

家庭压力烹调对绿豆抗氧化能力的影响

王蓉¹ 朱晓倩² 范志红^{1*}

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要 研究家庭压力烹调对绿豆抗氧化成分及抗氧化能力的影响。以常压烹调为对照,检测不同压力和时间烹调后的总多酚、总黄酮含量及DPPH自由基清除能力、铁还原抗氧化能力(FRAP)、氧自由基吸收能力(ORAC)。结果显示:和总酚含量相比,总黄酮含量与3种抗氧化能力指标均有最高的相关性。与生样相比,除总多酚外,各烹调处理的总黄酮和各抗氧化能力均有下降。总体而言,家庭压力烹调对抗氧化物质和抗氧化能力的保存效果与常压蒸煮烹调差异幅度不大。

关键词 绿豆;家庭压力烹调;抗氧化能力;总多酚;总黄酮

中图分类号 TS 201.2

文章编号 1007-4333(2016)08-0105-06

文献标志码 A

Effect of domestic pressure cooking on antioxidant capacity of mung beans

WANG Rong¹, ZHU Xiao-qian², FAN Zhi-hong^{1*}

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To investigate the effect of domestic pressure cooking on some antioxidant component and antioxidant capacity of mung beans, different cooking time and pressure were tested in terms of total phenols, total flavonoids, DPPH free-radical scavenging activity (DPPH), ferric-reducing antioxidant power (FRAP), oxygen radical absorbing capacity (ORAC) values were tested by using normal atmospheric cooking as control. The results showed that the contents of the total flavonoids were highly correlated with all the three antioxidant capacity parameters, which all decreased significantly compared with the uncooked sample. However, the retention rates of total flavonoid content as well as the three antioxidant capacity parameters were comparable in pressure cooked samples with those of the normal cooked control.

Keywords mung beans; domestic pressure cooking; antioxidant capacity; total phenols; total flavonoids

绿豆(*Vigna radiate* (L.) Wilczek)又名藜豆、植豆、文豆、吉豆等,在我国有超过2 000年的栽培史,富含膳食纤维、多种矿物质元素和B族维生素,有“食中佳品,济世长谷”之称^[1]。

绿豆中含有丰富的多酚类物质,具有很强的抗氧化活性,能够抑制淀粉酶活性,对缓解餐后血糖上升速度和预防糖尿病有益^[2]。其中,类黄酮(主要为黄酮醇)化合物在绿豆皮中大量存在^[3-4],特别是牡荆素和异牡荆素^[5]。研究表明绿豆中的多酚类物质具有解毒、扩张冠状动脉血管和降低血脂甾醇的作

用,具有一定的抗癌活性^[6],并有抑制体内糖基化反应产物生成的作用^[7]。也有研究发现绿豆在实验动物中的抗热作用可能与其中多酚类物质有关^[8]。作为杂粮的一部分,充分摄入绿豆等富含淀粉的豆类,是膳食中增加酚类抗氧化物质摄入的一个有效方式。

目前,家庭用电压力烹调器具在我国居民中已经相当普及,为烹调绿豆等质地坚实耐煮的淀粉豆类提供了便利。李文芳等^[9]研究发现,采用参数为115℃、140 kPa、1~5 min的高压煮制会显著降低

收稿日期:2015-07-22

第一作者:王蓉,硕士研究生,E-mail:waterrose1991@163.com

通讯作者:范志红,副教授,主要从事食物营养研究,E-mail:daisyfan@vip.sina.com

绿豆溶液中的总黄酮提取率,但不同烹调压力、不同烹调时间对其中抗氧化能力和多酚类物质的影响的研究鲜有报道。本研究采用不同烹调压力、不同烹调时间,使用可调压家用压力锅烹调绿豆,旨在了解压力烹调对其抗氧化能力和抗氧化相关成分的影响,以为绿豆的健康烹调提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

原料绿豆(*V. angularis*)产地为内蒙古林西县,北京大和恒粮油贸易有限公司。预先挑选除去破损籽粒和粒径差异过大的籽粒,密封储藏于阴凉处,于包装上打印的生产日期后6个月内用于测定。

没食子酸标品、芦丁标品、F-C试剂、抗坏血酸、DPPH、Trolox、FL、TPTZ、AAPH, Sigma公司;盐酸、乙酸、丙酮、甲醇、硝酸钠、三氯化铝、无水乙醇、醋酸、醋酸钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾,以上试剂均为分析纯,北京化学试剂厂。

台式高速冷冻离心机,盐城市凯特实验仪器有限公司;UV-5200紫外可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;SHA-B恒温水浴振荡器,江苏金坛荣华仪器制造有限公司;高速粉碎机,北京环亚天元机械技术有限公司;Synergy HT型多功能酶标仪,美国Bio Tek有限公司;MY-SS40可调压电压力锅,美的集团股份有限公司;蒸锅,电磁炉等。

1.2 试验方法

1.2.1 绿豆样品烹调处理方法

压力烹调 and 常压烹调的时间经过预实验,须满足3个条件:1)胰蛋白酶抑制剂活性降至检测限以下;2)烹调后的绿豆豆粒可用大拇指和食指轻易捏碎;3)感官品尝实验中可接受性良好,受试者可以轻松食用50g烹调后的绿豆。

称取30g绿豆于抗压有盖塑料饭盒中,加入90mL去离子水,扣紧盖后放入4℃冰箱中浸泡2h后,连泡豆水一起放入可调压电压力锅内。设定压强与时间分别为:122kPa保压烹调15min,142kPa保压烹调15min,162kPa保压烹调15、10及5min。从达到预定压强后开始计时,到达保压时间后采用自动放气方式排气,立刻取出烹调后的样品(包括绿豆和盒中的全部液体),匀浆机打浆25s用于测定。

常压烹调将同样浸泡后的30g样品放入带盖塑料饭盒中,放入上气的蒸锅中,用1500W功率的

电磁炉加热,蒸煮60min。烹调后的豆粥样品(包括绿豆和盒中的全部液体)在匀浆机中打浆25s,待测定。

1.2.2 总多酚的提取与测定

准确称取生豆粉1g或匀浆后样品4g,放入离心管中,加入10mL80%丙酮溶液,加盖,水平放置在25℃的水浴振荡器中,以200r/min提取1h后,6000r/min离心3min,取出上清液留用。重复上述步骤,第2次加入10mL提取试剂,第3次加入6mL提取试剂。合并3次所得上清液,去离子水定容至25mL,4℃冰箱保存避光,48h内进行分析测定。采用Folin-Ciocalteu试剂法^[10],测定760nm处的吸光度,以没食子酸为标准品制作标准曲线。

1.2.3 总黄酮的提取与测定

总黄酮的提取方法和总多酚的提取方法一致。总黄酮的测定采用三氯化铝显色法^[11],测定510nm处吸光度。以芦丁为标准品制作标准曲线。

1.2.4 DPPH自由基清除能力测定

测定用样液的提取方法同总多酚及总黄酮的提取方法。参照Xu^[12]的方法并略作修改。根据抗坏血酸溶液的浓度与DPPH清除率绘制标准曲线。

1.2.5 铁还原抗氧化能力(FRAP值)测定

测定用样液的提取方法同总多酚及总黄酮的提取方法。参照Benzie^[13]的方法,并略作修改。测定593nm处吸光度,根据抗坏血酸的浓度与吸光度绘制标准曲线。

1.2.6 氧自由基吸收能力(ORAC值)测定

测定用样液的提取方法同总多酚及总黄酮的提取方法。参考Huang^[14]的方法,并略作修改。根据Trolox溶液浓度与各浓度下溶液的荧光曲线下面积AUC与AUC空白相减得到的 ΔAUC 绘制标准曲线。

1.3 统计分析方法

所有处理取3个平行样品,所有试验重复2次。用SPSS 21.0软件处理试验结果。不同烹调处理的样品间差异用单因素方差分析,采用Tukey's test法。以 $P < 0.05$ 为显著性差异,采用Pearson分析进行因素之间的相关性分析。

2 结 果

2.1 烹调处理对绿豆中总多酚和总黄酮含量的影响

除142kPa保压15min的烹调处理总酚含量与生样无显著差异外,其他烹调处理均使绿豆的总

酚含量略有提高(表 1),其中常压烹调处理最高。在固定烹调时间为 15 min 的情况下,总酚含量随着烹调压力升高的升高呈现出先下降后上升的趋势,但总体差异较小。

所有烹调处理均显著降低绿豆样品的总黄酮含量,162 kPa 保压 15 min 和 162 kPa 保压 10 min 压力烹调处理的总黄酮含量最低,表明总黄酮含量对长时间高压烹调较为敏感。

表 1 烹调方法对总多酚和总黄酮含量的影响

Table 1 Effect of cooking pressure on biological activities ingredients of mung beans mg/g

烹调方式 Cooking method	总多酚含量 Total phenols content		总黄酮含量 Total flavonoids content	
	干重	豆粥	干重	豆粥
	Dry weight	Mung bean congee	Dry weight	Mung bean congee
生样 Raw sample	4.39±0.37 d	—	6.92±0.43 a	—
常压 Atmospheric pressure	5.08±0.20 a	1.10±0.04	3.35±0.16 b	0.72±0.04
处理 1 Treatment 1	4.75±0.27 c	1.16±0.07	3.73±0.09 b	0.91±0.02
处理 2 Treatment 2	4.21±0.32 d	0.99±0.08	3.91±0.14 b	0.92±0.03
处理 3 Treatment 3	4.87±0.32 bc	1.10±0.07	2.79±0.22 c	0.63±0.05
处理 4 Treatment 4	5.00±0.21 ab	1.17±0.05	2.94±0.06 c	0.69±0.02
处理 5 Treatment 5	4.74±0.20 c	1.15±0.05	3.90±0.26 b	0.95±0.06

注:1)常压代表 1 500 W 功率下在已经产生蒸汽的蒸锅中烹调 60 min;处理 1 代表 122 kPa 保压 15 min,处理 2 代表 142 kPa 保压 15 min;处理 3、4、5 分别代表在 162 kPa 下保压 15、10 及 5 min。2)干重代表绿豆样品干基中的总多酚或总黄酮的含量。

Note:1) Atmospheric pressure represents steaming and boiling under the atmospheric pressure of 1 500 w power in a already steamed cooker for 60 min; Treatment 1 represents under 122 kPa pressure maintaining 15 min, Treatment 2 represents under 142 kPa pressure maintaining 15 min; Treatment 3, 4 and 5 respectively represent under 162 kPa pressure maintaining 15, 10 and 5 min. 2) Dry weight represents to total phenols content or total flavonoid contents of mung bean samples in dry basis.

2.2 烹调处理对绿豆抗氧化指标的影响

与生样相比,各烹调处理均显著降低了绿豆样品的 DPPH 自由基清除能力,压力烹调处理之间差异不大,均略低于常压烹调处理(表 2)。铁还原抗氧化能力和生样相比也均显著降低,但和常压烹调处理相比,除了 162 kPa 保压 5 min 和 122 kPa 保压 15 min 这 2 个最低压力或最短时间的处理有显著降低,其他压力烹调处理与常压烹调之间并无显著差异。

本研究发现所有烹调处理都显著降低了绿豆样品的 ORAC 值,其中 162 kPa 保压 15 min 的烹调处理的 ORAC 值最低。在烹调时间同为 15 min 的情况下,随着烹调压力的增大,绿豆样品的 ORAC 值呈现显著下降的趋势。烹调压力为 162 kPa 时,烹调时间 15 min 处理的样品的 ORAC 值最低。

2.3 总多酚和总黄酮含量与抗氧化能力之间的相关性分析

绿豆样品经烹调处理后,总多酚含量和总黄酮

含量呈显著负相关,和氧自由基吸收能力之间也呈现出极显著的负相关,而总黄酮含量和 3 种抗氧化能力指标之间均呈现出极显著正相关,而且相关系数均超过 0.9(表 3)。3 种抗氧化指标之间也相互呈极显著的正相关。

3 讨论与结论

与生样相比,绿豆样品经过烹调处理后,总黄酮含量显著下降,这和黄大豆及黑豆蒸煮、压力烹调后总黄酮含量变化的趋势^[15]较为一致。随着烹调压力的上升和烹调时间的延长,样品的总黄酮含量呈现轻微下降趋势,可能是在较高压力和较长烹调时间下总黄酮成分出现热降解导致的^[9]。研究发现烹调热处理降低了花斑豆中紫云英苷、山奈酚-3-乙酰基葡萄糖苷的含量,无论是常压烹调还是压力烹调均可以显著降低黑豆中黄烷-3-醇、黄烷醇的含量^[16];但总体而言,与常压蒸煮相比,本研究中压力烹调处理后样品的总黄酮含量下降幅度并不很大。

表2 烹调方法对各样品体外抗氧化能力的影响

Table 2 Effect of pressure cooking on antioxidant activity of mung beans

烹调方式 Cooking method	DPPH 自由基清除能力 ^① / ($\mu\text{mol/g}$) DPPH free-radical scavenging activity		铁还原抗氧化能力 ^① / ($\mu\text{mol/g}$) Ferric-reducing antioxidant power		氧自由基吸收能力 ^② / ($\mu\text{mol/g}$) Oxygen radical absorbing capacity	
	干重 Dry weight	豆粥 Mung bean congee	干重 Dry weight	豆粥 Mung bean congee	干重 Dry weight	豆粥 Mung bean congee
	生样 Raw sample	39.32±1.93 a	—	23.86±1.06 a	—	23.52±1.84 a
常压 Atmospheric pressure	14.77±1.15 b	3.19±2.50	13.38±0.21 b	2.89±0.45	17.19±1.05 b	3.71±0.23
处理1 Treatment 1	13.49±0.39 cd	3.29±0.95	12.24±0.64 c	2.98±1.55	17.18±0.84 b	3.71±0.18
处理2 Treatment 2	13.17±0.27 d	3.10±0.64	13.45±0.82 b	3.17±1.93	15.00±1.30 c	3.24±0.22
处理3 Treatment 3	13.34±0.58 cd	3.30±0.40	13.49±0.63 b	3.04±1.43	13.77±1.08 d	2.97±0.23
处理4 Treatment 4	14.24±0.28 c	3.32±0.61	13.41±0.21 b	3.13±0.50	16.02±0.95 c	3.46±0.21
处理5 Treatment 5	13.88±0.27 cd	3.36±0.65	11.77±0.72 c	2.85±1.71	16.70±1.03 bc	3.60±0.22

注:1)常压指1 500 W 功率下在已经产生蒸汽的蒸锅中烹调60 min;处理1,122 kPa 保压15 min;处理2,142 kPa 保压15 min;处理3,4,5 分别指在162 kPa 下保压15、10及5 min。2)①代表DPPH 自由基清除能力和铁还原抗氧化能力以AAE(抗坏血酸当量)表示;②代表氧自由基吸收能力以TE(Trolox 当量)表示。

Note:1) Atmospheric pressure represents steaming and boiling under the atmospheric pressure of 1 500 W power in a already steamed cooker for 60 min; Treatment 1 represents under 122 kPa pressure maintaining 15 min, Treatment 2 represents under 142 kPa pressure maintaining 15 min; Treatment 3, 4, 5 respectively represent under 162 kPa pressure maintaining 15, 10 and 5 min. 2) ① represents that DPPH free-radical scavenging activity and ferric-reducing antioxidant power are showed by AAE (ascorbic acid equivalent); ② represents that oxygen radical absorbing capacity is showed by TE (Trolox equivalent).

表3 绿豆烹调样品总多酚含量和总黄酮含量与抗氧化能力的 Pearson 相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients (P value) between total polyphenol content, total flavonoids content and antioxidant activity of cooked mung bean samples

指标 Index	总多酚含量 Total phenols content	总黄酮含量 Total flavonoids content	DPPH	FRAP	ORAC
总多酚含量 Total phenols content	—	-0.421*	-0.186	-0.302	-0.354**
总黄酮含量 Total flavonoids content		—	0.928**	0.910**	0.927**
DPPH			—	0.975**	0.907**
FRAP				—	0.885**
ORAC					—

注:1)** 和 * 表示两指标间有极显著相关性($P<0.01$)和显著相关性($P<0.05$)。2)DPPH 代表 DPPH 自由基清除能力; FRAP 代表铁还原抗氧化能力;ORAC 代表氧自由基吸收能力。

Note:1) ** and * mean highly significant correlation between two indexes ($P<0.01$) and significant correlation between two indexes ($P<0.05$). 2) DPPH represents DPPH free-radical scavenging activity; FRAP represents ferric-reducing antioxidant power;ORAC represents oxygen radical absorbing capacity.

相比而言,总多酚含量的变化趋势显得较为复杂。在生豆粉中,部分多酚类物质与蛋白质、多糖以氢键和疏水键形式形成稳定分子复合物,而热处理过程中的水解作用可以使酚类物质游离出来,从而导致测定结果的上升^[17]。加热处理还可使细胞壁和细胞内结构发生崩解,导致部分酚类化合物释放,增加提取率,从而使总酚测定数据上升。另一方面,加热处理后部分缩合型酚类物质和酯键结合的酚类物质发生水解,共轭酚类发生裂解,也会使测定结果升高^[18]。这就能够解释各烹调处理的绿豆样品总酚含量不低于或高于生样的事实。

试验表明,常压烹调的绿豆样品中总酚含量最高,而无论固定时间还是固定烹调压力,总多酚的含量都呈现先略有下降再略有上升的趋势。这可能说明在烹调过程中,一方面可能有部分耐热性较差的多酚类物质因受热而降解,而同时也有部分复合形式存在的多酚类物质在加热过程中发生水解而逐渐游离出来。对花斑豆和黑豆的研究发现,常规烹调 and 压力烹调会显著降低苯甲酸及其衍生物、绿原酸、芥子酸、肉桂酸等,但可以显著增加 2,3,4,-三羟基苯甲酸、*p*-香豆素、丁香醛、*m*-香豆素和阿魏酸的含量^[16]。还有研究发现,小麦籽粒研磨成粉经加热处理后,其酚类物质包括阿魏酸、丁香酸、香草酸和 *p*-香豆酸含量均显著升高,研究者认为可能是结合或聚合形式的多酚类物质发生降解导致的^[19]。

由于豆类质地紧密,烹调速度较慢,提前浸泡是一个常见做法。Xu 等^[20]对黑豆的研究发现,随着浸泡时间延长,泡豆水中总多酚含量显著上升,因为在浸泡过程中,一些种皮中的酚类物质(如缩合单宁)会水解并溶出在泡豆水中,而在蒸煮过程中,75%~79%的总多酚会溶入水中。另一项烹调研究也发现,随着浸泡程度的加深,2%~12%的豌豆和鹰嘴豆中的总多酚会损失在泡豆水中,在小扁豆中这一比率为 9%~38%^[21]。本研究中绿豆样品虽然进行了 2 h 预泡,但浸泡温度较低,泡豆水直接入锅烹调,测定时也连豆汤一起进行测定,可能是烹调后多酚含量下降不明显的重要原因。

由于在烹调过程中,聚合物的降解作用、游离酚类物质的热降解、结合型酚类物质的水解作用这三个过程可能同时存在,而烹调时的时间、压力和其他一些因素对这三个过程都具有影响,从而导致绿豆样品多酚类物质的测定值并不呈现出线性变化。

在本研究中,总黄酮含量和 3 种抗氧化指标均

呈现出极显著的正相关,且 Pearson 系数均大于 0.9,说明总黄酮含量是影响绿豆抗氧化能力的主要因素。而研究也发现,绿豆中所含的酚类物质中,牡荆素和异牡荆素等类黄酮物质占有重要地位^[5]。

在 3 种指标当中,以氧自由基吸收能力的变化趋势与总黄酮的变化趋势最为一致。总多酚含量仅与 ORAC 有极显著负相关性,和其他 2 种抗氧化指标均无显著相关性。ORAC 是国际上最受关注的抗氧化能力指标之一,广泛应用于商业产品的抗氧化能力评价^[22]。测定原理是基于氢原子转移(HAT)的方法,而 DPPH 和 FRAP 的原理均为基于电子转移(SET)的方法^[23],因此在本研究中绿豆烹调样品的 ORAC 值的变化趋势与 DPPH 值和 FRAP 值略有不同。

由于各烹调处理显著降低了绿豆样品总黄酮的含量,3 种抗氧化能力的测定值在各烹调处理后也有显著下降。随着烹调压力的增加,ORAC 值呈现出明显的下降态势,这和 Xu 等对黑豆进行不同压力煮制的研究相一致^[20]。然而,和常压蒸煮处理相比,随着烹调压力的上升和烹调时间的延长,绿豆样品的 DPPH 值和 FRAP 值的变化并不明显,可能是因为随着热处理时间的延长,绿豆细胞壁破裂,酚类成分逐渐水解释放^[24]。此外,热处理还可以降解一部分糖苷型类黄酮使之成为游离态,从而提高其抗氧化能力^[15]。

综合各处理结果,在预先浸泡 2 h 的条件下,绿豆样品在 162 kPa 下烹调 10 min 即可获得接近于常压烹调 60 min 的抗氧化能力保存效果,而且更加省时、高效、节能。本研究显示,家庭压力烹调对绿豆抗氧化物质和抗氧化能力的保存效果并不逊色于常压蒸煮烹调。所以,在本研究中,需要预防和控制慢性疾病的人群可以通过不弃去浸泡用水,调节烹调压力和烹调时间,从而达到快速、高效、节能的烹调绿豆的个性化需求。

参 考 文 献

- [1] 李敏. 绿豆化学成分及药理作用的研究概况[J]. 上海中医药杂志, 2001(5): 47-49
Li M, Research advance in chemical composition and pharmacological action of mung bean[J]. *Shanghai Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2001(5): 47-49 (in Chinese)
- [2] Bahadoran Z, Mirmiran P, Azizi F. Dietary polyphenols as potential nutraceuticals in management of diabetes: A review

- [J]. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 2013, 12(1): 43-43
- [3] Kim D K, Kim J B, Chon S U, Lee Y S. Antioxidant potentials and quantification of flavonoids in mung bean (*Vigna radiata* L.) seeds[J]. *Plant Resources*, 2005, 8(2): 81-176
- [4] 卫莉, 钟秀珍, 张宝才. 绿豆皮中黄酮类化合物的提取及定量测定[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2001, 16(1): 58-62
Wei L, Zhong X Z, Zhang B C, Yang H T. Extracting and determination of the content of flavonoids in the skin of phaseolus radiates [J]. *Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry*, 2001, 16(1): 58-62 (in Chinese)
- [5] Yao Y, Cheng X Z, Ren G X. Contents of D-chiro-inositol, vitexin, and isovitexin in various varieties of mung bean and its products[J]. *Agricultural Science in China*, 2011, 11(11): 1710-1715
- [6] 汪少芸, 叶秀云, 饶平凡. 绿豆生物活性物质及功能的研究进展[J]. 中国食品学报, 2004, 4(1): 98-102
Wang S Y, Ye X Y, Rao P F. Research progress on the biological activities and functions of mung beans[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2004, 4(1): 98-102 (in Chinese)
- [7] Peng X, Zheng Z, Cheng K W, Shan F, Ren G X, Chen F, Wang M F. Inhibitory effect of mung bean extract and its constituents vitexin and isovitexin on the formation of advanced glycation endproducts[J]. *Food Chemistry*, 2008, 106(2): 475-481.
- [8] Cao D D, Li H, Yi J Y, Zhang J J, Che H L, Cao J K, Yang L, Zhu C Q, Jiang W B. Antioxidant properties of the mung bean flavonoids on alleviating heat stress[J]. *Plos One*, 2011, 6(6): e21071
- [9] 李文芳, 向宁, 郑志兵, 张楚洁, 朱皓明. 水煮绿豆总黄酮提取最佳条件的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(12): 287-290
Li W F, Xiang N, Zheng Z B, Zhang C J, Zhu H M. Optimization of extracting total flavones while boiling mung bean[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 32(12): 287-290 (in Chinese)
- [10] Singleton V L, Lamuela-Raventos R M, Singleton V L, Orthofer R. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent [J]. *Methods in Enzymology*, 1999, 299: 152-178
- [11] Xu B J, Chang S K C. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(2): S159-166
- [12] Xu B J, Yuan S H, Chang S K C. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(2): S167-S177
- [13] Benzie I F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay[J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1): 70-76
- [14] Ou B, Huang D, Hampsch-Woodill M, And J, Deemer E K. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: A comparative study [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50(11): 3122-3128
- [15] Xu B, Chang S K C. Total phenolics, phenolic acids, isoflavones, and anthocyanins and antioxidant properties of yellow and black soybeans as affected by thermal processing [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2008, 56(16): 7165-7175
- [16] Xu B, Chang S K C. Total phenolic, phenolic acid, anthocyanin, flavan-3-ol, and flavonol profiles and antioxidant properties of pinto and black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by thermal processing [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2009, 57(11): 4754-4764
- [17] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000
Shi B, Di Y. *Plant Polyphenol* [M]. Beijing: Science Publishing Company, 2000 (in Chinese)
- [18] Randhir R, Kwon Y I, Shetty K. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2008, 9(3): 355-364
- [19] Cheng Z, Su L, Moore J, Zhou K Q, Luther M, Yin J J, Yu L L. Effects of postharvest treatment and heat stress on availability of wheat antioxidants[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54(15): 5623-5629
- [20] Xu B J, Chang S K C. Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(2): H19-H27
- [21] Xu B, Chang S K C. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes[J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(1): 1-13
- [22] Prior R L, Wu X L, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2005, 53(10): 4290-4302
- [23] 李华, 李佩洪, 王晓宇, 李勇. 抗氧化检测方法的相关性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4): 6-11
Li H, Li P H, Wang X Y, Li Y. Relativity about ten antioxidant methods [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2008, 27(4): 6-11 (in Chinese)
- [24] Chutipanyaporn P, Kruawan K, Chupeerach C, Santivarangkna C, Suttisansanee U. The effect of cooking process on antioxidant activities and total phenolic compounds of five colored beans[J]. *Food Applied Bioscience Journal*, 2014, 2(3): 183-191