

# 内酯豆腐保鲜工艺条件的优化

杨红, 胡庆国\*, 徐红

(合肥学院 生物与环境工程系, 安徽 合肥, 230601)

**摘要:**为获得内酯豆腐保鲜的最佳工艺条件,简化保鲜效果的评价与预测,进行了杀菌温度、杀菌时间、凝固剂用量等单因素实验和 $L_9(3^4)$ 正交优化。结果表明:杀菌温度为87℃、杀菌时间为30 min、凝固剂(GDL)质量分数为0.4%,保鲜剂添加量为0.45 g/kg,自然pH和4℃冷藏,能显著提高豆腐的保藏期。并通过因子分析,把原始变量进行了降维,将保鲜效果的评价指标归为2个主指标的影响。即: $Z_1=-0.962X_1+0.883X_2+0.785X_3-0.302X_4+4.594E-02X_5$ , $Z_2=0.246X_1-0.395X_2+0.545X_3+0.934X_4-0.932X_5$ 。为解决内酯豆腐保鲜难、保质期短的现实问题提供了可行的技术方案,同时便于品质的评价与预测。

**关键词:**内酯豆腐;凝固剂 GDL;保鲜;品质

**中图分类号:**TS 214.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1673—1689(2013)02—0155—08

## Fresh-Keeping Technology's Optimization of Lactone Tofu

YANG Hong, HU Qing-guo\*, XU Hong

(Department of Biological & Environmental Engineering, Hefei University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** To obtain the optimal conditions of ever-fresh lactone tofu and simplify the evaluation and prediction of fresh preservation effect, single-factor experiments and orthogonal design  $L_9(3^4)$  were conducted involving sterilization temperature, sterilization time, consumption of coagulation. The results showed that: the preservation period could be improved significantly at the sterilization temperature of 87 °C with sterilization time of 30 min, with coagulant (GDL) concentration at 0.4% and preservative addition at 0.45 g/kg, natural pH and refrigerator temperature at 4 °C. Preservation index was determined by the two main indicators through factor analyses followed by reducing dimensionality of original amount. The equations we found in the process are  $Z_1=-0.962X_1+0.883X_2+0.785X_3-0.302X_4+4.594E-02X_5$ , and  $Z_2=0.246X_1-0.395X_2+0.545X_3+0.934X_4-0.932X_5$ . It is not only just providing a feasible technical way to keep lactone tofu fresh, but also convenient for quality evaluation and prediction.

**Keywords:** lactone Tofu, GDL coagulant, preserval, quality

收稿日期: 2012-02-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(NSFC30972282)。

作者简介: 杨红(1981—),男,安徽舒城人,理学硕士,讲师,主要从事农产品加工方面的研究。E-mail: yangh@hfu.edu.cn

\* 通信作者: 胡庆国(1960—),男,安徽六安人,工学博士,教授,主要从事农产品加工与贮藏方面的研究。E-mail: hqg1001@126.com

内酯豆腐是用葡萄糖酸- $\delta$ -内酯(GDL)为凝固剂生产的豆腐。改变了传统的用卤水点豆腐的制作方法,可减少蛋白质流失,并使豆腐的保水率提高,比常规方法多出豆腐近1倍;且豆腐质地细嫩、有光泽,适口性好,清洁卫生。

导致豆腐货架期短的根本原因是微生物的污染<sup>[1]</sup>,因为豆腐中含有丰富的蛋白质,故极易变质。出现气味酸臭、色泽异常、表面发粘等现象。外界水分和温度是决定豆腐变质的主要原因。目前国内对豆腐的防腐保鲜进行了大量研究,主要集中在物理保鲜和防腐剂的使用方面,研究的热点在于如何使用广谱高效、低毒、天然的方法来优化内酯豆腐的保鲜条件,延长豆腐的货架期。苯甲酸钠和山梨酸是目前国内食品业中用得最普遍的广谱性化学防腐剂。但是这种化学防腐剂具有一定的毒性,需要限量使用<sup>[2]</sup>。较低的温度杀菌很难达到延长保质期的效果,而强烈的热杀菌会使豆腐营养成分发生改变<sup>[3]</sup>。

作者从工艺的角度出发,通过单因素试验探索pH、GDL用量、杀菌时间、杀菌温度、贮藏温度、保鲜剂用量对内酯豆腐保鲜效果的影响,并进行正交优化,以期得到最佳的内酯豆腐保鲜处理工艺条件,使内酯豆腐的保鲜期由原来的2~3 d延长至7~8 d,并且不增大企业的生产成本。在最大程度上达到双赢局面,即消费者可享用安全、卫生、价廉的豆腐,同时企业利润最大化。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

大豆:市售优质大豆;葡萄糖酸- $\delta$ -内酯(GDL):优级纯,上海黄海食品添加剂厂;营养琼脂,牛肉膏,蛋白胨:生化试剂,天津市凯通化学试剂有限公司;山梨酸钾,丙酸钙:化学纯,上海润捷化学试剂有限公司;苯甲酸钠,碳酸氢钠:分析纯,无锡市展望化工试剂有限公司;硫酸铜、硫酸钾:分析纯,北京康普汇维科技有限公司。

### 1.2 设备与仪器

SC-80 轻便色彩色差仪:北京康光仪器有限公司;TA-XT2i 型质构仪:英国 STABLE MICRO SYSTEMS;VIC-412 型电子天平:北京赛多利斯仪器有限公司;LS-B50L 型高压杀菌锅:上海华县医

用核子仪器有限公司;SWC-CJ-2FD 型超净工作台:苏州宏瑞净化科技有限公司。

### 1.3 实验方法

**1.3.1 内酯豆腐工艺流程** 选料→浸泡→清洗→磨浆→煮浆→冷却→加凝固剂→成型→成品

#### 1.3.2 单因素实验对豆腐保鲜效果的影响

1)pH 的影响:准确称取质量分数 0.4%的 GDL 加入冷却至 30 ℃左右的熟浆中,80 ℃恒温水浴 20 min,将其 pH 分别调至 5.0、6.0 (自然 pH)、7.0 和 8.0,置于 25 ℃恒温箱中 48 h,观察实验现象并测定相关指标。

2)杀菌温度的影响:准确称取质量分数 0.4%的 GDL 加入冷却至 30 ℃左右的熟浆中,分别置于 70、80、90、100 ℃恒温水浴锅中恒温凝固 20 min,取出后置于 25 ℃恒温箱中 48 h,观察实验现象并测定相关指标。

3)杀菌时间的影响:准确称取质量分数 0.4%的 GDL 加入冷却至 30 ℃左右的熟浆中,在 80 ℃恒温水浴分别恒温 20、25、30、35 min 后,置于 25 ℃恒温箱中 48 h,观察实验现象并测定相关指标。

4)凝固剂 GDL 用量的影响:准确称取样液质量分数 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%的 GDL 分别加入冷却至 30 ℃左右的熟浆中,将其于 80 ℃的恒温水浴锅中恒温凝固 20 min 后取出,置于 25 ℃恒温箱中 48 h,观察实验现象并测定相关指标。

5)贮藏温度的影响:准确称取质量分数 0.4%的 GDL 加入冷却至 30 ℃左右的熟浆中,于 80 ℃的恒温水浴锅中恒温凝固 20 min 后取出,置于 5、10、20、25 ℃冰箱及恒温箱中,48 h 后观察实验现象并测定相关指标。

6)保鲜剂用量的影响:准确称取质量分数 0.4%的 GDL 加入冷却至 30 ℃左右的熟浆中,于 80 ℃恒温水浴锅中恒温凝固 20 min,在恒温前分别按 0.1、0.2、0.3、0.4 g/kg 的剂量加入复合保鲜剂(山梨酸钾、丙酸钙、碳酸氢钠按 1:1:1 配置),置于 25 ℃恒温箱中 48 h,观察实验现象并测定相关指标。添加量参见 GB 2760-2007 食品添加剂使用卫生标准<sup>[4]</sup>。

**1.3.3 正交试验设计** 在单因素研究结果的基础上,选取杀菌温度与时间、凝固剂与保鲜剂的用量为因素,进行  $L_9(3^4)$  优化实验,见表 1。

表1 正交试验因素水平编码表

Table 1 Factors and levels in orthogonal array design

水平	因素			
	A 杀菌温度/°C	B 杀菌时间/min	C GDL质量分数/%	D 保鲜剂用量/(g/kg)
1	87	25	0.35	0.35
2	90	30	0.40	0.40
3	93	35	0.45	0.45

1.4 保鲜效果评价

1.4.1 评价指标 细菌总数<sup>[5]</sup>、感观(取10名评价者评分平均值)、粗蛋白质量分数(凯氏定氮法)、硬度(质量法,以单位面积所受压力不塌时为准)、持

水性<sup>[6]</sup>(在同一块豆腐中,取适量的豆腐块,准确称质量  $w_1$ ,用纱布包裹,放在 20°的倾斜面上,上面放置 500 g 砝码,5 min 后精确称质量为  $w_2$ ,由公式计算持水性( $\%$ )= $1-(w_1-w_2)/w_1$ )、弹性(TPA 模式,P/36R 探头,测前速度 1 mm/s,测后速度 5 mm/s,测试速度 2 mm/s,压缩比为 30%,压缩厚度为 4 mm)、色差  $\Delta E_{ab}$ (色差仪测定)。

1.4.2 评分标准 室温 20~25 °C 放置 2 d 后进行评价或 4~7 °C 冷藏 7 d 后进行保鲜效果评价。各指标权重为:细菌总数 20%,粗蛋白质量分数 10%,持水性 10%,硬度 20%,感观(口感、色泽、气味、出水情况各 10%)40%,评分标准见表 2。

表2 感官评分标准

Table 2 Standard of sensory score

色泽	得分	口感	得分	气味	得分	出水情况	得分
呈内酯豆腐正常洁白色	10	细嫩可口,无酸味	10	呈内酯豆腐正常气味	10	不出水	10
略呈开始变质腐败的淡黄色	10~5	稍感老化,无酸味	10~5	略呈开始变质腐败的异常气味	10~5	轻度出水	10~5
明显呈变质腐败的淡黄色	5~0	老化,有酸味	5~0	明显呈变质腐败的臭味	5~0	严重出水	5~0

1.4.3 数据分析 采用 spss11.0 对实验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 pH 值对豆腐保鲜效果的影响 pH 对豆腐保鲜效果的影响见表 3。

表3 pH 值对豆腐保鲜效果的影响

Table 3 Effect of pH on Tofu preservation

pH 值	形态	口感	色泽
5.0	固体	酸	洁白
6.0	固体	略酸,可忽略	洁白
7.0	悬浊液	-	-
8.0	悬浊液	-	-

由表 3 可以看出,pH 对豆腐的保鲜有着显著影响,引起豆腐变质的微生物通常都是一些产酸型的细菌,从理论上来说,产品的 pH 越大越有利于豆腐的保鲜,但是内酯豆腐使用的凝固剂 GDL 在碱性条件下被中和,不具有凝固豆腐的能力。因此在实际生产中只需保持其原始 pH 6.0,即可满足要求。

2.1.2 杀菌温度对豆腐保鲜效果的影响 杀菌温

度的高低对豆腐保鲜效果的影响见表 4。

表4 杀菌温度对豆腐保鲜效果的影响

Table 4 Effect of sterilization temperature on Tofu preservation

温度/°C	色泽	口感	品质	硬度/g	细菌总数/( $\times 10^3$ cfu/g)
70	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	180	0.26
80	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	210	0.20
90	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	240	0.19
100	洁白	老化(有气孔)	-	-	-

由表 4 可知,杀菌温度对豆腐保鲜及其品质有着重要的影响,杀菌温度越高,杀菌率越高,其保鲜期也会越长。但是过高的温度会使凝固中的豆浆沸腾,造成凝固后的豆腐有气孔,口感老化;杀菌温度过低,杀菌效果不佳,且豆腐松散稀疏,易出水,保质期短,因此杀菌温度为 90 °C 时保鲜效果较好。

2.1.3 杀菌时间对豆腐保鲜效果的影响 杀菌时间的长短对豆腐保鲜效果的影响见表 5。

表 5 杀菌时间对豆腐保鲜效果的影响

Table 5 Effect of sterilization time on Tofu preservation

时间/min	色泽	口感	品质	硬度/g	细菌总数/ ( $\times 10^5$ cfu/g)
20	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	237	1.7
25	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	243	1.0
30	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	252	0.8
35	洁白	稍感老化	-	-	-

由表 5 可知,杀菌时间对豆腐保鲜有着重要的影响,杀菌时间越长,杀菌率越高,豆腐的硬度也越大,保鲜效果也越理想。但时间过长会使内酯豆腐失去细嫩可口的特性,因此杀菌时间以 30 min 为宜。

**2.1.4 凝固剂 GDL 质量分数对豆腐保鲜效果的影响** GDL 质量分数的不同对豆腐保鲜效果的影响见表 6。

表 6 GDL 质量分数对豆腐保鲜效果的影响

Table 6 Effect of GDL content on Tofu preservation

GDL 质量分数/%	形态	硬度/g	口感	品质	细菌总数/ ( $\times 10^5$ cfu/g)
0.1	悬浊液	-	-	-	-
0.2	半固体	-	-	-	-
0.3	固体	180	细嫩略偏酸	细嫩但韧性差、易裂	0.24
0.4	固体	210	细嫩略偏酸	有咬头,不易裂	0.19

由表 6 并结合感官评定,认为硬度越大豆腐品质越好、细菌越少、保存期越长,所以 GDL 的质量分数是豆腐保鲜的影响因素,并且 GDL 的质量分数为 0.4% 时,无论是保鲜效果还是口感方面都能有较好的效果。

**2.1.5 贮藏温度对豆腐保鲜效果的影响** 不同的贮存温度对豆腐保鲜效果的影响见表 7。由表 7 可以看出,低温有利于豆腐的保鲜,因为低温可抑制细菌的腐败活动。温度相对越高(不超过室温),细菌活动越活跃,保质期越短,温度越低但不低于其冰点,保质期越长。若低于冰点,产品结冰,会造成孔隙。所以家用冰箱即可满足内酯豆腐的贮藏要求。

表 7 贮藏温度对豆腐保鲜效果的影响

Table 7 Effect of storage temperature on Tofu preservation

温度/ $^{\circ}\text{C}$	色泽	口感	品质	硬度/g	细菌总数/ ( $\times 10^5$ cfu/g)
5	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头、无出水	230	$\leq 0.1$
10	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头、微出水	220	$\leq 0.1$
20	乳白	细嫩略偏酸、异味	严重出水	-	-
25	乳白	细嫩、酸、异味	严重出水	-	-

**2.1.6 保鲜剂的用量对豆腐保鲜效果的影响** 保鲜剂用量对豆腐保鲜效果的影响见表 8。

表 8 保鲜剂用量对豆腐保鲜效果的影响

Table 8 Effect of antistaling agent content on Tofu preservation

保鲜剂用量/(g/kg)	色泽	口感	品质	硬度/g	细菌总数/ ( $\times 10^5$ cfu/g)
0.1	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	220	0.60
0.2	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	224	0.35
0.3	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	237	0.27
0.4	洁白	细嫩略偏酸	均匀有咬头	237	$\leq 0.1$

显然保鲜剂的用量会影响保鲜效果,在添加量的允许范围内,保鲜剂的添加量越大,保鲜时间越长。但是这种化学保鲜剂对人体是有一定伤害的,在现代人的饮食理念中,提倡化学添加剂越少越好,最好可以不添加或者用生物保鲜剂替代化学保鲜剂。考虑到微生物指标,在本实验中采用 0.4 g/kg 的复合保鲜剂。

综上,内酯豆腐较好的保鲜条件是杀菌(凝固)温度 90  $^{\circ}\text{C}$ 、杀菌(凝固)时间 30 min,凝固剂 GDL 质量分数为 0.4%,保持自然 pH 值,添加 0.4 g/kg 的由山梨酸钾、丙酸钙、碳酸氢钠按 1:1:1 配制的复合保鲜剂,并于 5  $^{\circ}\text{C}$  下冷藏。

**2.2 正交实验结果与分析**

试验结果及分析见表 9。

表 9 正交试验方案与结果分析表

Table 9 Design and result analysis of orthogonal test

试验号	因素						结果			
	A	B	C	D	F 感官	G 硬度/g	H 持水性/%	I 粗蛋白质量/g	J 细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	总评
1	1	1	1	1	33	210	71.43	0.481 1	2.1	6.5
2	1	2	2	2	38	250	54.29	0.588	1.3	7.8
3	1	3	3	3	20	242	61.43	0.302 9	1.5	4.2
4	2	1	2	3	35	235	77.14	0.498 9	1.4	7.4
5	2	2	3	1	34	230	68.57	0.398 8	1.2	6.1
6	2	3	1	2	18	228	68.57	0.392	0.8	2.7
7	3	1	3	2	31	232	70	0.203 6	1.1	5.2
8	3	2	1	3	29	240	75.71	0.668 2	0.9	6.3
9	3	3	2	1	15	245	64.29	0.579 1	0.6	3.0
$\bar{k}_1$	6.17	6.37	5.17	5.2						
$\bar{k}_2$	5.40	6.73	6.07	5.23						
$\bar{k}_3$	4.83	3.30	5.17	5.97						
R	1.34	3.43	0.9	0.77						
优水平	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>						
主次顺序	B>A>C>D									
最优组合	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>3</sub>									

各因素对结果的影响大小依次为  $B>A>C>D$ , 即杀菌时间>杀菌温度>GDL 用量>保鲜剂用量。其最优组合为  $A_1B_2C_2D_3$ , 即杀菌温度为 87 °C、杀菌时间为 30 min、凝固剂(GDL)质量分数为 0.4%、保鲜剂的添加量为 0.45 g/kg。

### 2.3 最优方案验证实验结果与分析

由表 10 可知, 在该条件下处理的内酯豆腐贮存在 4 °C 家用冰箱中, 保存期可由原来的 2 d 延长至 7 d, 其品质可以接受。

表 10 验证优化组与对照组的综合比较

Table 10 Comparison of products of control group and optimization group

组别	指标							
	细菌总数/ ( $\times 10^5$ cfu/g)	色差 $\Delta E_{ab}$	口感	气味	出水情况	硬度/g	弹性	持水性/%
1	0.7	0.545	正常	正常	基本不出水	245	0.855	77.05
2	0.8	0.501	正常	正常	极其轻微出水	248	0.861	77.28
3	1.3	0.682	正常	正常	极其轻微出水	250	0.857	77.14
4	2.0	3.269	酸	腐臭味	严重出水	28	0.708	36.43
5	2.2	3.402	酸	腐臭味	严重出水	33	0.685	42.47

注:豆腐微生物指标应符合的标准为细菌总数  $\leq 10^5$  cfu/g; 色差是以市售内酯豆腐为对照。

1 组:最佳保鲜处理后于 25 °C 放置 2 d。

2 组:最佳保鲜处理后冷藏于冰箱(4 °C)放置 7 d。

3 组:保鲜处理工艺为杀菌温度为 87 °C, 杀菌时间为 30 min, 凝固剂质量分数为 0.4%, 保鲜剂添加量为 0.4 g/kg 于冰箱(4 °C)放置 7 d 的样品。

4 组:CK<sub>1</sub>, 保鲜处理工艺为杀菌温度为 80 °C, 杀菌时间为 20 min, 凝固剂质量分数为 0.3%, 不添加保鲜剂于室温(25 °C)放置 2 d 的样品。

5 组:CK<sub>2</sub>, 保鲜处理工艺为杀菌温度为 80 °C, 杀菌时间为 20 min, 凝固剂质量分数为 0.3%, 不添加保鲜剂于冰箱(4 °C)放置 7 d 的样品。

## 2.4 最优处理下的豆腐品质的因子分析

2.4.1 构建相关矩阵 各指标的描述性统计见表 11,各指标含量相关见表 12。

表 11 描述性统计

Table 11 Descriptive statistics

指标	平均数	标准差	分析样本数	缺省样本数
感官	38.200	1.64317	5	0
硬度/g	249.200	1.48324	5	0
持水性/%	77.1960	0.08649	5	0
粗蛋白质/g	0.584667	0.0193378	5	0
细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	1.1000	0.31623	5	0

表 12 各指标相关性矩阵

Table 12 Correlation matrix of each index

指标	感官	硬度/g	持水性/%	粗蛋白质/g	细菌总数/( $10^5$ cfu/g)
感官	1.000	-0.944	0.500	-0.615	-0.289
硬度/g	-0.944	1.000	-0.655	0.406	0.320
持水性/%	0.500	-0.655	1.000	0.279	-0.841
粗蛋白质/g	-0.615	0.406	0.279	1.000	-0.381
细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	-0.289	0.320	-0.841	-0.381	1.000

从表 12 可看出,多数指标间相关性较高,其中除细菌总数的相关性系数为 0.289 外,其它的相关系数均大于 0.3,因而认为可以作为因子分析<sup>[7]</sup>。

2.4.2 因子分析适合性检验 KMO 和 Bartlett 检验见表 13。

表 13 KMO 和 Bartlett 检验

Table 13 Test of KMO and Bartlett

检验	数值	
KMO 适合性检验	0.630	
球度(形)检验	卡方检验	49.072
	自由度	21
	P 值	0.01

KMO 值略大于 0.6, 可认为其不太适合做因子分析;但是 Bartlett 检验的相伴概率为 0.01, 小于显著性水平 0.05, 认为适合作因子分析。

2.4.3 提取公共因子 表 14 说明提取出的公因子对原有变量的解释度。各指标的解释度都比较大,最高的是感官,其解释度可达 98.6%,而最低的细菌总数也达到 87.0%。

表 14 公因子提取原始表

Table 14 Original list of common factor extraction

指标	初始	提取率
感官	1.000	0.986
硬度/g	1.000	0.935
持水性/%	1.000	0.964
粗蛋白质/g	1.000	0.913
细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	1.000	0.870

2.4.4 解释总方差构成和特征值碎石图 表 15 说明前两个因子可以解释原有 5 个变量的 93.372%, 因此可提取 2 个主成分来。从图 1 也可看出前 2 个因子对方差的贡献较大(Eigen 特征值>1), 碎石图呈下降趋势。

表 15 总方差解释表

Table 15 Explain of the total variance

因子	原始 Eigen 特征值			因子提取载荷平方和			因子旋转载荷平方和		
	总体	方差/%	累积/%	总体	方差/%	累积/%	总体	方差/%	累积/%
1	2.824	56.475	56.475	2.824	56.475	56.475	2.415	48.299	48.299
2	1.845	36.897	93.372	1.845	36.897	93.372	2.254	45.073	93.372
3	0.274	5.486	98.858						
4	5.709E-02	1.142	100.00						
5	1.849E-17	3.697E-16	100.00						

注:提取方法为主成分分析法。

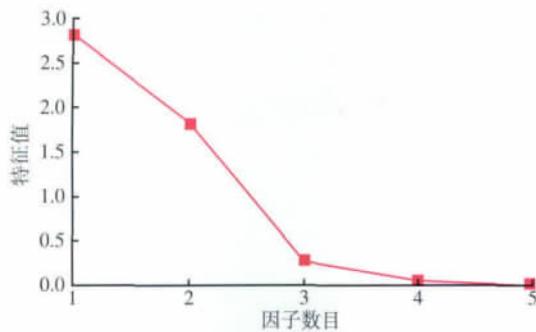


图 1 因子特征值碎石图

Fig. 1 Gravel diagram of factor characteristic value

2.4.5 构建因子矩阵 构建因子矩阵见表 16。

表 16 因子矩阵

Table 16 Factor matrix

指标	因子	
	1	2
感官	0.929	0.269
硬度/g	-0.893	-0.434
持水性/%	-0.834	0.518
粗蛋白质质量/g	0.248	0.923
细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	0.637	-0.681

注:1. 提取方法为主成分分析法。2. 两成分提取。

定义感官、硬度、持水性、粗蛋白质质量和细菌总数为  $X_1, X_2, X_3, X_4$  和  $X_5$ 。从表 17 可以得出 2 个主成分  $Z_1, Z_2$  如下:

$$Z_1 = -0.962X_1 + 0.883X_2 + 0.785X_3 - 0.302X_4 + 4.594E - 02X_5;$$

$$Z_2 = 0.246X_1 - 0.395X_2 + 0.545X_3 + 0.934X_4 - 0.932X_5$$

表 17 旋转因子矩阵

Table 17 Rotating factor matrix

指标	因子	
	1	2
感官	-0.962	0.246
硬度/g	0.883	-0.395
持水性/%	0.785	0.545
粗蛋白质质量/g	-0.302	0.934
细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	4.594E-02	-0.932

注:1. 提取:主成分分析法。2. 旋转方法:Kaiser 标准化的正交旋转。3. 旋转分析收敛的迭代次数为 3。

表 18 为因子转换矩阵, 其中提取方法为主成分分析, 旋转方法为方差极大法。

表 18 因子转换矩阵

Table 18 Matrix of factor transformation

因子	1	2
1	0.763	-0.646
2	0.646	0.763

2.4.6 因子得分函数获得与协方差分析 根据表 19 得出因子得分函数 ( $F$ ) 如下:

$$F_1 = -0.393X_1 + 0.345X_2 - 0.044X_3 + 0.390X_4 - 0.066X_5$$

$$F_2 = 0.025X_1 - 0.101X_2 + 0.405X_3 + 0.325X_4 - 0.428X_5$$

公式中的数字为根据回归算法计算出的因子得分函数的系数。

表 19 因子得分矩阵

Table 19 Matrix of factor score

指标	因子	
	1	2
感官	-0.393	0.025
硬度/g	0.345	-0.101
持水性/%	-0.044	0.405
粗蛋白质质量/g	0.390	0.325
细菌总数/( $\times 10^5$ cfu/g)	-0.066	-0.428

注:1. 提取方法:主成分分析法。2. 旋转方法:Kaiser 标准化的正交旋转。

协方差矩阵说明提取的第 1、2 两个因子间是不相关的(即为正交模型)。符合提取出因子间不能有相关性的要求,见表 20。

表 20 因子得分协方差矩阵

Table 20 Covariance matrix of factor score

因子	1	2
1	1.000	0.000
2	0.000	1.000

1. 提取方法:主成分分析法。2. 旋转方法:Kaiser 标准化的正交旋转。

### 3 结论

单因素试验确定杀菌温度、杀菌时间、凝固剂用量、保鲜剂用量对内酯豆腐保鲜效果有着重要的影响。通过正交优化, 获得最佳的工艺参数为  $A_1B_2C_2D_3$ , 即杀菌温度为 87 °C、杀菌时间为 30 min、凝固剂(GDL)质量分数为 0.4%、复合保鲜剂的添加量为 0.45 g/kg, 在该条件下处理的内酯豆腐于 4 °C

冷藏,保存期可由原来的 2 d 延长至 7 d。并通过因子分析,对原始变量进行降维,把保鲜效果评价指标归为 2 个主指标的影响。即: $Z_1 = -0.962X_1 + 0.883X_2 + 0.785X_3 - 0.302X_4 + 4.594E - 02X_5$ ;  $Z_2 =$

$0.246X_1 - 0.395X_2 + 0.545X_3 + 0.934X_4 - 0.932X_5$ , 通过该数学模型,可以简化豆腐保鲜的评价指标,可为工业生产提供理论依据和工艺参考,以便抓住重点、提高效率、改善产品品质。

## 参考文献:

- [1] 高慧文,冯华刚,董明盛. 豆腐生产质量控制与保鲜研究[J]. 江西农业学报,2008,20(5):94-97.  
GAO Hui-wen, FENG Hua-gang, DONG Ming-sheng. Study on quality control and preservation of Tofu [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2008, 20 (5): 94-97. (in Chinese)
- [2] 管立军,李里特. 延长豆腐保质期的杀菌抑菌措施[J]. 农产品加工,2008,5:23-25.  
GUAN Li-jun, LI Li-te. The measures of sterilizing and bacteriostatic for extending the shelf-life of Tofu [J]. *The Process of Agricultural Products*, 2008, 5: 23-25. (in Chinese)
- [3] 张懋,王丽萍. 调理食品杀菌技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2012,31(8):785-792.  
ZHANG Min, WANG Li-ping. Research progress on prepared food sterilization technology [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2012, 31(8): 785-792. (in Chinese)
- [4] GB 2760-2007, 食品添加剂使用卫生标准[S].
- [5] GB 4789.2-2010, 食品微生物学检验 菌落总数测定[S].
- [6] 赵希荣,王世亮,邓成扣. 壳聚糖在加压内酯豆腐加工中的应用研究[J]. 食品工业科技,2012,33(4):213-216,222.  
ZHAO Xi-rong, WANG Shi-liang, DENG Cheng-kou. Applied research of chitosan in processing of pressure lactone bean curd [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(4): 213-216, 222. (in Chinese)
- [7] 杨红,汪志君. 茶汤冷后浑中生化成分含量的因子分析[J]. 食品研究与开发,2006,8:72-75.  
YANG Hong, WANG Zhi-jun. Factor analysis of biochemistry ingredients content of tea cream of tea infuse [J]. *Food Research and Development*, 2006, 8: 72-75. (in Chinese)

## 会议信息

会议名称(中文): 第六届国际蛋白质和多肽大会

所属学科: 生物技术与生物工程

开始日期: 2013-03-21 结束日期: 2013-03-23

所在城市: 江苏省 苏州市 具体地点: 苏州国际博览中心

主办单位: 中国医药生物技术协会 国家外国专家局 国外人才信息研究中心

联系人: 杨女士 联系电话: 0086-411-84575669

传真: 0086-411-84799629 E-MAIL: yang@bitconferences.cn

会议网站: <http://www.bitlifesciences.com/pepcon2013/cn/default.asp>

会议名称(中文): 第五届全国农业环境科学学术研讨会

会议名称(英文): **agricultural environment science**

所属学科: 生态学,农林植物保护学,环境科学,环境工程,环境生态

开始日期: 2013-04-19 结束日期: 2013-04-22

所在城市: 江苏省 南京市 主办单位: 农业部环境保护科研监测所

协办单位: 中国农业生态环境保护协会 承办单位: 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所

议题: 农业环境与生态安全

摘要截稿日期: 2013-03-10 全文截稿日期: 2013-03-10

联系人: 李无双 联系电话: 13702119778 会议网站: <http://www.aes.org.cn/show/42/?itemid=180>