

吴璐璐, 许剑锋, 赵 勇. 拳参乙醇提取物和水提取物体外抗菌和抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(5): 246–249.

拳参乙醇提取物和水提取物体外抗菌和抗氧化活性

吴璐璐, 许剑锋, 赵 勇

(上海海洋大学食品学院/上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

摘要: 为了了解拳参是否可以替代现有食品抗菌剂和抗氧化剂, 通过滤纸片法测定拳参乙醇提取物和水提取物(简称醇提物和水提物)的抑菌效果, 同时用清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基和 FRAP 法对拳参醇提物和水提物的体外总抗氧化活性进行评价, 并与水溶性维生素 E 和二叔丁基羟基甲苯(BHT)进行比较。结果表明, 拳参醇提物和水提物都有较广的抑菌范围; 醇提物和水提物都具有较好的抗氧化活性, 其中醇提物的抗氧化活性与同浓度的水溶性维生素 E 相当, 而水提物的抗氧化活性略差, 但两者都比 BHT 溶液的抗氧化活性略强。说明拳参醇提物和水提物具有一定的抗菌抗氧化活性, 对于天然食品防腐抗氧化剂的开发具有一定的意义。

关键词: 拳参; DPPH 自由基; ABTS 自由基; FRAP; 抗氧化活性

中图分类号: Q946–33 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2013)05–0246–03

随着生活水平的提高, 食品的质量与安全问题愈来愈受到人们的关注。通常食品变质有 2 种情况, 一种是食品在适合微生物生长的环境和条件下, 因微生物迅速生长繁殖而导致食品腐败变质, 并产生有毒物质; 另一种是食品被氧化变质, 主要是食品受空气、光线和热的影响而氧化, 从而影响食品品质并产生有毒物质。为了提高食品的抗菌、抗氧化性能, 在加工食品的过程中, 必要时须要添加防腐保鲜剂^[1]。众所周知, 食品行业的添加剂大多数是工业合成的化学物质, 动物试验表明, 人工合成的食品添加剂可能对人体产生一定的毒副作用^[2–3], 因此开发高效、安全、天然的食品防腐抗氧化剂是当今食品行业的必然趋势。

拳参为蓼科蓼属植物拳参(*Polygonum bistorta* L.)的根茎^[4]。常星等研究发现, 拳参甲醇、乙酸乙酯和石油醚提取物的抗氧化活性高于食品行业中常用的抗氧化剂二叔丁基羟基甲苯(BHT)^[5]。而刘春棋等研究发现, 拳参提取物对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌和痢疾杆菌具有一定的抑制作用^[6]。国内外学者对于拳参乙醇提取物和水提取物(简称醇提物和水提物)的研究相对较少, 并且乙醇提取法和水溶液提取法是食品行业中相对安全的提取方法, 因此研究拳参醇提物和水提物的抗菌和抗氧化特性对天然食品防腐剂的开发具有重要意义。

本研究旨在体外测定拳参醇提物和水提物的抗菌和抗氧化活性, 为开发拳参醇提物和水提物作为天然的食品防腐剂提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

收稿日期: 2012–10–10

基金项目: 上海市科委工程中心建设项目(编号: 11DZ2280300); 上海市教育委员会重点学科建设项目(编号: J50704)。

作者简介: 吴璐璐(1987—), 女, 江苏太仓人, 硕士研究生, 研究方向为食品微生物。E-mail: wlljpc@163.com。

通信作者: 许剑锋, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向海洋天然药物。E-mail: jfxu@shou.edu.cn。

中药拳参, 购自上海同济大药堂; 乙醇、没食子酸、福林–酚试剂、硫代硫酸钠、冰乙酸、浓盐酸、三水合乙酸钠、无水碳酸钠、三氯化铁、过二硫酸钾均为分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司; 二苯代苦味酰基(DPPH)自由基、水溶性维生素 E 均为分析纯, 购自梯希爱化学工业发展有限公司; 2, 2′–连氮–(3–乙基苯并噻唑啉–6–磺酸)二氢盐(ABTS)、三吡啶三叶啉(TPTZ)均为分析纯, 购自上海源叶生物科技有限公司。

供试菌种包括大肠杆菌(*Escherichia coli* ATCC25922)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* ATCC25923)、副溶血性弧菌(*Vibrio parahaemolyticus* ATCC17802)、单增李斯特氏菌(*Listeria monocytogenes* ATCC19115)、蜡样芽孢杆菌(实验室分离)。

紫外可见分光光度计 UV1102, 上海美谱仪器有限公司; 数显恒温水浴锅 HH–2, 国华电器有限公司; R–205 型旋转蒸发器, 上海申顺生物科技有限公司; DHG–9243BS–III 电热恒温鼓风干燥箱, 上海新苗医疗器械制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 拳参醇提物和水提物的制备 称取 200 g 拳参药材, 粉碎后放入 500 mL 回流瓶中, 加 200 mL 95% 乙醇后于 80 ℃ 下回流煮沸 5 h; 倒出提取液后, 再加入 200 mL 95% 乙醇回流煮沸 5 h, 合并提取液。取合并后的粗提液, 减压抽滤, 倒入旋转蒸发瓶中, 65 ℃ 减压旋转蒸发除去溶剂后得到提取的膏状物质。拳参水提法与醇提法步骤相同, 溶剂为 200 mL 去离子水。

1.2.2 拳参醇提物和水提物的抑菌活性 参照 Chan 等的方法^[7]测定抑菌圈直径, 但略有改动。将均匀涂菌后的平板置于 37 ℃ 或 30 ℃ 恒温培养箱中 5 min, 使表面干燥, 用无菌镊子将滤纸片贴在培养基表面, 轻压纸片以确保接触良好, 然后吸取 10 μL 0.001 g/mL 样品溶液于滤纸表面并作标记, 以 10 μL 0.001 g/mL 山梨酸钾的滤纸片作为对照, 试验步骤同样品溶液。37 ℃ 恒温倒置培养 18~24 h, 观察抑菌圈大小并测定其直径。

1.2.3 多酚含量的测定 没食子酸标准曲线的绘制参考黄

树萃等的方法^[8],但略有改动。得没食子酸回归方程为 $y = 0.005\ 2x + 0.012\ 4, r^2 = 0.997$ 。

多酚含量测定:配置不同浓度的样品溶液,按上述标准曲线测定方法测定拳参多酚含量,试验重复3次,最后代入标准曲线计算各样品的多酚含量(mg/g),表示为1 g提取物中多酚的量(mg)等同于没食子酸的量,试验重复3次。

1.2.4 DPPH 自由基清除能力的测定 参照 Thaipong 等的方法^[9]测定 DPPH 自由基清除率,但略有改动。具体试验方法如下:取0.2 mL不同浓度的样液,加入7.8 mL吸光度为 0.7 ± 0.02 的 DPPH 自由基标准液(现用现配),以甲醇替代样液作为空白对照。反应30 min后,将混合溶液摇匀,用比色皿在515 nm波长处测定不同浓度的吸光度,对照公式(1)计算各样品的 DPPH 自由基清除率。且以水溶性维生素 E 溶液作标准曲线,计算样品溶液 DPPH 自由基清除率相当于水溶性维生素 E 的量($\mu\text{mol/g}$),试验重复3次。

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \left(1 - \frac{D_s}{D_c}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: D_s 为样品溶液清除 DPPH · 后的吸光度; D_c 为空白对照所测定的吸光度。

1.2.5 ABTS 自由基清除能力的测定 参照 Deepika 等的方法^[10]测定 ABTS 自由基清除率,并略有改动。配置完 ABTS 工作液后,取150 μL 不同浓度的样品溶液和4 850 μL 吸光度为 (0.70 ± 0.02) 的 ABTS 自由基工作液,以纯甲醇为空白对照,反应1 h后,测定其在734 nm处的吸光度,对照公式(2)计算各样品的 ABTS 自由基清除率,以水溶性维生素 E 溶液作标准曲线,计算样品溶液 ABTS 自由基清除率性相当于水溶性维生素 E 的量($\mu\text{mol/g}$),重复3次。

$$\text{ABTS 自由基清除率} = \left(1 - \frac{D_s}{D_c}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中: D_s 为样品溶液清除 DPPH · 的吸光度; D_c 为空白对照所测定的吸光度。

1.2.6 铁离子还原抗氧化能力(FRAP)测定 参照 Re 等的方法^[11]进行测定,但略有改动。取不同浓度的样品溶液150 μL ,加入4 850 μL TPTZ 工作液,于35 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中反应30 min,再于593 nm波长处测吸光度;并且以水溶性维生素 E 溶液作标准曲线,FRAP法抗氧化活性表示为相当于水溶性维生素 E 的量($\mu\text{mol/g}$),重复3次。

2 结果与分析

2.1 拳参醇提取物和水提取物的抑菌活性

表1为拳参醇提取物和水提取物对5种食品常见致病菌的抑菌圈净直径(溶液抑菌圈直径与溶剂抑菌圈直径之差)。3种溶液对大肠杆菌的抑菌圈净直径大小为:拳参醇提取物>拳参水提取物>山梨酸钾;对金黄色葡萄球菌的抑菌圈净直径大小为:山梨酸钾<拳参醇提取物<拳参水提取物;对蜡样芽孢杆菌的抑菌圈净直径大小为:拳参醇提取物<拳参水提取物<山梨酸钾;对单增李斯特氏菌的抑菌圈净直径大小为:拳参水提取物<拳参醇提取物<山梨酸钾;对副溶血性弧菌的抑菌圈净直径大小为拳参醇提取物<拳参水提取物<山梨酸钾。

2.2 拳参醇提取物和水提取物的多酚含量与抗氧化活性

由表2可以看出,总体来说,拳参醇提取物的抗氧化活性

表1 拳参醇提取物和拳参水提取物抑菌圈净直径

提取物	抑菌圈净直径(mm)				
	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌	蜡样芽孢杆菌	单增李斯特氏菌	副溶血性弧菌
0.001 g/mL 拳参水提取物	4.1	14.1	7.1	0.1	2.0
0.001 g/mL 拳参醇提取物	4.5	4.9	1.3	0.3	0.1
0.001 g/mL 山梨酸钾	2.6	2.6	7.3	0.6	2.1

强于拳参水提取物。拳参醇提取物的多酚含量是拳参水提取物的15.7倍,拳参醇提取物 DPPH 自由基清除率是其水提取物的1.5倍,拳参醇提取物 ABTS 自由基清除率是其水提取物的1.8倍,拳参醇提取物铁离子还原能力是其水提取物的1.3倍。

表2 拳参醇提取物和水提取物的多酚含量与抗氧化活性

拳参提取物	多酚含量(mg/g)	清除率($\mu\text{mol/g}$)		
		DPPH	ABTS	FRAP
醇提取物	243 146 \pm 18 433	13 930 \pm 510	4 326 \pm 410	3 651 \pm 118
水提取物	15 513 \pm 786	9 034 \pm 186	2 386 \pm 260	2 735 \pm 31

2.3 DPPH 自由基清除率试验结果

图1为拳参醇提取物、拳参水提取物、BHT溶液、水溶性维生素 E 溶液样品含量与 DPPH 自由基清除率的线性关系。4种样品对 DPPH 自由基的清除率与样品含量呈显著正相关,拳参醇提取物样品含量与 DPPH 自由基清除率的线性关系为 $y = 15.2x + 0.067\ 6(r^2 = 0.973)$;拳参水提取物的清除率线性关系为 $y = 10.5x + 0.035\ 8(r^2 = 0.987)$;BHT溶液的清除率线性关系为 $y = 11.083x + 0.105(r^2 = 0.956)$;水溶性维生素 E 溶液的清除率线性关系为 $y = 47.8x + 0.029\ 3(r^2 = 0.988)$;但四者的清除效率不同,即水溶性维生素 E 溶液>拳参醇提取物>BHT溶液>拳参水提取物。

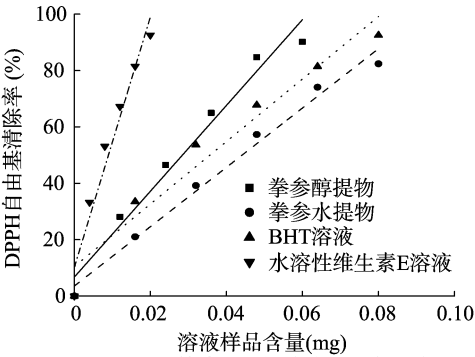


图1 DPPH自由基清除率与溶液样品含量的关系

2.4 ABTS 自由基清除率试验结果

图2为拳参醇提取物、拳参水提取物、BHT溶液、水溶性维生素 E 溶液样品含量与 ABTS 自由基的清除率线性关系。4种样品对 ABTS 自由基的清除率与样品含量显著正相关性,即拳参醇提取物样品含量与 ABTS 自由基清除率的线性关系为 $y = 25.2x + 0.082\ 4(r^2 = 0.968)$;拳参水提取物的清除率线性关系为 $y = 29.5x + 0.020\ 9(r^2 = 0.991)$;BHT溶液的线性关系为 $y = 10.268x + 0.03(r^2 = 0.983)$;水溶性维生素 E 溶液的线性关系为 $y = 29.5x + 0.020\ 9(r^2 = 0.991)$;但其清除效率不同,即水溶性维生素 E 溶液>拳参醇提取物>拳参水提

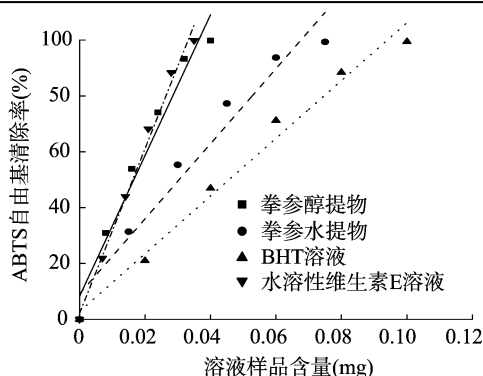


图2 ABTS自由基清除率与溶液样品含量的关系

物>BHT溶液。

2.5 铁离子还原抗氧化能力(FRAP)试验结果

图3为拳参醇提取物、拳参水提取物、BHT溶液、水溶性维生素E溶液样品含量与铁离子还原能力的线性关系。4种样品的铁离子还原能力与样品含量显著正相关,拳参醇提取物的样品含量与铁离子还原能力的线性关系为 $y = 21.938x - 0.0149$ ($r^2 = 0.997$);拳参水提取物的铁离子还原能力线性关系为 $y = 16.614x - 0.011$ ($r^2 = 0.995$);BHT溶液的线性关系为 $y = 7.857x + 0.0065$ ($r^2 = 0.998$);水溶性维生素E溶液的线性关系为 $y = 23.062x + 0.0016$ ($r^2 = 0.991$)。4种样品溶液铁离子还原能力依次为:水溶性维生素E溶液>拳参醇提取物>拳参水提取物>BHT溶液。

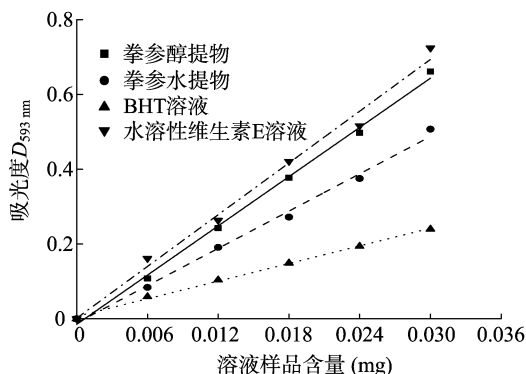


图3 铁离子还原能力与溶液样品含量的关系

3 结论与讨论

3.1 拳参醇提取物和水提取物的抗菌活性

拳参醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌、单增李斯特氏菌均有一定的抑制作用,而对副溶血性弧菌没有抑制作用。其中醇提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的抑菌圈净直径值远大于同浓度的山梨酸钾,说明醇提取物对这2种菌的抑制作用强于山梨酸钾;醇提取物对蜡样芽孢杆菌的抑菌圈直径值比山梨酸钾小很多,说明山梨酸钾对蜡样芽孢杆菌的抑制作用强于醇提取物;醇提取物和山梨酸钾对单增李斯特氏菌的抑菌圈净直径均很小,说明醇提取物和山梨酸钾对单增李斯特氏菌几乎没有抑制作用;醇提取物对副溶血性弧菌的抑菌圈也极小,说明拳参醇提取物对其几乎没有抑制作用。

拳参水提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌、副溶血性弧菌均有一定的抑制作用,而对单增李斯特氏菌

几乎没有抑制作用。其中水提取物对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的抑菌圈净直径远大于山梨酸钾,说明水提取物对这2种菌的抑制作用强于同浓度的山梨酸钾溶液;水提取物对蜡样芽孢杆菌、副溶血性弧菌的抑菌圈净直径与山梨酸钾接近,说明同浓度的水提取物和山梨酸钾溶液的对这2种菌抑制作用相当;水提取物对单增李斯特氏菌的抑菌圈净直径很小,说明水提取物对其几乎没有抑制作用。

总体来说,拳参醇提取物和水提取物都具有较广的抑菌范围。同浓度的拳参醇提取物、拳参水提取物和山梨酸钾溶液对食品中最常见食源性致病菌大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌都有较好的抑制效果,这与刘春棋等的结果^[6]相吻合;三者对肉类食品中常见的单增李斯特氏菌的抑制作用都比较弱,水提取物对水产品中常见致病菌副溶血性弧菌有较好抑菌活性,而醇提取物对其几乎没有抑制作用。

3.2 拳参醇提取物和水提取物的抗氧化活性

DPPH法测定结果表明,对自由基的清除能力大小为水溶性维生素E溶液>拳参醇提取物>BHT溶液>拳参水提取物;ABTS法测定结果表明,对自由基的清除能力大小为水溶性维生素E溶液>拳参醇提取物>拳参水提取物>BHT溶液,其中拳参醇提取物对自由基的清除效果与水溶性维生素E接近;FRAP法测定结果表明,4种物质对铁离子还原能力大小为水溶性维生素E溶液>拳参醇提取物>拳参水提取物>BHT溶液,其中拳参醇提取物对铁离子还原能力与水溶性维生素E接近。各种方法所测定的结果基本一致,但DPPH法与其他结果略微不同,这可能与3种方法的抗氧化机制不同有关,但是不影响总体结果。

水溶性维生素E为生物体内重要的抗氧化剂 α -生育酚的衍生物,具有很高的抗氧化活性^[12];BHT为食品中最常用的抗氧化剂,也具有抗氧化活性^[13]。总体来说,拳参醇提取物的抗氧化活性比水溶性维生素E略低,部分原因可能是拳参醇提取物多酚类物质含量高,但2种提取物的抗氧化活性均比BHT强。

拳参醇提取物和水提取物都具有较广的抑菌范围。拳参醇提取物和水提取都具有一定的抗氧化活性,其中醇提取物的抗氧化活性与水溶性维生素E相当,而水提取物的抗氧化活性略差,但是比BHT高。拳参醇提取物和水提取物虽都具有较高的抗菌和抗氧化活性,但两者均为混合物,其作用物质和机制尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 尤新. 食品抗氧化剂与人体健康[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(2): 1-6.
- [2] 王雪珍. 中国食品抗氧化剂发展亟待完善[J]. 精细与专用化学品, 2009, 17(12): 3.
- [3] 张红艳, 林凯, 阎春娟. 国内外天然食品防腐剂的研究进展[J]. 粮食加工, 2004, 29(3): 57-60.
- [4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:化学工业出版社, 2000: 239.
- [5] 常星, 刘瑜新, 康文艺. 拳参抗氧化活性研究[J]. 精细化工中间体, 2009, 39(2): 28-31.
- [6] 刘春棋, 王小丽, 曾靖. 拳参提取物抑菌活性的初步研究[J]. 赣南医学院学报, 2006, 26(4): 489-490.

潘训海,刘新露,罗惠波,等. 桑葚果酒酵母的分离及筛选[J]. 江苏农业科学,2013,41(5):249-251.

桑葚果酒酵母的分离及筛选

潘训海¹, 刘新露², 罗惠波¹, 卫春会¹

(1. 四川理工学院生物工程学院/酿酒生物技术及应用四川省重点实验室, 四川自贡 643000;

2. 四川理工学院化学与制药工程学院, 四川自贡 643000)

摘要:以桑葚果汁自然发酵液和桑果园土壤为分离源,从中分离筛选桑葚果酒酵母,将筛选得到的酵母与对照酵母进行发酵对比研究,进一步确定桑葚果酒酿酒优良菌种,并将筛选得到的酵母进行生产中试。结果表明:从分离源中分离得到 12 株酵母菌,经过初筛、复筛,获得 1 株比较适宜酿造桑葚果酒的酵母菌(SY-2),该菌种具有起酵快、发酵过程缓和、产香好等优异特征,通过生产中试,制得紫红色、澄清透明、香气协调、柔和爽口的优质桑葚果酒,从而确定该菌株可作为桑葚果酒生产用酵母。

关键词:桑葚果酒;酵母;筛选

中图分类号:TS261.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2013)05-0249-03

桑葚又叫桑果,为桑科落叶乔木桑树的果实,成熟的桑葚甘甜多汁、酸甜适口、风味独特^[1]。桑葚富含多种营养成分及黄酮类化合物,具有滋阴补血、保肝护肾、润肠通便、增强免疫力及促进新陈代谢等功效^[2-4],已被我国卫生部列入“既是食品又是药品”的名单中^[5]。

桑葚酒历史悠久,根据生产工艺不同可以分为发酵酒和配制酒 2 种^[6]。桑葚发酵酒是以成熟的桑果为原料,经榨汁、调整成分后加入活性酵母精心酿制而成的果酒。桑葚酒营养保健价值高,具有很高的开发利用价值。我国是丝绸之国,种桑养蚕历史悠久,桑树种类及桑葚产量均位居世界首位,全国各地均有栽培,资源十分丰富。开发桑葚果酒是果桑资源综合利用的一个重要领域,可以增加桑农收入,具有良好的社会效益和经济效益。果酒生产中菌种是影响果酒品质的关键因素之一^[7],目前多数果酒生产菌种采用葡萄酒酿酒酵母,尚缺乏桑葚酿酒专用酵母。本试验从自然环境中分离、筛选桑葚酿酒酵母,并在四川省阆州圣果酒业有限公司进行生产中试,期望得到适合桑葚果酒生产用的优良酵母。

收稿日期:2012-12-28

基金项目:四川省重点技术创新项目(企业技术创新专项)(编号:2011NCLZ433)。

作者简介:潘训海(1980—),男,重庆忠县人,讲师,硕士,主要从事发酵工程方面的研究。E-mail:panxh2000@163.com。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜桑葚:购于农贸市场(四川自贡产);干桑葚:四川省阆州圣果酒业有限公司提供;对照菌种:高活性葡萄酒酵母(实验室保存)。

1.2 试剂与仪器

1.2.1 试剂 柠檬酸(上海试剂一厂产品,分析纯);偏重亚硫酸钾(上海试剂四厂产品,分析纯);其他试剂均为分析纯。

1.2.2 培养基 麦芽汁琼脂培养基^[8]

1.2.3 仪器 手持糖量计:成都格纳丝商贸有限公司生产;蒸汽灭菌锅:上海三申医疗器械有限公司生产;AR1140 电子分析天平:奥克斯国际贸易有限公司生产;酸度计:热电(上海)仪器有限公司生产;722S 型分光光度计:上海精密科学仪器有限公司生产;榨汁机:广州旭众有限公司生产;HH-6 电热数显恒温水浴锅:江苏金坛市医疗器械厂生产;OLYMPUS CX21 生物显微镜:南京麦迪森仪器有限公司生产;LRH-250 生化培养箱:上海齐欣科学仪器有限公司生产;生产中试设备:四川省阆州圣果酒业有限公司提供。

1.3 方法

1.3.1 桑葚果汁的制备 选取新鲜成熟桑葚,榨取果汁,在桑葚汁中加蔗糖调糖度至 15%,用柠檬酸调节 pH 值至 4.0,然后添加 $K_2S_2O_5$ 使有效 SO_2 含量达到 70 mg/L。

[7] Chan L W, Cheah E L C, Saw C L L, et al. Antimicrobial and antioxidant activities of *Cortex Magnoliae Officinalis* and some other medicinal plants commonly used in South-East Asia[J]. Chinese Medicine, 2008, 3: 15.

[8] 黄树草, 谈大明, 徐长城, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定丝瓜中多酚含量的研究[J]. 中国蔬菜, 2010(4): 47-52.

[9] Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, et al. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(6/7): 669-675.

[10] Deepika G, Rajinder G. Bioprotective properties of Dragon's blood

resin; *in vitro* evaluation of antioxidant activity and antimicrobial activity[J]. BMC Complementary and Alternative Medicine, 2011, 11: 13.

[11] 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.

[12] 杨盈, 刘扬, 聂舟, 等. Trolox 及其酯化物与 DPPH 自由基的反应机理[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2009, 30(3): 280-283.

[13] 章佳妮, 侯建平, 翁新楚. 合成抗氧化剂及其氧化产物的抗氧化活性[J]. 粮油加工, 2009(1): 59-63.