止金属离子引起的变色、变质、变浊及维生素C(vitamin C, VC)氧化,起到护色、抗氧化作用^[21-22]。茶多酚作为一种新型的天然抗氧化剂,是茶叶中所含的一类多羟基酚类化合物,其具有优良的抗氧化性能,并且还兼具抑菌抗病毒活性、抗辐射等多种特殊作用^[23-24]。在果酒抗氧化过程中,当将两种或多种抗氧化剂混合使用时,其抗氧化效果往往要比单一使用其中一种抗氧化剂要好^[25-26]。因此本研究对上述四种抗氧化剂复合使用,并通过单因素及正交试验优化复合抗氧化剂的配方,后续对添加最优复合抗氧化剂的果酒与添加传统抗氧化剂的果酒进行理化分析、挥发性成分

收稿日期:2016-10-10

基金项目:发酵资源与应用四川省高校重点实验室开放基金(No.2011KFJ004)

作者简介:刘琨毅(1987-),男,讲师,硕士,研究方向为白酒酿造技术。

*通讯作者:王琪(1989-),女,讲师,硕士,研究方向为白酒分析检测。

分析及感官评定,以期为柑橘-枸杞果酒添加抗氧化剂提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

柑橘、枸杞、蔗糖:市售;酿酒酵母CICC31482:宜宾职业技术学院菌种保藏中心提供;亚硫酸钠(分析纯):南京试剂有限公司;抗坏血酸(纯度为98.0%):国药集团化学试剂有限公司;竹叶黄酮干粉(棕黄色粉末,含总黄酮32.4%):安吉圣氏生物制品有限公司;EDTA-2Na(纯度99.0%):广州拜晴生物科技有限公司;茶多酚(含量为50.0%):天水维康生物工程有限公司;辛酸甲酯(纯度99%):美国Agilent公司。

1.2 仪器与设备

723型可见分光光度计:上海精密科学仪器有限公司;TG328型分析天平:上海精科天平厂;PHs-3c型精密pH计:上海理达仪器厂;LXJ-IIIB低速大容量多管离心机:郑州长城工贸有限公司;CS501型超级水浴恒温锅:上海浦东荣科学仪器有限公司;HH-B11 600型电热恒温培养箱:天津市实验仪器厂;TRACE GC DSQ II型气相色谱-质谱联用仪:美国Thermo Fisher公司;HP-5MS毛细管色谱柱(30.0 m×0.25 mm×0.25 μm):美国Agilent公司。

1.3 方法

1.3.1 柑橘-枸杞果酒加工工艺流程及操作要点

新鲜水果→分选→清洗→去皮→榨汁→柑橘汁与枸杞汁按照3:1(体积比)混合并调整糖度、pH及添加抗氧化剂→灭菌→接种酵母菌→主发酵→分离→陈酿→勾兑、澄清、过滤→无菌过滤→果酒成品

操作要点:柑橘汁与枸杞汁按照3:1的体积比进行混合后调糖度为20 °Bx、调整pH值为4.0并加入由抗坏血酸、竹叶黄酮、EDTA-2Na、茶多酚所组成的复合抗氧化剂0.3‰~0.8‰,分装入发酵罐后0.1 MPa灭菌30 min。按体积分数5%接入经扩大培养后的酵母菌悬液,25 °C主发酵,保持通气,观察到无气泡后主发酵完成,倒桶后22 °C条件下陈酿。

1.3.2 抗氧化剂的制备

(1)抗坏血酸:将0.1 g抗坏血酸溶于100 mL无菌蒸馏水中,配制为质量浓度为0.1 g/100 mL抗坏血酸溶液待用。

(2)竹叶黄酮:取一定量的竹叶黄酮干粉溶于体积分数为20%的乙醇溶液中,充分溶解后真空抽滤,取其滤液待用。

(3)EDTA-2Na:将0.1 g EDTA-2Na溶于100 mL无菌蒸馏水中,配制为质量浓度为0.1 g/100 mL EDTA-2Na溶液待用。

(4)茶多酚:将0.1 g茶多酚溶于100 mL无菌蒸馏水中,配制为质量浓度为0.1 g/100 mL茶多酚溶液待用。

1.3.3 果酒抗氧化效果的测定方法

果酒抗氧化能力的测定采用铁离子还原(ferric reducing antioxidant power, FRAP)法:取稀释10倍后的酒样100 μL,加入FRAP工作液3 mL,反应20 min后于波长593 nm处读取吸光度值,以FeSO₄为标准物质绘制标准曲线^[27]。根据样品所得吸光度值,在FeSO₄标准曲线回归方程上求得相应的FeSO₄质量浓度,定义为FRAP值。通过测量样品吸光度值的变化来测量其抗氧化能力,FRAP值越高,反映果酒抗氧化活性越强。

1.3.4 抗氧化剂配方优化单因素试验

抗坏血酸抗氧化效果:在调整好糖度及pH的果汁中分别加入0.1‰、0.2‰、0.3‰、0.4‰、0.5‰、0.6‰、0.7‰抗坏血酸及0.06‰的竹叶黄酮、0.02‰的EDTA-2Na、0.04‰的茶多酚,经主发酵后测定样品的FRAP值,并重复3次。

竹叶黄酮抗氧化效果:在调整好糖度及pH的果汁中分别加入0.03‰、0.04‰、0.05‰、0.06‰、0.07‰、0.08‰、0.09‰的竹叶黄酮及0.4‰的抗坏血酸、0.02‰的EDTA-2Na、0.04‰的茶多酚,经主发酵后测定样品的FRAP值,并重复3次。

EDTA-2Na抗氧化效果:在调整好糖度及pH的果汁中分别加入0.011‰、0.014‰、0.017‰、0.020‰、0.023‰、0.026‰、0.029‰ EDTA-2Na及0.4‰的抗坏血酸、0.06‰的竹叶黄酮、0.04‰的茶多酚,经主发酵后测定样品的FRAP值,并重复3次。

茶多酚抗氧化效果:在调整好糖度及pH的果汁中分别加入0.01‰、0.02‰、0.03‰、0.04‰、0.05‰、0.06‰、0.07‰、0.08‰茶多酚及0.4‰的抗坏血酸、0.06‰的竹叶黄酮、0.02‰的EDTA-2Na经主发酵后测定样品的FRAP值,并重复3次。

1.3.5 抗氧化剂配方优化正交试验

为探讨抗氧化剂之间的协同增效作用,以抗坏血酸(A)、竹叶黄酮(B)、EDTA-2Na(C)、茶多酚(D)添加量为影响因素,以FRAP值为评价指标,采用4因素3水平L₃(3⁴)正交试验设计,正交试验因素与水平见表1。

表1 复合抗氧化剂配方优化正交试验因素与水平
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiments for formula optimization of compound antioxidants

水平	A 抗坏血酸 /‰	B 竹叶黄酮 /‰	C EDTA-2Na /‰	D 茶多酚 /‰
1	0.5	0.06	0.020	0.05
2	0.6	0.07	0.023	0.06
3	0.7	0.08	0.026	0.07

1.3.6 理化指标检测

分析添加最优复合抗氧化剂后的酒样与添加0.20% SO₂酒样的理化指标。酒精体积分数采用酒精法测定,总

糖采用蒽酮法测定,还原糖采用斐林试剂法测定,总酸采用酸碱滴定法测定,可溶性固形物采用手持糖度计测定。

1.3.7 挥发性组分检测

(1) 试样的制备

取10 mL样品于圆底烧瓶中,加入内标(1 mg/mL辛酸甲酯)50 μ L,加入适量的去离子水(约20 mL)调节酒精度为14%vol,向混合液中加入氯化钠至饱和,加入约20 mL无水乙醚,充分混匀,将上层液体转入装有约5 g无水硫酸钠的漏斗中,过滤后用氮气吹走乙醚,收集残留溶液即目标成分(氮吹至约有2 mL液体),进样气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)测定。

(2) GC-MS分析条件

GC条件:色谱柱为HP-5MS(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μ m膜厚)石英毛细管柱,程序升温,初始温度40 $^{\circ}$ C,保持5 min后,以4 $^{\circ}$ C/min升至100 $^{\circ}$ C,然后以6 $^{\circ}$ C/min升至220 $^{\circ}$ C,保持8 min,进样口温度250 $^{\circ}$ C,载气流速为1.0 mL/min,载气为高纯氮。

MS条件:电离方式为电子电离(electron ionization, EI)源,离子源温度、连接口温度分别为230 $^{\circ}$ C和250 $^{\circ}$ C,电子能量为70 eV,质量扫描范围为35~400 amu。

(3) 挥发性组分的定性定量方法

定性方法:待测样品的质谱图通过与美国国家标准技术研究所(national institute of standards and technology, NIST)05标准谱库比对鉴定,匹配度>80%的结果才予以报道。

定量方法:以辛酸甲酯(1 mg/mL)作为内标,采用内标法确定各组分相对含量。挥发性组分含量结果以“平均值 \pm 标准偏差”表示($n=3$)。

(4) 感官评定方法

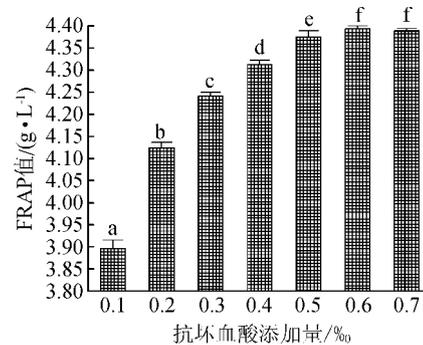
感官评定由21名专业人员组成的感官评定小组参照GB/T15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》对复合果酒从色泽(满分5分)、澄清度(满分5分)、香气(满分30分)、滋味(满分40分)、典型性(满分20分)5个方面进行感官评定,酒样总分为5项得分之和,满分为100分。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 抗坏血酸对果酒抗氧化效果的影响

抗坏血酸(VC)能有效抑制使果酒发生褐变的多酚氧化酶与过氧化物酶的酶活性,因而对果酒具有一定的抗氧化作用^[16],抗坏血酸对果酒抗氧化效果的影响见图1。由图1可知,抗坏血酸添加量为0.1‰~0.6‰时,果酒的FRAP值显著提高($P<0.05$),最高达到了(4.393 \pm 0.007) g/L。当抗坏血酸添加量为0.7‰时,FRAP值有所下降,但较0.6‰时变化不显著($P>0.05$)。因此,选择抗坏血酸添加量为0.5‰~0.7‰用于正交试验。



不同字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

图1 抗坏血酸添加量对果酒抗氧化的影响

Fig. 1 Effect of ascorbic acid addition on antioxidation of fruit wine

2.1.2 竹叶黄酮对果酒抗氧化效果的影响

竹叶黄酮可以作为生物抗氧化剂应用于酿造酒中,对果酒中的超氧负离子自由基和对羟自由基具有一定的清除作用,从而起到抗氧化的作用^[20]。随着竹叶黄酮添加量从0.02‰增加至0.07‰时,果酒的抗氧化作用也随之显著增加($P<0.05$),果酒的FRAP值在竹叶黄酮添加量为0.07‰时达到最大值(4.434 \pm 0.005) g/L。当竹叶黄酮添加量>0.07‰后,果酒的FRAP值有所降低,但变化不显著($P>0.05$)。因此,选择竹叶黄酮的添加量0.06‰~0.08‰用于正交试验。

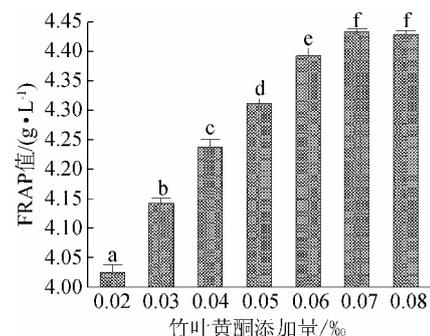


图2 竹叶黄酮添加量对果酒抗氧化的影响

Fig. 2 Effect of bamboo leaf flavonoids addition on antioxidation of fruit wine

2.1.3 EDTA-2Na对果酒抗氧化效果的影响

EDTA能与金属形成惰性的络合物,抑制氢过氧化物的分解与自由基的生成,从而起到抑制氧化褐变的作用^[16]。由图3可知,当EDTA-2Na的添加量从0.011‰提高至0.023‰时,果酒的FRAP值显著增加($P<0.05$),从(4.207 \pm 0.004) g/L增加至(4.354 \pm 0.007) g/L。但随着EDTA-2Na添加量的继续增加,果酒的FRAP值有一定增加,但效果不显著($P>0.05$),当EDTA-2Na的添加量增加至0.029‰时,果酒的FRAP值较0.026‰时有所降低但不显著($P<0.05$)。因此,选择EDTA-2Na的添加量0.020‰~0.026‰用于正交试验。

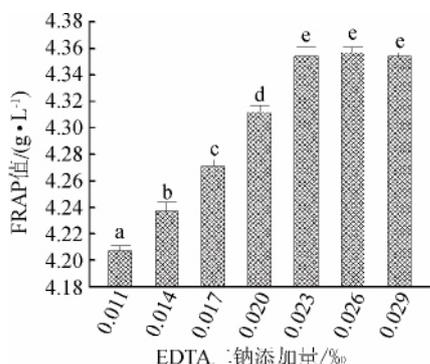


图3 EDTA-2Na添加量对果酒抗氧化的影响

Fig. 3 Effect of EDTA-2Na addition on antioxidation of fruit wine

2.1.4 茶多酚对复合果酒抗氧化效果的影响

茶多酚作为一种新型的抗氧化剂,具有较强清除活性氧自由基的活性^[26]。当茶多酚添加量从0.01%增加至0.06%时,果酒的FRAP值随之显著增加($P < 0.05$);当茶多酚添加量为0.07%时,FRAP值到达最高为(4.458±0.012) g/L,但随着茶多酚添加量的继续增加,果酒的FRAP值则有所下降,茶多酚添加量为0.06%~0.08%时,果酒的FRAP值变化不显著($P > 0.05$)。因此,选择茶多酚的添加量0.05%~0.07%用于正交试验。

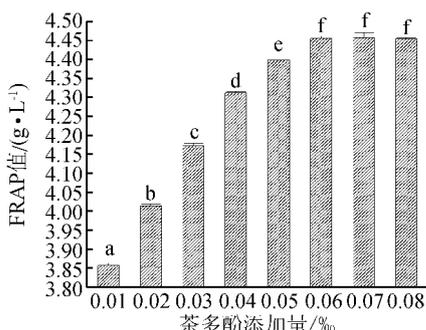


图4 茶多酚添加量对果酒抗氧化的影响

Fig. 4 Effect of tea polyphenols addition on antioxidation of fruit wine

2.2 抗氧化剂配方优化

以抗坏血酸(A)、竹叶黄酮(B)、EDTA-2Na(C)、茶多酚(D)添加量为影响因素,FRAP值为评价指标进行正交试验,结果与分析见表2。由表2可知,影响果酒抗氧化作用因素的主次关系为D>B>C>A,即茶多酚对果酒生产过程中抗氧化作用的影响最强,其次是竹叶黄酮,再次为EDTA-2Na。从R值的大小可知,最优组合为A₂B₂C₃D₂,即复合抗氧化剂的配方为抗坏血酸0.6%、竹叶黄酮0.07%、EDTA-2Na 0.026%、茶多酚0.06%。在该最佳条件进行验证试验,得到果酒的FRAP值为(4.824±0.004) g/L。

为进一步验证以上分析结果,以果酒的FRAP值为考察对象对其进行方差分析^[28],结果见表3。由表3可知,4个因素中竹叶黄酮添加量与茶多酚添加量达到了显著水平

($P < 0.05$),其他2个因素均不显著($P > 0.05$)。

表2 复合抗氧化剂配方优化正交试验结果与分析
Table 2 Results and analysis of orthogonal experiments for formula optimization of compound antioxidants

试验号	A 抗坏血酸 /%	B 竹叶黄酮 /%	EDTA-2Na /%	D 茶多酚 /%	FRAP值 / (g·L ⁻¹)
1	1	1	1	1	4.412±0.008
2	1	2	2	2	4.803±0.006
3	1	3	3	3	4.788±0.012
4	2	1	2	3	4.687±0.007
5	2	2	3	1	4.724±0.011
6	2	3	1	2	4.751±0.005
7	3	1	3	2	4.712±0.002
8	3	2	1	3	4.696±0.011
9	3	3	2	1	4.674±0.010
k ₁	4.668	4.604	4.620	4.603	
k ₂	4.721	4.741	4.721	4.755	
k ₃	4.694	4.738	4.741	4.724	
R _j	0.053	0.137	0.122	0.152	

表3 正交试验结果方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal tests results

方差来源	平方和	自由度	F值	F _{0.05} 临界值	显著性
A	0.004	2	1.000	9.000	
B	0.037	2	9.250	9.000	*
C	0.026	2	6.500	9.000	
D	0.039	2	9.750	9.000	*
误差	0.00	2			

注:“*”表示对结果影响显著($P < 0.05$)。

2.3 复合抗氧化剂对柑橘-枸杞果酒品质的影响

2.3.1 复合抗氧化剂对柑橘-枸杞果酒理化指标的影响

将使用最优复合抗氧化剂与单独添加0.20% SO₂酿造的柑橘-枸杞果酒,对其进行理化指标的检测,结果见表4。

表4 柑橘-枸杞果酒理化指标

Table 4 Physicochemical properties of orange-wolfberry fruit wine

检测项目	添加复合抗氧化剂果酒	添加 SO ₂ 果酒
酒精度 /%vol	11.56±0.02a	11.13±0.04a
总糖 / (g·L ⁻¹)	3.96±0.00a	4.07±0.02a
还原糖 / (g·L ⁻¹)	3.52±0.03a	3.63±0.01a
总酸 / (g·L ⁻¹)	5.21±0.01a	5.25±0.00a
可溶性固形物 /%	11.13±0.04a	11.26±0.03a

由表4可知,添加最优复合抗氧化剂的果酒与添加SO₂的果酒在理化指标(酒精度、总糖、还原糖、总酸、可溶

性固形物)上无显著性差异($P>0.05$)。

续表5

2.3.2 复合抗氧化剂对柑橘-枸杞果酒挥发性成分的影响

应用液液萃取技术对使用最优复合抗氧化剂与单独添加SO₂酿造的柑橘-枸杞果酒的挥发性成分进行分析,得到总离子流色谱图见图5。通过质谱解析及与NIST 05标准谱图进行比对,鉴定得到各挥发性成分,结果见表5。

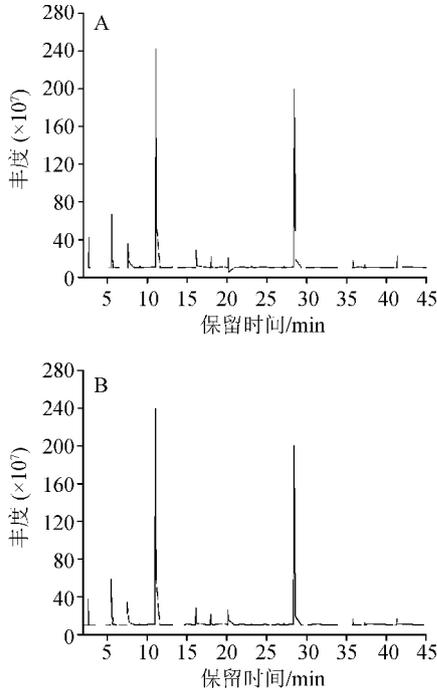


图5 添加复合抗氧化剂(A)及SO₂(B)果酒挥发成分GC-MS分析的总离子流色谱图

Fig. 5 Total ion chromatograms of volatile compounds in wines with complex antioxidants (A) and SO₂ (B) analysis by GC-MS

表5 柑橘-枸杞果酒挥发性组分含量检测结果

Table 5 Results of the volatile compounds contents of orange-wolfberry fruit wine

类别	序号	化合物	含量/(mg·L ⁻¹)	
			添加复合抗氧化剂	添加 SO ₂
醇类	1	2-丁醇	0.36±0.01a	0.33±0.02a
	2	1-丙醇	4.25±0.09a	4.24±0.04a
	3	2-甲基-1-丙醇	13.94±0.31a	13.12±0.26a
	4	1-甲氧基-2-丙醇	0.05±0.00a	0.07±0.02a
	5	丁醇	1.13±0.10a	1.10±0.05a
	6	异戊醇	126.73±1.06a	125.20±0.72a
	7	3-甲基-1-戊醇	0.25±0.01a	0.23±0.00a
	8	2,3-丁二醇	11.63±0.45b	9.14±0.63a
	9	糠醇	0.99±0.15a	0.91±0.09a
	10	3-甲硫基-1-丙醇	0.61±0.06b	0.42±0.04a
	11	苯乙醇	103.06±0.86a	103.44±1.25a
		醇类总和	262.99	258.19

类别	序号	化合物	含量/(mg·L ⁻¹)	
			添加复合抗氧化剂	添加 SO ₂
酯类	1	乙酸乙酯	17.65±0.37b	15.17±0.41a
	2	乙酸苯甲酯	0.19±0.01b	0.06±0.03a
	3	乙酸异丁酯	0.02±0.00a	0.08±0.01b
	4	乙酸丁酯	0.02±0.00a	0.05±0.01a
	5	乙酸异戊酯	0.75±0.04a	0.70±0.05a
	6	乙酸-1-甲氧基-2-丙基酯	0.02±0.00a	0.01±0.00a
	7	己酸乙酯	0.28±0.04a	0.26±0.04a
	8	丙酮酸乙酯	0.26±0.05a	0.31±0.02a
	9	乳酸乙酯	0.36±0.06a	0.69±0.09b
	10	辛酸乙酯	0.44±0.03a	0.36±0.05a
	11	3-羟基丁酸乙酯	0.82±0.01a	0.82±0.09a
	12	琥珀酸二乙酯	0.17±0.01a	0.31±0.05b
	13	乙酸苯乙酯	0.50±0.00a	0.56±0.02a
	14	邻苯二甲酸二环己酯	4.35±0.07a	5.21±0.11b
	15	琥珀酸甲酯	0.73±0.06b	0.33±0.07a
	16	琥珀酸乙酯	3.52±0.08a	3.35±0.17a
	17	邻苯二甲酸二异丁酯	0.28±0.01a	0.35±0.02a
		酯类总和	30.36	28.62
酸类	1	乙酸	6.42±0.22a	6.27±0.18a
	2	异丁酸	0.34±0.01a	0.32±0.05a
	3	3-羟基丁酸	0.63±0.07b	0.50±0.05a
	4	丁酸	0.32±0.03a	0.38±0.00a
	5	己酸	1.07±0.14a	1.08±0.06a
	6	正辛酸	0.51±0.02a	0.72±0.04b
		酸类总和	9.29	9.26
醛类	1	2-糠醛	0.08±0.01a	0.35±0.02b
	2	异香草醛	0.03±0.00a	0.04±0.01a
			醛类总和	0.11
酮类	1	β-紫罗兰酮	0.05±0.00a	0.04±0.01a
	2	3,5-二羟基-2-甲基-4H-吡喃-4-酮	0.04±0.01a	0.18±0.05b
		酮类总和	0.09	0.22
酚类	1	二丁基苯酚	6.76±0.18b	3.50±0.13a
	1	环氧丙烷	31.17±0.36b	26.43±0.21a
其他物质	2	苯乙烷	0.85±0.06a	0.76±0.03a
	3	十四烷	0.44±0.07a	0.42±0.04a
	4	十五烷	0.33±0.01a	0.35±0.06a
	5	马铃薯螺二烯	0.85±0.09b	0.34±0.01a
	6	乙酸环丙烷	0.55±0.05a	0.51±0.07a
	7	二甲基二氢咪喃	0.16±0.01a	0.13±0.00a
	8	丁二酸酐	0.28±0.04a	0.30±0.02a
	9	二十四烷	0.47±0.02a	0.77±0.09b
	10	三甲基十二烷	0.58±0.06a	0.89±0.13b
			其他物质总和	35.68

由表5可知,使用复合抗氧化剂所酿造出来的果酒在

醇类物质、酸类物质、酯类物质、酚类物质及其他挥发性物质的总和均高于单独添加SO₂酿造的果酒,尤其是2,3-丁二醇、乙酸乙酯、乙酸苯甲酯、琥珀酸甲酯、二丁基苯酚、马铃薯螺二烯的含量明显高于单独添加SO₂酿造的果酒($P<0.05$),而酮类物质与醛类物质总和低于单独添加SO₂酿造的果酒。利用复合抗氧化剂酿造的果酒挥发性成分优于单独添加SO₂酿造的果酒。

2.3.3 复合抗氧化剂对柑橘-枸杞果酒感官品质的影响

分别对两个酒样进行感官评定 结果见表6。

表6 柑橘-枸杞果酒的感官评价

Table 6 Sensory evaluation of orange-wolfberry fruit wine

果酒	感官评价	感官评分
添加复合抗氧化剂	色泽亮黄、澄清透明、有一定光泽,果香与酒香幽雅和谐,酒体丰满、爽口、回味绵延,风格幽雅无缺。	93.2
添加SO ₂	色泽亮黄、澄清透明、无明显悬浮物,果香与酒香良好,酒体柔和爽口,风格良好,有一定的典型性。	82.8

由表6可知,添加最优复合抗氧化剂酿造的果酒感官评分为93.2分,而添加SO₂酿造的果酒感官评分为82.8分。新型复合抗氧化剂酿造的果酒感官评分较优。结果表明无硫复合果酒酿造技术的可能性和可行性。

3 结论

本研究结果表明,柑橘-枸杞果酒酿造过程中采用绿色健康、安全无毒的抗氧化剂来替代传统的二氧化硫生产无硫复合果酒的可能性和可行性,复合抗氧化剂的最佳配方为抗坏血酸0.6‰、竹叶黄酮0.07‰、EDTA-2Na 0.026‰、茶多酚0.06‰。用此复合抗氧化剂来代替发酵过程中的SO₂,果酒的理化指标(酒精度、总酸、总糖、还原糖等)没有明显的变化而挥发性成分更优致使其感官评分有所提高。在此工艺下可以获得色泽亮黄、透明、果香与酒香和谐的柑橘-枸杞果酒。新型复合抗氧化剂用于柑橘-枸杞果酒生产具有广阔的应用前景,如若进一步投入工厂生产,还需继续做更深入地探讨研究。

参考文献:

[1] 刘岩. 营养型胡萝卜鲜橙汁复合饮料的研制[D]. 保定:河北农业大学, 2014.
 [2] 罗佳丽,王雪莹,王孝荣,等. 甜橙果酒酵母筛选及发酵性能[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 222-227.
 [3] 徐娟,邓秀新. 柑橘类果汁胞的红色现象及其呈色色素[J]. 果树学报, 2002, 19(5): 307-313.
 [4] 叶波. 胡萝卜橙复合汁饮料加工工艺及色泽稳定性研究[D]. 雅安:

四川农业大学, 2006.
 [5] 李锐,冯奎,吴婧,等. 不同来源酿酒酵母对柑橘果酒香气成分的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 206-213.
 [6] 赵晓梅,吴玉鹏,王旭辉,等. 不同采摘期对枸杞果实质性状和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2015, 28(2): 772-777.
 [7] 赵翱,李红良,梁志毅. 响应面法优化低度枸杞米酒的酿造工艺[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(1): 227-231.
 [8] 李娜,孙波. 蓝莓枸杞发酵酒的生产工艺研究[J]. 酿酒, 2015, 42(6): 103-104.
 [9] 周艳华,李涛,覃世民,等. 枸杞活性成分提取分离方法研究进展[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(24): 163-166.
 [10] 栗亚男,宋慧,强阿娟,等. 复合果酒发酵工艺的研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(3): 115-119.
 [11] 刘波. 野生山里红与山楂复合果酒的优化工艺[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(8): 61-64.
 [12] 李变变. 茶多酚对苹果酒抗氧化作用的研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(25): 296-297.
 [13] 谢天柱,李一婧,马伟超,等. 茶多酚对苹果酒抗氧化作用的研究[J]. 中国酿造, 2010, 29(12): 53-55.
 [14] 王华,李华. 二氧化硫在红葡萄酒中的抗氧化性研究[J]. 中国食品添加剂, 2003(5): 31-35.
 [15] 李涛,余旭亚,陈朝银,等. 抗氧化剂的研究与应用现状[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(2): 23-27.
 [16] 张斌,罗帝洲,郑倩. 外源抗氧化剂对荔枝酒发酵的影响研究[J]. 中国酿造, 2015, 34(11): 131-135.
 [17] 米桂,李新生,韩豪,等. 紫薯酒褐变抑制研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(12): 4755-4761.
 [18] 周文化,钟秋平. 提高咖啡酒非生物稳定性的探讨[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(6): 120-123.
 [19] 潘佳佳,叶生月,丁东栋,等. 4种竹子竹叶黄酮质量分数及抗氧化活性的季节变化[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(2): 280-284.
 [20] 章宇,谢萌,吴晓琴,等. 强化竹叶黄酮对酿造酒抗自由基和抗氧化性能的改进[J]. 中国食品学报, 2005, 5(4): 34-39.
 [21] 林陈芳. 猕猴桃VC降解规律及果粉干燥工艺的研究[D]. 杭州:浙江工商大学, 2015.
 [22] 马利华. 对灌装果汁褐变的初步研究[J]. 食品科技, 2003(9): 72-73, 79.
 [23] 王栋,康健. 茶多酚的功效、提取和应用前景[J]. 新疆大学学报:自然科学版, 2007, 24(2): 217-221.
 [24] 李一婧,谢天柱,马伟超,等. 茶多酚苹果酒的发酵新工艺中试研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(1): 145-148.
 [25] 徐金瑞,邓翌凤,列丽坤. 几种抗氧化剂协同作用对葵花籽油稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2009, 34(8): 40-42.
 [26] 林美容,刘晓艳,杜劲松,等. 茶多酚与竹荪、海带提取物的抗氧化协同效应[J]. 食品工业, 2015(4): 181-185.
 [27] 杨磊,贾佳,祖元刚. 山楂属果实提取物的体外抗氧化活性[J]. 中国食品学报, 2009, 9(4): 28-32.
 [28] 刘婧竟,乔发东. 甜酒曲生长特性研究及米酒生产工艺优化[J]. 中国酿造, 2010, 29(12): 41-44.