

蒸煮对小米营养成分及抗氧化活性的影响

张玲艳¹, 李洁莹¹, 韩飞², 丁占生¹, 范柳萍^{1,*}

(1.江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2.国家粮食局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 以内蒙赤峰红谷为研究原料, 研究蒸和煮2种加工方式对小米维生素、多酚、黄酮以及抗氧化活性的影响。与生小米相比, 蒸和煮2种加工方式显著性降低了小米VB₁、VB₂和植酸含量 ($P < 0.05$), 且煮小米中VB₁保留率较高, 蒸小米中VB₂和植酸保留率较高。与蒸小米相比, 煮小米中总酚的保留率较高, 其含量是蒸小米总酚含量的1.39倍, 且煮小米中含有较丰富的香草酸和肉桂酸; 基于1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除实验、2,2'-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐自由基清除实验、铁离子还原能力实验和氧化自由基吸收能力的实验表明, 抗氧化活性大小为生小米>煮小米>蒸小米, 因此煮是较好的一种加工方式。

关键词: 小米; 蒸; 煮; 总酚; 总黄酮; 抗氧化性

Effects of Steaming and Boiling on the Nutrients and Antioxidant Activity of Millet

ZHANG Lingyan¹, LI Jieying¹, HAN Fei², DING Zhansheng¹, FAN Liuping^{1,*}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037, China)

Abstract: In this study, we addressed the effects of different cooking methods (boiling and steaming at a millet to water ratio of 1:20 and 1:1.5 (g/mL), respectively) on the vitamin, total phenolics and total flavonoids contents and antioxidant activity of Fenghonggu millet grown in Chifeng, Inner Mongolia. Compared with untreated millet, boiling and steaming resulted in a significant decrease in VB₁, VB₂ and phytic acid ($P < 0.05$). Additionally, boiled millet maintained a higher level of VB₁, while steamed millet retained more VB₂ and phytic acid. Boiled millet, rich in vanillic acid and cinnamic acid, retained a 1.39-fold higher total phenolic content than its steamed counterpart. The antioxidant activity measured by 1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl (DPPH) scavenging, 3-ethyl-benzothiazoline sulphonate (ABTS) scavenging, ferric reducing antioxidant power (FRAP) and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assays was in the following order: raw millet > boiled millet > steamed millet. Therefore, boiling is a better way to cook millet.

Key words: millet; steaming; boiling; total phenolics; total flavonoids; antioxidant activity

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201724018

中图分类号: TS201.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 24-0113-05

引文格式:

张玲艳, 李洁莹, 韩飞, 等. 蒸煮对小米营养成分及抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 113-117. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201724018. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Lingyan, LI Jieying, HAN Fei, et al. Effects of steaming and boiling on the nutrients and antioxidant activity of millet[J]. Food Science, 2017, 38(24): 113-117. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201724018. <http://www.spkx.net.cn>

小米 (*Setaria italica* Beauv.), 禾本科狗尾草属植物, 是世界上最古老的农作物之一, 起源于我国黄河流域, 中国是主产区, 占全世界产量的80%, 其次是印度, 小米产量占全世界产量的10%。小米对生长环境具有极强的适应能力, 还有耐旱、耐贫瘠、耐酸、碱、盐

等特点, 因此小米是我国干旱地区及推广节水农业地区的理想作物。小米中含有一些抗氧化性物质, 包括维生素、矿物质、酚类化合物等^[1]。近年来, 国外以印度小米为原料已经开始研究其酚类抗氧化性^[2-5], 而国内学者主要集中在小米基本营养物质的研究, 对于小米抗氧化性

收稿日期: 2016-11-18

基金项目: 公益性行业(粮食)科研专项(201313011-6-4); 江苏省科技富民强县项目(SBN2014010290)

作者简介: 张玲艳(1990—), 女, 硕士研究生, 主要从事食品科学研究。E-mail: 1115942939@qq.com

*通信作者: 范柳萍(1972—), 女, 教授, 博士, 主要从事食品科学研究。E-mail: fanliuping@jiangnan.edu.cn

的报道较少,尤其对于蒸、煮这2种家庭常用的烹饪方式对小米抗氧化物质影响的研究更少^[6-8]。此外,蒸小米和煮小米加工方式的研究也可以为人们提供更为合理的蒸小米和煮小米的烹饪方式,可以根据需要搭配不同的小米烹饪方式,也可以应用于指导电饭煲的研制。因此,本实验主要研究不同的加工方式对小米抗氧化物质含量以及抗氧化活性造成的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

峰红谷:内蒙赤峰,收获时间2013年10月。实验中选取的样品没有蛀虫、碎粒,无杂交污染,样品密封于密封袋中并且储藏于-20℃冰箱中。

甲醇、无水乙醇、正己烷、乙酸乙酯、冰醋酸、没食子酸、芦丁、核黄素、硫胺素(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;2,2'-联氨基-双-(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(2,2'-amino-di(3-ethyl-benzothiazoline sulphonic acid-6)ammonium salt, ABTS)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl, DPPH)、2,4,6-三(2-吡啶基)三嗪(2,4,6-Tri(2-pyridyl)-1,3,5-triazine, TPTZ)、水溶性VE(Trolox)(均为标准品) 北京百灵威科技有限公司。

1.2 仪器与设备

UV-2600分光光度计 日本岛津公司;1525高效液相色谱仪 美国Waters公司;SHG262多功能食品粉碎机宁波市舜辉电器有限公司;6NS-14型砬谷机 山西省潞城市红旗机械厂;F-7000荧光光谱仪 日本日立公司;CFXB15-5M电饭锅 广东半球实业集团有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备

使用功率为2 kW的砬谷机将谷子脱壳碾米3次去除谷壳、种皮、果皮和胚获得小米;使用电饭锅用纯净水蒸煮小米,蒸煮之前用纯净水淘米1次,料液比为家庭常用蒸煮比例,蒸小米时料液比1:1.5(g/mL)、100℃、10 min^[9-10],煮小米时料液比1:20(g/mL)、100℃、30 min^[11],最后使用冻干机冻干样品,-80℃预冻,冻干后将其储藏于-20℃冰箱中。测定营养成分时将谷子用粉碎机粉碎,过80目筛备用。

1.3.2 营养物质的检测

参考GB/T 7628—2008《谷物中维生素B₁的测定》^[12]、GB/T 7629—2008《谷物中维生素B₂的测定》^[13]检测VB₁、VB₂含量。

植酸含量检测参考Badau等^[14]的方法。在波长480 nm处测定吸光度为 x ,Fe³⁺溶液浓度(mmol/L)为 y ,建立回归方程为 $y=0.1336x+0.0539$, $R^2=0.9993$,具有很好

的线性相关性。数据表示为平均值±标准误差,重复3次实验,均以干质量计。

1.3.3 小米总酚含量的检测

游离酚提取参考Chandrasekara^[3]和田志琴^[7]的方法;结合酚类化合物提取参考Saio等^[19]的方法。

取适量提取液,加入1 mL蒸馏水、1.0 mL福林-酚试剂,黑暗处放置8 min,加入2 mL 15%碳酸钠溶液,蒸馏水定容至25 mL,充分混合后,室温放置2 h后,于波长760 nm处测定吸光度为 x ,没食子酸标准溶液质量浓度(mg/L)为 y 。绘制标准曲线并进行回归处理,得标准曲线回归方程为 $y=9.0529x-0.1575$, $R^2=0.9997$,具有很好的线性相关性。小米总酚含量以没食子酸当量(gallic acid equivalents, GAE)表示,以干质量计,单位为mg GAE/100 g。

1.3.4 小米中酚酸含量的检测

小米中酚酸通过高效液相色谱检测,取酚提取液20 μL进色谱柱Agilent ZORBAX SB-C₁₈(4.6 mm×250 mm, 5 μm),流动相为含有0.05%三氟乙酸的水溶液和含有0.05% TFA的乙腈溶液,流速0.8 mL/min,检测波长260 nm。酚酸含量以干质量计。数据表示为平均值±标准误差,重复3次实验。

1.3.5 小米中黄酮含量的检测

提取方法同1.3.3节中游离酚和结合酚,取适量提取液,加入2 mL 0.1 mol/L三氯化铝溶液,3 mL 1 mol/L乙酸钾溶液,用体积分数30%乙醇溶液定容于10 mL容量瓶,充分混合后,室温放置90 min后,于波长420 nm处测定吸光度为 x ,芦丁标准溶液质量浓度(mg/mL)为 y 。绘制标准曲线并进行回归处理,得标准曲线回归方程为 $y=0.0314x+0.0005$, $R^2=0.9992$,具有很好的线性相关性。黄酮含量以芦丁当量(rutin equivalents, RE)表示,单位为mg RE/100 g,以干质量计。

1.3.6 小米中抗氧化性检测

ABTS⁺·清除能力检测:参考Thaipong等^[15]的方法。绘制标准曲线并进行回归处理,得标准曲线回归方程为 $y=2.6075x-0.0094$, x 为水溶性VE浓度(μmol/L), y 为波长734 nm处自由基清除率, $R^2=0.9996$,具有很好的线性相关性。

铁离子还原能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)的检测:参考Thaipong等^[15]的方法。绘制标准曲线并进行回归处理,得标准曲线回归方程为 $y=23.013x-1.0349$, x 为波长593 nm处测定的吸光度, y 为水溶性VE浓度(μmol/L), $R^2=0.9994$,具有很好的线性相关性。

DPPH自由基清除能力检测:参考Brandwilliams等^[16]的方法。绘制标准曲线并进行回归处理,得标准曲线回归方程为 $y=2.2805x-0.3955$, x 为水溶性VE

浓度 ($\mu\text{mol/L}$), y 为波长 515 nm 处自由基清除率, $R^2=0.9996$, 具有很好的线性相关性。

氧化自由基吸收能力 (oxygen radical absorbance capacity, ORAC) 检测: 参考 Huang Dejian 等^[17] 的方法。

4 种方法测定的抗氧化性值以干基每克样品中所含水溶性 VE 当量 (Trolox equivalents, TE) 表示, 单位为 $\mu\text{mol TE/g}$ 。数据表示为平均值 $\pm$ 标准误差, 重复 3 次实验。

2 结果与分析

2.1 蒸煮加工过程中 VB₁、VB₂ 和植酸含量变化

VB₁ 和 VB₂ 是维持机体正常代谢必需的水溶性维生素。VB₁ 主要存在于谷子胚乳中, VB₂ 主要存在于糠皮层中。由表 1 可知, 小米中 VB₁ 含量为 $(11.30 \pm 0.05) \text{ mg/kg}$, VB₂ 含量为 $(0.55 \pm 0.00) \text{ mg/kg}$ 。Lebiedzińska 等^[18] 报道小米中 VB₁ 含量为 3.07 mg/kg , VB₂ 含量为 0.78 mg/kg , 这可能与小米品种以及地域相关。

表 1 小米营养成分的变化

Table 1 Nutrient contents of raw and cooked millet

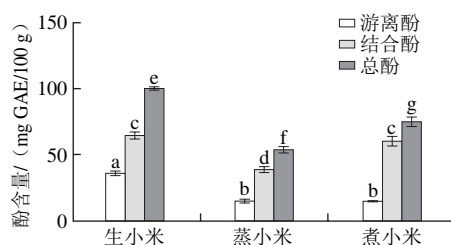
营养成分含量	生小米	蒸小米	煮小米
VB ₁ / (mg/kg)	11.30 ± 0.05^a	2.10 ± 0.01^b	2.46 ± 0.02^b
VB ₂ / (mg/kg)	0.55 ± 0.00^a	0.40 ± 0.03^b	0.15 ± 0.01^c
植酸/ (mg/g)	27.87 ± 0.09^a	26.05 ± 0.01^b	25.45 ± 0.00^c

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

如表 1 所示, 与生小米相比, 蒸小米和煮小米中 VB₁ 含量显著减少 ($P < 0.05$), 其中蒸小米中 VB₁ 含量减少了 81%, 煮小米 VB₁ 含量减少 78%, 但蒸小米和煮小米中 VB₁ 含量无显著差别 ($P > 0.05$); 经过蒸和煮加工后小米中 VB₂ 含量显著减少, 其中蒸小米中 VB₂ 含量降低 27%, 煮小米 VB₂ 含量降低 73%, 可能是由于蒸煮过程中长时间高温湿热导致 VB₁ 和 VB₂ 被氧化破坏, 相对于蒸小米 (10 min), 煮小米时间更长 (30 min), 导致 VB₂ 含量的大幅降低 ($P < 0.05$)。植酸含量在蒸和煮这 2 种加工方式之间有显著差异 ($P < 0.05$)。与生小米相比, 蒸小米和煮小米植酸含量分别减少了 6.5%、8.7%, 这可能是由于湿热处理后, 植酸与水中的钙离子和镁离子结合, 从而降低其与铁离子的结合, 导致检测结果减小^[19-20]。

2.2 蒸煮加工过程中小米总酚含量的变化

如图 1 所示, 蒸和煮 2 种加工方式显著影响小米游离酚、结合酚和总酚含量 ($P < 0.05$)。生小米中游离酚、结合酚和总酚含量分别为 (35.73 ± 1.65) 、 $(64.40 \pm 2.49) \text{ mg GAE/100 g}$ 和 $(100.13 \pm 1.02) \text{ mg GAE/100 g}$, 与 Zhang Lizhen 等^[8] 报道的 2 种小米中游离酚和结合酚含量相近, 分别为 33.13、65.07 mg GAE/100 g 。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。图 2 同。

图 1 小米游离酚、结合酚和总酚含量

Fig. 1 Free phenolic, bound phenolic and total phenolic contents of raw and cooked millet

结合酚是小米中酚类化合物的主要存在形式。生小米、蒸小米和煮小米中结合酚占总酚含量分别为 64%、72% 和 80%。Zhang Lizhen 等^[8] 曾报道 Jingu28 和 Jingu34 中结合酚占总酚分别为 68%、62%。与生小米相比, 蒸小米中游离酚、结合酚和总酚分别减少 58%、40%、46%, 煮小米中游离酚、结合酚和总酚分别减少 59%、6%、25%, 这与 Chandrasekara 等^[3] 的研究结果一致, Chandrasekara 等^[3] 测定了 7 种煮小米总酚含量, 与生小米中总酚含量相比, 其总酚含量降低幅度为 2%~36%。与蒸小米相比, 煮小米中总酚的保留率较高, 其含量是蒸小米总酚含量的 1.39 倍。与煮小米相比, 蒸小米中的结合酚含量显著下降 ($P < 0.05$), 这可能与体系中的水分活度、溶氧浓度等相关; 同时, 蒸小米中的部分结合酚降解转化为游离酚, 但在较高氧浓度和低水分条件下, 蒸小米游离酚发生氧化反应而下降, 最终蒸小米和煮小米中游离酚含量没有显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 蒸煮加工过程中小米酚酸含量的变化

表 2 小米酚酸含量

Table 2 Phenolic acid contents of raw and cooked millet

酚酸	含量/ ($\mu\text{g/g}$)		
	生小米	蒸小米	煮小米
香豆酸	—	—	0.18 ± 0.00
香草酸	—	—	3.14 ± 0.02
肉桂酸	1032.81 ± 12.06^a	427.87 ± 2.03^b	758.55 ± 2.13^c
阿魏酸	8.07 ± 0.03^a	6.28 ± 0.02^b	1.64 ± 0.01^c

注: — 未检出。

如表 2 所示, 生小米、蒸小米和煮小米中酚酸含量具有显著性差异 ($P < 0.05$)。小米中没有检测到香草酸和香豆酸, Hernanz 等^[21] 报道大麦中香豆酸和阿魏酸主要存在于糠皮层中, 糠皮层香豆酸占大麦香豆酸总量的 78.0%~86.3%, 阿魏酸占 77.7%~82.3%。

蒸小米中只检测到肉桂酸和阿魏酸, 与生小米相比, 肉桂酸含量减少 59%, 阿魏酸减少 22%。煮小米中肉桂酸减少 27%, 阿魏酸减少 80%。蒸和煮这 2 种加工过程中涉及到的湿热处理可能是造成酚酸减少的主要原因。煮小米中检测到香豆酸和香草酸, 但是其含量分别

为 (0.18 ± 0.00) 、 (3.14 ± 0.02) $\mu\text{g/g}$, 这可能是由于湿热处理破坏了结合酚中的化学键, 释放出香豆酸和香草酸。这与Pradeep等^[22]的研究结果一致, 该研究对不同加工方式对印度小米抗氧化性质进行考察, 其中经过 165°C 、75 s烘烤后, 香草酸含量由 $0 \mu\text{g/g}$ 增加到 $9.5 \mu\text{g/g}$, 丁香酸含量由 $0 \mu\text{g/g}$ 增加到 $1.9 \mu\text{g/g}$ 。此外, Acosta-estrada等^[23]研究表明加热会导致结合酚被破坏释放出相应的酚酸。

2.4 蒸煮加工过程中小米黄酮含量的变化

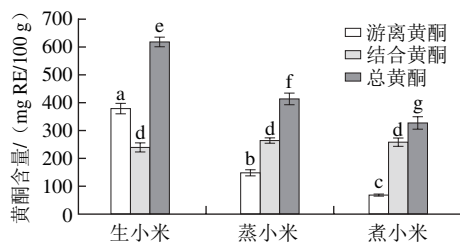


图2 小米黄酮含量

Fig. 2 Free flavonoid, bound flavonoid and total flavonoid contents of raw and cooked millet

如图2所示, 生小米中游离黄酮、结合黄酮和总黄酮含量分别达到 (379.83 ± 1.96) 、 (240.94 ± 16.49) mg RE/100 g 和 (620.77 ± 18.45) mg RE/100 g 。小米中游离黄酮含量高于结合黄酮含量, 与Chandrasekara等^[3]检测结果一致, 该研究检测的7种小米中游离黄酮含量均高于结合黄酮含量, 游离黄酮变化幅度为 $(1.18 \pm 0.07) \sim (33.71 \pm 0.73)$ $\mu\text{mol/g}$ (以儿茶酚当量计)。

蒸小米和煮小米中游离黄酮含量有显著性差异 ($P < 0.05$)。与生小米相比, 蒸小米中游离黄酮和总黄酮分别减少61%、33%; 煮小米中游离黄酮和总黄酮分别减少81%、47%; 小米、蒸小米和煮小米中结合黄酮之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。蒸和煮这2种加工过程中包含的湿热处理可能导致游离黄酮被分解, 促使游离黄酮含量降低^[24-25]。由于蒸煮加工过程中温度相同且都为 100°C , 可能结合黄酮中的化学键没有被破坏, 因此生小米、蒸小米和煮小米中的结合黄酮没有显著性差异 ($P > 0.05$)。与煮小米相比, 蒸小米游离黄酮含量更为丰富, 是煮小米中游离黄酮的2.13倍。由于蒸小米经过加工的时间仅为10 min, 热作用时间较短, 所以蒸小米中游离黄酮含量较高。

2.5 蒸煮加工过程中小米酚类提取物抗氧化性的变化

如表3所示, 蒸和煮这2种不同的加工方式之间抗氧化性有显著性差异 ($P < 0.05$)。通过DPPH、ABTS和FRAP法检测的小米的抗氧化性由强到弱依次为生小米>煮小米>蒸小米, 通过ORAC法检测峰红谷的抗氧化性由强到弱依次为蒸小米>煮小米>生小米。由于4种方法

检测机理不一致, 所以生小米和加工小米抗氧化活性规律不一致。因此, 选取综合性氧化指数 (antioxidant potency composite index, APC)^[26-28]评价小米抗氧化性, 其抗氧化活性由高到低依次为生小米>煮小米>蒸小米。

表3 酚类提取物抗氧化性的变化
Table 3 Antioxidant activity of raw and cooked millet

抗氧化性	$\mu\text{mol TE/g}$		
	生小米	蒸小米	煮小米
DPPH	2.74 ± 0.02^a	2.04 ± 0.05^b	2.39 ± 0.03^c
ABTS	10.30 ± 0.07^a	7.10 ± 0.42^b	8.61 ± 0.55^c
FRAP	5.13 ± 0.18^a	3.98 ± 0.33^b	4.87 ± 0.29^a
ORAC	71.60 ± 1.77^a	103.00 ± 2.21^b	82.7 ± 0.55^a
APC	0.92	0.80	0.87

蒸小米和煮小米抗氧化活性低于生小米, 这可能是由于蒸煮后酚含量降低, 从而导致其抗氧化活性降低^[29-30], 这与Chandrasekara等^[3]检测结果一致, 该研究通过DPPH和ORAC法检测了7种小米的抗氧化活性, DPPH法检测出3种小米和煮小米之间抗氧化活性有显著性差异, 且煮小米抗氧化活性低于生小米; ORAC法检测出6种小米和煮小米之间抗氧化活性有显著性差异 ($P < 0.05$), 且煮小米抗氧化活性低于生小米。此外, Choi等^[12]也报道ABTS方法检测的谷物抗氧化活性与酚含量极显著相关 ($P < 0.01$), 且相关系数达到0.997 3。

3 结论

煮小米中 VB_1 含量较高, 适合缺乏 VB_1 的人群食用; 蒸小米中 VB_2 和植酸含量较高, 适合缺乏 VB_2 的人群食用。其次, 与生小米相比, 蒸小米和煮小米中总酚、酚酸和总黄酮含量减少。蒸小米中总酚、总黄酮含量分别减少46%、33%, 煮小米中总酚、总黄酮含量分别减少25%、47%。小米抗氧化活性由高到低为生小米>煮小米>蒸小米。与蒸小米相比, 煮小米中 VB_1 、总酚含量、酚酸含量保存率较高, 且抗氧化活性高于蒸小米, 综合而论, 煮小米 (100°C , 30 min) 是一种较好的加工方式。

参考文献:

- [1] SHOBANA S, SREERAMA Y N, MALLESNI N G. Composition and enzyme inhibitory properties of finger millet (*Eleusine coracana* L.) seed coat phenolics: mode of inhibition of α -glucosidase and pancreatic amylase[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1268-1273. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.04.
- [2] CHOI Y, JEONG H S, LEE J. Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea[J]. Food Chemistry, 2007, 103(1): 130-138. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.08.004.
- [3] CHANDRASEKARA A, SHAHIDI F. Content of insoluble bound phenolics in millets and their contribution to antioxidant capacity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(11): 6706-6714. DOI:10.1021/jf100868b.

- [4] IVANŠOVÁ E, ONDREJOVIČ M, ŠILHÁR S. Antioxidant activity of milling fractions of selected cereals[J]. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 2012, 11(1): 45-56. DOI:10.2478/v10296-012-0005-0.
- [5] TAYLOR J R N, BELTON P S, BETA T, et al. Increasing the utilisation of sorghum, millets and pseudocereals: developments in the science of their phenolic phytochemicals, biofortification and protein functionality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(3): 257-275. DOI:10.1016/j.jcs.2013.10.009.
- [6] 王力立. 小米中主要营养成分的测定及小米茶的制备[D]. 太原: 山西大学, 2011: 27-29.
- [7] 田志琴. 小米多酚类活性物质的提取及抗氧化性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 11-53.
- [8] ZHANG L Z, LIU R H. Phenolic and carotenoid profiles and antiproliferative activity of foxtail millet[J]. *Food Chemistry*, 2015, 174: 495-501. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.09.089.
- [9] SOPONRONNARIT S, NATHAKARANAKULE A, JIRAJINDALERT A, et al. Parboiling brown rice using super heated steam fluidization technique[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 75(3): 423-432. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.04.058.
- [10] RAHMANI N, MULLER H G. The fate of thiamin and riboflavin during the preparation of couscous[J]. *Food Chemistry*, 1996, 55(1): 23-27. DOI:10.1016/0308-8146(95)00065-8.
- [11] SHEN R, YANG S, ZHAO G, et al. Identification of carotenoids in foxtail millet (*Setaria italica*) and the effects of cooking methods on carotenoid content[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 61: 86-93. DOI:10.1016/j.jcs.2014.10.009.
- [12] 国家粮食局. 谷物中维生素B₁的测定: GB/T 7628—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 国家粮食局. 谷物中维生素B₂的测定: GB/T 7629—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] BADAU M H, NKAMA I, JIDEANI I A. Phytic acid content and hydrochloric acid extractability of minerals in pearl millet as affected by germination time and cultivar[J]. *Food Chemistry*, 2005, 92(3): 425-435. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.08.006.
- [15] 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. DOI:10.1016/j.jfca.2006.01.003.
- [16] BRANDWILLIAMS W, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity[J]. *Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 1995, 28(1): 25-30. DOI:10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- [17] HUANG D J, OU B X, HAMPSCH-WOODILL M, et al. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(16): 4437-4444. DOI:10.1021/jf0201529.
- [18] LEBIEDZIŃSKA A, SZEFER P. Vitamins B in grain and cereal-grain food, soy-products and seeds[J]. *Food Chemistry*, 2006, 95(1): 116-122. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.12.024.
- [19] SAIO K, KOYAMA E, WATANABE T. Protein-calcium-phytic acid relationships in soybean: part I. Effects of calcium and phosphorus on solubility characteristics of soybean meal protein[J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1967, 31(10): 1195-1200. DOI:10.1080/00021369.1967.10858947.
- [20] CREAN D, HAISMAN D. The interaction between phytic acid and divalent cations during the cooking of dried peas[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1963, 14(11): 824-833. DOI:10.1002/jsfa.2740141109.
- [21] HERNANZ D, NUÑEZ V, SANCHEZ A I, et al. Hydroxycinnamic acids and ferulic acid dehydromers in barley and processed barley[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(10): 4884-4888. DOI:10.1021/jf010530u.
- [22] PRADEEP S R, GUHA M. Effect of processing methods on the nutraceutical and antioxidant properties of little millet (*Panicum sumatrense*) extracts[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126(4): 1643-1647. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.12.047.
- [23] ACOSTA-ESTRADA B A, GUTIÉRREZ-URIBE J A, SERNA-SALDÍVAR S O. Bound phenolics in foods, a review[J]. *Food Chemistry*, 2014, 152: 46-55. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.11.093.
- [24] SARTELET H, SERGHAT S, LOBSTEIN A, et al. Flavonoids extracted from fonio millet (*Digitaria exilis*) reveal potent antithyroid properties[J]. *Nutrition*, 1996, 12(2): 100-106. DOI:10.1016/0899-9007(96)90707-8.
- [25] CHOWDHURY S, PUNIA D. Nutrient and antinutrient composition of pearl millet grains as affected by milling and baking[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 1997, 41(2): 105-107. DOI:10.1002/food.19970410210.
- [26] SEERAM N P, AVIRAM M, ZHANG Y, et al. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(4): 1415-1422. DOI:10.1021/jf073035s.
- [27] ZHANG Y, SUN Y, XI W, et al. Phenolic compositions and antioxidant capacities of Chinese wild mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruits[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145(7): 674-680. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.08.012.
- [28] ZHANG W, ZHAO X, SUN C, et al. Phenolic composition from different loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) cultivars grown in China and their antioxidant properties[J]. *Molecules*, 2015, 20(1): 542-555. DOI:10.3390/molecules20010542.
- [29] SRIPRIYA G, CHANDRASEKHARAN K, MURTY V S, et al. ESR spectroscopic studies on free radical quenching action of finger millet (*Eleusine coracana*) [J]. *Food Chemistry*, 1996, 57(4): 537-540. DOI:10.1016/S0308-8146(96)00187-2.
- [30] MORENO-MONTORO M, OLALLA-HERRERA M, GIMENEZ-MARTINEZ R, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity of Spanish commercial grape juices[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, 38: 19-26. DOI:10.1016/j.jfca.2014.10.001.