



豆浆制作工艺对酸浆豆干品质影响分析

杨春华, 于 森, 张雪楠, 石彦国

(哈尔滨商业大学 食品工程学院/黑龙江省高校食品科学与工程重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150076)

摘要: 为了通过改变豆浆工艺来调控酸浆豆干的品质, 分析豆浆制备工艺对酸浆豆干品质的相关影响。以生豆、熟豆、浸泡豆为原料, 分别采用磨浆法、粉碎冲浆法制备生浆, 制浆水温设置为 10, 30, 50, 70, 90℃。分别以生浆法、熟浆法制作熟浆, 再制作豆干, 对酸浆豆干的出品率、水分含量、保水性、蛋白质含量及质构测定。结果表明: 在相同处理方式下, 生浆法制得豆干出品率、水分含量及保水性均高于熟浆法, 磨浆水温为 70℃ 下采用生浆法制作的豆干出品率最高可以达到 193.4%。豆干中蛋白质含量随制浆水温的升高而增加, 熟浆法所制得豆干中蛋白含量高于生浆法制的豆干, 在磨浆水温为 90℃ 下采用熟浆法制作的豆干蛋白质含量最高可以达到 22.6%。随制浆水温升高, 豆干的胶着性、咀嚼性及回复性有下降趋势。

关键词: 酸浆豆干; 磨浆法; 粉碎冲浆法; 豆浆工艺; 品质

Effect of Soybean Milk Production Technology on Fermented Slurry Dried Bean-curd Quality

YANG Chun-hua, YU Miao, ZHANG Xue-nan, SHI Yan-guo

(College of Food Science and Engineering/Key Laboratory of Food Science and Engineering of Heilongjiang Province, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

Abstract: In order to regulate the quality of dried soybean by changing the soybean milk technology, the effects of soybean milk preparation technology on fermented slurry dried bean-curd were analyzed. The raw-soybean, cooked-soybean, and soaked-soybean were used as materials. The uncooked soymilk was prepared by grinding and crushing method. The water temperature was set to 10, 30, 50, 70 and 90℃. The raw milk was prepared by uncooked slurry and cooked slurry. The yield, moisture content, water retention, protein content and texture of fermented slurry dried bean-curd were determined. The results showed that, the yield, water content and water holding capacity of the products produced by the uncooked slurry were higher than uncooked slurry. The yield of the uncooked slurry made at a temperature of 70℃ could reach 193.4%. The protein content was increased with the increasing of the slurry water temperature in all test. The protein content of dried beancurd produced by the cooked milk method was higher than that of produced by uncooked milk method. The protein content of dried beancurd produced by cooked-soymilk method could reach to 22.6% at the grinding water temperature of 90℃. The gumminess, chewiness and resilience of dried beancurd were decreased with the increased temperature of the water.

Keywords: Fermented slurry dried bean-curd; Ground soybean milk; Crushed brew soybean milk; Technology of soybean milk; Quality

豆干作为我国传统豆制品, 通过大豆原料筛选、浸泡、磨制、分离豆渣、煮浆、点浆、蹲脑、压制、切块等操作完成生产。热处理可以使大豆蛋白变性, 对大豆蛋白的功能特性有直接影响^[1-2], 豆浆制备作为酸浆豆干制作过程中热处理环节之一, 其制备工艺在一定程度上可以影响豆干品质。豆浆的制取工艺根据过滤前后豆浆热处理方式的不同, 可以分为生浆法、熟浆法和热水套浆 3 种方法。生浆法是将磨制豆浆过滤后加热; 熟浆法是将豆渣和豆

浆共同加热后过滤; 热水套浆法是将磨碎后豆糊加热水冲烫过滤制得豆浆^[3]。套浆法所制得豆浆温度约为 65℃, 因此很少有不同冲烫水温对豆腐品质影响的研究。

目前豆干品质影响因素分析多为料水比、凝固剂添加量、点浆温度及煮浆工艺^[4-7], 其中制浆方式对豆干及豆腐品质影响分析多以盐卤豆腐为主, 且大多对比生浆及熟浆对豆腐品质影响。卢义伯

收稿日期: 2019-03-25

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFD0400402)。

第一作者简介: 杨春华(1972-), 女, 博士, 副教授, 主要从事大豆加工技术研究。E-mail: yangchunhua25295@126.com。

通讯作者: 石彦国(1960-), 男, 硕士, 教授, 主要从事蛋白质化学与大豆加工技术研究。E-mail: yangguoshi@163.com

等^[5]详细分析了3种制浆方式对石膏豆腐中营养含量的影响,其中生浆法制得豆腐中碳水化合物含量高于其它2种制浆方法,熟浆法制得豆腐中蛋白质含量最高。陈洋等^[6]以CaSO₄作为凝固剂,用熟浆法制作的豆腐出品率、水分含量和保水性相对于生浆法及套浆法都有所增加。李升等^[7]研究对比发现湿法工艺和干法工艺较传统制浆工艺生产的内脂豆腐出品率分别提高了41.23%和46.67%。

本研究在传统豆干工艺基础上,调整制浆工艺:以生豆、熟豆、浸泡豆为原料,分别采用磨浆法、粉碎冲浆法制备生浆,以生浆法、熟浆法制作熟浆,用乳酸菌发酵黄浆水作为凝固剂制作酸浆豆干,分析豆浆制备工艺对酸浆豆干品质的相关影响因素,为通过制浆工艺调控酸浆豆干品质提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

原料:市售黄豆;菌种(哈尔滨商业大学食品工程学院实验室分离自云南建水酸浆豆干菌种):棒状乳杆菌SYG02(*Lactobacillus coryniformis*),弯曲乳杆菌SYG03(*Lactobacillus curvatus*)。氢氧化钠、盐酸、甲基红指示剂、甲基蓝指示剂、硼酸、硫酸等试剂为分析纯。

仪器:立式油压千斤顶(QYL 2t,海盐县光耀机械厂);磨浆机(FDM-Z100,镇江新区大港晶晶食品机械厂);粉碎机;电磁炉(九阳股份有限公司);豆浆机(九阳股份有限公司);立式压力蒸汽灭菌器(LDZX-50FBS,上海申安医疗器械厂);电热恒温培养箱(DHP-9052,上海一恒科学仪器有限公司);质构仪(伊森智能科技有限公司);电热鼓风干燥箱(DHG-9123A,上海科技有限公司);分析天平(BS224S,赛多利斯科学有限公司);消化炉(HFVP-II,上海纤检科技有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 酸浆豆干制作工艺 选颗粒饱满、无杂质大豆为原料,进行豆浆的制备。将所得豆浆煮沸后,以乳酸菌发酵后黄浆水为凝固剂进行点浆,搅拌至脑花出现,蹲脑25 min,破脑后压制成型,测定酸浆豆干出品率、水分含量、保水性、蛋白质含量及质构参数。

1.2.2 制浆工艺设计

(1)原料处理分3种方式,原料大豆为未处理,熟豆为沸水煮20 min,浸泡豆为在20℃水浸没大豆

12 h。

(2)生浆制备分磨浆法和粉碎法。磨浆法采用豆水比为1:7(*m*:*m*)使用磨浆机进行磨浆;粉碎法将豆料使用粉碎机进行粉碎,熟豆和浸泡豆粉碎成糊,生豆粉碎后过100目筛,粉碎后豆料加水搅拌均匀(7倍大豆质量的水),进行冲浆处理。制浆加水温度分别控制为10,30,50,70,90℃。

(3)熟浆制备分为煮浆(豆浆煮沸)前过滤和后过滤,即过滤后煮沸为生浆法、煮沸后过滤为熟浆法。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 酸浆豆干出品率测定 将制作好的酸浆豆干静置冷却至室温,准确称量豆干质量,计算每100 g干豆得到的鲜豆干质量,即为豆干的出品率^[8]。出品率计算见式(1):

$$\text{酸浆豆干出品率}(\%) = \frac{\text{鲜豆干质量}}{\text{干豆样品的质量}} \times 100 \tag{1}$$

1.3.2 酸浆豆干水分含量测定 参考国标(GB 5009.3-2016):称取豆干(*m*₁)约2.00 g,将豆干放入放置在105℃干燥箱中的玻璃制称量瓶(*m*_瓶)里,瓶盖斜盖在瓶口,干燥至恒重,瓶与样品质量记为*m*。豆干水分含量计算见式(2):

$$\text{豆干水分含量}(\%) = \frac{m_g + m_1 - m}{m_1} \times 100 \tag{2}$$

1.3.3 酸浆豆干保水性测定 准确称取2.000 g酸浆豆干,置于底部放有脱脂棉的离心管内,1 000 r·min⁻¹离心10 min,记离心后样品质量为*M*₁,将离心后样品置于105℃干燥箱内,干燥至恒温记质量为*M*^[9]。保水性计算见式(3):

$$\text{保水性}(\%) = \frac{M_1 - M}{M_1} \times 100 \tag{3}$$

1.3.4 酸浆豆干蛋白质测定 参考国标(GB 5009.5-2016),其中做以下修改:取试样1~2 g(精确至0.01 g),放入消化管中,然后分别加入0.2 g硫酸铜,2.0 g硫酸钾和25 mL浓硫酸。消化终点为消化液变为澄清蓝绿色。

用盐酸标准溶液滴定吸收液,滴定终点由蓝绿色变至微红色,记录使用盐酸消耗量*V*_标(氮换算成蛋白质系数:大豆及其制品为5.71),计算见式(4):

$$V_{\text{标}} = \frac{(V - V_0) \times C_B \times 0.014 \times 10}{m} \times 5.71 \times 100 \tag{4}$$

*V*₀:空白实验消耗盐酸标液体积,mL;*C*_B:盐酸标液的浓度;*m*:干物质的质量,g。

1.3.5 酸浆豆干质构测定 使用质构仪二次压缩法对豆干进行质构测定,选定参数为咀嚼性、弹性、回复性、胶着性^[10],设置方法参数为:接触点力为 5.00 g,测试速度为 1 mm·s⁻¹,下压高度为样品的 30%。

1.4 数据分析

所有试验均 3 次重复,采用 Excel 2007 及 SPSS 17.0 对豆干的出品率、蛋白质含量、水分含量、保水性及质构参数进行数据统计,以及 Duncan 差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同制浆工艺下酸浆豆干的出品率

如表 1 所示,在相同处理条件下,采用生浆法制

豆浆所得豆干出品率明显高于熟浆法制豆浆得豆干产量,可能是采用熟浆法煮浆过程中固形物颗粒增大,过滤后得到熟豆浆中干物质较低造成的。同时原料豆处理方式不同对豆干出品率存在显著性影响,其中浸泡豆所制得豆干产量明显优于其它处理。采用磨浆法制生浆所得豆干出品率在加水温度为 70℃ 下普遍较优,根据结果最优产量条件为采用浸泡豆磨浆,加水温度为 70℃ 采用生浆法制得的豆干,豆干出品率平均值可以达到 193.4%。浸泡豆和熟豆采用粉碎后冲浆法制得豆干的出品率低于磨浆法制得豆干出品率,可能是由于将原料粉碎进行冲浆的方法不能较好的将蛋白溶出,从而降低了出品率。

表 1 不同制浆工艺下酸浆豆干出品率比较

Table 1 The yield of fermented tofu by different treatment (%)

生浆制备 Preparation of uncooked soymilk	熟浆制备 Preparation of cooked soymilk									
	生浆法 Uncooked slurry					熟浆法 Cooked slurry				
	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃
浸泡豆磨浆 Soaking bean ground soymilk	152.1±3.1 b	144.7±2.8 c	152.5±1.7 b	193.4±2.3 a	141.1±1.6 d	93.2±1.7 e	141.9±2.3 d	143.3±2.2 c	159.6±2.1 a	155.1±2.2 b
生豆磨浆 Bean ground soymilk	70.7±1.3 b	54.1±0.6 e	56.4±0.3 c	82.6±1.3 a	55.3±1.1 d	44.7±0.6 b	29.1±0.7 d	28.4±1.2 e	48.5±1.0 a	31.5±1.6 c
熟豆磨浆 Cooking bean ground soymilk	43.2±2.3 b	35.1±1.7 d	37.1±1.3 c	47.0±1.1 a	30.6±1.3 e	26.8±1.7 b	29.9±1.1 a	15.0±1.1 e	23.6±1.6 d	24.7±0.8 c
浸泡豆粉碎 Crushed soaking bean	56.8±1.9 e	68.4±2.0 d	82.4±1.8 a	73.6±1.9 b	70.6±1.3 c	27.3±1.2 c	29.7±1.8 b	33.4±0.7 a	23.7±1.3 d	19.9±1.1 e
生豆粉碎 Crushed bean	83.4±2.1 a	76.5±0.6 b	63.9±1.2 c	55.5±1.7 d	52.4±1.1 e	30.9±0.3 b	32.4±2.1 a	28.6±1.4 c	26.6±1.3 e	27.9±2.1 d
熟豆粉碎 Crushed cooking bean	7.7±1.2 e	9.7±3.0 d	13.7±1.1 a	11.9±1.9 b	11.0±0.3 c	5.4±1.1 c	5.6±0.9 c	6.32±2.1 a	6.0±1.7 b	5.9±0.6 b

不同小写字母表示 $P\leq 0.05$ 水平差异显著。下同。
Different lowercase indicates there is significant difference at $P\leq 0.05$ level. The same below.

2.2 不同制浆工艺下酸浆豆干的水分含量及保水性

如表 2 所示,水分含量最高的豆干制作条件即是用 70℃ 水对浸泡好的黄豆进行磨浆,采用生浆法所制酸浆豆干。原料处理方式、生浆制备方法以及熟浆制备方式都对豆干中水分含量存在显著性影响。浸泡豆所制得豆干水分含量在加水温为 70℃ 达到最大值,70℃ 条件可以使蛋白质形成紧密的网状结构,有助于与水分结合,而达到 90℃ 时,蛋白变性,所以水分含量有所下降。同理熟豆制得的豆干

水分含量较低,可能是由于熟豆经过长时间煮制大豆中蛋白过度变性,在加入凝固剂后蛋白不能形成紧密的网状结构,导致成品水分含量低。而熟浆法较生浆法成品豆干水分含量低,则可能是由于煮浆过程中部分水与豆渣结合,过滤后熟豆浆中水分含量低。粉碎法冲浆制得豆干水分含量低于磨浆法,主要是由于冲浆过程中部分水与豆渣溶和成糊,不能过滤,而随着冲浆水温的升高,豆渣会与更多水溶和,所以在冲浆方法中,豆干中水分含量随冲浆水温的升高而降低。

表 2 不同制浆工艺下酸浆豆干水分含量比较

Table 2 The moisture content of fermented tofu by different treatments

(%)

生浆制备 Preparation of uncooked soymilk	熟浆制备 Preparation of cooked soymilk									
	生浆法 Uncooked slurry					熟浆法 Cooked slurry				
	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃
浸泡豆磨浆 Soaking bean ground soymilk	79.2±0.2 b	63.8±0.7 e	78.4±1.5 c	81.7±1.1 a	75.6±0.2 d	67.4±0.3 d	62.5±1.3 e	72.1±0.7 c	79.0±0.7 a	75.6±1.1 b
生豆磨浆 Bean ground soymilk	81.3±0.7 a	73.3±0.1 c	69.4±0.2 d	68.9±0.7 e	77.6±0.7 b	70.4±1.1 a	68.8±1.1 c	66.4±0.4 d	65.5±0.3 e	69.6±1.7 b
熟豆磨浆 Cooking bean ground soymilk	73.5±0.4 b	77.1±0.8 a	62.7±0.7 c	61.0±0.9 d	55.2±1.4 e	64.5±0.8 a	58.9±0.9 b	59.1±0.5 b	54.0±0.1 c	47.6±0.9 d
浸泡豆粉碎 Crushed Soaking bean	75.3±0.1 a	73.6±0.5 b	70.2±0.4 c	69.6±1.3 d	68.3±1.1 e	65.3±1.3 a	63.3±0.8 b	62.7±0.7 c	60.2±0.3 d	59.9±1.3 e
生豆粉碎 Crushed bean	78.6±0.3 a	78.4±1.1 b	77.5±0.9 c	75.3±1.2 d	73.6±1.7 e	68.8±0.7 b	69.6±0.4 a	63.9±0.6 c	60.4±0.2 d	58.9±0.3 e
熟豆粉碎 Crushed cooking bean	74.8±0.7 a	71.4±0.3 b	67.7±0.9 d	70.6±0.8 c	64.8±0.3 e	66.2±0.7 a	64.4±0.4 b	60.6±1.3 c	57.4±0.3d	56.9±0.1 e

豆干保水性的强弱在一定程度上表现了豆干的物理状态^[11],保水性能强的豆干,表面光滑、断面细腻、孔隙均匀;保水性差的豆干表面粗糙,孔隙不均,且弹性差,成品不坚实、紧致。如表 3 所示,原料处理方式、生浆制备方法以及熟浆制备方式都对豆干保水性存在显著性影响。在制浆水温为 10℃ 和 30℃ 情况下,原料为生豆所制得豆干保水性要优于浸泡豆及熟豆所制豆干。使用熟豆为原料所制的豆干保水性较低,可能是由于熟豆蛋白结构在煮豆过程就已经发生改变,长时间的热处理使蛋白彻底

变性,导致豆干的保水性较低。采用粉碎法制浆的豆干,随制浆水温的升高熟豆所制得豆干的保水性越低,生浆法制作的豆干在保水性上优于熟浆法,其中熟豆熟浆法做的豆干在制浆水温为 90℃ 时,保水性只有 34.1%,豆干以磨浆生浆法制作会具有更好的保水性能。

由图 1 可知,豆干保水性与其水分含量存在显著正相关性($y = 1.264x - 25.90, R^2 = 0.797$),在一定范围内,豆干的保水性会随豆干中水分含量升高而升高。

表 3 不同制浆工艺下酸浆豆干保水性比较

Table 3 The water holding capacity of fermented tofu by different treatments

(%)

生浆制备 Preparation of uncooked soymilk	熟浆制备 Preparation of cooked soymilk									
	生浆法 Uncooked slurry					熟浆法 Cooked slurry				
	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃
浸泡豆磨浆 Soaking bean ground soymilk	76.3±1.2 a	64.4±2.3 c	74.7±0.3 a	76.4±1.2 a	70.1±1.2 b	60.8±0.9 d	50.3±0.4 e	65.2±0.7 c	69.8±0.6 a	67.4±0.7 b
生豆磨浆 Bean ground soymilk	77.2±0.9 a	68.8±0.6 c	59.1±0.5 e	61.4±0.7 d	74.0±0.7 b	68.1±0.3 a	66.5±0.6 a	64.2±0.6 b	62.6±0.7 c	65.6±0.6 b
熟豆磨浆 Cooking bean ground soymilk	69.5±1.3 a	62.8±0.7 b	52.4±0.6 c	51.8±0.3 c	45.8±1.3 d	57.4±1.2 a	50.9±0.2 b	47.3±1.0 c	41.1±0.2 d	35.4±0.9 e
浸泡豆粉碎 Crushed Soaking bean	71.0±1.1 a	67.7±1.1 b	61.7±1.2 c	62.1±0.4 c	61.3±0.2 c	58.4±0.4 a	55.2±1.0 b	53.6±0.9 b	49.2±0.4 c	48.6±0.3 c
生豆粉碎 Crushed bean	70.9±0.8 a	70.0±1.1 a	64.9±0.3 c	67.6±1.2 b	63.8±0.6 c	65.9±0.7 a	66.6±0.6 a	58.0±1.2 b	56.2±0.3 c	55.7±0.7 c
熟豆粉碎 Crushed cooking bean	69.1±0.3 a	68.9±0.6 a	67.1±0.7 b	63.7±0.3 c	61.5±0.8 d	47.0±1.3 a	42.8±1.1 b	40.6±0.3 c	35.1±1.7 d	34.1±1.2 d

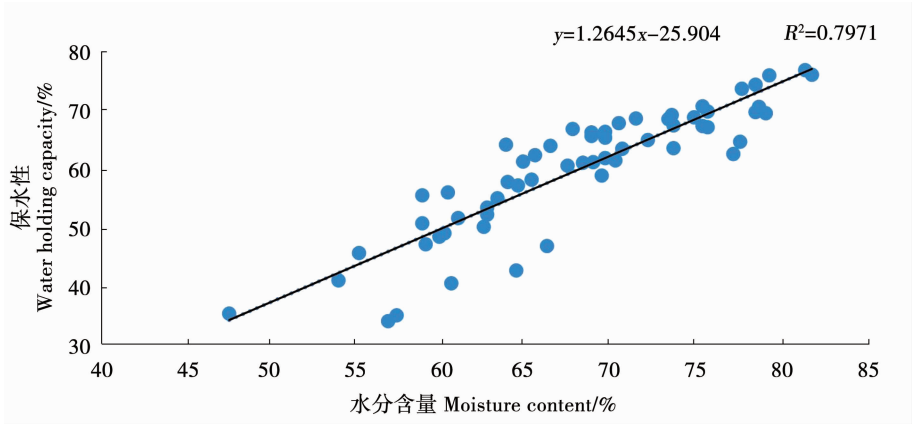


图1 不同制浆工艺下酸浆豆干水分含量与保水性相关性

Fig.1 Correlation between moisture content and water holding capacity of fermented tofu at different treatments

2.3 不同制浆工艺下酸浆豆干的蛋白质含量

如表4所示,制浆水温在制作豆浆的过程中对蛋白溶出率存在显著性影响,豆干蛋白含量随温度升高有明显增加,与Sirison等^[12]的研究一致。其中生豆制得豆干的蛋白质含量最低,为9.2%,可能是由于干豆结构过于致密,在磨浆过程中蛋白没有更好的溶出。磨浆法中采用熟豆所制的豆干蛋白含量虽然随冲浆水温升高增加,但是与浸泡豆相比,增加幅度较小。可能是因为煮豆过程中有可溶性蛋白溶出,熟豆中蛋白含量降低,磨浆时可溶蛋

白减少,所以随磨浆水分增加蛋白含量升高幅度较小。冲浆法制作的豆干蛋白含量随冲浆水温升高而增加,但是没有显著性差异,可能是由于冲浆时间较磨浆时间短,而且在冲浆的过程中豆渣也没有和水充分混合,导致蛋白溶出率低。熟浆法豆干中蛋白含量高于生浆法,可能是由于在煮浆过程中,豆渣中未溶出蛋白11S通过热处理可以形成可溶性的聚合物^[13],形成更多的可溶性聚合物使蛋白含量增加。浸泡豆磨浆,采用熟浆法,加水温度为90℃制得的豆干蛋白含量最高,为22.6%。

表4 不同制浆工艺下酸浆豆干蛋白质含量比较

Table 4 The protein content of fermented tofu at different treatments										(%)
生浆制备 Preparation of uncooked soymilk	熟浆制备 Preparation of cooked soymilk									
	生浆法 Uncooked slurry					熟浆法 Cooked slurry				
	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃
浸泡豆磨浆 Soaking bean ground soymilk	9.6±0.3 d	11.8±0.1 c	15.9±0.2 b	20.7±1.2 a	21.8±0.3 a	10.9±0.7 c	12.7±0.3 c	16.6±1.2 b	21.4±0.9 a	22.6±1.0 a
生豆磨浆 Bean ground soymilk	9.2±0.6 c	10.0±0.2 b	11.6±0.8 b	14.2±0.7 a	15.3±1.3 a	10.1±0.2 c	11.4±0.6 b	12.5±1.0 b	15.1±0.3 a	15.8±1.2 a
熟豆磨浆 Cooking bean ground soymilk	11.8±0.9 d	14.1±0.8 c	15.4±0.3 b	16.0±0.4 a	17.1±0.9 a	12.4±0.3 c	14.2±0.8 c	15.7±0.9 b	16.2±0.6 b	19.3±0.9 a
浸泡豆粉碎 Crushed Soaking bean	6.2±0.7 a	6.3±0.3 a	6.7±0.2 a	7.8±0.2 a	8.0±0.8 a	6.5±0.6 a	6.8±0.2 a	7.0±0.6 a	7.9±0.3 a	8.1±0.7 a
生豆粉碎 Crushed bean	5.0±0.2 b	5.5±0.7 b	6.3±0.2 a	7.4±0.2 a	7.2±0.4 a	5.7±0.1 b	5.9±0.4 b	6.8±0.6 a	8.1±0.1 a	7.7±0.3 a
熟豆粉碎 Crushed cooking bean	4.2±0.3 a	4.6±0.3 a	5.0±0.4 a	5.1±0.3 a	4.9±0.7 a	4.6±0.2 a	4.9±0.5 a	5.3±0.7 a	5.7±0.7 a	5.5±0.3 a

2.4 不同制浆工艺下酸浆豆干的质构特性

如表5所示,制浆水温对豆干的胶着性及咀嚼性有显著性影响,胶着性及咀嚼性随制浆水温的上升而降低,而弹性随制浆温度的变化虽然没有显著性变化,但是仍存在下降趋势。采用同种原料处理方式下生浆法制得豆干的弹性和回复性都高于熟

浆法,但是制浆的方法对豆干弹性、回复性没有显著性影响。熟豆所制得豆干咀嚼性要高于生豆及浸泡豆所制豆干,而弹性、回复性均低于生豆制豆干,较大的可能性是熟豆因为长时间的热处理,蛋白的网络结构变性,得到的豆干弹性和回复性都较差。

续表 5

生浆制备 Preparation of uncooked soymilk		熟浆制备 Preparation of cooked soymilk									
		生浆法 Uncooked slurry					熟浆法 Cooked slurry				
		10℃	30℃	50℃	70℃	90℃	10℃	30℃	50℃	70℃	90℃
Crushed cooking bean	胶着性 Gumminess	823 ± 33 a	802 ± 67 a	765 ± 56 a	726 ± 65 a	699 ± 74 a	757 ± 56 a	722 ± 56 a	698 ± 32 a	642 ± 32 a	654 ± 34 a
	弹性 Springiness	0.38 ± 0.01 a	0.38 ± 0.02 a	0.37 ± 0.02 a	0.36 ± 0.02 a	0.36 ± 0.02 a	0.32 ± 0.02 a	0.32 ± 0.02 a	0.31 ± 0.01 a	0.30 ± 0.02 a	0.30 ± 0.01 a
	回复性 Resilience	0.21 ± 0.02 a	0.21 ± 0.02 a	0.22 ± 0.01 a	0.21 ± 0.01 a	0.19 ± 0.01 a	0.19 ± 0.01 a	0.20 ± 0.01 a	0.20 ± 0.02 a	0.21 ± 0.01 a	0.21 ± 0.01 a
	咀嚼性 Chewiness	2065 ± 87 a	1862 ± 98 b	1765 ± 102 b	1682 ± 154 b	1634 ± 132 c	1962 ± 163 a	1907 ± 177 a	1735 ± 137 b	1653 ± 123 b	1586 ± 127 b

3 讨 论

本研究显示磨浆法较粉碎冲浆法豆干的出品率更高,与李升^[7]的研究结果对比发现,干法制作豆腐所得出品率应该有所提高,对比试验方法发现本次试验将磨碎后原料直接使用不同温度水过滤得到豆浆,李升采用均质机进行物料均质处理,单纯的对磨碎原料进行冲烫过滤不能提高豆腐出品率,蛋白溶出效果也很差,粉碎后原料制豆浆需要进行匀浆、均质处理可以得到更高的蛋白溶出率。于寒松^[14]以 CaSO₄ 为凝固剂考察生浆法和熟浆法于豆腐品质关系,研究结果中熟浆法的出品率高于生浆法,与本试验结果相反,查阅文献发现豆浆 pH 可以影响豆花形成,对豆腐品质也存在影响^[15], Kim^[16]的研究显示与碱性条件相比酸性条件下的蛋白有更好的热稳定性,同时酸性条件下蛋白经过热处理更容易发生 β -折叠^[17],而 β -折叠是由于蛋白在热处理的情况下疏水基团的暴露引起的^[18],本试验采用酸浆作为凝固剂,蛋白在酸性条件下凝结有更多的疏水基团,导致了酸浆豆干在熟浆法工艺下水分含量较生浆法低,出品率也较低。

石彦国等^[19]对大豆浸泡时间对豆腐品质影响的研究中指出,大豆浸泡时间短会导致原料结构致密,蛋白溶出率低,从而降低豆腐出品率,长时间浸泡则会导致大豆结构过于疏松,制作的豆腐保水性会降低。结合本试验生豆和熟豆出品率都低于浸泡豆,生豆没有浸泡结构过于致密,在磨浆过程中蛋白溶出率过低,导致干豆为原料的豆干出品率低于适度浸泡黄豆制作的豆干。宋莲军等^[20]研究中指出保水性与蛋白质含量、水溶性蛋白含量具有显著正相关性,但是本次试验中豆干的保水性及水分含量没有随豆干中蛋白质含量升高而发生变化。可能是由于原料不同的处理方式下,蛋白发生了不

同程度的变性,蛋白含量较高的豆干其蛋白可能已经过度变性,不能形成坚实致密的网络结构,导致其水分含量及保水性较低。

目前对于制浆温度对豆干品质影响分析相关研究较少,张斌等^[21]在以黑豆为原料制作内脂豆腐的研究中指出,磨浆水温升高有助于产品豆腥味降低,组织形态也更好。本试验中随制浆水温的升高,制作的豆干更有嚼劲。李翔^[22]的研究表明,豆腐的嫩度与咀嚼性和回复性存在显著正相关性;多汁性与咀嚼性间存在显著负相关性,熟豆制作的豆干弹性为 0.30 ~ 0.48,回复性为 0.19 ~ 0.28,则熟豆所制得豆干较嫩且多汁,而豆干与豆腐相比应该更有嚼劲,嫩度稍差,多汁性略低,即就质构参数熟豆不适宜制作豆干,浸泡豆磨浆采用生浆法制作的豆干整体表现较优。

研究结果表明蛋白的适度变性才有利于制得保水性好、强度高的豆干。更高的制浆温度可以提升豆干品质,浸泡豆作为原料生产的豆干品质更好,以磨浆法制作豆干较为合适。试验所采用的粉碎冲浆法,没有进行均质处理,今后的研究应该考虑物料与水均质达到与磨浆法制作的豆浆物理状态相近时的对比研究。

4 结 论

原料的不同处理方式、制浆温度和制浆方式对酸浆豆干的出品率、水分含量、保水性、蛋白含量及质构都有显著性影响。熟豆不适合豆干制作,熟豆作为原料所制的豆干出品率、水分含量、保水性、蛋白含量较差,咀嚼性高于生豆及浸泡豆所制豆干,而弹性、回复性较低。磨浆法豆干的出品率、蛋白含量、水分含量、保水性、质构都优于粉碎冲浆法制作的豆干。随制浆温度的升高,豆干出品率先升高再降低,其中制浆温度 70℃ 时,豆干的出品率最高;

豆干中蛋白含量随制浆温度升高而增高,制浆水温90℃,以浸泡豆磨浆,采用熟浆法制得的豆干蛋白含量最高为22.6%;制浆水温改变对豆干弹性、回复性没有显著性影响,咀嚼性和胶着性随制浆水温的升高会降低。熟浆法制得豆干蛋白含量高于生浆法,生浆法制作的豆干比熟浆法制作的豆干有更高的出品率及保水性,生浆法制得豆干的弹性和回复性高于熟浆法,对豆干弹性、回复性没有显著性影响。以浸泡豆为原料,磨浆水温为70℃,采用生浆法制作的豆干品质最佳出品率可以达到193.4%,水分含量81.7%,保水性76.4%,蛋白质含量为20.7%,胶着性1542,弹性0.80,回复性0.57,咀嚼性792。

参考文献

- [1] Tang C H. Emulsifying properties of soy proteins: A critical review with emphasis on the role of conformational flexibility[J]. *Critical Reviews in Food Technology*, 2017, 57(12):2636-2679.
- [2] 曾剑华,杨杨,刘琳琳,等. 热处理过程中11S大豆球蛋白解离缔合行为研究进展[J/OL]. *食品科学*: 1-14[2019-05-07]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20181009.1512.064.html>. (Zeng J H, Yang Y, Liu L L, et al. Research progress on the dissociation association behavior of 11S glycinin during heat treatment[J/OL]. *Food Science*: 1-14[2019-05-07].)
- [3] 李小雅,许慧,江杨娟,等. 加工工艺对北方豆腐品质特性的影响[J]. *食品科学*,2017,38(6):261-266. (Li X Y, Xu H, Jiang Y J, et al. Effects of processing on the quality properties of northern Chinese tofu[J]. *Food Science*,2017,38(6):261-266.)
- [4] 韩翠萍,历卓,葛子榜,等. 加工工艺对传统豆干质构特性的影响[J]. *中国食品学报*,2019(4):203-208. (Han C P, Li Z, Ge Z B, et al. Effects of processing technology on texture characteristics of traditional bean curd[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*,2019(4):203-208.)
- [5] 卢义伯,潘超,祝义亮. 豆腐生产中不同制浆工艺研究[J]. *食品工业科技*,2007(8):182-184,187. (Lu Y B, Pan C, Zhu Y L. Study on different pulping techniques in tofu production[J]. *Science and Technology of Food Industry*,2007(8):182-184,187.)
- [6] 陈洋,林最其,徐丽,等. 豆浆制备工艺对豆腐品质的影响[J]. *大豆科学*,2011,30(5):838-842. (Chen Y, Lin Z Q, Xu L, et al. Effects of different preparation of soymilk on the quality of tofu[J]. *Soybean Science*,2011,30(5):838-842.)
- [7] 李升,崔峻,魏富彬,等. 豆浆加工工艺对全子叶豆腐品质影响的研究[J]. *食品工业科技*,2016,37(2):239-243. (Li S, Cui J, Wei F B, et al. Effect of processing technology of soybean milk on the quality of whole cotyledon tofu[J]. *Science and Technology of Food Industry*,2016,37(2):239-243.)
- [8] Zuo F, Chen Z, Shi X, et al. Yield and textural properties of tofu as affected by soymilk coagulation prepared by a high-temperature pressure cooking process[J]. *Food Chemistry*, 2016, 213: 561-566.
- [9] Yuzuru O, Tomotada O, Katsuhiko N, et al. Homogeneity and microstructure of tofu depends on 11S/7S globulin ratio in soymilk and coagulant concentration[J]. *Food Science and Technology Research*, 2009, 15(3): 265-274.
- [10] 刘琳琳,董辉,石彦国. 干豆腐品质评价方法的研究[J]. *食品工业科技*,2011,32(11):420-423. (Liu L L, Dong H, Shi Y G. Study on the evaluation method of the quality of dried bean curd[J]. *Science and Technology of Food Industry*,2011,32(11):420-423.)
- [11] 江振桂,王秋普,张一震,等. 不同凝固剂对豆腐品质的影响[J]. *食品与发酵工业*,2019,45(7):229-234. (Jiang Z G, Wang Q P, Zhang Y Z, et al. Effect of different coagulants on the quality of tofu[J]. *Food and Fermentation Industries*,2019,45(7):229-234.)
- [12] Sirison J, Matsumiya K, Samoto M, et al. Solubility of soy lipophilic proteins: Comparison with other soy protein fractions[J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2017, 81(4): 790-802.
- [13] Dobson C M. Protein folding and misfolding[J]. *Nature*, 2003, 426(6968): 884-890.
- [14] 于寒松,陈今朝,张伟,等. 两种工艺生产豆腐的营养成分与品质特性的关系[J]. *食品科学*,2015,36(19):49-54. (Yu H S, Chen J Z, Zhang W, et al. Relationship between nutritional components and texture profile of tofu from two preparation methods[J]. *Food Science*, 2015, 36(19):49-54.)
- [15] He X, Yuan D, Wang J, et al. Thermal aggregation behaviour of soy protein: Characteristics of different polypeptides and sub-units[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 96(4): 1121-1131.
- [16] Kim K S, Kim S, Yang H J, et al. Changes of glycinin conformation due to pH, heat and salt determined by differential scanning calorimetry and circular dichroism[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 39(4):385-393.
- [17] Rekha C R, Vijayalakshmi G. Influence of processing parameters on the quality of soycurd (tofu)[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 50(1): 176-180.
- [18] Xiao J, Shi C, Zhang L, et al. Multilevel structural responses of β -conglycinin and glycinin under acidic or alkaline heat treatment[J]. *Food Research International*, 2016, 89(1):540-548.
- [19] 石彦国,李刚,胡春林,等. 大豆浸泡过程质构变化及其对豆腐质量的影响[J]. *食品科学*,2006(12):167-169. (Shi Y G, Li G, Hu C L, et al. Effect of soaking time on the quality of tofu[J]. *Food Science*,2006(12):167-169.)
- [20] 宋莲军,杨月,李争艳. 大豆组分与北豆腐得率及品质的相关性研究[J]. *中国粮油学报*,2011,26(4):19-23. (Song L J, Yang Y, Li Z Y. Study on correlation between the soybean components and the yield and quality of north tofu[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2011,26(4):19-23.)
- [21] 张斌,卫玮,温禄云. 黑豆内酯豆腐的加工工艺[J]. *食品研究与开发*,2012,33(8):115-117. (Zhang B, Wei W, Wen L Y. Black bean gluconic acid lactone beancurd processing technology[J]. *Food Research and Development*,2012,33(8):115-117.)
- [22] 李翔. 血豆腐质构感官评定与机械测定的相关性分析[J]. *食品研究与开发*,2016,37(7):145-149. (Li X. Improved correlation between sensory and mechanical measurement of blood tofu texture[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(7): 145-149.)