

# 加工条件对豆腐质量特性的影响<sup>\*</sup>

张明晶<sup>1</sup> 魏益民<sup>1</sup> 张 波<sup>1</sup> 康立宁<sup>2</sup> 李 勇<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100094;

2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 杨凌 712100)

**摘要** 以大豆品种中农 13 为试验材料, 研究不同浸泡条件、加热条件以及凝固条件对豆腐凝固质量特性的影响。结果显示: 浸泡温度 20℃, 浸泡时间 17h; 加热温度 100℃, 加热时间为 10min; GDL 用量为 0.3%; 凝固温度为 90℃, 凝固时间为 120min 是豆腐凝固的最佳条件。凝固剂(GDL)的用量对豆腐凝胶硬度和持水性影响最大。

**关键词** 大豆; 豆腐; 加工; GDL

**中图分类号** TS 214.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-9841(2006)04-0395-04

中国是豆腐制作的故乡, 至今已有两千年历史, 其制作技术已传到世界各国<sup>[1]</sup>。随着世界经济的迅速发展, 中国豆腐繁琐的手工加工工艺越来越不被市场所接纳。日本豆腐自 20 世纪 70 年代凭借其制作工艺的机械化、品质的稳定性、品种的多样性和食用方便性, 迅速抢占了国际豆腐市场<sup>[2]</sup>。

豆腐属植物蛋白制品。加工过程中许多因素决定豆腐质量<sup>[3]</sup>。国内外有关大豆豆腐加工质量的研究很多, 但是不同研究者之间却得出了不一致、甚至相互矛盾的结论<sup>[4-6]</sup>。原因在于豆腐制作技术的复杂性。首先, 豆腐的种类较多, 不同种类豆腐的制作工序不同; 其次, 凝固剂种类也较多, 不同凝固剂的凝固性质相差甚远。即使采用相同的凝固剂制作相同的豆腐, 加工条件(例如: 温度、压力、浓度等)对豆腐品质的影响也十分显著。目前国内尚没有豆腐实验室制作标准可依, 不同研究者之间的豆腐制作工艺相差较大, 这些都阻碍了国内外豆腐加工领域的研究和交流。因此, 有关豆腐加工工艺标准化的研究势在必行。本文以大豆品种中农 13 为原料, 以 GDL(葡萄糖酸-1,5-内酯)为凝固剂进行豆腐加工, 分别对浸泡和加热凝固两阶段中的主要因素进行分析, 以筛选出适宜的加工条件, 为中国豆腐加工标准化提供依据和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

大豆品种: 中农 13, 中国农业科学院作物科学研究所提供。蛋白质含量 41.76%, 粗脂肪含量 16.66%。

葡萄糖酸-1,5-内酯(GDL): 优级纯, 上海黄浦食品添加剂厂生产。

消泡剂: 美晨集团股份有限公司生产。

### 1.2 实验仪器

小型豆浆机: MB-2000 型, 顺德科盛

物性测定仪: Texture-2i 型, 英国

高速大容量离心机: LXJ-II B 型, 上海

通电加热设备: 泰斯特, 天津

磁力搅拌器: 79-1 型, 江苏金坛

干燥箱: 9123-A 型, 上海精宏

天平: ADW220 型, 日本岛津

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 豆腐凝胶的制作方法

称取 30g 大豆清洗干净, 以干豆与水的比例为 1:3 加水浸泡, 浸泡温度 20、30、40、50、60、70、80℃ 7 种处理, 浸泡期间每隔 1h 测定吸水率直至最大吸水率; 清水过滤后用浆渣分离的打浆机磨浆, 磨浆过程中以干豆与水的比例为 1:10 加入蒸馏水, 所得的豆浆用 120 目的纱布过滤。作为生豆浆备用(贮存在 4℃冰箱内)。

豆腐凝固可受多种因素的影响, 如豆浆加热条件、凝固剂用量以及凝固温度和时间等等。本研究选择加热温度、加热时间、凝固剂用量、凝固温度和

\* 收稿日期: 2005-10-11

基金项目: 中国农业科学院杰出人才专项基金

作者简介: 张明晶(1975-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事农产品加工工艺研究。

凝固时间为试验因素,在前期单因素研究基础上,通过正交设计5因素4水平16处理试验方案(正交条件详见表1,正交处理组合,详见表2)。取200mL

生豆浆,在设定温度的水浴锅内加热。之后立即加入设定量的GDL,按设定时间凝固后在4℃冰箱放置16h进行相关指标的测定。

表1 正交试验因素水平  
Table 1 Factors and levels of orthogonal design

水平 Level	加热温度 A	加热时间 B	凝固剂用量 C	凝固温度 D	凝固时间 E
	Heating Temperature(℃)	Heating Time (min)	GDL (%)	Coagulating Temperature(℃)	Coagulating Time (min)
1	85	5	0.1	60	30
2	90	10	0.2	70	60
3	95	20	0.3	80	90
4	100	30	0.4	90	120

1.3.2 大豆吸水率的测定:

称取30g大豆加入90mL的蒸馏水浸泡,经过一定时间后,滤去大部分水分,再用干布吸去大豆表面的自由水,然后称量浸泡后大豆的重量,计算大豆的吸水率。

1.3.3 豆腐持水性的测定:

在200mL离心管中加入经过热处理的豆浆,按照豆腐制作工艺制作豆腐。将冷却至室温的豆腐样品用台式离心机进行离心以测定其持水性。离心条件:3000r/min,30min。

持水性(%)=离心析出体积(mL)/豆浆原液体积(mL)×100%

1.3.4 豆腐凝胶物性的测定

取上述豆腐凝胶体,在Texture 2i物性测定仪上做TPA实验。圆柱状探头P/35(直径35mm),测试前速度2mm/s,测试速度1mm/s,测试后速度2mm/s。压缩距离为样品总高度的50%。每组实验重复3次,每次实验做3次重复。

1.3.5 数据处理:采用DPS数据处理系统。

2 结果与分析

2.1 浸泡温度和浸泡时间

大豆的浸泡过程是豆腐加工中的重要步骤,大豆浸泡的好坏直接影响到其有效成分的提取以及豆腐质量。所以加工豆腐时要使整粒大豆充分吸水,种皮和豆瓣变软,这些为大豆的磨碎加工创造了条件。

随着浸泡温度的升高,大豆籽粒的吸水速率增加,达到最大吸水率的时间缩短(图1A)。在30~50℃温度范围内,最大吸水率基本一致。而当浸泡温度大于50℃之后,最大吸水率逐渐下降。但当浸泡温度为20℃时,最大吸水率又有了大幅度提高(图1A),此时大豆磨浆的出浆率最大、出渣率最小(图1B)。因此本实验选择20℃浸泡17h为最适浸泡条件。

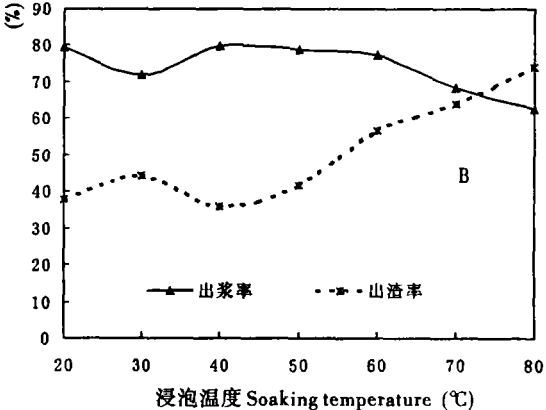
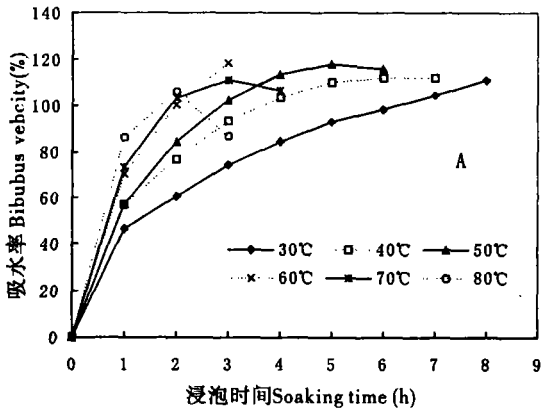


图1 浸泡条件对大豆加工品质的影响

Fig. 1 Effect of soaking condition on soybean processing quality

2.2 加热条件、凝固条件和凝固剂(GDL)浓度

GDL豆腐的形成机理为:生豆浆中的蛋白质处于天然状态,加热变性使其活性基团充分暴露出来,在GDL分解产生的H<sup>+</sup>的作用下,蛋白质分子相互

结合,形成三维网络结构。加热温度、加热时间、凝固剂用量、凝固温度和凝固时间是决定豆腐得率和品质的5个主要因素。

GDL豆腐因其硬度和弹性很小俗称“南豆腐”

或“嫩豆腐”。本实验制作的豆腐的硬度范围为 28.03~252.53g(表 2)。结合感官评定,认为硬度越大豆腐品质越好,极差分析表明,优选方案为 A<sub>4</sub>B<sub>4</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>E<sub>4</sub>。

豆腐的持水性直接影响到豆腐的商品特性。一般认为豆腐的持水性较大可以节约成本。因此从持水性方面考虑,优选方案为 A<sub>4</sub>B<sub>2</sub>C<sub>4</sub>D<sub>3</sub>E<sub>2</sub>。各处理组之间豆腐凝胶的弹性极差 R<sub>G</sub> 变化不大。

从豆腐凝胶硬度和持水性两个主要方面综合考虑,优选方案为 A<sub>4</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>4</sub>E<sub>4</sub>,即最佳操作条件为加热温度 100℃,加热时间为 10min,GDL 用量为 0.3%,凝固温度为 90℃,凝固时间为 120min。这是由于加热温度越高,大豆蛋白变性越充分,可发生相

互结合的活性基团越多,形成的网络越完善,因此豆腐凝胶的强度越大,持水性越好。但加热时间不能过长,以免大豆蛋白过度变性。凝固阶段选择高温长时凝固方式以保证蛋白质三维网络结构的充分形成和稳定。GDL 是一种高度水溶性化合物,在高温和碱性条件下可分解为葡萄糖酸。由于 GDL 在加热时逐渐分解产生 H<sup>+</sup>,使豆浆 pH 下降。因此 GDL 用量决定了其向大豆蛋白凝胶体系中提供的 H<sup>+</sup> 的多少,从而决定了蛋白质三维网络结构的性质。由极差 R<sub>F</sub> 和 R<sub>H</sub> 可以看出,对豆腐硬度和持水性影响最大因素为 GDL 用量,其次为凝固温度,而加热时间和凝固时间的影响较小。

表 2 正交试验极差分析表

Table 2 Range analysis of orthogonal experiment

实验号 Number	因素 Factors					硬度 F Hardness (g)	弹性 G Springness (g)	持水性 H water holding capacity (%)
	A	B	C	D	E			
1	1( 85)	1( 5)	1( 0. 1)	1( 60)	1( 30)	28. 03	0. 512	0
2	1	2( 10)	2( 0. 2)	2( 70)	2( 60)	46. 01	0. 930	69. 5
3	1	3( 20)	3( 0. 3)	3( 80)	3( 90)	100. 84	0. 896	71. 8
4	1	4( 30)	4( 0. 4)	4( 90)	4( 120)	170. 60	0. 920	70. 2
5	2( 90)	1	2	3	4	51. 27	0. 916	70. 5
6	2	2	1	4	3	62. 83	0. 934	47. 8
7	2	3	4	1	2	142. 50	0. 941	66. 7
8	2	4	3	2	1	103. 58	0. 916	65. 7
9	3( 95)	1	3	4	2	98. 86	0. 907	77. 5
10	3	2	4	3	1	116. 03	0. 887	75. 8
11	3	3	1	2	4	48. 76	0. 944	56. 0
12	3	4	2	1	3	121. 36	0. 942	53. 8
13	4( 100)	1	4	2	3	79. 38	0. 887	80. 7
14	4	2	3	1	4	252. 53	0. 919	69. 8
15	4	3	2	4	1	178. 77	0. 926	67. 8
16	4	4	1	3	2	83. 40	0. 943	57. 0
F <sub>1</sub>	86. 37	64. 385	55. 755	136. 105	106. 6025			
F <sub>2</sub>	90. 045	119. 35	99. 3525	69. 4325	92. 6925			
F <sub>3</sub>	96. 2525	117. 7175	138. 9525	87. 885	91. 1025			
F <sub>4</sub>	148. 52	119. 735	127. 1275	127. 765	130. 79			
R <sub>F</sub>	62. 15	55. 35	83. 1975	66. 6725	39. 6875			
优水平	A <sub>4</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	E <sub>4</sub>			
主次顺序			CDABE					
G <sub>1</sub>	0. 8145	0. 8055	0. 83325	0. 8285	0. 81025			
G <sub>2</sub>	0. 92675	0. 9175	0. 9285	0. 91925	0. 93025			
G <sub>3</sub>	0. 92	0. 92675	0. 9095	0. 9105	0. 91475			
G <sub>4</sub>	0. 91875	0. 93025	0. 90875	0. 92175	0. 92475			
R <sub>G</sub>	0. 1122	0. 1248	0. 0953	0. 0933	0. 12			
优水平	A <sub>2</sub>	B <sub>4</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	E <sub>2</sub>			
主次顺序			BEACD					
H <sub>1</sub>	52. 875	57. 175	40. 2	47. 575	52. 325			
H <sub>2</sub>	62. 675	65. 725	65. 4	67. 975	67. 675			
H <sub>3</sub>	65. 775	65. 575	71. 2	68. 775	63. 525			
H <sub>4</sub>	68. 825	61. 675	73. 35	65. 825	66. 625			
R <sub>H</sub>	15. 95	8. 55	33. 15	21. 2	15. 35			
优水平	A <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	E <sub>2</sub>			
主次顺序			CD AEB					
综合								
优水平	A <sub>4</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	E <sub>4</sub>			
综合								
主次顺序			CDAEB					

### 3 小结和讨论

通过实验得出: 浸泡温度 20℃, 浸泡时间 17h; 加热温度 100℃, 加热时间为 10min; GDL 用量为 0.3%; 凝固温度为 90℃, 凝固时间为 120min 是豆腐凝固的最佳条件, 其中凝固剂(GDL)的用量对豆腐凝胶硬度和持水性影响最大。该结果与李里特<sup>[7,8]</sup>、孙哲浩<sup>[9]</sup>等人的研究结果一致。

豆腐凝固是一个极其复杂的过程, 受多种因素的影响。本文只研究了豆腐凝固过程中几个比较重要的影响因素, 而浸泡水的水质、水温、浸泡方法、大豆粒度、品种、浸泡压力以及滤渣方式等因素同样影响着豆腐质量特性。而其中个别影响因素仅仅依靠手工操作很难保证试验的精确程度。例如: 挤压过滤是实验室豆腐制作过程中的一个关键, 徒手操作很难控制对所有样品都均匀一致, 最好使用机械加工方法。然而, 目前能进行小样品豆腐制作的机械尚未见报道。因此, 目前由于实验室小样品豆腐加工技术并未标准化和规范化, 导致许多实验结果之间无法进行比较。

豆制品生产技术最为发达的是日本, 其在豆制品加工机械方面也处于世界领先水平, 产品趋向大型化和自动化。目前在国际豆腐机械市场占较大份额的是日本、美国的大型豆腐机械, 惟独缺小型或实验型豆腐加工机械。而中国豆腐机械整体设计、机械化程度不高, 操作不方便。因此今后应该大力开展小型或实验型豆腐加工机械的研发工作, 这需要机械、电器、自动化、豆腐工艺等多方面人才共同开发, 设计豆腐加工机器、统一加工标准, 为我国这个传统食品中的瑰宝早日实现工业化奠定基础。

### 参 考 文 献

- 1 谭荫初. 大豆的价值与豆腐的食用[J]. 商品知识, 1997, 2: 30.
- 2 夏剑秋, 江连洲. 国内外大豆加工业生产现状与发展趋势[J]. 中国油脂, 2003, 28(9): 8-15.
- 3 张明晶, 魏益民. 加工条件对豆腐产量和品质的影响[J]. 大豆科学, 2003, 22(3): 227-229.
- 4 裴东红, 余建章. 不同大豆品种籽粒及其豆腐中蛋白质组分的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1995, 26(1): 22-26.
- 5 陈露, 李淑贞, 何萱. 黑龙江省大豆品种球蛋白含量比较及其豆腐产品的研究初报[J]. 大豆科学, 1989, 8(3): 295.
- 6 章晓波, 盖钧镒. 大豆地方品种豆腐产量与有关加工性状遗传变异的初步研究[J]. 大豆科学, 1994, 13(3): 207-215.
- 7 李里特, 曹薇. 大豆浸泡温度对豆腐加工的影响[J]. 食品科学, 1998, 19(6): 29-32.
- 8 李里特, 刘志胜. 加工条件对豆腐凝胶物性品质的影响[J]. 食品科学, 2000, 21(5): 26-29.
- 9 孙哲浩, 彭娟. 凝固条件对豆腐品质的影响[J]. 食品科学, 1999, 9: 37-39.
- 10 Guzman G J, Murphy P A. Tocopherols of soybean seeds and soybean curd (Tofu) [J]. Agriculture Food Chemical, 1986, 34: 791-795.
- 11 Hashizume K, Maeda M, Watanabe T. Relationships of heating and cooling condition to hardness of Tofu [J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1978, 25: 2637-2741.
- 12 Lim B T, Deman J M. Yield and quality of Tofu as coagulant [J]. Food Science, 1990, 55(4): 1088-1092.
- 13 Shen C F, Deman L, Buzzell R L. Yield and quality of Tofu as affected by soybean and soymilk characteristics glucono-delta-lactone coagulant [J]. Journal of Food Science, 1991, 56(1): 109-112.
- 14 Wang H L, Swain E W, Kwolek W F. Effect of soybean varieties on the yield and quality of Tofu [J]. Cereal Chemistry, 1983, 60(3): 245-248.

### EFFECTS OF PROCESSING CONDITIONS ON THE QUALITY OF TOFU - GEL

Zhang Mingjing<sup>1</sup> Wei Yimin<sup>1</sup> Zhang Bo<sup>1</sup> Kang Lining<sup>2</sup> Li Yong<sup>1</sup>

(1. Institute of Food Science and Technology, CAAS, Beijing 100094; 2. College of Food and Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100)

**Abstract** The soybean variety Zhongnong13 was used to study the effect of soaking, heating and coagulating conditions on tofu gel strength and water holding capacity. The results suggested that the optimal condition can be obtained as follows: 20℃ soaking 17h, 100℃ heating 10min, 0.3% GDL, 90℃ coagulating 120min. Among these conditions, GDL made the most important effect on tofu gel strength and water holding capacity.

**Key words** Soybean; Tofu; Processing; GDL