



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20140038

## 富含大豆异黄酮豆腐凝胶的研究

汪建明, 于水淼, 张 燕

(食品营养与安全教育部重点实验室, 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

**摘要:** 为了进一步改进豆腐加工工艺, 减少大豆异黄酮流失, 制备富含大豆异黄酮的豆腐, 以豆腐得率和大豆异黄酮保持率为分析指标, 考察食用胶添加量、LL-50A 接种量、蛋白酶制剂添加量对大豆异黄酮保持率的影响. 通过正交分析法得到最佳工艺条件为卡拉胶添加量 1.25‰、LL-50A 接种量 0.03%、蛋白酶制剂添加量 300 U/L. 在此条件下, 豆腐得率为 213.43 g/100 g, 大豆异黄酮保持率为 2.52 mg/g.

**关键词:** 大豆异黄酮; 豆腐凝胶; 正交实验

中图分类号: TS214.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2015)01-0041-05

## Research on Tofu Gel Rich in Soybean Isoflavone

WANG Jianming, YU Shuimiao, ZHANG Yan

(Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, Ministry of Education, College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

**Abstract:** To optimize tofu process and reduce the loss of soybean isoflavone, the feasibility of producing functional tofu was discussed. The research studied the effects of the accession amount of edible gum, inoculating concentration of LL-50 A and the accession amount of proteinase on soybean isoflavone. The tofu yield and soybean isoflavone yield were adopted as indexes. The optimized technological conditions were as follows. The accession amount of carrageenan was 1.25‰, inoculating concentration of LL-50A was 0.03% and the accession amount of proteinase preparation was 300 U/L. Under this conditions, the tofu yield was 213.43 g/100 g and the soybean isoflavone yield was 2.52 mg/g.

**Key words:** soybean isoflavone; tofu gel; orthogonal test

大豆异黄酮(soybean isoflavones, ISO)是大豆中一类多酚化合物的总称, 是一类具有广泛营养价值和健康保护作用的非固醇类物质. 自然界中大豆异黄酮的资源十分有限, 仅存在于豆科蝶形花亚科的极少数植物中, 大豆是唯一在营养学上有意义的食物资源<sup>[1]</sup>. 大豆异黄酮的生物学活性包括抗氧化活性、抑制细胞增殖和分化、抗血管生成、促进性激素结合球蛋白合成等. 异黄酮的生理作用主要是由它的生物学活性(尤其是雌激素活性和抗雌激素活性)所决定的<sup>[2-3]</sup>. 对大豆异黄酮的研究表明, 大豆食品对食用者的健康具有不可低估的作用. 因此, 近年美国等西方国家不但对传统大豆食品刮目相看, 而且已研制出大豆异黄酮保健产品. 充分了解大豆异黄酮的理化特性, 改进传统大豆食品的加工工艺, 避免大豆异黄

酮的流失, 进一步提高大豆食品的保健价值是我国食品科技工作者需要解决的研究课题<sup>[4]</sup>.

豆腐生产中各个工艺都导致了大豆异黄酮的流失. Wang 等<sup>[5]</sup>报道了在豆腐压榨过程中排除黄浆水是导致豆腐中大豆异黄酮流失的最主要的原因. Yin 等<sup>[6]</sup>通过研究腐乳生产过程中大豆异黄酮的变化得出豆腐中大豆异黄酮占大豆原料的 31.3%. 周熒<sup>[7]</sup>研究发现, 传统腐乳后酵过程中大豆异黄酮总量基本保持不变.

综上所述, 大豆磨浆过程豆渣的分离和豆腐压榨是导致豆腐凝胶中大豆异黄酮损失的主要原因. 因此, 本工作的目的在于研究功能性豆腐凝胶的可行性, 通过提高豆腐得率, 减少大豆异黄酮流失, 制备富含大豆异黄酮的豆腐, 以期生产功能性豆腐提供

收稿日期: 2014-03-22; 修回日期: 2014-06-16

作者简介: 汪建明(1972—), 女, 新疆库尔勒人, 教授, wangjianming@tust.edu.cn.

理论基础.

### 1 材料与方 法

#### 1.1 原料与仪器

大豆,天津市利民调料有限公司;直投式乳酸菌 LL-50A(乳酸乳球菌乳亚种/乳酸乳球菌乳脂亚种)、蛋白酶制剂 ACCELERZYME NP 50000(以下简称蛋白酶制剂,酶活力为 3 000 U/mL),由荷兰 DSM 公司上海代表处提供;卡拉胶,食品级,金凤凰卡拉胶有 限责任公司;变性淀粉,食品级,天津顶峰淀粉开 发有限公司;魔芋胶,食品级,天津文华国际贸易有 限责任公司.

自制豆腐压榨机;电热恒温培养箱,天津市中环 实验电炉有限公司;冷冻干燥机,德国 KENDRO 公司.

#### 1.2 实验方法

##### 1.2.1 豆腐凝胶的制作

豆腐凝胶的制作过程:豆浆→添加乳酸菌→添加 酶制剂→添加食用胶→划块、排水→压榨成形.

##### 1.2.2 豆腐得率的测定

将制作好的豆腐凝胶在室温下静置 5 min 后称 量,计算每 100 g 大豆所得到的鲜豆腐的质量<sup>[8]</sup>.

##### 1.2.3 豆腐中大豆异黄酮的提取与测定<sup>[9]</sup>

向乙醚浸过的豆腐中加入体积分数为 70%的乙 醇溶液 10 mL,置于超声波清洗器(功率为 200 W)中 15 min 后,再置于水浴锅中提取 2.5 h,在 3 000 r/min 离心 10 min 后取上清液在 259 nm 处测定吸光 度<sup>[10]</sup>.根据标准曲线的回归方程计算大豆异黄酮的 保持率.

##### 1.2.4 单因素及正交实验

单因素实验研究了食用胶添加量、LL-50A 接种 量和蛋白酶制剂添加量对大豆异黄酮保持率的影 响.按以上 3 个因素的不同设定条件测定豆腐得率 和 大 豆 异 黄 酮 的 保 持 率.

在单因素实验的基础上,根据正交实验的中心组 合实验设计原理进行正交实验设计.以豆腐得率、大 豆异黄酮保持率为考察指标确定最佳工艺条件.

### 2 结果与讨论

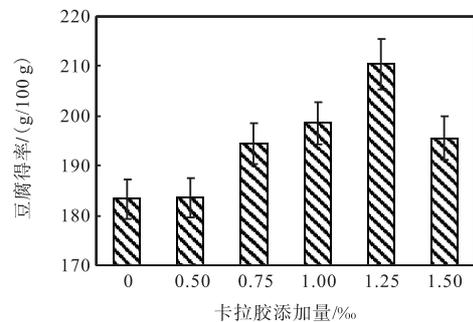
#### 2.1 食用胶对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响

食用胶在水溶液中会发生水化,形成胶体网

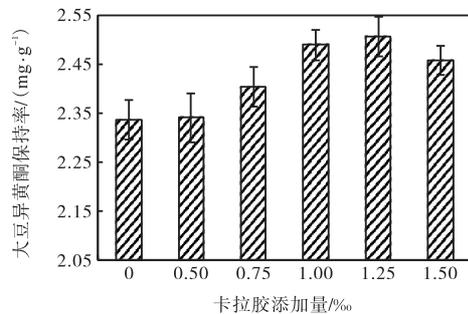
络<sup>[11]</sup>,影响大豆蛋白所形成的网络结构,也会对大豆 凝乳过程产生影响.本实验分别在豆浆中添加不同 的食用胶,LL-50A 接种量为豆浆体积的 0.02%,蛋白 酶制剂添加量为 300 U/L.

##### 2.1.1 卡拉胶

在不低于 80 ℃的豆浆中加入不同添加量的卡拉 胶,制作豆腐凝胶.卡拉胶添加量对豆腐得率和大豆 异黄酮保持率的影响如图 1 所示.由图 1 可知:豆浆 中加入卡拉胶后,豆腐得率和大豆异黄酮保持率增 大.当卡拉胶添加量为豆浆质量的 1.25‰时,豆腐得 率和大豆异黄酮保持率均达到最高,豆腐得率提高 14.76%,大豆异黄酮保持率提高 7.27%.



(a) 豆腐得率



(b) 大豆异黄酮保持率

图 1 不同添加量的卡拉胶对豆腐得率与大豆异黄酮保持率的影响

Fig. 1 Effects of different accession amount of carrageenan on tofu yield and soybean isoflavone yield

##### 2.1.2 变性淀粉

在不低于 80 ℃的豆浆中加入不同添加量的变性 淀粉,制作豆腐凝胶.变性淀粉添加量对豆腐得率 和 大 豆 异 黄 酮 保 持 率 的 影 响 如 图 2 所 示.由图 2 可知: 豆浆中加入变性淀粉后,豆腐得率和大豆异黄酮保 持率增大.当变性淀粉添加量为豆浆质量的 1.00‰ 时,豆腐得率和大豆异黄酮保持率均达到最高,豆腐 得率提高 9.83%,大豆异黄酮保持率提高 6.42%.

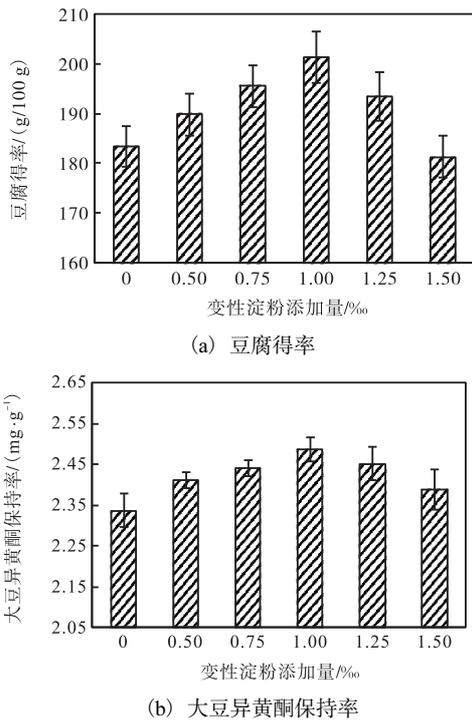


图 2 不同添加量的变性淀粉对豆腐得率与大豆异黄酮保持率的影响  
**Fig. 2 Effects of different accession amount of modified starch on tofu yield and soybean isoflavone yield**

2.1.3 魔芋胶

在不低于 80 °C 的豆浆中加入不同添加量的魔芋胶, 制作豆腐凝胶. 魔芋胶添加量对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响如图 3 所示. 由图 3 可知: 随着魔芋胶添加量的增加, 豆腐得率和大豆异黄酮保持率均逐渐增大. 当魔芋胶添加量为豆浆质量的 1.25% 时, 豆腐得率和大豆异黄酮保持率均达到最高, 豆腐得率提高 11.59%, 大豆异黄酮保持率提高 3.68%. 龚丽等<sup>[12]</sup>在石膏豆腐工艺优化中得出, 当豆浆中添加 0.05% 魔芋胶时大豆异黄酮保持率提高 11%, 高于本实验结果, 分析原因可能在于豆腐种类的不同. 而添加食用胶后, 大豆异黄酮保持率增加的原因可能是胶体的电荷分布影响了与大豆异黄酮的亲合力, 从而使大豆异黄酮含量增加.

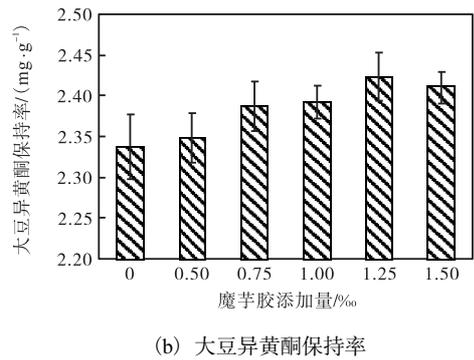
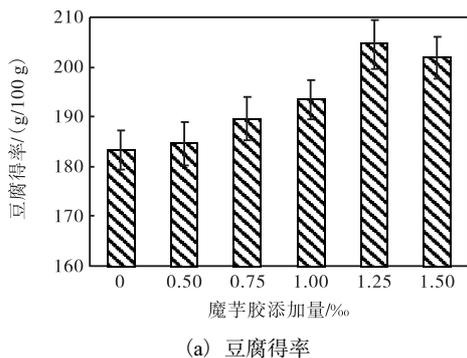


图 3 不同添加量的魔芋胶对豆腐得率与大豆异黄酮保持率的影响  
**Fig. 3 Effects of different accession amount of konjac gum on tofu yield and soybean isoflavone yield**

通过比较可知, 添加 1.25% 卡拉胶时, 豆腐得率和大豆异黄酮保持率最高. 因此在后续实验中选取卡拉胶, 且最佳添加量为 1.25%.

2.2 LL-50A 接种量对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响

在不低于 80 °C 的豆浆中加入 1.25% 的卡拉胶, 冷却, 蛋白酶制剂添加量为 300 U/L, LL-50A 接种量分别为 0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05%, 研究 LL-50A 接种量对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响, 结果如图 4 所示.

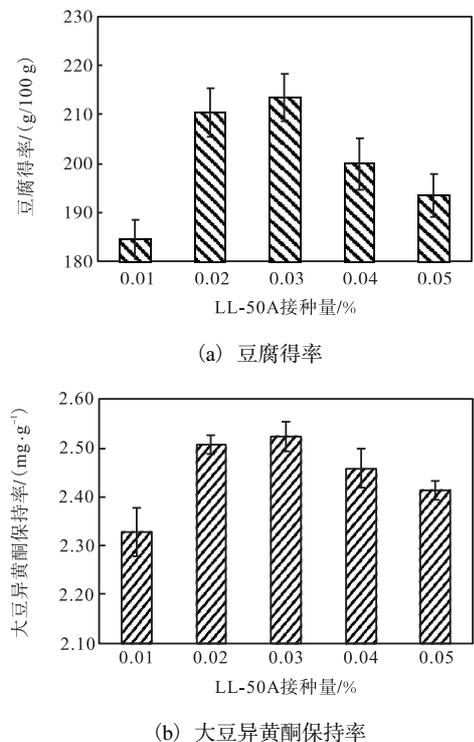
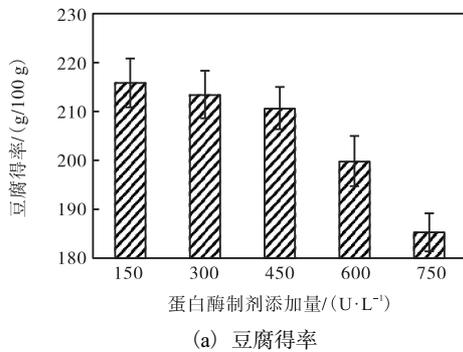


图 4 不同接种量的 LL-50A 对豆腐得率与大豆异黄酮保持率的影响  
**Fig. 4 Effects of different inoculating concentration of LL-50A on tofu yield and soybean isoflavone yield**

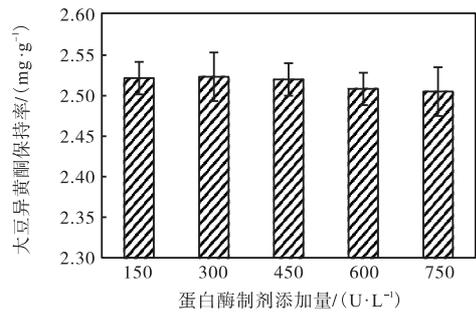
由图 4 可知: LL-50A 接种量为 0.03% 时, 豆腐得率最高. 接种量的增加有利于  $H^+$  的生成, 促进豆浆凝固, 因此接种量为 0.01% ~ 0.03% 时, 豆腐得率逐渐增大. 而当接种量大于 0.03% 时, 酸化过程加快, 产生较多的  $H^+$ , 凝乳速度太快, 来不及吸附过多的水分子, 从而使豆腐得率降低. LL-50A 接种量为 0.03% 时, 大豆异黄酮保持率也达到最高, 因此选择 0.03% 为 LL-50A 的最佳接种量.

### 2.3 蛋白酶制剂添加量对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响

在不低于 80 °C 的豆浆中加入 1.25‰ 的卡拉胶, 冷却, LL-50A 接种量为 0.03%, 蛋白酶制剂添加量分别为 150、300、450、600、750 U/L, 蛋白酶制剂添加量对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响如图 5 所示. 由图 5 可知: 随着蛋白酶制剂添加量的增加, 豆腐得率和大豆异黄酮保持率降低. 当蛋白酶制剂添加量为 750 U/L 时, 由于蛋白水解较强, 对大豆蛋白的空间结构破坏较严重, 豆浆凝乳较差, 豆腐得率最低. 同时考虑到当蛋白酶制剂添加量为 150 U/L 时, 在后续实验中, 毛坏水解过程蛋白降解不明显, 不能达到以蛋白酶制剂促进腐乳成熟的目的. 因此, 蛋白酶制剂添加量选择 300 ~ 600 U/L.



(a) 豆腐得率



(b) 大豆异黄酮保持率

图 5 不同添加量的蛋白酶制剂对豆腐得率与大豆异黄酮保持率的影响

Fig. 5 Effects of accession amount of proteinase on tofu yield and soybean isoflavone yield

### 2.4 正交实验结果分析

由单因素实验结果可以初步看出 3 个因素对豆腐得率和大豆异黄酮保持率的影响, 但在豆浆凝结过程中各因素之间存在一定的关联, 采用正交实验可以进一步考察卡拉胶添加量(A)、LL-50A 接种量(B)及蛋白酶制剂添加量(C)对豆腐得率及大豆异黄酮保持率的综合影响. 设计正交实验为  $L_9(3^3)$  正交实验, 分析指标为  $Y, Y = 0.4 Y_1 + 0.6 Y_2$ , 其中  $Y_1$  是豆腐得率,  $Y_2$  是大豆异黄酮保持率. 其实验方案及实验结果见表 1, 方差分析见表 2. 由表 1 可知, 3 个因素中对  $Y$  的影响主次顺序依次是: 卡拉胶添加量 > 蛋白酶制剂添加量 > LL-50A 接种量. 表 2 方差分析结果显示: 在  $\alpha = 0.05$  水平上, 卡拉胶添加量具有显著性, 蛋白酶制剂添加量和 LL-50A 接种量没有显著性. 最终得到最优条件: 卡拉胶添加量 1.25‰、LL-50A 接种量 0.03%、蛋白酶制剂添加量 300 U/L. 此组合存在于正交实验中, 此条件下豆腐得率为 213.43 g/100 g, 大豆异黄酮保持率为 2.52 mg/g.

表 1  $L_9(3^3)$  正交实验结果

Tab. 1 Results of  $L_9(3^3)$  orthogonal experiment

实验号	卡拉胶添加量/‰	LL-50A 接种量/%	蛋白酶制剂添加量/(U·L <sup>-1</sup> )	$Y_1$ /(g/100 g)	$Y_2$ /(mg·g <sup>-1</sup> )	$Y = 0.4 Y_1 + 0.6 Y_2$
1	1.25	0.03	300	213.43	2.52	86.88
2	1.25	0.02	450	204.17	2.49	83.16
3	1.25	0.04	600	198.67	2.49	80.96
4	1.50	0.03	450	191.26	2.48	77.99
5	1.50	0.02	600	187.89	2.46	76.63
6	1.50	0.04	300	191.59	2.48	78.12
7	1.00	0.03	600	194.84	2.48	79.42
8	1.00	0.02	300	198.47	2.49	80.88
9	1.00	0.04	450	193.39	2.48	78.84
$k_1$	83.670	81.437	81.963			
$k_2$	77.580	80.223	80.000			
$k_3$	79.720	79.310	79.007			
极差	6.090	2.127	2.956			

表2 正交实验方差分析结果

Tab. 2 Results of variance analysis of orthogonal experiment

因素	偏差平方和	自由度	F比	F临界值	显著性
A	57.270	2	51.641	19.000	*
B	6.829	2	6.158	19.000	
C	13.583	2	12.248	19.000	
误差	1.110	2			

### 3 结 论

本文通过单因素及正交实验得到含有较高大豆异黄酮的豆腐凝胶。最佳工艺参数为:卡拉胶添加量1.25%、LL-50A 接种量 0.03%、蛋白酶制剂添加量300 U/L。在此条件下,豆腐得率为213.43 g/100 g,大豆异黄酮保持率为2.52 mg/g。通过改进豆腐凝胶加工工艺,减少大豆异黄酮流失,制备富含大豆异黄酮的豆腐凝胶,为生产功能性豆腐提供了理论基础。

#### 参考文献:

- [1] 周荧,卢琪,吕思伊,等. 腐乳前发酵和盐制过程中大豆异黄酮组分的变化研究[J]. 食品科学, 2010, 31(1): 51-53.
- [2] 崔洪斌. 大豆生物活性物质的开发与应用[J]. 中国食物与营养, 2010(1): 15-17.
- [3] 刘志胜,李里特,辰巳英三. 大豆异黄酮及其生理功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2000, 21(1): 78-80.
- [4] 王建华. 大豆异黄酮研究进展[J]. 现代中药研究与实践, 2013, 27(1): 85-88.
- [5] Wang H J, Murphy P A. Mass balance study of isoflavones during soybean processing[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(8): 2377-2383.
- [6] Yin lijun, Li lite, Li zaigui, et al. Changes in isoflavone contents and composition of sufu (fermented tofu) during manufacturing[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 587-592.
- [7] 周荧. 腐乳发酵过程中大豆异黄酮组分的变化及理化性质的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [8] Cai T, Chang K C. Processing effect on soybean storage proteins and their relationship with tofu quality[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1999, 47(2): 720-727.
- [9] 汪建明,耿媛,胡峰,等. 从腐乳中提取大豆异黄酮及含量测定[J]. 食品与发酵科技, 2012, 48(5): 92-95.
- [10] 张玉梅,孙学斌,高旭年,等. 紫外分光光度法测定大豆总异黄酮的含量[J]. 中国食品卫生杂志, 2000, 12(4): 7-9.
- [11] 吴槟. 直接酸化法生产类夸克干酪技术的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [12] 龚丽,刘欣,陈永泉,等. 豆腐中大豆异黄酮保留的实验研究[J]. 食品科技, 2003(8): 92-94.

责任编辑:周建军