

榛仁内酯豆腐的制作工艺

万宇榕¹, 郭阳¹, 麦心念¹, 刘雪妍¹, 邱宇欣¹, 包怡红^{1,2}

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

(2. 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 本研究以榛仁和黄豆为原料、葡萄糖酸- δ -内酯(GDL)为凝固剂, 研究榛仁内酯豆腐的制作工艺。以豆腐的硬度、弹性、内聚性和回复性为指标, 通过单因素实验对黄豆与榛仁比例、葡萄糖酸内酯用量、点浆温度及点浆 pH 条件这四个因素进行筛选, 结合正交试验、感官评价和质构分析等方法确定最佳制作工艺, 并且对榛仁内酯豆腐与其他常见市售豆腐进行了质构等指标的对比。研究实验结果表明, 当黄豆与榛仁比例 10:3、GDL 添加量 1.05 g (GDL/100 g 原料)、点浆温度 85 °C、点浆 pH 6.5 时, 榛仁内酯豆腐的硬度为 $1\pm 0.21/100$ g、弹性为 (6.3 ± 0.16) mm、内聚性为 0.54 ± 0.01 、回复性为 1.12 ± 0.21 ; 市售豆腐的硬度为 $1.4\pm 0.12/100$ g 与榛仁内酯豆腐硬度差异不显著, 并且其感官评分值最高。通过优化榛仁内酯豆腐的各项质构条件不仅提高榛仁内酯豆腐的凝固效果还提高了感官评价得分, 得到的豆腐品质结构最好。

关键词: 榛仁; 黄豆; 葡萄糖酸- δ -内酯; 内酯豆腐; 感官评定

文章编号: 1673-9078(2020)02-210-217

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.030

Preparation of Lactone Hazelnut Curd

WAN Yu-rong¹, GUO Yang¹, MAI Xin-nian¹, LIU Xue-yan¹, QIU Yu-xin¹, BAO Yi-hong^{1,2}

(1. School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

(2. Key Laboratory of Forest Food Resources Utilization of Heilongjiang Province Harbin 150040, China)

Abstract: In this study, In order to improve the solidification and sensory evaluation effect of hazelnut lactone tofu, the processing of lactone hazelnut tofu was investigated by using hazelnut and soybean as the raw materials and glucono- δ -lactone (GDL) as the coagulant. Based on the hardness, elasticity, cohesiveness and resilience as the indices, four factors i.e. the yellow bean-hazelnut ratio, dose of gluconolactone, coagulation temperature and pH were screened by single factor experiments. The optimized processing conditions were established through combining orthogonal tests, sensory evaluation and quality-structure analysis. Comparisons were also made on the quality and structural indices of lactone hazelnut tofu and other tofu products commonly found in the market. The results showed that when the soybean to hazelnut ratio was 10:3, GDL dose for addition was 1.3% (GDL/soybean), coagulation temperature was 85 °C, and coagulation pH was 6.5, the hardness of lactone hazelnut tofu reached 1 ± 0.21 , with its elasticity as (6.3 ± 0.16) mm, cohesiveness as 0.54 ± 0.01 , and resilience as 1.12 ± 0.21 . The hardness of the commercial tofu was $1.4\pm 0.12/100$ g, which was similar to that of the lactone curd (whose sensory score was the highest). The optimization of the quality and textural conditions not only improved the solidification of lactone hazelnut curd tofu, but also increased the sensory score of this tofu (with the best quality and texture).

Key words: hazelnut; soybean; glucose- δ -lactone; lactone tofu; sensory evaluation

榛子 (*Corylus avellane* L) 起源于地中海地区, 是许多国家的重要商业作物, 我国以平欧榛子的研究最为广泛, 其广泛分布于东北地区^[1]。由于其独特的风味和丰富的营养品质, 榛子已成为全世界最受欢迎的坚果之一^[2]。榛仁中含有丰富的油脂、蛋白质、维

收稿日期: 2019-08-05

基金项目: 大学生创新训练项目 (201810225119); 黑龙江省自然科学基金重点项目 (ZD2019G002)

作者简介: 万宇榕 (1998-), 男, 本科在读, 研究方向: 功能性食品

通讯作者: 包怡红 (1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 林下资源精深加工及功能性食品

生素、矿物质、 β -谷甾醇及人体所必需的八种氨基酸等成分^[3], 在食疗和医疗方面都具有极大的价值。榛仁中不饱和脂肪酸, 能够降低人体胆固醇, 还可以软化血管预防疾病; 磷、钾、铁等矿物质元素能够促进生长发育, 有益身体健康; 抗癌化学成分紫杉酚, 可以治疗卵巢癌和乳腺癌以及其它一些癌症; β -谷甾醇对人体具有重要的生理活性作用^[4]。美国食品和药物管理局 (FDA) 和欧洲食品安全局 (EFSA) 的健康声明中建议每日食用坚果 42.5 g, 包括榛仁, 以降低冠心病风险^[5,6]。营养价值极高的榛仁在过去开发资源较少, 并没有得到良好地利用, 而今榛仁相关产品已成

为开发热点,国内外均十分重视并大力推进。

豆腐作为我国主要的黄豆传统制品,深受广大消费者的喜爱。豆腐中蛋白质含量很高,但其蛋白质中的蛋氨酸(人体必需的氨基酸之一)含量偏低,从而使其营养价值大打折扣^[7]。如果在豆腐中引入其它蛋白质,就会大大提升其营养价值并改善其风味,对机体十分有利。而目前市场上豆腐品种较单一,生产花色豆腐已成为新型豆制品开发中亟待解决的问题^[8]。

由于榛仁具有优良的食疗和医疗价值,并且有特殊的清香味,将其应用到我国传统食品的制作中,使豆腐的种类得到了丰富。榛仁的添加不但改善了传统豆腐的风味,增加了单纯黄豆豆腐的营养成分和功能特性,而且其富含的不饱和脂肪酸及蛋白质,在一定程度上拓宽了榛仁的应用途径。此外,榛仁的油脂含量远高于黄豆,榛仁的加入可以降低豆腐的硬度,优化其口感。综合以上的营养需求、榛仁的开发需求和豆腐产品的创新要求,本实验开发出一种以榛仁和黄豆为主要原料的内酯豆腐,使其在具有传统豆腐的外形、质地和组织状态的同时,具有榛仁的特殊风味。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

市售东北黄豆;葡萄糖酸- δ -内酯(GDL);磷酸氢二钠-磷酸二氢钠缓冲液 0.2 mol/L;市售去皮榛仁。

1.2 仪器与设备

食品用纱布 100 目;13 cm×10 cm×9 cm 压制模具,食品级 PP 材质;HK17H21 型豆浆机,广东美的生活电器制造有限公司;HT-N(S)型电子天平,苏州盛世衡器有限公司;WK2102 型电磁炉,广东美的生活电器制造有限公司;分析天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;CT-3 型质构分析仪,美国 Brookfield 公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

黄豆→挑选→浸泡(冷水,8~10 h)→加入去皮榛仁→磨浆(水量为干豆质量的 6~8 倍,水温 80 °C,两次)→过滤→煮浆(煮沸 2 min)→点浆(加 GDL)→保温(8 min)→静置 20 min→倒入模具→压榨成型(豆腐模型中压制 4 h)→冷藏(4 °C、15 h)→成品→测定

1.3.2 榛仁内酯豆腐制作流程

1.3.2.1 原料的准备

黄豆的准备:挑选完整、饱满、颜色淡黄、无霉变的黄豆,清洗,加入两倍质量冷水(20~25 °C)浸泡 8~10 h(判断浸泡达到要求的标准:豆瓣断面浸透无硬心)。浸泡时需在水中添加一定量的 Na₂CO₃,以提高蛋白质的溶解度,进而提高其出浆率^[9,10]。

去皮榛仁的准备:选择颗粒大小合适、果实饱满、无损伤和虫害的榛仁并去皮。在混合打浆时,考虑榛仁存在中空部分,存在在水中漂浮现象,可能导致打浆不充分,故可按需对榛仁进行适度破碎。

1.3.2.2 榛仁内酯豆腐的制作

打浆:将 100 g(精确至 0.01 g)市售黄豆浸泡好后滤水称重,与一定质量比处理过的榛仁混合加入豆浆机中,用量筒量取 1200 mL 纯净水注入豆浆机进行打浆,打浆 2 次后得熟浆。

煮浆:将混浆用 100 目纱布过滤除去浆渣,而后倒入锅中加热煮沸,保持沸腾状态 2 min,不断搅拌。

点浆:沸后混浆用温度计进行实时温度监测,待冷却至一定温度时,调至一定 pH,将预先溶解好的 GDL 凝固剂冲入混浆中,迅速搅拌均匀后保温静置 30 min^[11]。

压制成型:将静置 30 min 凝固后得到的样品(絮状豆腐花)倒入模具,在恒定压力、恒定受力面积的条件下压制 4 h,成型后样品移入冷藏室,在 4 °C 下保存 15 h,而后将豆腐样品切成 3 cm×3 cm×1 cm 立方体进行质构测定。

1.3.3 质构测定

测定前将豆腐样品切为 3 cm×3 cm×1 cm 的立方体,将样品统一放置于 4 °C 的冰箱中过夜,测定前取出平衡至室温后开始测定,以防温度对产品质地产生影响。每组样品平行测定 3 次。测定时,选取圆柱型探头 P/25 在室温下进行 TPA(质构剖面分析)实验。

质构仪参数设置:测量前探头下降速率为 5.0 mm/s,测试速率为 1.0 mm/s,测试后探头回程速率为 5.0 mm/s,触发力为 0.5 N,形变量为 50%^[12]。

1.3.4 感官评价

感官评定人员是由 10 名且经过感官评价训练且具有食品专业知识的人员组成。评定过程在光照条件良好的独立房间进行以排除互相干扰。在正式测试之前将冷藏后的样品放至室温,每个样品大小一致,置于用数字编码的塑料容器中。在品尝过程中对样品进行随机编号,按照以下标准分别进行气味(0~15)、色泽(0~20)、口感(0~30)、组织状态(0~35)评定,最后的分值取平均值^[13,14]。感官评定标准见表 1。

表1 榛仁内酯豆腐感官评价参考标准

Table 1 Reference criteria for sensory evaluation of Hazelnut Lactone curd Tofu

指标	得分	感官评价要求
气味 (15分)	11~15	有榛子香气, 香气自然, 无豆腥味
	6~10	无榛子香气或气味淡, 有轻微豆腥味
	0~5	无榛子香味, 豆腥味浓重
色泽 (20分)	16~20	光亮均一, 呈现亮白色
	8~15	色泽均一, 呈现白色
	0~7	色泽暗淡
口感 (30分)	21~30	口感细腻, 有榛仁香味, 无酸涩味
	11~20	口感较细腻, 榛仁味淡
	0~10	无韧性, 有酸涩味
组织状态 (35分)	26~35	质地均一, 空隙小, 坚实有弹性
	14~25	质地较均匀, 坚实, 弹性一般
	0~13	空隙大, 过硬或过软, 易变形

1.3.5 质构综合得分测定

试验以豆腐的硬度、弹性、内聚性、回复性为指标, 对所得的指标数据用公式 1 进行归一化处理, 消除各指标的量纲, 使各指标处于同一数量级上。

$$Y'_{ij} = \frac{Y_{ij} - Y_{j\max}}{Y_{j\max} - Y_{j\min}} \times 100 \quad (1)$$

式中: Y'_{ij} 为第 i 行第 j 列试验点的观测值; $Y_{j\min}$ 为 j 列试验点观测值的最小值; $Y_{j\max}$ 为 j 列中试验点观测值的最大值。

对 4 个试验指标进行加权分配, 豆腐的质构首先应具有高的硬度、弹性和回复性, 其次考虑其内聚性, 为此采用综合加权评分法, 对各指标进行加权, 根据各指标的重要程度设定硬度、弹性、内聚度、回复性加权值分别为 $W_1=0.25$, $W_2=0.25$, $W_3=0.2$, $W_4=0.3$, 且 $W_1+W_2+W_3+W_4=1$; 对指标按加权综合评分法公式进行综合评分^[15,16]。即计算加权综合评分值 $Y=0.25Y_1+0.25Y_2+0.2Y_3+0.3Y_4$ 。

1.3.6 单因素试验

本实验选取黄豆与榛仁比例、内酯用量、点浆温度和点浆 pH 四个因素进行单因素试验, 分别研究各个因素对榛仁内酯豆腐的凝固效果及感官评价结果的影响。

1.3.6.1 黄豆与榛仁比例对豆腐的影响

采用控制变量法, 进行黄豆与榛仁比例(m/m)为因素的五组实验(10:1、10:2、10:3、10:4、10:5), 每组平行测定三组, 对豆腐的硬度、弹性、内聚性、回复性进行了数据测定, 并进行了相应的感官评价。

1.3.6.2 内酯用量对豆腐的影响

采用控制变量法, 进行内酯用量的五组实验(0.85、0.95、1.05、1.15、1.25 g/100 g 原料), 每组平行测定三组, 对豆腐的硬度、弹性、内聚性、回复

性进行了数据测定, 并进行了相应的感官评价。

1.3.6.3 点浆温度对豆腐的影响

采用控制变量法, 进行温度因素的五组实验(83、84、85、86、87 °C), 每组平行测定三组, 对豆腐的硬度、弹性、内聚性、回复性进行了数据测定, 并进行了相应的感官评价。

1.3.6.4 点浆 pH 对豆腐的影响

采用控制变量法, 进行 pH(酸碱度)因素的五组实验(6.2、6.35、6.5、6.65、6.8), 每组平行测定三组, 对豆腐的硬度、弹性、内聚性、回复性进行了数据测定, 并进行了相应的感官评价。

1.3.7 正交实验

在单因素试验基础上, 选取黄豆与榛仁比例、内酯用量、点浆温度和点浆 pH 四个因素进行正交实验, 设计四因素三水平试验, 对影响榛仁内酯豆腐的四个因素进行优化, 得出最佳的豆腐制作工艺条件。

1.3.8 统计分析

每个实验组进行三组平行试验, 实验结果表示为平均值±标准偏差。使用 Excel 2003 进行数据分析, 使用 Origin 8.0 软件制图, 使用 SPSS 19.0 软件进行正交实验设计。

2 结果与讨论

2.1 黄豆与榛仁比例对豆腐的影响

由表 2 可以得出, 当榛仁的比例逐渐升高, 豆腐的质构综合得分及感官评分呈先升高后降低的趋势。当黄豆与榛仁比例为 10:2 时, 豆腐的质构综合得分和感官评价得分都最高, 硬度、弹性及内聚性最好。当榛仁的比例继续增加时, 豆腐的质构综合得分和感官

评价却逐渐降低,这可能是由于过多的榛仁质量使体系中油脂、蛋白含量过高,相同内酯用量无法使蛋白凝固,导致豆腐的质地不够坚实,色泽不均一,所以当黄豆榛仁比 10:5 时,利用质构仪无法测出此时的硬度、弹性及内聚性。因此,当黄豆与榛仁比例为 10:2 时,豆腐质构和感官评价最好,最适合豆腐的制作。

表 2 不同的黄豆与榛仁比例对应的质构分析及感官评价结果

Table 2 Texture analysis and sensory evaluation results corresponding to the different ratio of soybeans to hazelnut

黄豆榛仁比例	硬度/100 g	弹性/mm	内聚性	回复性
10:1	0.90±0.11 ^b	5.10±0.35 ^b	0.44±0.02 ^b	1.42±0.12 ^d
10:2	1.00±0.12 ^a	6.30±0.31 ^a	0.54±0.03 ^a	1.14±0.14 ^{ac}
10:3	0.91±0.07 ^b	4.80±0.22 ^c	0.41±0.01 ^b	1.60±0.21 ^c
10:4	0.80±0.09 ^c	4.00±0.22 ^d	0.35±0.03 ^c	1.78±0.24 ^b
10:5	-	-	-	2.14±0.31 ^a

注:同列有相同字母为差异不显著 ($p>0.05$);不同字母为差异显著 ($p<0.05$)。下表同。

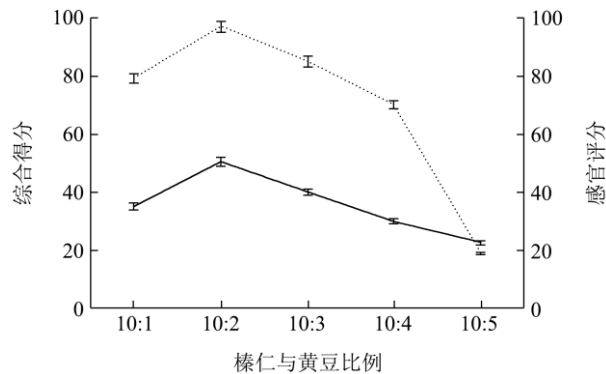


图 1 不同黄豆与榛仁比例对豆腐的影响

Fig.1 The effect of different ratio of soybeans on hazelnut lactone curd Tofu

2.2 内酯用量对豆腐的影响

表 3 不同的内酯用量对应的质构分析及感官评价结果

Table 3 Texture analysis and sensory evaluation results corresponding to the different amount of GDL

内酯用量/g	硬度/100 g	弹性/mm	内聚性	回复性
0.85	0.81±0.04 ^c	4.20±0.44 ^c	0.35±0.01 ^c	1.71±0.22 ^c
0.95	0.89±0.03 ^b	5.70±0.42 ^b	0.37±0.06 ^c	1.44±0.18 ^b
1.05	1.00±0.17 ^a	6.30±0.31 ^a	0.54±0.02 ^a	1.14±0.23 ^a
1.15	0.90±0.03 ^b	5.40±0.24 ^b	0.41±0.03 ^b	1.52±0.17 ^c
1.25	0.85±0.02 ^{bc}	2.60±0.41 ^d	0.38±0.04 ^c	1.86±0.16 ^d

由图 2 可以得出,当内酯用量逐渐升高,豆腐的质构综合得分和感官评分越来越好,当内酯用量为 1.05 g 时,豆腐的质构综合得分和感官评分都最好,

硬度、弹性及内聚性也为最高;当内酯的量过多时,豆腐的口感会变得较酸,严重影响口感,感官评价较差。因此,当内酯用量为 1.05 g 时,豆腐质构和感官评价最好,最适合豆腐的制作^[17,18]。

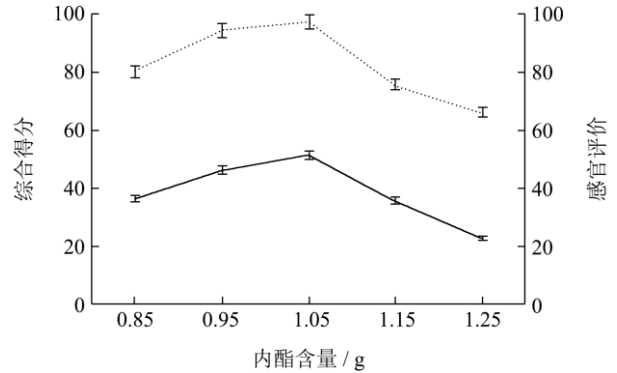


图 2 不同内酯用量对豆腐的影响

Fig.2 The effect of different amount of GDL on hazelnut lactone curd tofu

2.3 点浆温度对豆腐的影响

表 4 不同的点浆温度对应的质构分析及感官评价结果

Table 4 Texture analysis and sensory evaluation results corresponding to the pulping different temperatures

温度/°C	硬度/100 g	弹性/mm	内聚性	回复性
83	0.79±0.02 ^c	4.10±0.31 ^c	0.36±0.02 ^b	1.60±0.13 ^c
84	0.88±0.03 ^b	5.20±0.24 ^b	0.40±0.03 ^b	1.34±0.15 ^b
85	1.00±0.21 ^a	6.30±0.16 ^a	0.54±0.01 ^a	1.12±0.21 ^b
86	0.88±0.03 ^b	5.00±0.22 ^b	0.41±0.03 ^b	1.42±0.15 ^b
87	0.81±0.02 ^c	4.90±0.17 ^b	0.39±0.03 ^b	1.56±0.40 ^a

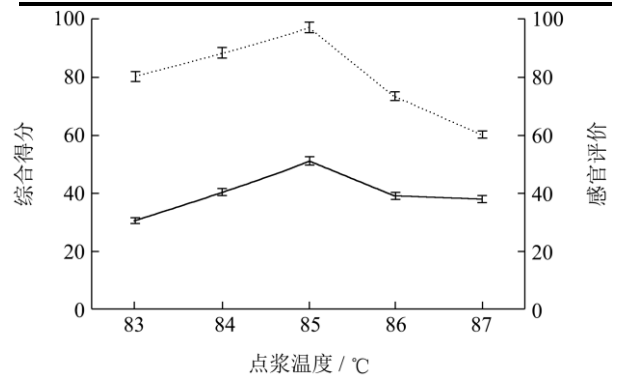


图 3 不同点浆温度对豆腐的影响

Fig.3 The effect of different pulping temperatures on hazelnut lactone curd tofu

点浆温度对豆腐的持水性和强度都有一定的影响,相同的条件下,点浆温度不同,制出豆腐的持水性和硬度也不同。较高的温度有利于蛋白的变性,可发生相互结合的活性基团变多;但过高的温度点浆时,豆腐的硬度强而持水性较差;过低的温度点浆即使是可以勉强制成豆腐,也是质地极差,易破碎。由以上

可以得出,当温度为 85 °C 时,此时制成的豆腐质构综合得分和感官评分最好,同时硬度及弹性最佳,因此最适的点浆温度为 85 °C^[19,20]。

2.4 点浆 pH 对豆腐的影响

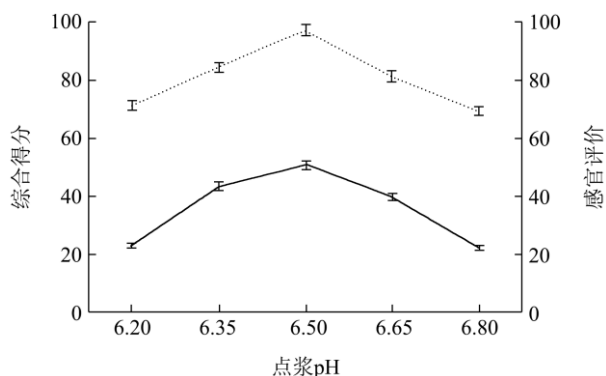


图 4 不同点浆 pH 对豆腐的影响

Fig.4 The effect of different pulping pH on hazelnut lactone curd tofu

点浆 pH 会影响内酯的分解速度,从而影响制成的豆腐质构和感官品质。pH 为中性条件时,内酯的水解速度快,pH 过高或者过低都会使水解速度减慢,从而影响豆腐的制作。由图 4 我们可以得出,当 pH 为 6.5 时,制得的豆腐的质构综合得分和感官评分最好,且硬度、弹性为最高值。因此,最佳的点浆 pH 为 6.5^[21,22]。

表 5 不同的点浆 pH 对应的质构分析及感官评价结果

Table 5 Texture analysis and sensory evaluation results corresponding to the pulping different temperature

pH	硬度/100g	弹性/mm	内聚性	回复性
6.20	0.8±0.04 ^c	4.00±0.25 ^d	0.38±0.03 ^c	1.75±0.21 ^c
6.35	0.95±0.1 ^{ab}	5.30±0.42 ^b	0.40±0.04 ^b	1.40±0.16 ^b
6.50	1.00±0.16 ^a	6.30±0.44 ^a	0.54±0.02 ^a	1.13±0.14 ^a
6.65	0.90±0.04 ^b	5.60±0.31 ^b	0.44±0.02 ^b	1.36±0.17 ^c
6.80	0.88±0.08 ^b	4.80±0.27 ^c	0.37±0.03 ^c	1.64±0.12 ^b

2.5 正交试验

在单因素试验的基础上,选取黄豆与榛仁比例、内酯用量、点浆温度和点浆 pH 为因素,以豆腐的综合得分为指标,设计四因素三水平试验,对制作豆腐的工艺条件进行优化,以得出豆腐制作的最佳工艺条件。

表 6 正交试验因素水平表

Table 6 Orthogonal test factors and levels

因素	水平		
	1	2	3
A 内酯用量/(g/100 g 原料)	0.95	1.05	1.15
B 点浆温度/°C	84.00	85.00	86.00
C 黄豆与榛仁比例/(M/M)	10:1	10:2	10:3
D 点浆 pH	6.35	6.50	6.65

表 7 正交试验实验设计方案及试验结果

Table 7 Orthogonal test experimental design scheme and test results

序号	A	B	C	D	综合得分	感官评价
1	1	1	1	1	49.44	81
2	1	2	2	2	46.25	94
3	1	3	3	3	54.35	72
4	2	1	2	3	55.43	89
5	2	2	3	1	38.36	85
6	2	3	1	2	53.49	88
7	3	1	3	2	49.32	80
8	3	2	1	1	38.23	79
9	3	3	2	1	51.29	76

综合得分	\bar{K}_1	43.56	44.73	51.65	40.03	
	\bar{K}_2	52.76	36.28	42.77	39.67	最优方案
	\bar{K}_3	36.28	51.42	37.68	53.23	A ₂ B ₃ C ₁ D ₃
	R ₁	16.48	15.21	13.52	13.56	

感官评价	\bar{K}_1	54.23	56.35	52.13	48.86	
	\bar{K}_2	68.59	67.45	62.74	66.83	最优方案
	\bar{K}_3	43.35	46.62	44.42	53.62	A ₂ B ₂ C ₂ D ₂
	R ₂	15.68	13.46	14.52	13.12	

对正交表进行极差分析,由极差值 $R_1(A)>R_1(B)>R_1(D)>R_1(C)$ 可知影响榛仁内酯豆腐综合得分的因素依次内酯用量、点浆温度、点浆 pH、黄豆与榛仁比例;由极差值 $R_2(A)>R_2(C)>R_2(B)>R_2(D)$ 可知影响榛仁内酯豆腐感官评价的因素依次内酯用量>黄豆与榛仁比例>点浆温度>点浆 pH。

榛仁添加量过多豆腐不容易成型,而且分布不均匀影响口感;过少失去保健功能和榛仁的香气。GDL 添加过少则内酯豆腐无法成形,呈粘稠状;过多则内酯豆腐质地过硬,吃起来口感不好。

本产品是面向市场,感官评价的得分占主要影响因素,即豆腐的嫩度、细腻度、风味色泽对于后续豆腐大批量生产更有利以及市场的接受度更高,可以创造更大经济价值,为提升地方特色产品的知名度和影响力,同时推动地区特色产品经济的发展。

由表 7 可知正交实验感官评价最佳组合是 $A_2B_2C_2D_2$ 而综合得分最优方案 $A_2B_3C_1D_3$ 通过验证实验检验两者感官评价和综合得分确定:GDL 添加量为每 100 g 原料 1.05 g、点浆温度 85 °C、黄豆与榛仁比例为 10:3、pH 为 6.5 时豆腐凝固效果和感官评价品质最佳。

2.6 榛仁内酯豆腐与其他豆腐的参数比较

豆腐的硬度、弹性、内聚性和回复性等质构指标

表 8 榛仁内酯豆腐与市场各类豆腐的对比

豆腐种类	硬度/100 g	弹性/mm	内聚性	回复性
榛仁内酯豆腐	1.00±0.21 ^a	6.30±0.16 ^a	0.54±0.01 ^a	1.12±0.21 ^b
市售豆腐	1.40±0.12 ^a	6.30±0.61 ^a	0.54±0.03 ^a	1.49±0.14 ^{ac}
市售老豆腐	2.10±0.03 ^a	7.10±0.61 ^a	0.78±0.03 ^a	1.78±0.14 ^{ac}
市售绢豆腐	0.78±0.02 ^c	4.10±0.32 ^c	0.36±0.02 ^b	1.58±0.23 ^c

3 结论

3.1 本研究所得产品与三种市售黄豆豆腐质构对比分析发现,除了引入榛仁的营养成分和风味外,榛仁内酯豆腐的质构参数与市售豆腐很接近,而且制作方法和工艺参数变化也不是很大,因此工业化生产上需要改进的设备不多,可操控性高。

3.2 本文基于榛仁内酯豆腐的硬度、弹性、内聚性和回复性指标,通过黄豆与榛仁比例、GDL 用量、点浆温度和点浆 pH 四个因素进行单因素试验,确定黄豆与榛仁比例、内酯用量、点浆温度及点浆 pH,同时,分别阐述了各个因素对榛仁内酯豆腐的凝固效果及感官评价结果的影响。研究结果显示,GDL 添加量为每 100 g 原料 1.05 g、点浆温度 85 °C、黄豆与榛仁比例

是衡量豆腐品质的主要指标^[23],也是表征豆腐可接受度的重要指标。

由表8可以看出,榛仁内酯豆腐与市售豆腐的各项质构参数相差不大,差异性主要由于榛仁和黄豆的蛋白质含量及油脂含量不同,实验采用的榛仁蛋白质含量为25%~30%,油脂含量约60.5%;黄豆的蛋白质含量约为37%,油脂含量约为18%~20%,但榛仁油中含有90%不饱和脂肪酸,榛仁的加入增加了豆腐中亚麻酸的含量,榛仁的蛋白质含量与黄豆基本相似,但榛仁中所含的多酚及β-谷甾醇等特殊营养成分使榛仁豆腐与市售豆腐相比,营养成分更为全面^[24,25];老豆腐特点是硬度、弹性、韧性较内酯豆腐强,而含水量较内酯豆腐低5%~7%,其质地更坚实,硬度为2.1±0.03/100 g,但切面细滑,所以榛仁内酯豆腐的相应参数均低于老豆腐,与老豆腐的相应质构参数有很大差别,尤其硬度参数差别较明显,榛仁内酯豆腐硬度为1±0.21/100 g;市场上绢豆腐质地较软,硬度为0.78±0.02/100 g,弹性较差为(4.1±0.32)mm,但回复性为1.58±0.23,略高于榛仁内酯豆腐的测量值1.12±0.21^[26]。

通过榛仁内酯豆腐与市面上三种常见的豆腐进行比较之后,可以看出,榛仁内酯豆腐质构参数与市售豆腐更为接近,而与其他两款豆腐质构参数差距较大。虽然其在硬度和回复性与市售大豆存在略微差别,但是并不影响两者在感官上的相似性。

为 10:3、pH 为 6.50 时,榛仁内酯豆腐具有较好的质构特性及保水性,感官评分较高,结构均匀、紧密。榛仁内酯豆腐的硬度与李美丽等对全黄豆内酯豆腐的加工特性研究中,品种为黑农 71 号黄豆豆腐的硬度无显著性差异^[28];榛仁内酯豆腐在拥有传统豆腐的营养基础上,同时具有榛仁的营养成分和风味,质地细腻富有弹性。本研究对产品的配方和工艺条件进行优化,获得一款风味独特的新型榛仁内酯豆腐,丰富了豆腐品种的同时也改善了豆腐品质,并为产品的规模化工业生产,扩大市场经济效益提供了新途径。

参考文献

- [1] 朱小芳,杨凯,赵玉红.平欧榛子活性成分含量及抗氧化性比较[J].食品科学,2017,19:136-142

- ZHU Xiao-fang, YANG Kai, ZHAO Yu-hong. Comparison of active component contents and antioxidant properties among different parts and varieties of flat european hazelnut [J]. Food Science, 2017, 19: 136-142
- [2] Yuan B, Lu M, Eskridge K M, et al. Valorization of hazelnut shells into natural antioxidants by ultrasound-assisted extraction: Process optimization and phenolic composition identification [J]. Journal of Food Process Engineering, 2018, 41(5): e12692
- [3] 张怀珠,彭涛,魏巧玲,等.花色内酯豆腐的研制[J]. 食品工业科技, 2009,7: 249-251
- ZHANG Huai-zhu, PENG Tao, WEI Qiao-ling, et al. Development of colored lactone tofu [J]. Science and Technology, 2009, 7: 249-251
- [4] 张志健.新型豆制品加工工艺与配方[M].北京:科学技术出版社, 2001, 7-13
- ZHANG Zhi-jian. Processing Technology and Formula of New Soybean Products [M]. Beijing: Science and Technology Press, 2001, 7-13
- [5] Bernat N. Vegetable milks and their fermented derivative products [J]. International Journal of Food Studies, 2014, 3(1): 93-124
- [6] Vannice G, Rasmussen H. Position of the academy of nutrition and dietetics: dietary fatty acids for healthy adults [J]. Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics, 2014, 114(1): 136-153
- [7] 陈志明,马建福,陈子豪.中国饮食文化里的豆腐及其相关产品[J].湖北民族学院学报(哲学社会科学版),2019,37(2): 120-127
- CHEN Zhi-ming, MA Jian-fu, CHEN Zi-hao. Tofu and its related products in Chinese food culture [J]. Journal of Hu^bei University for Nationalities (Philosophy and Social Science Edition), 2019, 37(2): 120-127
- [8] 梁晓培,何芳芳.加强豆腐市场开发打造淮南“豆腐之乡”[J].商场现代化,2013,34:100-101
- LIANG Xiao-pei, HE Fang-fang. Strengthen the development of tofu market to build huainan "tofu town" [J]. Market Modernization, 2013, 34: 100-101
- [9] 张斌.榛子油和榛子蛋白饮料的工艺要点[J].冷饮与速冻食品工业,2006,12(2): 25-26
- ZHANG Bin. Process essentials of hazelnut oil and hazelnut protein beverage [J]. Cold Drink and Quick-frozen Food Industry, 2006, 12(2): 25-26
- [10] 全梦卓.榛子综合利用的研究[D].郑州:郑州大学,2014
- TONG Meng-zhuo. Comprehensive utilization of hazelnut [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2014
- [11] 梁琪.豆制品加工工业与配方[M].北京:化学工业出版社, 2007
- LIANG Qi. Soybean Processing Industry and Formula [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007
- [12] 李新华,董海洲.粮油加工学[M].北京:中国农业大学出版社, 2002
- LI Xin-hua, DONG Hai-zhou. Grain and Oil Processing Science [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002
- [13] 李里特,刘志胜,辰巳英三.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
- LI Li-te, LIU Zhi-sheng, CHEN Si-ying san. Effects of processing conditions on the properties of tofu gel [J]. Food Science, 2000, 21(5): 26-29
- [14] 黄楚周,赖键.甜玉米风味豆腐脑的研制[J].粮油加工, 2008,9:112-114
- HUANG Chu-zhou, LAI Jian. Development of fermented bean curd with sweet corn flavor [J]. Grain and Oil Processing, 2008, 9:1 12-114
- [15] 张丽华,曹雪慧,王宝印.薏米保健豆腐的研制[J].食品科技,2004,7:30-32
- ZHANG Li-hua, CAO Xue-hui, WANG Bao-yin. Development of coix milk health tofu [J]. Food Science and Technology, 2004, 7: 30-32
- [16] Pelvan, Ebru, et al. Phenolic profiles and antioxidant activity of Turkish tumbul hazelnut samples (natural, roasted, and roasted hazelnut skin) [J]. Food Chemistry, 2018, 244: 102-108
- [17] Ertan E, Kübra G, Mustafa Y. Characterization of hazelnut milk powders: a comparison of spray-drying and freeze-drying [J]. International Journal of Food Engineering, 2018, 14: 11-12
- [18] 江连洲,朱颖,陈惠惠,等.真空低温油炸工艺对豆腐泡品质的影响[J].食品科学,2018,39(18):242-248
- JIANG Lian-zhou, ZHU Ying, CHEN Hui-hui, et al. Effect of vacuum low-temperature frying technology on the quality of bean curd foam [J]. Food Science, 2018, 39(18): 242-248
- [19] 闫尊浩,何辉,杨兆琪,等.大豆油体对豆腐凝胶性质的影响研究[J].中国油脂,2017,42(2):30-33,49
- YAN Zun-hao, HE Hui, YANG Zhao-qi et al. Study on the effect of soybean oil on the properties of tofu gel [J]. China Oils and Fats, 2017, 42(2): 30-33, 49
- [20] 谢灵来,赵良忠,尹乐斌,等.豆清发酵液点浆工艺研究[J].食品与机械,2017,33(1):184-189,194

- XIE Ling-lai, ZHAO Zhong-liang, YIN Le-bin, et al. Research on point slurry technology of soybean clear fermentation liquid [J]. Food and Machinery, 2017, 33(1): 184-189, 194
- [21] 李丹,王炼涛,王电,等.嫩豆腐工艺标准化研究[J].大豆科学,2017,36(1):116-123
- LI Dan, WANG Lian-tao, WANG Dian, et al. Study on process standardization of tender tofu [J]. Soybean Science, 2017, 36(1): 116-123
- [22] 宋莲军,高晓延,胡丽娜,等.豆腐酸性凝固剂的研究[J].大豆科学,2012,31(6):1002-1006
- SONG Lian-jun, GAO Xiao-yan, HU Li-na, et al. Study on acid solidifying agent of tofu [J]. Soybean Science, 2012, 31(6): 1002-1006
- [23] 朱叶,刘海杰,李里特,等.酸性电解水对成品豆腐的杀菌效果及品质影响研究[J].食品科学,2007,8:37-40
- ZHU Ye, LIU Hai-jie, LI Li-te, et al. Study on the bactericidal effect and quality effect of acidic electrolytic water on finished tofu [J]. Food Science, 2007, 8: 37-40
- [24] 樊永华.大豆蛋白与豆腐品质关系的研究[J].粮食与食品工业,2016,23(3):55-57
- FAN Yong-hua. Study on the relationship between soybean protein and tofu quality [J]. Cereal and Food Industry, 2016, 23(3): 55-57
- [25] 杜艳萍,刘春雷,闵伟红,等.长白山榛仁分离蛋白及其主要组分的功能性质研究[J].现代食品科技,2015,31(5):109-115
- DU Yan-ping, LIU Chun-lei, MIN Wei-hong et al. Major Components and Functional Properties of Changbai Mountain Hazelnut Protein Isolate [J]. Modern Food Science and Technology, 2015,31(5):109-115
- [26] 李美丽,胡文艺,雷郅轩,等.不同大豆品种理化成分与全豆腐加工特性分析[J].食品工业科技, 2019,40(24):305-310, 317
- LI Mei-li, HU Wen-yi, LEI Zhi-xuan, et al. Analysis of the physiochemical components of different soybean cultivars and processing characterizes [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(24): 305-310, 317

(上接第6页)

- [24] 李洁云,戚欣,李静.NLRP3 炎症体与痛风的研究进展[J].现代生物医学进展,2018,18(2):364-368
- LI Jie-yun, QI Xin, LI Jing. Research progress of NLRP3 inflammatory body and gout [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2018, 18(2): 364-368
- [25] Zhang X, Du Q, Yang Y, et al. The protective effect of luteolin on myocardial ischemia/reperfusion (I/R) injury through TLR4/NF- κ B/NLRP3 inflammasome pathway [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2017, 91(7): 1042-1052
- [26] Yang G, Yeon S H, Lee H E, et al. Suppression of NLRP3 inflammasome by oral treatment with sulforaphane alleviates acute gouty inflammation [J]. Rheumatology, 2018, 57(4): 727-736
- [27] Martinon F, Petrilli V, Mayor A, et al. Gout-associated uric acid crystals activate the NALP3 inflammasome [J]. Nature (London), 2006, 440(7081): 237-241
- [28] LI Y, Liu M, Zuo Z, et al. TLR9 regulates the NF- κ B-NLRP3-IL-1 β pathway negatively in salmonella-induced NKG2D-mediated intestinal inflammation [J]. Journal of Immunology, 2017, 199(2): 761-773
- [29] Li W, Qiu C, Jiang H, et al. Ulinastatin inhibits the inflammation of LPS-induced acute lung injury in mice *via* regulation of AMPK/NF- κ B pathway [J]. International Immunopharmacology, 2015, 29(2): 560-567
- [30] Zong Y, Sun L, Liu B, et al. Resveratrol inhibits LPS-induced MAPKs activation *via* activation of the phosphatidylinositol 3-kinase pathway in murine RAW 264.7 macrophage cells [J]. Plos One, 2012, 7(8): 44107
- [31] Jiang Y, Du H, Liu X, et al. Artemisinin alleviates atherosclerotic lesion by reducing macrophage inflammation *via* regulation of AMPK/NF- κ B/NLRP3 inflammasomes pathway [J]. Journal of Drug Targeting, 2019,16(6): 1-10