

柿果醋酿造过程中抗氧化性能的变化

孙璐宏¹, 鲁周民^{1*}, 包蓉¹, 赵楠¹, 白卫东²

(1.西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2.仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东 广州 510225)

摘要:目的: 揭示柿果醋生产过程中抗氧化性能变化规律及其物质基础。方法: 以水柿为原料、采用一步发酵方法, 对柿果醋生产过程中主要抗氧化物质含量和抗氧化性能的变化以及它们之间的相关性进行研究。结果: 总酚、总黄酮和 VC 含量在发酵阶段都呈先升高后降低趋势, 在陈酿过程中呈缓慢上升趋势, 三者含量相互间存在极显著正相关关系($P < 0.01$); 柿果醋的总抗氧化能力在发酵过程快速上升, 在陈酿中呈缓慢上升趋势, 与总酸含量呈极显著正相关关系($P < 0.01$); 柿果醋对 DPPH 自由基的清除能力与总黄酮、总酸和 VC 含量呈显著正相关关系($P < 0.05$), 对羟自由基的清除能力与总酚含量呈极显著正相关关系($P < 0.01$)。结论: 柿果醋具有极强的抗氧化能力, 其抗氧化作用是果醋中多种成分共同作用的结果。

关键词: 柿果醋; 一步发酵; 抗氧化活性; 相关性

Change of Antioxidant Activity in Persimmon Vinegar during Brewing Process

SUN Lu-hong¹, LU Zhou-min^{1*}, BAO Rong¹, ZHAO Nan¹, BAI Wei-dong²

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. College of Light Industry and Food, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Objective: To reveal the change regularity of antioxidant activity and material basis in persimmon vinegar during brewing process. Methods: One-step fermentation method was applied for brew vinegar from persimmon pulp. The major change in antioxidant contents and antioxidant activity as well as their correlation were explored. Results: The content change of total polyphenols, total flavonoids and vitamin C exhibited an initial increase and a final decrease during the fermentation process and a slow ascending trend during the aging stage. An obviously positive correlation among the three components was observed ($P < 0.01$). The total antioxidant activity of persimmon vinegar revealed a rapid increase during fermentation process. Meanwhile, a significantly positive correlation between total antioxidant activity and total acid was also observed ($P < 0.01$). Moreover, a remarkable positive correlation was also observed between the DPPH radical-scavenging capacity of persimmon vinegar and the contents of total flavonoids, total acid or vitamin C ($P < 0.05$) and between the hydroxyl radical-scavenging capacity and the content of total polyphenols ($P < 0.01$). Conclusion: Persimmon vinegar has significant antioxidant activity and its antioxidant activity is attributed to many kinds of components.

Key words: persimmon vinegar; one-step fermentation; antioxidant activity; correlation

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)19-0037-05

果醋是以水果或果汁为主要原料经酵母菌、醋酸菌发酵而成的调味品。研究表明, 果醋具有降低血压、预防动脉硬化及某些癌症、清除过氧化自由基、抑制过氧化脂质产生、防止色素沉淀等作用^[1-3]。柿树属柿科(Ebenaceae)柿属(*Diospyros* Lf.), 为多年生落叶果树, 果实具有极高的药用价值。中国为产柿大国, 2008年

柿果产量已超过 270 万 t, 但柿果消费是产业发展中的大问题^[4]。由于柿果中含有与抗氧化性能有关的成分如黄酮、多酚、VC 等, 因而表现出较明显的抗动脉硬化、抗心血管疾病、抗肿瘤、抗老化、抗微生物作用^[5-7]。长期以来, 大多产柿国家的主要产区一般都有用柿果酿制果醋的传统, 因此, 研究柿果醋生产过程的抗氧化

收稿日期: 2011-01-15

基金项目: 广东省科技攻关项目(2009B040600006)

作者简介: 孙璐宏(1985—), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物资源化学。E-mail: xns1h1985@yahoo.com.cn

* 通信作者: 鲁周民(1966—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为经济林果品保鲜贮藏与加工利用。

E-mail: lzm@nwsuaf.edu.cn

性能变化规律对该产业发展具有重要意义。近年来,国内对柿果醋加工工艺的研究较多^[8-9],而国外对柿果醋成品抗氧化性能的研究较多^[10-13],Moon等^[10]的体外研究表明柿果醋能有效清除DPPH自由基、羟自由基,具有较强的抗氧化性能;Sakanaka等^[11]的体内研究表明柿果醋能有效降低血脂、阻止代谢紊乱。虽然Sakanaka等的研究表明豆浆的发酵可以提高其抗氧化性能, Lee等^[13]也在研究黑豆的抗氧化性能时提出真菌参与的固态发酵能提高其抗氧化性能,但这些研究多为对成品物质在一定衡量体系条件下的抗氧化性研究。

一步发酵法是在传统自然发酵基础上改进的柿果醋生产方法,通过人工加入酵母菌而提高酒精发酵速度,并利用柿果自身携带的天然醋酸菌进行发酵,以加快醋酸发酵速度。该方法具有发酵周期短、操作容易等特点^[9]。本实验以水柿为原料、采用一步发酵法,对柿果醋生产过程中主要抗氧化物质成分含量和抗氧化性能的变化以及它们之间的相关性进行研究,旨在揭示柿果醋生产过程中抗氧化性能变化规律及其物质基础,为柿果醋生产及其功能性研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

成熟软化的水柿(*Diospyros kaki* L.)购于陕西杨凌徐西湾村,含水率为72.38%。

酿酒高活性干酵母 广东丹宝利酵母有限公司。

1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH) 美国Aldrich公司; 2,2'-连氮-双(3-乙基苯并噻唑-6-磺酸)(ABTS^{•+}) 美国Sigma公司; 三羟甲基氨基甲烷(Tris)、没食子酸、芦丁、福林试剂、碳酸钠、水杨酸、30%过氧化氢、硫酸亚铁、邻苯三酚、亚硝酸钠、无水乙醇均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

GPR Centrifuge型高速冷冻离心机 美国Beckman公司; UV 1240紫外-可见分光光度计 日本岛津公司; HPS-250型生化培养箱 哈尔滨市东联电子技术开发有限公司; R200型电子分析天平 德国Sartorius公司; 科伟HH-S4型水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司。

1.3 柿果醋酿造方法

参照文献^[9]的方法进行。取少量活性干酵母,加入35℃温水中复水20min(比例为1:100, *m/V*),按水质量的4%加入蔗糖,搅拌均匀,35℃活化2h备用。

取软化后的柿子,去核打浆,加入柿果浆质量30%的水稀释并接入0.87%活化后的酵母菌液,分装于发酵罐中,每罐1000g,置于31℃生化培养箱内发酵,每天搅拌3次,发酵12d。然后密闭发酵罐,于室温条件陈酿180d。发酵期间每3d、陈酿期间每30d取样测

定总酚、黄酮、VC、总酸、还原糖含量以及对DPPH自由基、羟自由基清除能力和总抗氧化能力。

1.4 指标测定

1.4.1 总酚含量测定

参照文献^[14]的方法,略有改动。称取没食子酸标准品25mg,用水溶解并定容至250mL,得0.1mg/mL的对照品标准溶液。吸取没食子酸标准溶液0.0(第1管)、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0mL,分别置于10mL比色管中,依次加入水5.5、5.3、5.1、4.9、4.7、4.5mL,然后各加入0.5mL福林试剂,最后加入4mL 7.5%的碳酸钠溶液混合,置于75℃水浴中保温15min,取出冷却至室温,以第1管溶液作参比并在波长765nm处分别测定吸光度。以吸光度(*y*)对质量浓度(*x*)进行回归,得标准曲线为: $y = 9.1843x + 0.0033$, $R = 0.9986$ 。以稀释10倍后的发酵液1mL代替没食子酸标准溶液按上述方法测定,计算结果。

1.4.2 VC含量测定

采用2,6-二氯酚靛酚滴定法^[15]。

1.4.3 总黄酮含量测定

参照文献^[16]的方法,略有改动。称取在120℃减压干燥至质量恒定的芦丁对照品200mg,置于100mL容量瓶中,加甲醇溶解并定容至刻度,再用甲醇稀释10倍,得0.2mg/mL的芦丁标准溶液。分别吸取芦丁标准溶液0.0(第1管)、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0mL,置于10mL比色管中,各加水至5mL,加5%的亚硝酸钠0.5mL,室温放置6min,再加入10%的硝酸铝0.5mL,再放置6min,最后加入4%氢氧化钠4mL,放置15~20min之后,以第1管溶液作参比并在波长510nm处分别测定吸光度。以吸光度(*y*)对质量浓度(*x*)进行回归得标准曲线为: $y = 1.0535x + 0.0096$, $R = 0.9978$ 。以1mL发酵液代替芦丁标准溶液按上述方法进行测定,计算结果。

1.4.4 总酸含量测定

总酸含量以醋酸计,用0.1mol/L NaOH溶液进行酸碱滴定。

1.4.5 还原糖含量测定

参照文献^[17]的方法,以吸光度(*y*)对质量浓度(*x*)进行回归得标准曲线为: $y = 0.2874x - 0.018$, $R = 0.9961$,同样,以文献^[17]所示的方法测定1mL发酵液中的还原糖含量。

1.4.6 清除DPPH自由基作用

参照文献^[18]的方法,用无水乙醇配制 8.62×10^{-5} mol/L的DPPH溶液。在10mL比色管中加入3mL配制好的DPPH溶液,再加入稀释10倍后的发酵液1mL,摇匀,室温反应30min,在另一比色管中加入3mL无水乙

醇和 1mL 稀释 10 倍后的发酵液, 以此作为参比在波长 517nm 处测定吸光度(A)。同时以乙醇溶液作为参比, 测定 3mL DPPH 溶液加 1mL 乙醇的吸光度(A₀), 计算清除率(S)。

$$S\% = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

1.4.7 清除羟自由基作用

利用 Fenton 反应产生羟自由基, 加入水杨酸作为自由基捕捉剂, 能提高反应的灵敏度^[19]。参照文献[20]的方法, 在 10mL 比色管中加入蒸馏水 1mL, 1.8mmol/mL 的 FeSO₄ 溶液 2mL, 再加入 1.8mmol/mL 水杨酸溶液(用无水乙醇配制)1.5mL, 最后加入 0.03% H₂O₂ 溶液 0.1mL 启动反应, 摇匀, 以未加 H₂O₂ 的溶液作为参比, 在波长 510nm 处测定吸光度(A₀)。在另一比色管中依次加入稀释 10 倍的发酵液 1mL, 1.8mmol/mL FeSO₄ 溶液 2mL, 1.8mmol/mL 的水杨酸溶液 1.5mL, 最后加入 0.03% 的 H₂O₂ 溶液 0.1mL 启动反应, 摇匀并置于 37℃ 水浴中保温 30min, 以不加 H₂O₂ 的溶液为参比, 在波长 510nm 处测定吸光度(A)。计算清除率(S)。

$$S\% = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (2)$$

1.4.8 总抗氧化能力的评价

总抗氧化能力采用 Re 等^[21]报道的 ABTS⁺· 法测定。用去离子水配制 14mmol/L 的 ABTS⁺· 和 4.9mmol/L 的高硫酸钾, 二者按 1:1 体积比混合并过夜, 得 ABTS⁺· 贮备液。使用前用水将贮备液稀释至波长 734nm 处吸光度为 0.70 ± 0.02。取稀释后的 ABTS⁺· 溶液 2.9mL, 加入稀释 10 倍的发酵液 0.1mL, 室温避光放置 10min, 以水作为参比, 在波长 734nm 处测定吸光度(A); 用 2.9mL ABTS⁺· 加 0.1mL 水混合液测定吸光度(A₀)。计算清除率(S)。

$$S\% = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

为了确定总抗氧化能力, 参照文献[22]的方法用 VC 作为标准对照(即 VCEAC 法), 以不同质量浓度梯度的 VC (0.1~1.0mg/mL) 为横坐标, VC 对 ABTS⁺· 的清除率为纵坐标作标准曲线。发酵液的总抗氧化能力表示为一定量测试物质相当的抗氧化能力所需要的 VC 质量浓度, 结果以 VCEAC 值表示, 即 100mL 果醋对 ABTS⁺· 的清除能力相当于产生相同清除能力所需要 VC 的量。

1.5 数据处理

采用 DPS6.55 软件对所得数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 主要抗氧化物质含量变化

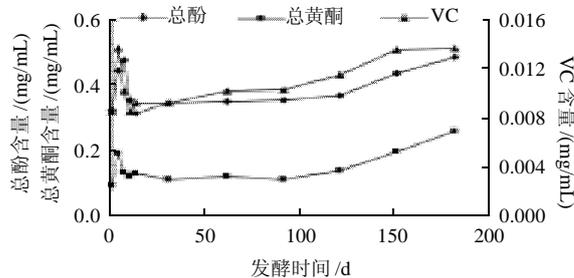


图1 总酚、总黄酮与 VC 含量变化

Fig.1 Changes of total polyphenols, total flavonoids and vitamin C

由图 1 可看出, 总酚、VC 和总黄酮的含量在发酵阶段都呈先升高后降低的趋势。在发酵前, 这三种成分含量分别为 0.323、0.0085、0.0925mg/mL, 发酵至 3d 时总酚、VC 和总黄酮三者含量分别达到 0.445、0.0137、0.192mg/mL, 发酵至 6d 时三者含量分别达到 0.479、0.0102、0.136mg/mL, 之后逐渐降低, 这可能是由于在前期酒精发酵阶段产生大量乙醇的提取作用, 使得总酚、总黄酮和 VC 含量在前期呈上升趋势; 之后乙醇被醋酸菌渐渐利用以及氧化作用, 含量又不断下降; 在陈酿阶段都表现为缓慢上升趋势, 陈酿结束时总酚、VC 和总黄酮三者含量达到最大, 分别为 0.485、0.0137、0.2603mg/mL。

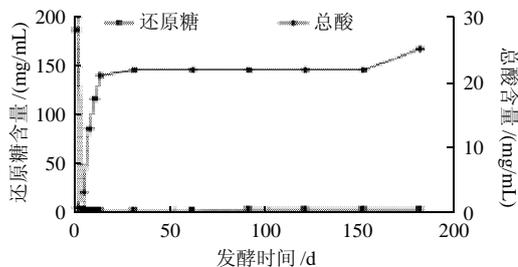


图2 总酸与还原糖含量变化

Fig.2 Content changes of total acid and reducing sugar

由图 2 可看出, 在发酵阶段由于酵母菌和柿果表面醋酸菌的代谢作用, 还原糖含量迅速降低, 总酸含量快速增加, 呈相反的变化趋势, 但在陈酿期间二者含量变化不大。

2.2 抗氧化性能的变化

由图 3 可看出, 柿果醋对 DPPH 自由基的清除能力在整个生产过程中呈逐渐升高趋势。发酵前为 34.9%, 到陈酿结束时达到 62.5%; 对羟自由基的清除能力在发酵前处于较高水平, 为 49.82%, 在发酵过程中略有升高之后又处于下降趋势, 12d 发酵结束时为 43.21%, 到陈酿结束时达到 51.89%。

表1 抗氧化物质与自由基清除率的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between antioxidants and free radical-scavenging capacity

相关系数	总酚	总黄酮	总酸	VC	还原糖	DPPH 自由基清除率	羟自由基清除率	总抗氧化能力
总酚	1.0000							
总黄酮	0.79**	1.0000						
总酸	0.0100	0.2300	1.0000					
VC	0.76**	0.88**	0.1300	1.0000				
还原糖	-0.3500	-0.3600	-0.66*	-0.3700	1.0000			
DPPH 自由基清除率	0.4100	0.60*	0.70*	0.66*	-0.5600	1.0000		
羟自由基清除率	0.74**	0.4500	-0.2900	0.4500	0.1200	0.2600	1.0000	
总抗氧化能力	0.2400	0.4600	0.96**	0.3700	-0.70*	0.83**	-0.0900	1.0000

注: *.相关性显著($P < 0.05$); **.相关性极显著($P < 0.01$)。

柿果醋的总抗氧化能力在发酵阶段呈迅速上升趋势, VCEAC 值从发酵前的 111mg 上升到第 12 天时的 424mg; 在陈酿阶段上升趋势变慢, 到陈酿结束时为 610mg。

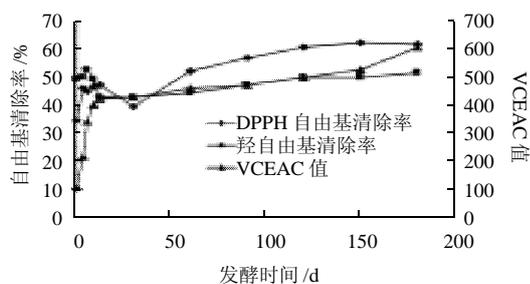


图3 柿果醋抗氧化性能变化
Fig.3 Change of antioxidant activity

2.3 相关性分析

采用 DPS6.55 软件对实验数据进行相关性分析。由表 1 可以看出, VC 含量与总黄酮含量和总酚含量之间的相关系数分别为 0.88、0.76, 而总黄酮含量与总酚含量的相关系数为 0.79, 三者相互之间在含量变化趋势上都达到极显著水平($P < 0.01$), 该结果表明, 总酚、VC 和总黄酮这 3 种物质之间的变化存在相关性, 某一种物质含量发生变化时会引起另外两种物质含量的变化, 因此, 它们的含量在柿果醋的生产过程中有着相同的变化规律。

柿果醋的总抗氧化能力与总酸含量间相关系数为 0.96, 对羟自由基的清除能力与总酚含量间相关系数为 0.74, 都达到极显著水平($P < 0.01$), 该结果表明, 柿果醋的总酸含量对其总抗氧化能力有极显著的影响, 总酚含量对柿果醋清除羟自由基的能力有极显著影响; 柿果醋对 DPPH 自由基的清除能力与总黄酮、总酸及 VC 含量间相关系数分别为 0.60、0.70 及 0.66, 都达到显著水平($P < 0.05$), 该结果表明, 总黄酮、总酸和 VC 3 种物质的含量均对柿果醋清除 DPPH 自由基的能力有显著影响。

3 讨论

近年来, 国内外对自由基及自由基清除剂的研究十分活跃, 研究表明, 氧自由基诱导的脂质过氧化反应与许多疾病的发生有密切关系, 如物理因素、生物因素、免疫损伤导致机体的各种炎症、动脉粥样硬化、脑动脉痉挛、老年性痴呆、衰老等, 而外源自由基清除剂可降低体内自由基水平, 使机体维持在一个良好的状态^[23]。本实验表明柿果醋能有效清除羟自由基、DPPH 自由基, 具有较强的抗氧化能力。且其抗氧化能力随着陈酿过程的进行呈逐渐上升趋势。

在果品及其加工制品抗氧化性能与抗氧化物质之间的相关性研究方面, 各研究结果有所不同。Moon 等^[10]认为柿果醋能有效清除 DPPH 自由基、羟自由基, 具有较强的抗氧化性能, 是由于含有较高的总酚物质。Jeong 等^[24]在研究了苹果醋及柿果醋的抗氧化性能后认为其抗氧化能力与其中的没食子酸、儿茶素等酚类物质有关。Xu 等^[25]通过对食醋抗氧化性能的研究后认为, 总酚含量较高的醋液对 DPPH 自由基的清除率和还原力都较高, 而总酚含量与羟自由基清除能力无关; Sun 等^[26]在研究卷心菜乳酸发酵时提出其发酵提取物的抗氧化性能变化与其总酚和总黄酮含量变化并不一致。本实验通过在柿果醋发酵过程不同时期抗氧化性能与抗氧化物质含量的测定, 并对它们之间的相关关系进行分析, 结果表明, 柿果醋对 DPPH 自由基的清除能力主要由总黄酮、总酸和 VC 3 种物质的含量决定, 对羟自由基的清除能力主要取决于酚类物质的含量; 而总酸含量的变化对柿果醋总抗氧化能力有极显著影响, 这可能是发酵中产生的多种有机酸相互协作的结果。

目前, 评价活性物质抗氧化能力的方法较多, 如自由基清除能力、对金属离子的络合能力等。不同方法的研究结果也是从不同角度反映其抗氧化性能。由于在柿果醋酿造过程中发生着复杂的物质变化, 从而决定了其抗氧化性能的变化, 柿果醋所具有的抗氧化性能也应该是含有的总酸、总酚、总黄酮及 VC 等多种物质共

同作用的结果。然而,在柿果醋表现出的抗氧化性能背后的不同物质成分相互之间的协作关系,还有待进行深入研究。

参考文献:

- [1] NISHIDAI S, NAKAMURA Y, TORIKAI K, et al. A traditional vinegar produced from unpolished rice, suppresses lipid peroxidation *in vitro* and in mouse skin[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2000, 64(9): 1909-1924.
- [2] KONODO S, TAYAMA K, TSUKAMOTO Y, et al. Antihypertensive effects of acetic acid and vinegar on spontaneously hypertensive rats[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2001, 65(12): 2690-2694.
- [3] FUSHIMI T, TAYAMA K, FUKAYA M, et al. Acetic acid feeding enhances glycogen repletion in liver and skeletal muscle of rats[J]. *Journal of Nutrition*, 2001, 131(7): 1973-1977.
- [4] 李宝, 尚丽, 薛晓莉, 等. 柿果实脱湿机理及脱湿技术研究进展[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(14): 2973-2981.
- [5] 张雅利, 郭辉, 田忠民. 柿子的药理作用研究及临床应用[J]. *中成药*, 2006, 28(5): 720-722.
- [6] SUZUKI T, SOMEYA S, HU F Y, et al. Comparative study of catechin compositions in five Japanese persimmons (*Diospyros kaki*) [J]. *Food Chemistry*, 2005, 93(1): 149-152.
- [7] LEE S Y, CHUNG S K, LEE I S. The antidiabetic effect of dietary persimmon (*Diospyros kaki* L.cv. Sangjudungsi) peel in streptozotocin-induced diabetic rats[J]. *Journal of Food Science*, 2006, 71(3): S293-S298.
- [8] 刘月梅, 白卫东, 鲁周民, 等. 柿果醋醋酸发酵工艺参数优化研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 257-260.
- [9] 鲁周民, 刘月梅, 郑皓, 等. 一步发酵法加工柿果醋工艺参数优化[J]. *中国食品学报*, 2009, 9(2): 104-109.
- [10] MOON Y J, CHA Y S. Effects of persimmon-vinegar on lipid metabolism and alcohol clearance in chronic alcohol-fed rats[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2008, 11(1): 38-45.
- [11] SAKANAKA S, ISHIHARA Y. Comparison of antioxidant properties of persimmon vinegar and some other commercial vinegars in radical-scavenging assays and on lipid oxidation in tuna homogenates[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(2): 739-744.
- [12] WANG Y C, YU R C, CHOU C C. Antioxidative activities of soymilk fermented with lactic acid bacteria and bifidobacteria[J]. *Food Microbiology*, 2006, 23(2): 128-135.
- [13] LEE I H, HUNG Y H, CHOU C C. Solid-state fermented with fungi to enhance the antioxidative activity, total phenolic and anthocyanin contents of black bean[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2008, 121(2): 150-156.
- [14] VELIOGLU Y S, MAZZA G, GAO L, et al. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(10): 4113-4117.
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 145-148.
- [16] JIA Zhishen, TANG Mengcheng, WU Jianming. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. *Food Chemistry*, 1999, 64(4): 555-559.
- [17] 赵凯, 许鹏举, 谷广焯. 3,5-二硝基水杨酸比色法测定还原糖含量的研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(8): 534-536.
- [18] 苏晓雨, 王振宇. 红松种子壳多酚物质的提取及抗氧化特性[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊 1): 198-203.
- [19] LIN S H, LO C C. Fenton process for treatment of desizing wastewater [J]. *Water Research*, 1997, 31(8): 2050-2056.
- [20] 颜军, 苟小军, 邹全付, 等. 分光光度法测定 Fenton 反应产生的羟自由基[J]. *成都大学学报: 自然科学版*, 2009, 28(2): 91-93.
- [21] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE A, et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolourisation assay[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26(9): 1231-1237.
- [22] KIM D O, JEONG S W, LEE C Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums[J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(3): 321-326.
- [23] 戚向阳, 陈维军, 张俐勤, 等. 罗汉果皂甙清除自由基及抗脂质过氧化作用的研究[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(2): 382-388.
- [24] JEONG C H, CHOI G N, KIM J H, et al. *in vitro* antioxidant properties and phenolic composition of Korean commercial vinegars[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2009, 18(5): 1258-1262.
- [25] XU Qingping, TAO Wenyi, AO Zonghua. Antioxidant activity of vinegar melanoidins[J]. *Food Chemistry*, 2007, 102(3): 841-849.
- [26] SUN Y P, CHOU C C, YU R C. Antioxidant activity of lactic-fermented Chinese cabbage[J]. *Food Chemistry*, 2009, 115(3): 912-917.