

冬枣各成熟阶段果皮酚类含量变化及其对DPPH自由基清除能力的影响

游 凤¹, 黄立新^{1,2,*}, 张彩虹¹, 谢普军¹, 张耀雷¹

(1. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 生物质化学利用国家工程实验室, 国家林业局林产化学工程重点开放性实验室, 江苏省生物质能源与材料重点实验室, 江苏 南京 210042; 2. 中国林业科学院林业新技术研究所, 北京 100091)

摘 要: 目的: 研究并探讨枣皮呈色变化对其多酚、黄酮、原花青素和花色苷含量造成的影响, 并通过清除DPPH自由基能力初步评价各阶段枣皮抗氧化能力的大小。方法: 以沾化冬枣(*Ziziphus jujube* Mill. cv. Dongzao var. zhanhua)为试材, 将冬枣分类后测定果皮色泽, 分别对不同呈色枣皮中总多酚、总黄酮、原花色素和花色苷含量进行测定, 并进一步测定不同呈色枣皮的醇提液在单位时间内清除DPPH自由基能力大小。结果: 冬枣的成熟阶段可根据枣皮颜色划分为青绿(DG)、黄白(LY)、青红(GR)和深红(DR) 4个阶段; 冬枣皮总多酚含量(7.528~19.312mg/g, 以干基计): 青绿>青红>黄白>>深红, 总黄酮含量(0.025~2.466mg/g): 黄白>青绿>>青红>深红; 原花青素含量(4.297~30.186mg/g): 青红>黄白>青绿>>深红, 花色苷含量(0.004~0.015mg/g): 深红>黄白>青红>青绿。醇提液对DPPH自由基的清除按时间可划分为两段: 0~15min为第1阶段, 顺序为黄白>青红>青绿>>深红; 16~30min以后为第2阶段, 黄白≈青红≈青绿>>深红。冬枣到深红阶段时, 各物质含量均为最低可能是造成其抗氧化能力远低于其他3个阶段的主要原因。

关键词: 冬枣皮; 多酚; 黄酮; 原花青素; 花色苷; DPPH自由基; 抗氧化

DPPH Radical Scavenging Activity of Chinese Winter Jujube Peel as Affected by Variation of Phenolic Content during Maturation

YOU Feng¹, HUANG Li-xin^{1,2,*}, ZHANG Cai-hong¹, XIE Pu-jun¹, ZHANG Yao-lei¹

(1. National Engineering Laboratory for Biomass Chemical Utilization, Key and Open Laboratory on Forest Chemical Engineering, State Forest Administration, Key Laboratory of Biomass Energy and Material, Jiangsu Province, Institute of Chemical Industry of Forest Products, Chinese Academy of Forest, Nanjing 210042, China; 2. Institute of New Technology of Forestry, Chinese Academy of Forest, Beijing 100091, China)

Abstract: Objective: To explore the effect of color change during maturation on the contents of total phenolic acids, flavonoids, procyanidines and anthocyanins in Zhanhua winter jujube peel (*Ziziphus jujube* Mill. cv. Dongzao var. zhanhua) and to evaluate the DPPH radical scavenging activity of methanol extracts of jujube peel at different stages of maturation. Methods: The degree of maturity of winter jujubes was evaluated according to their color. The color parameters L^* , a^* and b^* and the contents of total phenolic acids, flavonoids and procyanidineins in winter jujube peel were measured, and the DPPH radical scavenging activity of methanol extracts of jujube peel was investigated. Results: Winter jujube fruits were divided into four stages of maturation according their color (dark green, DG; light yellow, LY; green-red, GR; dark red, DR). The content of total phenolic acids varied from 7.528 to 19.312 mg/g, calculated on a dry basis, (DG > GR > LY >> DR). The content of total flavonoids was in the range of 0.025 to 2.466 mg/g (LY > DG > GR > DR), and the content of procyanidines was in the range of 4.297 to 30.186 mg/g (GR > LY > DG >> DR). The DPPH radical scavenging activity of methanol extracts of winter jujube peel could be divided into two procedures: LY > GR > DG >> DR (0–15 min) and LY ≈ GR ≈ DG >> DR (16–30 min). DR exhibited much lower DPPH radical scavenging activity than the other three stages of maturation, presumably as a result of the lowest total phenolic acids, flavonoids and procyanidineins.

Key words: jujube peel; phenolic acids; flavonoids; procyanidins; anthocyanins; DPPH radical; antioxidant activity
中图分类号: TS255.2 文献标志码: A 文献编号: 1002-6630(2013)19-0062-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201319014

收稿日期: 2012-11-11

基金项目: 国家林业局“948”项目(2012-4-12); 国家“863”计划项目(2011AA100802-9)

作者简介: 游凤(1988—), 女, 硕士研究生, 主要从事天然产物深加工研究。E-mail: fengfengshelly@163.com

*通信作者: 黄立新(1967—), 男, 研究员, 博士, 主要从事林特产品深加工及干燥技术研究。E-mail: l_x_huang@163.com

红枣属鼠李科(Rhamnaceae)多年生植物枣树(*Zizyphus jujube* Mill.)所结果实, 富含糖分和蛋白质、皂苷、生物碱、多酚等药物活性物质, 是一种具有丰富的营养价值和极高的药用价值的药食兼用型果实^[1], 据报道, 红枣中还含有大量的黄酮、多酚等抗氧化物质^[2]。过去研究和报道一直将枣肉和枣皮视为一体并认为其中所含的抗氧化物质主要来自枣肉, 近年来的研究表明枣皮比枣肉中含有更多的抗氧化活性物质^[3], 并已有枣皮中醇提物具有调节肾上腺分泌引起的心肌障碍性贫血和体内铝离子氧化现象的报道^[4-5]。然而, 目前虽有较多关于加工方式^[6-7]和处理方式^[8]对红枣多酚抗氧化活性影响的报道, 但这类物质一方面并未将枣果和枣肉分开研究, 另外也鲜有报道关注枣皮中各种抗氧化物质在红枣成熟过程中变化。为揭示枣皮变红中各物质变化的规律, 探讨枣皮变红的可能原因, 本研究将重点放在枣果成熟阶段(枣皮变色阶段)各抗氧化物质含量的变化, 考察不同抗氧化物质变化与颜色变化的相互影响, 同时本研究也考察不同颜色枣皮提取液清除DPPH自由基能力, 考察枣皮颜色对其抗氧化能力的影响, 为合理开发和利用红枣资源提供参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

沾化冬枣(鲜果, *Zizyphus jujube* Mill. cv. Dongzao var. zhanhua)2012年9月中旬农户摘自陕西省渭南市冬枣基地。采摘时运至实验室后选取大小均匀, 无机械损伤和病虫害的果实用清水冲洗干净, 擦干表面水分后根据果皮颜色分为4类(分别为青绿、黄白、青红、深红), 进行色度测定, 再用不锈钢刀削下外皮至果肉0.3mm厚的部位, 真空冷冻干燥后研磨成细粉(20~40目)放冰箱待用。

没食子酸、原花青素、芦丁均为分析纯 美国Aladdi Chemical公司; NaNO_2 、 NaOH 、 Na_2CO_3 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、浓 HCl (36.5%)均为分析纯 南京化学试剂公司; Folin-Ciocalteu试剂(分析纯)国药集团化学试剂有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 美国Sigma公司; 正丁醇、甲醇、乙醇 南京化学试剂公司; II级超纯水。

1.2 仪器与设备

UNICO UV-2102P紫外-可见分光光度仪、WSC-S测色仪 上海民仪电子科技有限公司; 真空冷冻干燥机北京博医康实验仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品颜色测定

参照Chukwumah等^[9]的方法。用不锈钢刀取枣皮连同枣肉的半球侧坡面(底面和测色杯底面积相近), 将半球

放入测色杯中, 枣皮面朝向测色光源, 以测色标准白板作为参考进行 L^* 、 a^* 、 b^* 、 ΔE 的测定, 同一枣逐一测定3次, 记录所测平均值。

1.3.2 样品提取和处理

多酚、黄酮和原花青素的提取: 参照Zhang Hao等^[10]的方法做适当调整。精确称取1.000g粉末, 加入80%乙醇溶液25mL超声提取30min(100W, 双频加热型超声波清洗仪), 移取上层提取液后再加入20mL 80%乙醇溶液重复提取3次(30℃超声100W, 20min), 最后用15mL 80%乙醇溶液清洗提取剩余物, 移取上层清液并定容至100mL。分别取定容后的提取液10mL, 装入中号(15mL)离心管中, 5000r/min高速离心10min后, 取上层清液作为总黄酮、多酚和原花青素的待测液。

花色苷的提取: 精确称取1.000g粉末, 加入15mL 甲醇-5% HCl (95:5, V/V)混合液在30℃水浴下浸提(每次30min共3次)后合并, 用5mL提取液清洗残渣后将所有溶液移至50mL容量瓶中定容。分别取定容后的提取液10mL, 装入中号(15mL)离心管中, 5000r/min高速离心10min后, 取上层清液作为花色苷的待测液。

1.3.3 总酚含量的测定

标准曲线^[11]制作: 精确称取25mg没食子酸用80%乙醇溶于10mL容量瓶中配制成2.5mg/mL原花青素标准母液。分别移取0、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0mL母液至10mL容量瓶中, 用80%乙醇定容, 分别得0.0、0.25、0.375、0.50、0.625、0.750mg/mL的梯度标液。测定步骤: 吸取0.25mL提取液于10mL棕色磨口试管中, 加入0.25mL Folin-Ciocalteu溶液摇匀, 再加入0.5mL 20g/100mL Na_2CO_3 溶液摇匀放置5min, 最后加入9mL去离子水摇匀后放置于暗处1h后于760nm波长处测定吸光度(重复上述步骤, 将提取液换成80%乙醇溶液, 所得溶液作为空白参比)。 $y=0.3647x+0.092$ ($R^2=0.9994$), 式中: y 为总多酚质量浓度/(mg/mL), x 为 $A_{760\text{nm}}$ 。

样品测定: 移取离心后醇提液0.25mL, 加入10mL具塞试管中, 加入0.25mL Folin-Ciocalteu溶液摇匀, 再加入0.5mL 20g/100mL Na_2CO_3 溶液摇匀放置5min, 最后加入9mL去离子水摇匀后放置于暗处1h后于波长760nm处测定吸光度。

1.3.4 总黄酮含量的测定

标准曲线^[12]制作: 精确称取20mg芦丁用80%乙醇溶于10mL容量瓶中配制成2.0mg/mL芦丁标准母液。分别移取0、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0mL母液至10mL容量瓶中, 用80%乙醇定容, 分别得0、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6mg/mL的标液, 待用。测定步骤: 吸取1.00mL提取液于25mL容量瓶中, 加入25mL容量瓶中, 加入1mL 5g/100mL NaNO_2 溶液摇匀后静置6min, 再加入1.00mL 10g/100mL $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液摇匀后静置6min, 最后加入

5mL 4g/100mL NaOH溶液摇匀,去离子水定容,静置5min后于波长510nm处测定吸光度。测得: $y=0.1206x+0.0544(R^2=0.9998)$ 。式中: y 为总黄酮质量浓度/(mg/mL), x 为 A_{510nm} 。

样品测定:移取离心后醇提液1.00mL,加入25mL容量瓶中,加入1mL 5g/100mL NaNO_2 溶液摇匀后静置6min,再加入1.00mL 10g/100mL $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 溶液摇匀放置6min,加入5mL 4g/100mL NaOH溶液摇匀,去离子水定容后静置5min后于波长510nm处测定吸光度。

1.4 原花青素含量的测定

标准曲线^[13]制作:精确称取20mg原花色素用80%乙醇溶于10mL容量瓶中配制成2mg/mL原花色素标准母液。分别移取0、1、1.5、2、2.5、3.0mL母液至10mL容量瓶中,用80%乙醇定容,分别得0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5mg/mL的梯度标液。测定步骤:向10mL棕色磨口具塞试管中加入0.25mL各标液后加入5mL的正丁醇-HCl(95:5, V/V)溶液和0.25mL十二水硫酸亚铁铵(质量浓度20mg/mL)-HCl溶液(2mol/L)。将试管振荡混匀。混合液放入95℃恒温水浴2h后于波长545nm处测定吸光度(枣皮提取液测定方法同上)。每次测定取待测液0.25mL。测得, $y=1.4009x+0.0172(R^2=0.9998)$ 。式中: y 为原花青素含量/(mg/mL), x 为 A_{545nm} 。

样品测定:移取离心后醇提液0.25mL于10mL棕色磨口具塞试管中,加入5mL的正丁醇-盐酸(同上)溶液和0.25mL $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ -HCl(同上)溶液后将试管振荡混匀。混合液放入95℃恒温水浴2h后于545nm波长处测定吸光度。

1.5 花色苷含量的测定

花色苷采用pH示差法测定^[14]。测定步骤:取1mL 95%甲醇枣皮提取液加入编号A的25mL磨口具塞试管中,并向瓶中加入24mL pH1.0缓冲液(1.49% KCl溶液-0.2mol/L HCl溶液,体积比25:67)溶液后摇匀;另取1.00mL相同提取液加入编号为B的25mL磨口具塞试管中,再补加24mL pH4.5缓冲液(1.49%醋酸钠溶液)溶液后摇匀;在波长510nm和700nm处分别测定两者吸光度,记为 A_{510nm} 和 A_{700nm} (重复上述步骤,将提取液换成80%乙醇溶液,所得溶液作为空白参比)。

$$\text{总花色苷含量}/(\text{mg/mL})=[(A_{510nm}-A_{700nm})_{\text{pH1}}-(A_{510nm}-A_{700nm})_{\text{pH4.5}}]\times M_w \times \text{DF} \times 1000/(\varepsilon \times L) \quad (1)$$

式中: M_w 是花色苷的相对分子质量(433.2);DF是稀释系数; ε 为花色苷的消光系数,31600L/(mol·cm); L 是比色皿光程(1cm)。

1.6 醇提液清除DPPH自由基能力测定

DPPH标准曲线^[15]制作:准确称取DPPH标准品5.4mg,用甲醇定容至100mL,得质量浓度为0.054mg/mL的母液,再用甲醇稀释成不同质量浓度,测其波长515nm处吸光

度,制成标准曲线: $y=0.1066x-0.0038(R^2=0.9957)$,式中: x 为标准品质量浓度/(10^{-2} mg/mL), y 为515nm波长处吸光度。DPPH自由基清除率测定:吸取0.2mL不同颜色枣皮80%醇提液,加入0.025mg/mL DPPH甲醇溶液7.8mL,混匀后在波长515nm处每间隔3min测定吸光度(A_2)直至30min,空白以提取溶剂取代样品(A_1)。

$$\text{DPPH自由基清除率}/\%=(A_1-A_2)/A_1 \times 100 \quad (2)$$

1.7 数据处理

实验数据重复测量3次,结果以 $\bar{x} \pm s$ 形式列出。最终数据通过Student's t -检验并认为 $P < 0.05$ 统计意义显著^[3,10]。

2 结果与分析

2.1 色度测量

根据肉眼观测的结果,冬枣的成熟阶段可根据枣皮颜色划分为青绿(DG)、黄白(LY)、青红(GR)和深红(DR)4个阶段。

表1 枣皮颜色测定结果
Table 1 Color parameters of jujube peel

表皮颜色	L^*	a^*	b^*	ΔE
青绿	52.12±0.80 ^a	1.49±0.67 ^b	39.98±0.10 ^a	57.77±1.31 ^b
黄白	50.40±0.45 ^b	6.80±0.57 ^a	45.49±0.23 ^c	62.35±2.12 ^a
青红	35.55±0.36 ^c	14.14±0.45 ^c	40.58±0.21 ^c	71.35±0.35 ^c
深红	31.52±0.68 ^b	25.82±0.73 ^b	37.26±0.16 ^c	76.36±2.07 ^a

注:同一列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

由表1可知,表皮变红 a^* 增大,其表皮的光泽度(L^*)逐渐下降,色差(ΔE)越来越大,而表皮黄度(b^*)随颜色变化的变化并不明显,在37.0~46.0之间。且 $a^*_{\text{青绿}} < a^*_{\text{黄白}} < a^*_{\text{青红}} < a^*_{\text{深红}}$, $b^*_{\text{深红}} < b^*_{\text{青绿}} \approx b^*_{\text{青红}} < b^*_{\text{黄白}}$, $L^*_{\text{深红}} < L^*_{\text{黄白}} \approx L^*_{\text{青红}} < L^*_{\text{青绿}}$ 。青红皮并不是氧化变红阶段中的一个中间阶段的产物,而是青绿色枣果受日照后产生的产物,青绿色枣皮日光照射下,合成了某些红色物质使得这种青绿色表皮上层呈现一种淡红色,故肉眼看起来为青红色,因此可将果皮转红划分为日照过程和非日照过程。

2.2 黄酮、多酚、原花青素及花色苷含量及与表皮颜色的相关性

表2 不同阶段枣皮中酚类物质含量测定结果

Table 2 Phenolic content of jujube peel at various stages of maturation

表皮颜色	总多酚含量/(mg/g)	总黄酮含量/(mg/g)	原花青素含量/(mg/g)	花色苷含量/(mg/g)
青绿	19.312±0.152 ^b	2.358±0.320 ^b	21.649±0.214 ^c	0.004±0.002 ^b
黄白	15.765±0.510 ^a	2.466±0.370 ^a	26.253±0.152 ^c	0.010±0.005 ^a
青红	16.599±0.514 ^a	0.477±0.010 ^c	30.186±0.340 ^a	0.007±0.004 ^{ab}
深红	7.528±0.172 ^b	0.025±0.006 ^c	4.297±0.250 ^b	0.015±0.005 ^a

注:以干基计。

由表2可知,枣皮中含有大量的原花青素和多酚类物质,但已报道的黄酮含量则相比较少。在4个阶段中,总酚含量呈逐渐下降趋势:青绿(19.312mg/g)>青红

(16.599mg/g) > 黄白(15.765mg/g) >> 深红(7.528mg/g), 这说明随着枣皮由绿变红这一过程, 枣皮中多酚类物质含量减少, 当枣皮为深红色表皮中多酚大量降解。

由于香草醛法选择性测定A环为间苯三酚型的黄酮醇, 不能很好区分黄酮醇单体和聚合体(缩合单宁), 与儿茶素和表儿茶素均能产生反应, 但正丁醇-盐酸法则可选择性的测定聚原花色素(缩合单宁), 测定过程中严格控制含水量、温度、时间、盐酸浓度, 可以得到很好的物质含量和响应值(A_{545nm})线性关系^[16]。原花色素含量在4个阶段中整体也呈现先增后降的趋势, 在青红阶段含量最高: 青红(30.186mg/g) > 黄白(26.253mg/g) > 青绿(21.649mg/g) >> 深红(4.297mg/g), 其中原花色素在青红色皮中含量最高, 分别比黄白和青绿阶段高约3.93mg/g和8.54mg/g, 同样, 在深红色皮中含量最低。

表3 枣皮颜色参数(L^* 、 a^* 、 b^*)与各物质含量的相关性
Table 3 Correlation of color parameters with the contents of phytochemicals

相关性	L^*	a^*	b^*	ΔE
总多酚	0.2464	-0.8622**	0.5852	0.6852*
总黄酮	0.9907**	0.5117	0.8405*	0.9244**
原花色素	0.2208	0.7046*	0.2273	0.2588
花色苷	0.5620	0.9272**	0.3252	0.5620

注: *, 有显著性差异 ($P < 0.05$); **, 有极显著性差异 ($P < 0.01$)。

由表3可知, 总多酚和原花色素以及花色苷与 a^* 显著相关, 相关系数分别为0.8622、0.7046和0.9272, 其中多酚呈负相关而原花色素和花色苷呈正相关, 既在成熟过程中, 随枣皮越发趋近红色, 其中的多酚含量越来越少而原花色素和花色苷越来越多; 总黄酮与除 a^* 外的3个参数 L^* 、 b^* 和 ΔE 均呈显著正相关, 分别达到0.9907、0.8405和0.9244, 这说明枣皮总黄酮含量和枣皮的 L^* 、 b^* 及 ΔE 均呈极显著相关, 一般而言, 人眼对黄度的辨识远大于亮度和色差, 可以认为, 在红枣成熟期间, 随着黄色的累积及消退, 黄酮类物质的含量在枣皮中呈现先升高后降低的趋势。

2.3 表皮颜色与清除DPPH自由基能力间的关系

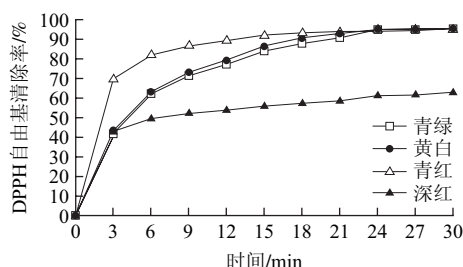


图1 各阶段枣皮提取液的DPPH自由基清除率

Fig.1 DPPH radical scavenging activity of methanol extracts from jujube peel at different stages of maturation

由图1可知, 24min后基本达到了平衡, 在30min后维持不变。DPPH自由基清除能力: 青红 > 黄白 > 青绿 >> 深红, 其顺序与多酚和原花青素的含量顺序显著不同, 考虑到青红色枣皮中原花青素含量最高, 这种速率的区别可能是由于原花青素成分所造成。到24min时DPPH自由基清除率基本达到恒定, 这时体系内自由基清除剂已基本和DPPH自由基完全反应, 到30min时青绿、黄白和青红皮的清除率基本相同, 分别为95.13%, 95.25%和95.10%, 而深红枣皮清除率只有61.55%, 可见一段时间内清除DPPH自由基能力主要和这些物质的总含量相关, 由于深红色皮中各种物质的含量均较低造成了这种质的区别。

3 结论

根据枣皮颜色可将冬枣的成熟过程分为4个发展阶段, 依次为青绿、黄白和青红以及深红阶段。4阶段中枣皮的红色程度(a^*)和黄色(b^*)均存在显著差异, 可以作为辨认参考。

冬枣皮中抗氧化物质的主要成分为原花青素和多酚类物质, 次要成分为黄酮类物质, 而花色苷类物质含量较少, 并不是枣皮变红的主要成因。

冬枣4种颜色枣皮中总多酚含量: 青绿 > 青红 > 黄白 >> 深红; 总黄酮含量: 黄白 > 青绿 >> 青红 > 深红; 原花青素含量: 青红 > 黄白 > 青绿 >> 深红; 花色苷含量: 深红 > 黄白 > 青红 > 青绿。其中, 青绿枣皮中总多酚含量最高, 在青红阶段原花青素含量最高, 黄白阶段总黄酮含量最高, 而深红阶段各物质含量均最低。

从DPPH自由基清除的测定结果可以看出, 青绿、青红和黄白阶段都有较强的自由基清除率, 均远高于深红阶段的清除效果, 推测在成熟过程中, 冬枣皮中此类抗氧化物质大量氧化和降解造成了随颜色变红的同时, 抗氧化能力也显著下降。

参考文献:

- [1] 何峰, 潘勤, 闵知大. 枣属植物化学成分研究进展[J]. 国外医药: 植物药分册, 2005, 20(1): 1-5.
- [2] 杨金枝, 陈锦屏, 崔琳琳, 等. 和田玉枣中三种功能成分的分离鉴定及分析探讨[J]. 陕西农业科技, 2008(2): 41-45.
- [3] XUE Ziping, FENG Weihua, JIAN Kangcao, et al. Antioxidant activity and total phenolic contents in peel and pulp of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruits[J]. Journal of Food Biochemistry, 2009, 33: 613-629.
- [4] 郝婕, 王艳辉, 董金泉. 金丝小枣多酚提取物的生理功效研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(5): 22-26.
- [5] CHENG Dai, ZHU Chunqiu, CAO Jiankang, et al. The protective

- effects of polyphenols from jujube peel (*Ziziphus jujube* Mill) l on isoproterenol-induced myocardial ischemia and aluminum-induced myocardial ischemia and aluminum-induced oxidative damage in rats [J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50: 1302-1308.
- [6] 王毕妮, 樊明涛, 曹炜, 等. 烹饪方式对红枣多酚抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 130-133.
- [7] 王毕妮, 樊明涛, 程妮, 等. 干制方式对红枣多酚抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 157-160.
- [8] 刘红, 陈韩英, 李元元, 等. 不同提取方法对沙枣多酚清除自由基能力的比较研究[J]. 食品科技, 2010, 35(11): 227-230.
- [9] CHUKWUMAH Y, WALKER L T, VERGHESE M. Peanut skin color: a biomarker for total polyphenolic content and antioxidative capacities of peanut cultivars[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2009, 10: 4941-4952.
- [10] ZHANG Hao, JIANG Lu, YE Shu, et al. Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanol extract of different tissues of jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) from China[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48: 1461-1465.
- [11] LI B B, SMITH B, HOSSAIN M M. Extraction of phenolics from citrus peels: I. Solvent extraction method[J]. Separation and Purification Technology, 2006, 48: 182-188.
- [12] JIA Z S, TANG M, WU J, et al. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals[J]. Food Chemistry, 1999, 64: 555-559.
- [13] PORTER L J, HRSTICH L N, CHANA B G. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidins and delphinidins[J]. Phytochemistry, 1986, 25: 255-230.
- [14] YANG Zhendong, FAN Gongjian, GU Zhenxin, et al. Optimization extraction of anthocyanins from purple corn (*Zea mays* L.) cob using tristimulus colorimetry[J]. European Food Research Technology, 2008, 227: 409-415.
- [15] WILLIAMS W B, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28: 25-30.
- [16] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 23-24.