

全子叶豆腐凝胶性质研究*

芦鑫 程永强 李里特

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

【摘要】以CaCl₂凝固豆腐为对照,研究全子叶豆腐在组成成分、色泽、质构、微观结构以及持水能力上的差异。结果表明:在色泽上,二者色差为3.76,可肉眼辨别差异,全子叶豆腐亮度上暗于普通豆腐;全子叶豆腐中,大豆多糖和纤维素的存在,提高了豆腐的产率和持水能力,并降低了对CaCl₂浓度变化的敏感性;由于多糖和蛋白相互作用,在扫描电镜中,普通CaCl₂豆腐有精细有序的网络结构,而全子叶豆腐呈现杂乱块状结构;由于多糖阻碍蛋白有序结构的形成,弱化了凝胶的强度,使全子叶豆腐在硬度、弹性和咀嚼性上要弱于普通CaCl₂豆腐。

关键词:全子叶豆腐 色差 质构分析 微观结构 持水能力

中图分类号:TS201.2 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2010)09-0128-05

Gelatin Properties of Okara-containing Tofu

Lu Xin Cheng Yongqiang Li Lite

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

Abstract

Compared with tofu gelating by CaCl₂, the differences between okara-containing tofu and control tofu in composing component, color, texture, microstructure and water holding capacity (WHC) was analyzed. The results show that their color difference is 3.76, which could be discriminated by naked eyes. Okara-containing tofu is darker than control. Because of soybean polysaccharide and cellulose, okara-containing tofu has the higher yield and WHC than control, and the effect of CaCl₂ concentration decreases on okara-containing tofu. Due to the interaction of polysaccharide and protein, the okara-containing tofu is in chaos of block microstructure, while the control has an ordered and refined networks structure in SEM. Because polysaccharide interferes with the formation of protein networks, which weakens the gel strength, the okara-containing tofu has the lower value than control in the hardness, springiness and chewiness.

Key words Okara-containing tofu, Color difference, Texture analysis, Microstructure, Water holding capacity

引言

膳食中营养素不平衡是引发多种疾病的重要原因之一。在我国居民的膳食结构中,油脂摄入量过高,而膳食纤维摄入量不足^[1]。补充膳食纤维摄入量能够预防某些疾病的发生^[2]。

与制成纤维素补充胶囊相比,将膳食纤维添入

食品中,易被人接受,是补充膳食纤维的可行途径之一。豆腐是大豆食品的一种,营养成分以蛋白质和油脂为主,几乎不含膳食纤维,其纤维素均被转移到豆渣中。由于豆渣水分活度高,易腐败变质,不易被加工利用,故目前豆渣大多经过简单处理后作为饲料使用或直接废弃,造成资源的浪费。单独食用豆渣时会有渣滓感,因此,若不分离豆渣,而生产全子

收稿日期: 2009-09-28 修回日期: 2009-10-23

* “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD27B09、2007BAD83B03)

作者简介: 芦鑫, 博士生, 主要从事大豆蛋白加工研究, E-mail: luxinvip@yahoo.com.cn

通讯作者: 李里特, 教授, 博士生导师, 主要从事食品加工与储藏研究, E-mail: llt@cau.edu.cn

叶豆腐,不仅优化提高豆腐的营养价值,而且可避免豆渣资源的浪费。加工全子叶豆腐的方法有两类:物理粉碎法和酶法降解法。我国在这个领域的研究刚刚起步。

本文以物理粉碎法处理的豆粉为原料生产全子叶豆腐,以普通豆腐为对照,考察全子叶豆腐的色泽、质构特性、持水性以及微观结构。

1 试验材料和仪器

1.1 试验材料

大豆:中黄 13 号,中国农科院作物所,2008 年收获。蛋白质含量为 $(43.74 \pm 0.22)\%$,含水率为 $(8.42 \pm 0.20)\%$,灰分含量为 $(3.86 \pm 0.18)\%$,油脂含量为 $(21.40 \pm 0.20)\%$,粗纤维含量为 $(6.89 \pm 0.31)\%$,大豆多糖含量为 $(14.01 \pm 0.58)\%$,水溶性糖含量为 $(1.58 \pm 0.15)\%$ 。

CaCl₂:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验主要仪器和设备

FW135 型中草药粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;FDV 型超微粉碎机,北京环亚天元机械技术有限公司;FSM-100 型分离式磨浆机,沈阳机床第三机械制造厂;RT-2002-D 型流变仪,日本 RHEO TECH 公司;CRI-300 型色差仪,日本 MINOLTA 公司;KDY-9820 型凯氏定氮仪,北京通润源机电技术有限责任公司;SZF-06B 型脂肪测定仪,上海新嘉电子有限公司;SM-28-10 型电阻炉,天津市华北实验电炉厂;HC2017 型恒温槽,重庆银河试验仪器有限公司;自制通电加热槽(20 cm × 20 cm × 15 cm);S-3400N 型扫描显微镜,日本日立公司;Ultrafree-MC 型 0.5 mL 离心超滤管,美国 Millipore 公司等。

2 试验条件和方法

2.1 普通豆腐的制作

将 100 g 中黄 13 号大豆除杂、清洗干净后,在室温下用 500 mL 水浸泡 10 h,沥干后,采用 1:7(大豆质量(g):蒸馏水体积(mL))的比例加入蒸馏水,两次磨浆,用双层 100 目的尼龙网过滤后,通电加热,在 95℃ 后保温 20 min,随后降温到 80℃。由于 CaSO₄微溶于水,凝固剂的浓度难于定量;而采用 MgCl₂凝固速度过快,难以观察到不同 MgCl₂浓度下形成豆腐的结构差异,所以采用 CaCl₂凝固豆腐,加入 1 mol/L CaCl₂ 溶液,使 CaCl₂ 浓度为 10 mmol/L,保温 30 min,将凝固豆花倒入树脂盒(13.5 cm × 7.5 cm × 5.5 cm)中,采用质量 2 650 g 的铁块压制 30 min,称重后,用保鲜膜密封,4℃ 储存。重复以上

操作,制作 CaCl₂ 浓度分别为 20 mmol/L、30 mmol/L 的豆腐样品。

2.2 全子叶豆腐的制作

用 FW135 型中草药粉碎机将大豆粉碎到 100 目,再用 FDV 型超微粉碎机将豆粉粉碎到 200 目。称取 100 g 豆粉,按 1:7 加入 700 mL 蒸馏水搅拌 2 h,通电加热煮浆,在 95℃ 加热 20 min,冷却到 80℃,采用与 2.1 节相同的点浆和压制条件,4℃ 储存。

2.3 色差分析

将样品切平齐,而后取不同部位使用色差仪测定 L^* 、 a^* 、 b^* 值,其中, L^* 代表亮度, L^* 值越大,代表样品越亮; a^* 值为红绿值, a^* 为正值时,表明样品红色增加, a^* 为负值时,表明样品绿色增加; b^* 为黄蓝值, b^* 为正值时,表明样品黄色增加, b^* 为负值时,表明样品蓝色增加^[3]。 ΔE_{ab}^* 表示样品间颜色的差别程度, ΔE_{ab}^* 计算公式为

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

2.4 质构分析

测定样品为 $\phi 2.5\text{ cm} \times 3.0\text{ cm}$ 圆柱体,采用两次压缩,压缩比 33%,压缩速度 5 cm/min,探头直径为 2.5 cm,量程为 2 kg。其中,硬度为第 1 次压缩时达到设定的变形过程中的最大力,凝聚性为第 2 次压缩的面积与第 1 次压缩的面积之比(A_2/A_1),弹性是第 1 次压缩结束至第 2 次压缩开始这段时间内样品恢复的高度,咀嚼性是胶性与弹性的乘积,其中胶性是硬度与凝聚性的乘积。

2.5 扫描电镜 (SEM) 分析

样品去皮后切成 3 mm × 3 mm × 3 mm 小块,放入含有 2.5% 戊二醛的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.4)中,4℃ 存放 1 h,随后用 0.1 mol/L 磷酸缓冲液清洗样品两次,沥清缓冲液后,依次采用体积分数 60%、70%、80%、90%、100% 乙醇溶液各浸泡样品 15 min,倒掉乙醇溶液后,用叔丁醇浸泡样品,−70℃ 冷冻样品后,真空干燥。用 E-1010 型离子溅射仪喷金,而后在 S-3400N 型扫描显微镜上采用加速电压 15 kV 进行扫描^[4]。

2.6 持水能力 (WHC) 测定

修改 Maltais 的方法^[5],称取 0.5 g 样品,放入 Ultrafree-MC 型离心过滤管中,称取总质量 M_1 ,采用 10 000 r/min,离心 15 min,将滤出的水倒出,并擦干滤膜下残留的水珠,称取总质量 M_2 ,则持水能力计算公式为

$$W_{\text{HC}} = (M_1 - M_2) / (M\eta)$$

式中 η ——样品含水率

M ——样品质量

2.7 成分分析

2.7.1 糖类测定

水溶性糖含量测定:称取若干冻干的样品,粉碎到 100 目,称取 1 g,用 50 mL 乙醚洗 5 次,然后加入 20 mL 蒸馏水室温下浸泡并搅拌 2 h,以 3 800 r/min 离心 15 min,上清液抽滤,定容后,采用硫酸-苯酚法测定水溶性糖含量,测定波长 490 nm。

淀粉含量测定:采用淀粉酶法(GB/T 5514—2008)。

非淀粉多糖含量测定:取 1 g 样品,采用与测定淀粉相同的操作,待淀粉水解完全后,过滤除去上清液,用 85% 乙醇水洗残留物 3 次,随后将残渣用 50 mL 水转移到圆底烧瓶中,加入 50 mL 6 mol/L 的盐酸,沸水浴回流 15 min,冷却后,定容到 250 mL 容量瓶中,采用硫酸-苯酚法测定糖含量。

纤维素含量测定:采用酸碱醇醚法(GB/T 5515—2008)。

2.7.2 其他成分测定

蛋白质含量测定:采用凯氏定氮法($N \times 6.25$)。灰分含量测定:采用 550℃ 灰化法(GB/T5505—2008)。油脂含量测定:采用索氏抽提(GB/T 5512—2008)。含水率测定:采用 105℃ 恒重法(GB/T 5497—85)。

2.8 数据处理

采用 SAS 9.1(SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)分析和处理数据,试验平行测定 5 次。

3 结果与讨论

3.1 全子叶豆腐和普通豆腐产率差异

以豆腐品种和加入 CaCl_2 浓度为因变量,产率作为自变量,进行方差分析,由表 1 结果可知,产率受 CaCl_2 浓度和豆腐品种影响高度显著($p < 0.000\ 1$),而品种和 CaCl_2 之间没有交互影响($p = 0.656\ 8$)。

表 1 每 100 g 大豆生产普通豆腐和全子叶豆腐的产量

Tab.1 Yields of tofu and okara-containing tofu at 100 g soybean

CaCl_2 浓度 / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	产率/ $\text{g} \cdot (100\ \text{g})^{-1}$	
	普通豆腐	全子叶豆腐
10	244.96 ± 13.83 ^a	362.26 ± 5.12 ^a
20	185.39 ± 14.51 ^b	318.30 ± 3.50 ^b
30	170.19 ± 0.36 ^b	294.37 ± 13.12 ^c

注:同列不同字母表示差异显著,显著水平 0.05。

分析豆腐品种可以发现,全子叶豆腐的产率显著高于普通豆腐,这是由豆渣未分离出来引起的,每 100 g 大豆生产约(133.93 ± 5.24) g 湿豆渣。考察 CaCl_2 的影响可发现, CaCl_2 豆腐可以分成 CaCl_2 浓

度小于 20 mmol/L 和大于等于 20 mmol/L 两类。因为当蛋白含量不变时,蛋白能够结合的 Ca^{2+} 是一定的,由于蛋白含量较低,加热后,只能形成蛋白凝聚,不能自身形成三维凝胶网络,蛋白凝聚团表面吸附有着水分子层;加入少量 Ca^{2+} 时, Ca^{2+} 取代部分水分子与蛋白凝聚团结合,形成三维凝胶网络。伴随着 Ca^{2+} 增加, Ca^{2+} 占据更多蛋白表面的带电区域,彼此之间形成更多的盐桥,使三维凝胶网络的结构更加稳固,同时原来与蛋白结合的水分子进一步减少;当 Ca^{2+} 占据了蛋白表面所有能够结合的带电区域时,再增加 Ca^{2+} 也不能取代与蛋白结合的水分子。所以钙盐浓度从 10 mmol/L 增加到 20 mmol/L 时,豆腐的产率显著下降,当钙盐浓度达到 20 mmol/L 以上之后,豆腐产率没有显著变化^[6]。

考察全子叶豆腐产率和 CaCl_2 浓度的关系时,由于豆渣中纤维素的存在,螯合部分 Ca^{2+} ,干扰了 Ca^{2+} 与蛋白的结合,所以当 Ca^{2+} 增加到 20 mmol/L 时,全子叶豆腐的产率虽然也下降,但并没有达到普通豆腐下降的幅度,而随着 Ca^{2+} 的浓度增加到 20 mmol/L 以上时, Ca^{2+} 过量,全子叶豆腐的产率也不再随凝固剂浓度的变化而变化。

3.2 全子叶豆腐和普通豆腐组成差异

分析豆腐含水率发现(表 2),豆腐和全子叶豆腐差异显著,而 CaCl_2 浓度也是高度显著影响因素。随着 CaCl_2 浓度上升,两种豆腐的含水率都在下降,原因是 Ca^{2+} 和水分子竞争蛋白表面的带电区域,减少了蛋白吸附的水分,从而导致含水率下降。当 CaCl_2 浓度小于 20 mmol/L 时,普通豆腐含水率显著下降;当 CaCl_2 浓度大于等于 20 mmol/L,普通豆腐含水率下降不显著,与普通豆腐产量随 CaCl_2 变化趋势相符,从中也可以证明影响豆腐产率的关键因素是豆腐的含水率。豆渣中多糖的保水作用使全子叶豆腐在相同的 CaCl_2 条件下含水率下降的幅度小于普通豆腐,因此也削弱了全子叶豆腐产率下降的趋势。

表 2 普通豆腐和全子叶豆腐含水率

Tab.2 Water contents of tofu and okara-containing tofu

CaCl_2 浓度 / $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	含水率/%	
	普通豆腐	全子叶豆腐
10	79.38 ± 0.76 ^a	78.89 ± 0.32 ^a
20	70.31 ± 1.20 ^b	76.71 ± 0.22 ^b
30	69.05 ± 0.11 ^b	74.86 ± 0.23 ^c

观察二者其他成分差异(表 3),发现两种样品中没有检测到淀粉,全子叶豆腐中纤维素和大豆多糖的含量显著高于普通豆腐,这是加入的豆渣造成

的。对于普通豆腐,蛋白和油脂构成凝胶结构的主体,而水溶性成分被包裹在凝胶网络中;而全子叶豆腐,除了蛋白和油脂构成凝胶,纤维素和大豆多糖也参与其中(图 1)。

表 3 冻干后普通豆腐和全子叶豆腐成分含量
Tab.3 Composition of lyophilized tofu and okara-containing tofu %

CaCl ₂ 浓度 /mmol·L ⁻¹	普通豆腐							全子叶豆腐						
	灰分	油脂	蛋白质	水溶性糖	大豆多糖	含水率	纤维素	灰分	油脂	蛋白质	水溶性糖	大豆多糖	含水率	纤维素
10	3.68	29.38	59.13	4.08		3.23	0.90	3.98	19.17	50.84	4.91	10.30	3.87	6.86
20	4.06	29.41	60.38	3.94		3.71	0.91	4.57	21.01	50.34	4.78	10.14	3.21	6.69
30	4.68	28.95	60.91	3.89		2.07	0.89	4.81	19.25	50.92	4.46	10.51	3.39	6.48

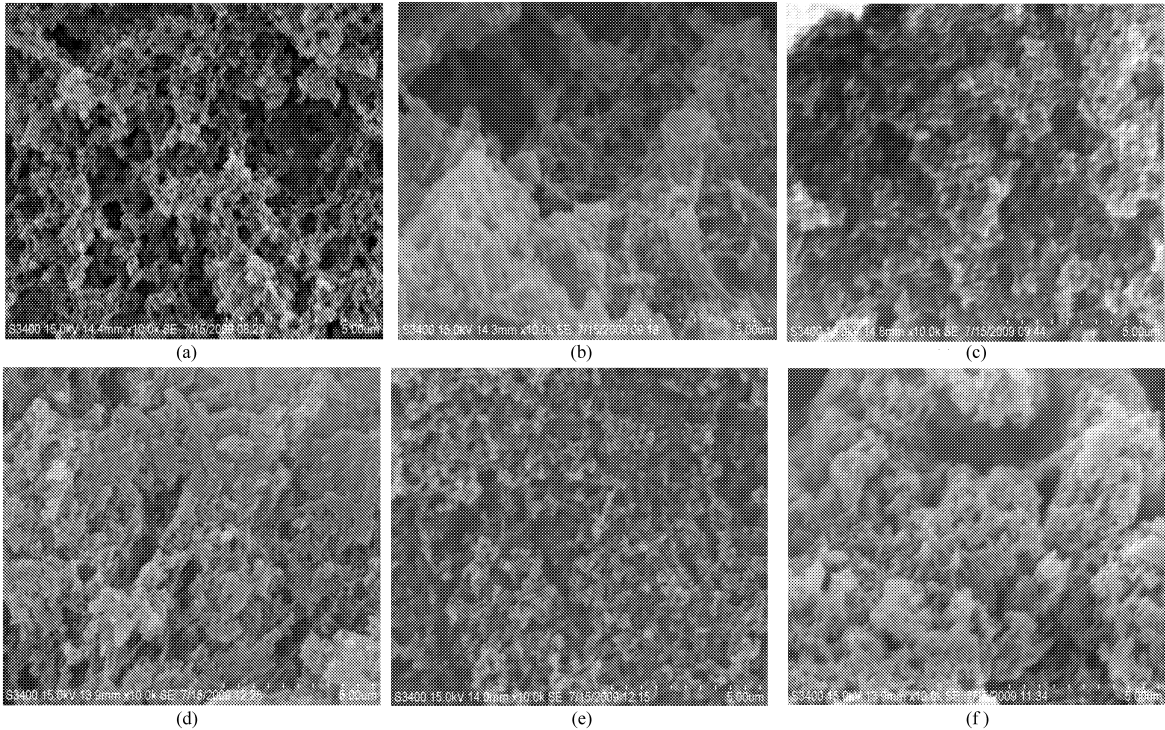


图 1 普通豆腐和全子叶豆腐的 SEM 图

Fig.1 SEM photos of tofu and okara-containing tofu

(a) 普通豆腐,10 mmol/L CaCl₂ (b) 全子叶豆腐,10 mmol/L CaCl₂ (c) 普通豆腐,20 mmol/L CaCl₂
(d) 全子叶豆腐,20 mmol/L CaCl₂ (e) 普通豆腐,30 mmol/L CaCl₂ (f) 全子叶豆腐,30 mmol/L CaCl₂

3.3 全子叶豆腐和普通豆腐微观结构

由图 1 可知,全子叶豆腐和普通豆腐结构存在明显差异,普通豆腐有精细有序、广泛的三维网络,而全子叶豆腐为混乱的团块结构,这与凝胶结构的组成有关。对于普通豆腐来说,油脂与蛋白结合,蛋白通过盐键相互连接形成三维网络结构(图 1a);全子叶豆腐中,由于纤维素和多糖大分子的存在,干扰了有序蛋白网络的形成,如在图 1b 中,虽然有清晰的蛋白凝胶网络结构,但是还有部分的团块结构。随着 CaCl₂ 的增加,普通豆腐中,蛋白凝胶团体积增加,蛋白间的联接增加,用于包裹水的空穴变少变小,网络变得更加稠密(图 1e)。全子叶豆腐形成了杂乱的凝胶网络(图 1d),构成凝胶网络的单元要明

显大于普通豆腐,这表明蛋白和多糖共同参与凝胶的形成。其相互作用的方式还需进一步研究。

3.4 全子叶豆腐和普通豆腐持水能力的差异

结构和成分上的差别,表现在两者的持水能力上。由表 4 可知,CaCl₂ 浓度上升,普通豆腐的持水能力显著下降,从 0.80 下降到 0.43,这是由于 Ca²⁺ 离子取代水分子与蛋白结合,减少蛋白亲和的水分子,降低持水能力。而全子叶豆腐中,由于纤维素和大豆多糖吸水膨胀,截留水分,避免了凝胶体系的持水能力下降。

3.5 全子叶豆腐和普通豆腐质构差异

由表 5 可见,全子叶豆腐的硬度、凝聚性、弹性和咀嚼性明显小于普通豆腐。由此可知,纤维素和

表 4 普通豆腐和全子叶豆腐的持水能力
Tab.4 WHC of tofu and okara-containing tofu

CaCl ₂ 浓度 /mmol·L ⁻¹	持水能力	
	普通豆腐	全子叶豆腐
10	0.80 ± 0.01 ^a	0.87 ± 0.07 ^a
20	0.57 ± 0.09 ^b	0.74 ± 0.04 ^{ab}
30	0.43 ± 0.01 ^b	0.70 ± 0.02 ^b

大豆多糖的存在,弱化了蛋白和蛋白之间的连接。从凝聚性看,大豆蛋白和大豆多糖的相互作用要小于蛋白之间的相互作用,从而导致全子叶豆腐凝聚性、弹性和咀嚼性弱于普通豆腐,这与大豆多糖能通

过稳定蛋白,起到弱化蛋白凝胶的结论相符^[7]。

分析 CaCl₂ 的影响可以观察到:随着 CaCl₂ 浓度的上升,普通豆腐和全子叶豆腐在硬度、弹性、咀嚼性上都有所上升,而且普通豆腐上升的幅度要大于全子叶豆腐。这是由于钙离子的增加,增加了蛋白间的盐键,从而增强了蛋白凝胶网络,使普通豆腐的硬度、弹性等指标有所提高。尽管全子叶豆腐的硬度也随着钙离子的增加上升,但是由于多糖和纤维素的干扰,减少了蛋白之间的相互联系,从而使上升的幅度小于普通豆腐,以上结果也从 SEM 上得到印证。

表 5 全子叶豆腐和普通豆腐的质构指数
Tab.5 Texture index of okara-containing tofu and tofu

CaCl ₂ 浓度 /mmol·L ⁻¹	硬度/N		凝聚性		弹性/cm		咀嚼性/N·cm	
	全子叶豆腐	普通豆腐	全子叶豆腐	普通豆腐	全子叶豆腐	普通豆腐	全子叶豆腐	普通豆腐
10	8.48 ± 0.18 ^c	8.42 ± 0.19 ^c	0.42 ± 0.01	0.78 ± 0.04	0.50 ± 0.01 ^c	0.60 ± 0.02 ^b	1.76 ± 0.02 ^c	3.62 ± 0.14 ^c
20	10.51 ± 0.25 ^b	15.04 ± 0.22 ^b	0.44 ± 0.02	0.78 ± 0.02	0.54 ± 0.02 ^b	0.61 ± 0.02 ^a	2.66 ± 0.02 ^b	7.39 ± 0.22 ^b
30	12.54 ± 0.23 ^a	18.58 ± 0.16 ^a	0.43 ± 0.01	0.78 ± 0.02	0.58 ± 0.03 ^a	0.63 ± 0.01 ^a	3.02 ± 0.02 ^a	9.54 ± 0.34 ^a

3.6 全子叶豆腐和普通豆腐色差分析

分析表 6 可知,不同 CaCl₂ 浓度的同种豆腐间不存在显著差异,这是由于采用相同的加热温度和时间,美拉德褐变等生色反应的程度大致相同。定量比较两种豆腐间的颜色差异,3 种 CaCl₂ 浓度下 ΔE_{ab}^*

的平均值为 3.76,表明二者外观颜色存在肉眼可辨别差异,全子叶豆腐色泽偏暗,这是由于二者成分组成不同造成的,普通豆腐中蛋白含量高,所以比全子叶豆腐光泽,加之全子叶豆腐中,碳水化合物含量高,发生美拉德褐变的程度要高于普通豆腐。

表 6 全子叶豆腐和普通豆腐的色差
Tab.6 Colors of tofu and okara-containing tofu

CaCl ₂ 浓度 /mmol·L ⁻¹	L* 值		a* 值		b* 值	
	普通豆腐	全子叶豆腐	普通豆腐	全子叶豆腐	普通豆腐	全子叶豆腐
10	85.66 ± 0.67	81.95 ± 0.58	-1.39 ± 0.13	-1.07 ± 0.18	16.06 ± 0.33	14.70 ± 0.45
20	85.97 ± 0.57	82.02 ± 0.47	-1.38 ± 0.11	-1.04 ± 0.08	16.02 ± 0.36	14.89 ± 0.25
30	85.36 ± 0.70	82.26 ± 0.34	-1.31 ± 0.14	-1.13 ± 0.11	15.88 ± 0.62	15.09 ± 0.51

4 结束语

由于多糖的存在,全子叶豆腐的内部微观结构明显不同于普通豆腐。全子叶豆腐网络结构中块团结构的存在,降低了凝胶网络的有序性网络密度,导致凝胶强度下降,从而使全子叶豆腐相应的质构参

数弱于普通豆腐。同时,多糖和纤维素良好的持水能力能削弱 CaCl₂ 浓度上升,造成豆腐产率的下降,使全子叶豆腐的产率显著高于相同 CaCl₂ 浓度条件下生产的普通豆腐。由于两种豆腐的多糖含量存在差异,导致加热时产生的美拉德反应程度存在差异,使二者在色泽上具有肉眼可辨别的差异。

参 考 文 献

1 徐同成,王志芬,胡鹏,等. 中国膳食结构存在的问题及对策建议[J]. 中国食物与营养, 2009(4): 57 ~ 59.
2 刘焕云,李慧荔,赵红. 燕麦麸中水溶性膳食纤维提取工艺优化[J]. 农业机械学报, 2008, 39(7): 103 ~ 107.
Liu Huanyun, Li Huili, Zhao Hong. Optimization of extraction process of soluble dietary fibre from oat bran[J]. Transactions of the Chinese society for Agricultural Machinery, 2008, 39(7): 103 ~ 107. (in Chinese)
3 李里特. 食品物性学[M]. 北京:中国农业出版社,1998: 239 ~ 248.

3 结 束 语

通过对 9 种大孔树脂吸附南瓜多糖对比研究, 筛选出吸附量大、解吸率高的 D101-I 型大孔吸附树脂。通过静态—动态实验确定最佳纯化条件为: 上柱液质量浓度 4.79 mg/mL, 上柱液体积 3.2 BV,

上柱流速 3 BV/h; 洗脱液乙醇体积分数 25%, 洗脱流速 4 BV/h, 洗脱液体积 3.6 BV。南瓜粗多糖经过超滤去除水溶性大分子杂质, 再经大孔树脂纯化后, 多糖含量由 25.68% 提高到 61.39%, 纯度提高了 1.4 倍, 同时大孔吸附树脂还表现出较好的脱蛋白和脱色效果。

参 考 文 献

1 叶盛英, 郭琪. 南瓜多糖的提取及其药理作用研究概况[J]. 天津药学, 2003, 15(2): 58~60.
Ye Shengying, Guo Qi. Summarization of study on extraction and separation or pumpkin polysaccharide and its pharmacological actions[J]. Tianjin Pharmacy, 2003, 15(2): 58~60. (in Chinese)

2 中国园艺学会. 全国南瓜营养、保健功能与产业发展研讨会论文集[C]. 北京: 中国园艺学会, 2004: 28~32.

3 刘银成, 张名位, 孙远明, 等. 南瓜的保健功能及其应用研究进展[J]. 广东农业科学, 2006(11): 17~18.

4 刘颖, 金宏, 许志勤, 等. 南瓜多糖对糖尿病大鼠血糖和血脂的影响[J]. 中国应用生理学杂志, 2006, 22(3): 358~361.
Liu Ying, Jin Hong, Xu Zhiqin, et al. Effects of pumpkin polysaccharides on blood glucose and blood lipids in diabetic rats [J]. Chinese Journal of Applied Physiology, 2006, 22(3): 358~361. (in Chinese)

5 李俊丽, 王运强, 向长萍. 南瓜水溶性多糖的体外抗氧化作用[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(2): 256~259.
Li Junli, Wang Yunqiang, Xiang Changping. The anti-oxidative effect of pumpkin polysaccharide in vitro[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(2): 256~259. (in Chinese)

6 张涛, 王利军, 高梦祥. 微波辅助浸提南瓜多糖的工艺研究[J]. 农产品加工, 2006(7): 14~17.
Zhang Tao, Wang Lijun, Gao Mengxiang. Research on the extraction of water-soluble polysaccharides from astragalus by microwave[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006(7): 14~17. (in Chinese)

7 孙俊, 邓红, 仇农学. 南瓜多糖超声提取工艺的优化[J]. 西北农业学报, 2007, 16(2): 198~202.
Sun Jun, Deng Hong, Qiu Nongxue. Optimization of extraction technology of pumpkin polysaccharide by ultrasonic wave[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2007, 16(2): 198~202. (in Chinese)

8 王洪伟, 崔崇士, 徐雅琴. 南瓜多糖复合酶法提取及纯化的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(8): 247~249.
Wang Hongwei, Cui Chongshi, Xu Yaqin. Study on extraction of pumpkin polysaccharide with complex enzymes and its purification[J]. Food Science, 2007, 28(8): 247~249. (in Chinese)

9 赵玉, 徐雅琴. 微波协同酶法提取南瓜多糖最佳提取条件的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(1): 221~223.
Zhao Yu, Xu Yaqin. Study on the optimum technology of extracting polysaccharide from pumpkin by microwave-enzyme synergistic method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(1): 221~223. (in Chinese)

10 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.

11 高振鹏, 岳田利, 袁亚宏, 等. 苹果汁中溴氰菊酯残留的大孔树脂吸附分离[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 124~128, 152.
Gao Zhenpeng, Yue Tianli, Yuan Yahong, et al. Separation of deltamethrin residue in apple juice with macroporous adsorption resin[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 124~128, 152. (in Chinese)

(上接第 132 页)

4 Noh E J, Park S Y, Pak J I, et al. Coagulation of soymilk and quality of tofu as affected by freeze treatment of soybeans[J]. Food Chemistry, 2005, 91(4): 715~721.

5 Maltais A, Remondetto G E, Gonzalez R, et al. Formation of soy protein isolate cold-set gels: protein and salt effects[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): C67~C73.

6 Kohyama K, Sano Y, Doi E. Rheological characteristics and gelation mechanism of tofu (soybean curd) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1995, 43(7): 1 808~1 812.

7 Nakamura A, Furuta H, Kato M, et al. Effect of soybean soluble polysaccharides on the stability of milk protein under acidic conditions[J]. Food Hydrocolloids, 2003, 17(3): 333~343.