

凝固条件对全豆腐干质构特性的影响

胡井祥, 王建光, 成玉梁, 钱 和*

(江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122)

摘要:针对全豆腐干加工过程中存在着破脑后压制成型性不好、全豆腐干口感差的问题,研究了凝固工艺中谷氨酰胺转氨酶添加量、硫酸钙添加量、蹲脑温度和蹲脑时间对全豆腐干质构特性的影响。通过单因素和正交实验,以制得的全豆腐干全质构测定得到的咀嚼性和感官评分为评价指标,得到生产全豆腐干最佳的凝固工艺参数为:谷氨酰胺转氨酶添加量 6 U/g 蛋白,硫酸钙添加量 0.3%,蹲脑温度 50 ℃,蹲脑时间 40 min,制得的全豆腐干咀嚼性好,感官评分高,品质良好。

关键词:全豆腐干,凝固条件,全质构,感官评价

Effect of coagulation conditions on the texture properties of whole bean firm Tofu

HU Jing-xiang, WANG Jian-guang, CHENG Yu-liang, QIAN He*

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract:Poor compactibility and texture like okara are common quality problems in the whole bean firm tofu product. In order to solve these problems, transglutaminase concentration, coagulation temperature, coagulation time and CaSO₄ concentration were studied. Through the single factors and orthogonal experiments to determine the optimum process conditions, the results showed that the whole bean firm tofu showed nice sensory quality and good compactibility under these conditions: 6U/g protein of TGase, 0.3% calcium sulfate, heating soymilk at 50 ℃ and keeping temperature constant for 40 minutes.

Key words: Whole bean firm tofu; coagulation conditions; TPA; sensory evaluation

中图分类号: TS214.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)19-0229-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.19.039

大豆在我国广泛种植,我国也是世界上最大的食用大豆消费国^[1]。豆腐干是我国传统美食之一,含有丰富的营养^[2]。传统豆腐干的生产会产生大量的豆渣^[3]。豆渣具有很高的营养价值,其中含有大量蛋白质、脂肪、糖和膳食纤维等^[4-5]。与传统豆腐干生产工艺相比,全豆腐干的生产加工采用了超微粉碎技术,生产过程不会产生豆渣。目前,国内外对全豆腐干的研究基本上仍处于空白阶段,更无相关产品问世。本课题组已经研制出内酯全豆充填豆腐^[6],由于生产全豆腐干需要破脑压制脱出大量的水分,这决定了全豆腐干的研制难度要高于全豆腐的研制。因为破脑时已经形成的蛋白凝胶网络被大量破坏,而经过超微粉碎的大豆纤维在压制的过程中又会严重干扰蛋白凝胶网络的重新形成^[7]。这导致压榨制得的全豆腐干成型性不好,食用时咀嚼性差,豆渣感明显。本实验针对此问题,研究了不同凝固条件对制得的全豆腐干质构特性的影响,通过优化加工工艺条件,旨在提

高全豆腐干的咀嚼性,改善口感。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

大豆:中黄十三号;谷氨酰胺转氨酶(TG酶,酶活 100 U/g):江苏锐阳生物科技有限公司;硫酸钙:国药集团化学试剂有限公司。

组织捣浆机 江苏金坛市华欧实验仪器有限公司;胶体磨 廊坊市廊通机械有限公司;智能恒温磁力搅拌器 予华仪器有限公司;高压均质机 上海市东华高压均质机厂;质构仪 美国 SMS 公司;恒温水浴锅 江苏金坛市荣华仪器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 全豆腐干制作工艺流程 大豆→清洗→浸泡→热烫→磨浆→高压均质→全豆腐浆→煮浆→冷却→点浆→蹲脑→破脑→压榨成品。

1.2.2 操作要点 大豆清洗并充分浸泡后,热烫 5~

收稿日期:2015-02-09

作者简介:胡井祥(1988-),男,硕士,在读研究生,研究方向:食品资源开发与利用,E-mail:hu_jing_xiang@163.com

*通讯作者:钱和(1962-),女,博士,教授,研究方向:食品安全与质量控制,E-mail:amt168@126.com。

基金项目:贵阳市科技支撑项目(2010 筑科农合同字第 3-08 号)。

20 min, 然后按 1:7 的豆水比磨浆, 将磨好的豆浆经过胶体磨和高压均质机 40 MPa 处理, 得到全豆浆。接着在 90 °C 条件下煮浆 10 min, 将煮好的豆浆冷却到一定温度后添加适量的复合凝固剂点浆、保温蹲脑一段时间后破脑, 压榨成品。

1.2.3 凝固条件对全豆腐干质构特性的影响及凝固工艺参数的优化

1.2.3.1 TG 酶的添加量对全豆腐干质构特性的影响

在凝固过程中控制硫酸钙添加量为 0.3%, 蹲脑温度为 50 °C, 蹲脑时间为 30 min, 设置 TG 酶的添加量分别为 4 U/g 蛋白、5 U/g 蛋白、6 U/g 蛋白、7 U/g 蛋白和 8 U/g 蛋白, 研究 TG 酶添加量对全豆腐干质构特性的影响。

1.2.3.2 蹲脑时间对全豆腐干质构特性的影响

在凝固过程中控制硫酸钙添加量为 0.3%, TG 酶的添加量为 6 U/g 蛋白, 蹲脑温度为 50 °C, 设置蹲脑时间分别为 20、30、40、50 和 60 min, 研究蹲脑时间对全豆腐干质构特性的影响。

1.2.3.3 蹲脑温度对全豆腐干质构特性的影响

在凝固过程中控制 TG 酶的添加量为 6 U/g 蛋白, 硫酸钙添加量为 0.3%, 蹲脑时间为 30 min, 设置蹲脑温度分别为 45、50、55 和 60 °C, 研究蹲脑温度对全豆腐干质构特性的影响。

1.2.3.4 在凝固过程中控制 TG 酶的添加量为 6 U/g 蛋白, 蹲脑温度为 50 °C, 蹲脑时间为 30 min, 设置硫酸钙添加量分别为 0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 和 0.6%, 研究硫酸钙添加量对全豆腐干质构特性的影响。

1.2.4 正交实验设计

为了获得生产全豆腐干最佳凝固工艺条件, 本实验在单因素实验结果的基础上, 对 TG 酶添加量、蹲脑温度、蹲脑时间和硫酸钙添加量采用 $L_9(3^4)$ 正交实验表设计正交实验, 因素水平表见表 1。以制得的全豆腐干的全质构测定得到的咀嚼性和感官评分为评价指标, 确定最佳凝固工艺参数。

表 1 正交实验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiments

水平	因素			
	A TG 酶添加量 (U/g 蛋白)	B 蹲脑温度 (°C)	C 蹲脑时间 (min)	D 硫酸钙添加量 (%)
1	5	45	30	0.2
2	6	50	40	0.3
3	7	55	50	0.4

1.2.5 全豆腐干全质构 (TPA) 测定方法

将制得全豆腐干切成 2 cm 的方块, 放在载物台上, 测定过程中确保样品处于探头的中心位置。测试条件: 使用 P/36R 探头^[8], 测前速度 2 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 触发力 5 g, 每组 10 个样品, 记录被测样品的咀嚼性值, 测定值去除最大值和最小值, 取剩余的平均值为测定结果。

1.2.6 全豆腐干感官评价方法

全豆腐干感官评价小组由 10 名经过感官评价培训的食品科学与工程专业的学生组成, 对全豆腐干样品的感官品质进行评价并打分, 评分标准如表 2^[9]。

表 2 感官评价标准

Table 2 Criterion for sensory evaluation

分值	好(8.0~10分)	中(5.0~8.0分)	差(<5.0分)
感官描述	咀嚼性好, 吞咽样品需要的咀嚼工作量适中, 没有豆渣感	咀嚼性一般, 吞咽样品需要的咀嚼工作量较小或较大, 没有明显的豆渣感	咀嚼性很差, 吞咽样品需要的咀嚼工作量太小或太大, 有豆渣感

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 TG 酶的添加量对全豆腐干质构特性的影响

TG 酶添加量对全豆腐干咀嚼性和感官评分的影响结果见图 1。TG 酶常用来改善食品的品质, 在食品工业上应用广泛^[10], 它可以催化大豆蛋白的谷氨酰胺残基上的 γ -谷氨酰基和赖氨酸残基上的 ϵ -氨基相连接, 使得大豆蛋白分子间或分子内形成 ϵ -(γ -谷氨酰基)赖氨酸共价键^[11-12]。从图 1 可以看出, 随着 TG 酶添加量的增加全豆腐干的咀嚼性和感官评分均呈现出显著增加的趋势, 当 TG 酶的添加量为 6 U/g 蛋白时, 制得的全豆腐干的咀嚼性取得最大值, 感官评分也最高, 继续增加 TG 酶的添加量全豆腐干的咀嚼性和感官评分均减少。出现上述变化的原因可能是在蹲脑过程中过量 TG 酶将蛋白表面的作用位点很快反应完全, 这降低了破脑压榨时 TG 酶作用的效果。

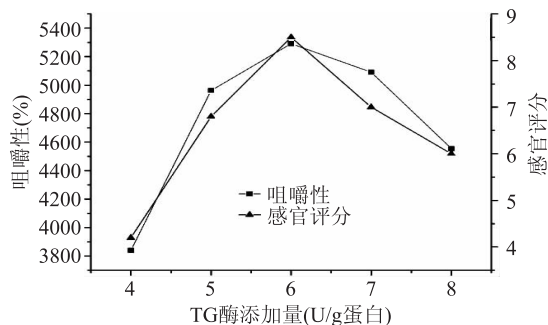


图 1 TG 酶的添加量对全豆腐干质构特性的影响

Fig.1 Influence of TGase concentration on firm tofu texture properties

2.1.2 蹲脑时间对全豆腐干质构特性的影响

蹲脑时间对全豆腐干质构特性的影响结果见图 2。由图 2 可知, 蹲脑初始阶段全豆腐干的咀嚼性和感官评分随着蹲脑时间的延长而增加, 并在蹲脑时间为 40 min 时二者取得峰值。随着蹲脑时间的继续延长, 全豆腐干的咀嚼性和感官评分都开始下降。

2.1.3 蹲脑温度对全豆腐干质构特性的影响

蹲脑温度对全豆腐干质构特性的影响结果见图 3。如图 3 所示, 随着温度的增加, 酶促反应的速率增大, 在同等的蹲脑时间下全豆腐干的咀嚼性和感官评分不断增加。由于全豆腐浆的 $\text{pH} \approx 7.0$, Ando^[13] 等人曾报道此 pH 下谷氨酰胺转氨酶的最适作用温度为 40~55 °C, 张静洁^[14] 等人的研究也证实了这一点。当蹲脑温度达到 60 °C 时, 制得全豆腐干的咀嚼性和

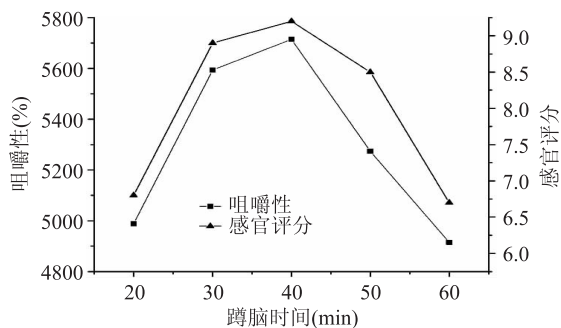


图2 蹲脑时间对全豆豆腐干质构特性的影响
Fig.2 Influence of coagulation time on firm tofu texture properties

感官评分显著降低,这可能是谷氨酰胺转氨酶在该温度下丧失部分酶活导致的结果。所以,正交优化实验中蹲脑温度选取 45、50 和 55 °C 这三个水平。

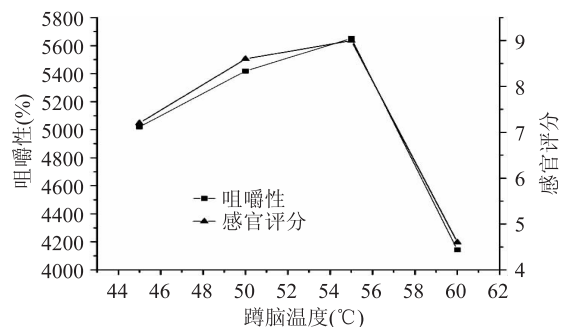


图3 蹲脑温度对全豆豆腐干质构特性的影响
Fig.3 Influence of coagulation temperature on firm tofu texture properties

2.1.4 硫酸钙的添加量对全豆豆腐干质构特性的影响 硫酸钙添加量对全豆豆腐干咀嚼性和感官评分的影响结果见图4。二价钙离子可以通过钙桥作用于大豆蛋白的极性基团,从而影响蛋白质的凝胶性^[15]。如图4所示,低含量的硫酸钙可以显著提高全豆豆腐干的咀嚼性和感官评分,然而当添加量超过0.3%后,制得的全豆豆腐干的咀嚼性和感官评分迅速下降。这可能是因为 Ca^{2+} 浓度与凝胶形成的时间成反比,高浓度的钙离子使得豆干内部的蛋白质凝胶网络结构形成过快,网络结构孔径较大,保水性变差所致。此外,大量多余的 Ca^{2+} 会吸附在大豆蛋白表面,导致蛋白表面的净电荷增加,蛋白之间的排斥作用增强不利于蛋白质凝胶网络的形成^[16]。

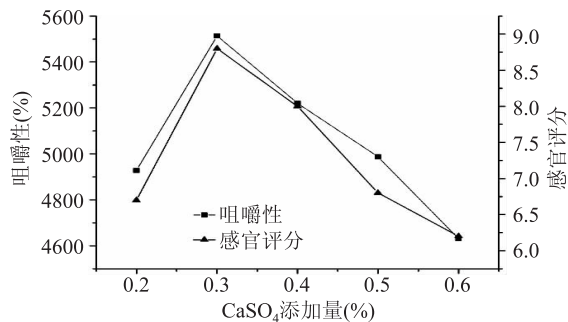


图4 硫酸钙的添加量对全豆豆腐干质构特性的影响
Fig.4 Influence of CaSO₄ concentration on firm tofu texture properties

2.2 正交实验结果与分析

在单因素基础上,对 TG 酶添加量、蹲脑温度、蹲脑时间、硫酸钙添加量 4 个因素,每个因素选 3 个水

表3 L₉(3⁴)正交实验及结果

Table 3 Arrangement and the results of orthogonal experiment

实验号	A	B	C	D	咀嚼性(g)	感官评分
1	1	1	1	1	4487.596	5.8
2	1	2	2	2	5452.31	8.7
3	1	3	3	3	4884.474	6.8
4	2	1	2	3	5118.715	7.2
5	2	2	3	1	5056.764	7.0
6	2	3	1	2	5342.546	8.5
7	3	1	3	2	5225.625	8.4
8	3	2	1	3	5169.235	7.0
9	3	3	2	1	4778.715	6.4
k ₁	4941.460	4943.979	4999.792	4774.358		
k ₂	5172.675	5226.103	5116.580	5340.16		
咀嚼性	k ₃	5057.858	5001.912	5055.621	5057.475	
	R	231.215	281.124	116.788	565.802	
	因素主次			D > B > A > C		
	k ₁	7.100	7.133	7.100	6.400	
	k ₂	7.567	7.567	7.433	8.533	
感官评分	k ₃	7.267	7.233	7.400	7.000	
	R	0.467	0.434	0.333	2.133	
	因素主次			D > A > B > C		
优化方案				A ₂ B ₂ C ₂ D ₂		

平进行凝固工艺的正交优化实验,实验方案及结果见表3。

由表3可以看出影响全豆豆腐干咀嚼性大小的因素依次为硫酸钙添加量>蹲脑温度>TG酶添加量>蹲脑时间,但是影响全豆豆腐干感官品质的因素依次为硫酸钙添加量>TG酶添加量>蹲脑温度>蹲脑时间,可能是因为全豆豆腐干感官品质不仅与样品的咀嚼性有关,还与全豆豆腐干的硬度、弹性等质构特性有关。从实验结果也可看出,在本实验测得的咀嚼性值范围内,全豆豆腐干的感官品质随着咀嚼性的增大而增加;硫酸钙的添加量是影响全豆豆腐干咀嚼性和感官品质的主要因素;对两种指标进行极差分析确定的最佳因素水平组合均为A₂B₂C₂D₂。即谷氨酰胺转氨酶添加量6 U/g蛋白、蹲脑温度50℃和蹲脑时间40 min和硫酸钙添加量0.3%。经过3次重复验证实验表明,此工艺参数下制得全豆豆腐干的咀嚼性为5729.754 g,感官评分为9.2,确实为最佳。

3 结论

为了解决全豆豆腐干加工过程中存在全豆豆腐干成型性不好,食用时咀嚼性差,豆渣感明显等问题,研究了凝固工艺中谷氨酰胺转氨酶添加量、蹲脑温度、蹲脑时间和硫酸钙添加量对全豆豆腐干质构特性的影响。通过单因素和正交优化实验,得到生产全豆豆腐干最佳的凝固工艺参数为:谷氨酰胺转氨酶添加量6 U/g蛋白,硫酸钙添加量0.3%,蹲脑温度50℃,蹲脑时间40 min。在此工艺条件下制得的全豆豆腐干咀嚼性为5729.754 g,感官评分为9.2。对照感官评价标准可知,此工艺条件下制得的全豆豆腐干咀嚼性好,吞咽所需的咀嚼工作量适中,入口咀嚼时没有豆渣感,品质良好,可以被消费者接受。全豆豆腐干富含膳食纤维,比传统豆腐干具有更丰富的营养,且生产过程中不产生豆渣,更环保更经济,因此继续研发全豆豆腐干的卤制调味产品将是很有意义的研究。

参考文献

[1]张振华,刘志民.我国大豆供需现状与未来十年预测分析

(上接第228页)

[14]Schwyn B, Neiland J B. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores [J]. Analytical Biochemistry, 1987, 160(1): 47-56.

[15]Machuca A, Milagres A M. Use of CAS-agar plate modified to study the effect of different variables on the siderophore production by *Aspergillus* [J]. Letters in Applied Microbiology, 2003, 36(3): 177-187.

[16]胡碧惠,赵春贵,杨素萍.铁对产铁载体的沼泽红假单胞菌光合色素与铁载体合成的影响[J].微生物学报, 2014, 54(4): 408-416.

[17]Ferreira S L, Bruns R E, Ferreira H S, et al. Box- Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods

[J].大豆科技, 2009(4): 16-21.

[2]林洪斌.豆腐干质量控制关键工艺研究[D].成都:西华大学, 2013.

[3]唐雪梅,王宇峰,唐振茂.大豆的生化特性及其深加工[J].粮油食品科技, 2002(1): 42-44.

[4]王东玲,李波,芦菲,等.豆腐渣的营养成分分析[J].食品与发酵科技, 2010(4): 85-87.

[5]贾丽,黎乃维,金海珠,等.豆腐渣高膳食纤维饼干的研制[J].农产品加工: 学刊, 2013(2): 43-45.

[6]刘煜彤,钱和.不同加工条件对全豆豆腐凝胶强度的影响[J].食品工业科技, 2013(5): 126-129.

[7]芦鑫,程永强,李里特.全子叶豆腐凝胶性质研究[J].农业机械学报, 2010(9): 128-132.

[8]陈文,申婷婷,吴娜,等.豆腐干质地特征的感官评价与仪器分析及其相关性研究[J].食品工业, 2014(6): 163-165.

[9]杨倩.调味豆腐干加工及保藏的研究[D].无锡:江南大学, 2012.

[10]Kuraishi C, Yamazaki K, Susa Y. Transglutaminase: its utilization in the food industry in the food industry [J]. Food Reviews International, 2001, 17(2): 221-246.

[11]Kang IJ, Matsumura Y, Ikura K, et al. Gelation and gel properties of soybean glycinin in a transglutaminase-catalyzed system [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(1): 159-165.

[12]Nonaka M, Sakamoto H, Toiguchi S, et al. Retort-resistant tofu prepared by incubation with microbial transglutaminase [J]. Food Hydrocolloids, 1996, 10(1): 41-44.

[13]Ando H, Adachi M, Umeda K. Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganisms [J]. Agric Biol Chem, 1989, 53(6): 2613-2617.

[14]张静洁,周争艳,陈军安,等.谷氨酰胺转氨酶对大豆蛋白游离伯胺含量的影响[J].现代食品科技, 2013(5): 998-1002.

[15]Puppo M C, Anon M C. Structural properties of heat-induced soy protein gels as affected by ionic strength and pH [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(9): 3583-3589.

[16]翁頔,段文达,胡媛,等.金属离子对大豆蛋白凝胶形成的影响[J].食品工业科技, 2009(3): 71-73.

[J]. Analytica Chimica Acta, 2007, 597(2): 179-186.

[18]喻国策,丛威,蔡昭铃,等.有机碳化合物对鱼腥藻7120生长的影响[J].水生生物学报, 2003, 27(3): 238-242.

[19]Anjum M F, Tasadduq I, Al-Sultan K. Response surface methodology: A neural network approach [J]. European Journal of Operational Research, 1997, 101(1): 65-73.

[20]Chen W, Wang W P, Zhang H S, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of water-soluble polysaccharides from *Boletus edulis* mycelia using response surface methodology [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 614-619.

[21]赵小惠.聚球藻中活性化合物的分离及抗菌、抗氧化活性研究[D].烟台:烟台大学, 2013.