

超声处理对琯溪蜜柚果皮中酚酸含量及抗氧化性的影响

马亚琴¹, 叶兴乾², 吴厚玖¹, 王 华¹, 孙志高¹

(1. 西南大学柑桔研究所, 国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712;

2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029)

摘 要:应用超声波强化提取琯溪蜜柚果皮中的酚酸组分, 探讨超声因素(超声时间、温度、超声能量)对酚酸含量及抗氧化性的影响。利用高效液相色谱检测琯溪蜜柚果皮中的7种酚酸含量; 分别采用福林酚法及铁离子还原力法(FRAP法)对超声提取物的抗氧化性进行评价。结果表明: 琯溪蜜柚果皮中芥子酸含量最高, 7种酚酸含量均随超声时间和温度的增加而增加, 但是在40℃超声处理60min后造成酚酸含量的显著降低, 同样超声功率对酚酸含量也有积极的影响。此外, 超声时间、温度及超声功率对总酚含量也呈现出显著的影响。超声处理后, 总酚与抗氧化能力(TEAC值)有良好的线性关系, 在30、40℃的提取温度(分别处理10、20、30、45、60min)和4个超声功率(3.2、8、30、56W)水平下, R^2 依次为0.8832、0.8874、0.9397, 表明琯溪蜜柚皮中提取物的抗氧化性可能与总酚有关, 超声处理可以显著提高琯溪蜜柚果皮提取物的抗氧化能力。

关键词: 超声处理; 琯溪蜜柚皮; 酚酸; 抗氧化能力

Effect of Ultrasonic Treatment on Phenolic Acid Content and Antioxidant Capacity of Guanxi Pomelo Peel Extract

MA Ya-qin¹, YE Xing-qian², WU Hou-jiu¹, WANG Hua¹, SUN Zhi-gao¹

(1. National Citrus Engineering Research Center, Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China;

2. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Ultrasound technology was applied to extract phenolic components from Guanxi pomelo peels. Effects of ultrasonic treatment parameters including ultrasonic treatment time, ultrasonic treatment temperature and ultrasonic treatment power on the content and antioxidant capacity of phenolic acids were explored. Totally 7 phenolic acids were determined by HPLC-PDA. Folin-Ciocalteu method and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assay were adopted to evaluate the antioxidant capacity of the extracts obtained by ultrasonic treatment. The results showed that sinapic acid content was the highest in Guanxi pomelo peels, and the contents of seven phenolic acids were increased with the increase of treatment time and temperature. However, the contents of phenolic acids exhibited a decrease after ultrasonic treatment at 40 °C for 60 min. Ultrasonic treatment power revealed a positive effect on the contents of phenolic acids. Furthermore, ultrasonic treatment parameters had significantly effect on the content of total phenolic acids. A linear relationship was observed between Trolox-equivalent antioxidant capacity (TEAC) value and the content of total phenolic acids after ultrasonic treatments with correlation coefficients of 0.8832 at 30 °C, 0.8874 at 40 °C (the length of treatment time varied from 10, 20, 30, 45 to 60 min at both temperature levels), and 0.9397 at four ultrasonic power levels, respectively. Therefore, the antioxidant activity of Guanxi pomelo peel extract was correlated with the content of total phenolic acids, and obviously improved by ultrasonic treatment.

Key words: ultrasonic treatment; Guanxi pomelo peels; phenolic acids; antioxidant capacity

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)07-0025-05

酚类物质是植物在正常生长期以及在应激一些胁迫条件如感染、创伤及紫外辐射时所产生的二次代谢产

物^[1]。在植物界酚类物质是微量营养元素的主要组成成分之一, 也是人类和动物饮食的重要组成部分, 广泛

收稿日期: 2010-06-09

基金项目: 柑橘学重庆市市级重点实验室开放基金项目(CKLC200805)

作者简介: 马亚琴(1978—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: myaya211@163.com

存在于水果和蔬菜中(如葡萄、柑橘、苹果、草莓、葱以及茶饮料和红酒等)^[2-4]。植物界酚类物质是由 8000 多种不同的成分构成,具有不同的化学结构、活性以及抗氧化性的一类衍生物,其中酚酸表现出良好的抗氧化性和清除自由基的能力。最近的研究发现酚酸具有抗炎、抗氧化、抗突变、抗心血管疾病等多种药理性作用,因而与人类的健康密不可分。

人体中的酚酸主要是通过日常饮食来摄取。近年来,酚酸类物质作为天然抗氧化剂和食品添加剂在食品工业领域引起了极大的关注。柑橘是膳食酚酸的良好来源,在食品工业中柑橘主要用于榨汁和生产柑橘类的饮料,这必将产生大量的副产物,约占柑橘总质量的 50% 左右,而柑橘皮中的酚酸含量均高于柑橘水果的其他部位^[5]。柑橘水果中大部分酚酸以不溶性聚合物的结合态形式存在,因此,选择有效的提取方法从橘皮中分离酚酸是非常必要的。已有不少学者研究了处理方法对提取柑橘水果中的酚酸及增强其抗氧化性的影响,例如,溶剂提取^[6]、酶辅助提取^[7]、 γ -射线辅助提取^[8]、热处理^[9-10]等。

最近,超声辅助提取技术由于其快速、高效、节能和环保的特点已被广泛的应用于提取各种植物活性成分的研究。以前的研究^[11-12]报道了超声辅助提取对温州蜜柑皮提取物中的酚酸及抗氧化能力的影响,认为超声处理对提高其酚酸含量和增强抗氧化能力表现出很大的潜力。但是,超声波处理对琯溪蜜柚果皮抗氧化性的研究鲜有报道。本实验利用 100kHz 超声波研究超声时间、温度、超声能量对琯溪蜜柚果皮中酚酸及抗氧化性的影响,并分析酚酸与抗氧化能力的相关性,旨在挖掘琯溪蜜柚果皮的深加工价值,以期能为开发柑橘皮副产物的有效加工技术提供参考。

1 材料与方

1.1 材料与试剂

琯溪蜜柚 市售。

新鲜的琯溪蜜柚手工剥皮,琯溪蜜柚皮放置在光线好、通风、干燥的环境失水,然后将其置于 50℃ 条件下恒温干燥。烘干的柑橘皮用小型的粉碎机粉碎,过筛得到粒径为 0.45~1mm 的干样粉末。

咖啡酸(caffeic acid)、对香豆酸(p-coumaric acid)、阿魏酸(ferulic acid)、芥子酸(sinapic acid)、原儿茶酸(protocatechuic acid)、对羟基苯甲酸(p-hydroxybenzoic acid)、香草酸(vanillic acid) 美国 Sigma 公司;福林酚试剂 杭州鼎国试剂公司;高效液相采用色谱级甲醇和超纯水;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

温控、可调功率、数字化时间超声波 广州辛诺科超声设备有限公司;Waters2695-2996 高效液相色谱

仪、二极管阵列检测器 美国 Waters 公司;旋转蒸发器 -52AA 北京顺杰欣隆科技有限公司。

1.3 超声提取

准确称取 2g 橘皮粉,置入 600mL 的烧杯,加入 40mL 80% 的甲醇进行超声提取。超声条件分别设定为:在功率 8W、温度为 30℃ 和 40℃ 的条件下分别超声处理 10、20、30、45、60min;在温度为 30℃ 超声时间为 10min 的条件下研究超声功率 3.2、8、30、56W。滤纸过滤超声提取液,滤液放置在一 20℃ 冰箱以备高效液相测定。

1.4 酚酸的提取

酚酸提取方法参照文献^[13-14],并有所改进。准确移取 20mL 滤液,在 40℃ 旋转蒸发浓缩至无醇,用 15mL 4mol/L 氢氧化钠溶液暗室水解 4h,然后用 4mol/L 盐酸调 pH 值至 1~2。再用乙酸乙酯与乙醚体积比 1:1 提取 3 次(与提取液体积比 1:1),合并萃取液,35℃ 下旋转蒸发浓缩至干,溶于 10mL 甲醇。每份样品 3 个重复,测定结果取平均值,以平均值±标准差表示。

1.5 HPLC 测定

色谱条件:色谱柱为迪马 C₁₈ 反相色谱柱(250mm × 4.6mm),用高效液相测定酚酸。柱温为 40℃,进样量为 20 μ L,流速 1mL/min,流动相为 4% 乙酸-甲醇体积比为 20:80。以标样的保留时间与紫外-可见光谱确定样品酚酸组成。咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸于 320nm 波长处测定峰面积,原儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸 260nm 波长处测定峰面积,外标法定量,如图 1 所示。

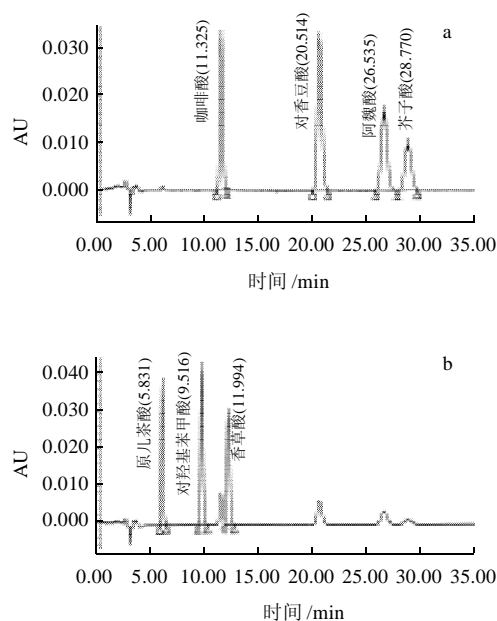


图 1 酚酸标准品色谱图

Fig.1 HPLC chromatogram of phenolic acid standards

标准曲线的制作:分别准确称取 7 种酚酸的标准品

10mg, 用甲醇溶解并定容至 10mL 的容量瓶。根据实验需要配制标准工作液和混合标准工作液。

橘皮中酚酸的测定 将 1.4 节的酚酸提取液进样前过 0.22 μm 滤膜。

1.6 总酚含量测定

采用改进后的福林酚法^[15]测定柑橘皮提取物中的总酚含量。准确移 0.25mL 的甲醇提取液于 25mL 的容量瓶, 加入蒸馏水至总体积为 10mL, 加 0.5mL 福林酚试剂振荡混合均匀, 5min 后加入 5mL、6g/100mL 的 Na_2CO_3 溶液, 然后用蒸馏水定容至 25mL, 充分振荡后静置 30min, 在 760nm 波长处测定吸光度。没食子酸做标样制作标准曲线, 总酚含量以每克干样所含毫克当量没食子酸来表示。

1.7 抗氧化能力测定

采用 FRAP 法来测定柑橘皮提取物的抗氧化能力。原液包括 200mmol/L 的醋酸缓冲液(pH 3.6), 10mmol/L TPTZ(溶于 40mmol/L 的 HCl), 20mmol/L 的氯化亚铁溶液, 将上述 3 种溶液按体积比 10:1:1 的比例来配制 FRAP 试剂。100 μL 的超声提取液与 4900 μL 的 FRAP 试剂在暗室中充分反应 30min 后, 采用岛津 2550 紫外分光光度计在 593nm 波长处测定吸光度。用 Trolox 溶液制作标准曲线, 抗氧化能力以每克干样当量的 Trolox(TEAC)的量来表示。

2 结果与分析

2.1 超声辅助提取对琯溪蜜柚果皮中酚酸含量的影响

柑橘水果中酚酸大部分以结合态的形式存在。因此, 本实验主要分析超声处理对酸解后 7 种游离酚酸(咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸、原儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸)的影响。用高效液相色谱测定酚酸含量, 并评价了超声因素对总酚及抗氧化性的影响。

由表 1 可知, 所测定的 7 种酚酸组分中, 芥子酸含量最高, 其次是香草酸, 含量最低的是原阿茶酸。超声处理对 7 种酚酸含量有显著的影响, 酚酸含量随着超声时间和温度的增加而增加。在其他条件不变的情况下, 温度的增加可以有效地增加酚酸含量, 当温度从

30℃ 增加到 40℃, 超声处理 30min, 咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸、原儿茶酸、对羟基苯甲酸、香草酸分别增加了 23.36%、38.18%、23.79%、4.85%、15.96%、3.76%、14.82%; 在 30℃ 的温度下, 超声时间从 10min 增加到 30min 其提取量呈增加趋势, 其中咖啡酸、芥子酸含量增幅最大, 分别增加了 13.14%、15.24%, 但原儿茶酸和香草酸的含量有不同程度的下降, 之后延长超声时间其提取量变化不明显。在 40℃、超声处理 30min 酚酸含量总体达到最大, 但超声处理 60min 后, 造成 7 种酚酸含量的显著下降, 其中咖啡酸、对香豆酸含量降幅最大, 分别下降了 33.39%、46.14%。因此, 随着提取温度的升高和超声时间的不断延长酚酸含量表现为下降的趋势, 且超声温度较超声时间对酚酸含量的影响更为显著。以前的研究表明超声强化提取温州蜜柑皮中的酚酸, 40℃ 易造成酚酸的降解^[11-12]。同样, 高温热处理柑橘皮后, 造成其酚酸的含量大幅度下降^[9-10]。这说明酚类物质是一类不稳定的活性物质, 特别是在超声波强化提取酚酸时需慎重选择提取温度, 一方面, 空穴作用产生局部的高温高压易造成热不稳定的酚酸发生降解; 另一方面, 高温不利于空穴气泡的产生, 从而削弱空穴作用。因此, 应用超声辅助提取酚酸类物质时选择合适的温度是非常重要的。在本研究条件下, 认为超声辅助提取柑橘皮中酚酸的最佳温度为 30℃。

由表 2 可知, 随着超声功率的增加酚酸含量呈显著增加趋势。当超声功率从 3.2W 增加到 56W 时, 咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸、芥子酸、对羟基苯甲酸、香草酸分别增加了 20.92%、19.60%、21.50%、11.86%、14.58%、11.09%, 但原儿茶酸的含量却下降了 12.69%。从榄仁树果实中超声强化提取单宁酸^[16], 超声功率从 20W 增加到 100W 时, 单宁酸含量增加了 3~5 倍, 这表明超声功率是一个重要的超声参数。

因此, 增加超声功率对提高酚酸含量有一定的积极作用。但提取温度、超声时间的变化对单个酚酸的影响趋势是不同的, 表明超声辅助提取植物活性成分, 其提取效率可能与提取物的理化性质有关。Paniwnyk 等^[17]

表 1 超声时间和温度对琯溪蜜柚皮中酚酸含量的影响

Table 1 Effect of ultrasonic treatment time and temperature on the content of total phenolic acids in extracts from Guanxi pomelo peels

时间 / min	提取 温度 /℃	酚酸含量 /($\mu\text{g/g}$)						
		咖啡酸	对香豆酸	阿魏酸	芥子酸	原儿茶酸	对羟基苯甲酸	香草酸
10	30	24.50 \pm 0.46	42.62 \pm 0.32	46.78 \pm 4.02	210.63 \pm 6.62	15.32 \pm 0.32	39.90 \pm 0.24	62.44 \pm 0.43
	40	20.05 \pm 0.23	41.61 \pm 0.16	50.35 \pm 2.01	216.58 \pm 2.32	11.28 \pm 0.06	39.86 \pm 0.22	60.91 \pm 0.49
20	30	27.96 \pm 2.37	43.43 \pm 2.82	52.62 \pm 2.17	221.46 \pm 6.13	11.13 \pm 0.01	41.72 \pm 0.38	63.80 \pm 0.34
	40	30.43 \pm 2.37	49.02 \pm 2.82	60.05 \pm 2.17	249.08 \pm 0.92	12.18 \pm 0.18	45.34 \pm 0.58	67.42 \pm 2.60
30	30	26.48 \pm 1.69	40.11 \pm 6.74	47.54 \pm 2.89	231.90 \pm 12.86	10.37 \pm 1.03	40.90 \pm 2.57	62.54 \pm 6.57
	40	34.55 \pm 1.69	64.88 \pm 2.88	62.38 \pm 2.69	243.73 \pm 4.64	12.34 \pm 0.19	42.50 \pm 1.22	73.42 \pm 3.36
45	30	28.20 \pm 2.92	45.56 \pm 2.88	58.74 \pm 2.69	248.51 \pm 1.22	11.68 \pm 0.41	42.56 \pm 0.94	61.73 \pm 1.06
	40	31.08 \pm 5.92	66.86 \pm 2.12	63.76 \pm 2.35	244.54 \pm 4.13	11.68 \pm 0.19	44.22 \pm 1.22	65.38 \pm 3.36
60	30	27.76 \pm 0.16	35.61 \pm 5.40	50.66 \pm 0.16	253.77 \pm 13.15	9.98 \pm 0.19	38.64 \pm 2.10	60.52 \pm 5.85
	40	25.90 \pm 1.31	44.40 \pm 4.01	53.97 \pm 0.14	203.56 \pm 19.87	7.61 \pm 0.19	40.01 \pm 2.13	62.18 \pm 6.55

表2 超声功率对琯溪蜜柚皮中酚酸的影响

Table 2 Effect of ultrasonic treatment power on the content of total phenolic acids in extracts from Guanxi pomelo peel

超声功率/W	咖啡酸	对香豆酸	阿魏酸	芥子酸	原儿茶酸	对羟基苯甲酸	香草酸
3.2	24.50 ± 0.76	42.62 ± 2.50	46.78 ± 0.98	216.08 ± 13.60	13.32 ± 0.84	39.90 ± 6.90	62.44 ± 4.94
8	26.75 ± 0.46	42.62 ± 0.32	50.78 ± 4.02	210.63 ± 6.62	15.32 ± 0.32	41.63 ± 0.24	66.55 ± 6.04
30	30.00 ± 11.46	50.28 ± 2.46	56.04 ± 1.06	230.19 ± 13.60	12.07 ± 3.86	44.59 ± 7.70	71.13 ± 8.20
56	30.98 ± 1.98	53.01 ± 6.26	59.59 ± 3.87	245.16 ± 31.29	11.82 ± 10.17	46.71 ± 14.82	70.23 ± 0.02

从槐树花芽中超声增强提取芦丁,发现不当的超声处理导致提取量的下降。因此,利用超声辅助提取多种不稳定活性物质时,其超声条件应根据提取物的理化性质来设计。

从能耗的角度综合考虑,确定在本研究的实验条件下,超声提取琯溪蜜柚皮中酚酸的最佳提取条件为超声时间30min、提取温度30℃、超声功率56W。

2.2 超声辅助提取对琯溪蜜柚果皮中总酚和抗氧化能力的影响

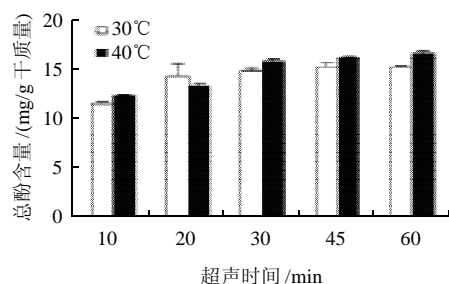


图2 超声时间对琯溪蜜柚果皮中总酚含量的影响

Fig.2 Effect of ultrasonic treatment time on the content of total phenolic acids in extracts from Guanxi pomelo peel

由图2可知,超声时间和温度对总酚含量有显著的影响。随着超声时间和温度的增加,总酚含量显著增加,在30℃和40℃超声处理30min,总酚含量较超声处理10min分别增加了22.32%、22.91%。超声处理60min,在40℃比30℃总酚含量增加了8.42%,表明在较高的温度下延长超声时间有利于总酚的提取。超声功率对总酚含量也有积极的影响。

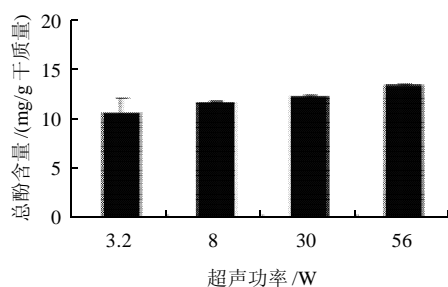


图3 超声功率对琯溪蜜柚果皮中总酚含量的影响

Fig.3 Effect of ultrasonic treatment power on the content of total phenolic acids in extracts from Guanxi pomelo peel

由图3可知,当超声功率从3.2W增加到56W时,总酚含量增加了20.92%。这与上述超声处理对单个酚酸含量的影响结果不一致。由于总酚评价的是琯溪蜜柚果皮提取物中所有酚类物质的总量,包括类黄酮和酚酸组分,而类黄酮具有较高的热稳定性,此外,类黄酮的含量比酚酸明显高。因此,超声处理后,总酚含量可能与类黄酮具有相同的增加趋势。

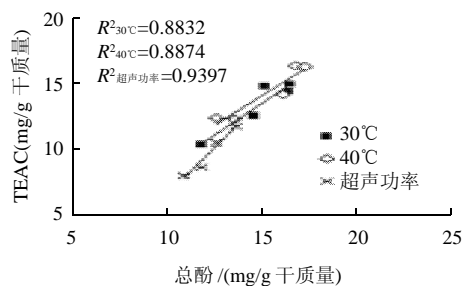


图4 总酚和抗氧化能力的相关性

Fig.4 Correlation between the content of total phenolic acids and TEAC value

图4表明了总酚与抗氧化能力的相关性。总酚含量与TEAC值有良好的线性关系。在30、40℃的提取温度(分别在10、20、30、45、60min测定)和4个超声功率(3.2、8、30、56W)水平下, R^2 依次为0.8832、0.8874、0.9397。TEAC越高,其抗氧化能力越强,而TEAC值与总酚含量呈正相关,表明琯溪蜜柚皮中提取物的抗氧化性可能与总酚有关。通过上述结果可以看出,超声处理可以显著的提高琯溪蜜柚果皮提取物的抗氧化性。

3 结论

酚酸在植物中的存在状态比较复杂,柑橘水果中的酚酸大部分以结合态的形式存在。通过酸解结合态酚酸,研究了超声处理对游离酚酸含量的影响。结果表明:超声处理对酚酸含量有显著的影响,随着处理时间和温度的增加,酚酸含量显著增加,当温度从30℃增加到40℃,超声处理30min,7种酚酸含量的增幅在3.76%~38.18%之间,其中对香豆酸的含量增加最高。在30℃的温度下,超声时间从10min增加到30min,咖

啡酸、芥子酸含量增幅最大,分别增加了13.14%、15.24%;但随着处理温度和提取时间的增加,造成7种酚酸含量显著下降,其中咖啡酸、对香豆酸含量降幅最大,分别下降了33.39%、46.14%,因此,应用超声辅助提取酚酸类物质时选择合适的超声条件是非常重要的。在本文的研究条件下,超声波提取柑橘皮中酚酸的最佳超声条件为:温度30℃、时间40min、功率56W。

超声处理能显著提高橘皮中的总酚含量及抗氧化性。在30℃和40℃超声处理30min,总酚含量较超声处理10min分别增加了22.32%、22.91%;当超声功率从3.2W增加到56W时,总酚含量增加了20.92%。超声处理后总酚与抗氧化能力呈现良好的线性关系,在30、40℃的提取温度(分别处理10、20、30、45、60min)和4个超声功率(3.2、8、30、56W)水平下, R^2 依次为0.8832、0.8874、0.9397。表明琯溪蜜柚皮中提取物的抗氧化性可能与总酚有关,超声处理能有效地增强抗氧化能力。

参考文献:

- [1] NACZKA M, SHAHIDI F. Extraction and analysis of phenolics in food [J]. *Journal of Chromatography A*, 2004, 1054: 95-111.
- [2] NACZKA M, SHAHIDI F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2006, 41: 1523-1542.
- [3] 王秀芹, 张庆华, 战吉成, 等. 产地与品种对葡萄酒中酚类物质含量的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 113-118.
- [4] 侯冬岩, 回瑞华, 刘晓媛, 等. 红茶茶多酚及抗氧化性能测定[J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 367-370.
- [5] 叶兴乾. 柑桔加工与综合利用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005.
- [6] LI B B, SMITH B, HOSSAIN M. Extraction of phenolics from citrus peels: I. Solvent extraction method[J]. *Separation and Purification Technology*, 2006, 48: 182-188.
- [7] LI B B, SMITH B, HOSSAIN M. Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method[J]. *Separation and Purification Technology*, 2006, 48: 189-188.
- [8] OUFEDJIKH H, MAHROUZ M, AMIOT M, et al. Effect of γ -irradiation on phenolic compounds and phenylalanine ammonia-lyase activity during storage in relation to peel injury from peel of *Citrus clementina* Hort Ex Tanaka[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48: 559-565.
- [9] XU Guihua, YE Xingqian, CHEN Jianchu, et al. Effect of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of citrus peel extract [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55: 330-335.
- [10] JEONG S M, KIMS Y, KIM D R, et al. Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52: 3389-3393.
- [11] MA Yaqin, YE Xingqian, FANG Zhongxiang, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of extracts from ultrasonic treatment of *Satsuma mandarin* (*Citrus unshiu* Marc) peels[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56: 5682-5690.
- [12] MA Yaqin, CHEN Jianchu, LIU Donghong, et al. The effect of ultrasonic treatment on the total phenolic and antioxidant activity of extracts from citrus peel[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73: T115-T120.
- [13] MATTILA P, KUMPULAINEN J. Determination of free and total phenolic acids in plant-derived foods by HPLC with diode-array detection [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50: 3660-3667.
- [14] AYZAZ F A, HAYIRLIOGLU-AYZAZS, GRUZ J, et al. Separation, characterization, and quantitation of phenolic acids in a little-known blueberry (*Vaccinium arctostaphylos* L.) fruit by HPLC-MS[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53: 8116-8622.
- [15] WOLFE K, WU Xianzhong, LIU Ruihai. Antioxidant activity of apple peels[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51: 609-614.
- [16] SIVAKUMAR V, RAVIVERMA V, RAO P G, et al. Studies on the use of power ultrasound in solid-liquid myrobalan extraction process[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15: 1813-1818.
- [17] PANIWNKY L, BEAUFOY E, LORIMER J P, et al. The extraction of rutin from flower buds of *Sophora japonica*[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2001, 8(3): 299-301.