



基于模糊综合评价的柠檬豆腐工艺研究

谢秀玲^{1,2}, 吴静静², 童慕贤², 刘艳红², 王振杰², 刘生杰²

(1. 昆明理工大学 津桥学院, 云南 昆明 650106; 2. 阜阳师范学院 信息工程学院, 安徽 阜阳 236037)

摘要:为研究一种新型天然酸性豆腐凝固剂,以柠檬汁制备豆腐,以感官评价和持水力为指标,采用单因素和正交实验,结合模糊数学评价法优化柠檬豆腐的加工工艺。结果表明:柠檬豆腐的最佳加工工艺组合为豆水比为 1:10,柠檬汁添加量为 55%,点浆温度为 70℃,养花时间为 20 min,此工艺组合下制得的柠檬豆腐有浓郁的豆香味与柠檬香气,无酸涩味,断面光滑细腻,弹性好,持水力最好。

关键词:模糊综合评价;柠檬豆腐;感官评价;持水力

Study on the Production Process and Quality of Lemon ToFu Based on Fuzzy Synthetical Evaluation

XIE Xiu-ling^{1,2}, WU Jing-jing², TONG Mu-xian², LIU Yan-hong², WANG Zhen-jie², LIU Sheng-jie²

(1. Kunming University of Science and Technology Oxbridge College, Kunming 650106, China; 2. College of Information Engineering, Fuyang Normal University, Fuyang 236037, China)

Abstract: In order to study a new natural acid bean curd coagulant, the tofu was prepared by the organic acids in lemon juice. By single factor experiment and orthogonal experiment and fuzzy synthetical evaluation methods, the sensory and water-holding capacity indexes as assessing indexes had chosen the optimal conditions. The results showed that: The ratio of bean to water was 1:10 (W/V), adding lemon juice quantity was 55% (W/W), coagulation temperature was at 70℃, and coagulation time was 20 min. The tofu made in this condition was full of lemon aroma and bean rich without acidic or bitter taste, section smooth and elastic. In addition, it had the best water-holding capacity.

Keywords: Fuzzy synthetical evaluation; Lemon tofu; Sensory evaluation; Water-holding capacity

大豆是我国的传统食品原料,营养价值高,有一定的保健和医疗作用^[1-2]。大豆产品种类多样,其中豆腐在我国居民的日常膳食中影响最广,销量最大。凝固剂是豆腐制作中必不可少的成分,目前研究的凝固剂主要有 3 类:第一类是盐卤、石膏等盐类凝固剂,以此制作形成的豆腐在其香味、持水力、凝胶速度以及出品率均不能达到统一最优效果^[3];第二类是菠萝蛋白酶、木瓜蛋白酶、酸性蛋白酶和碱性蛋白酶等酶类凝固剂,以此制作的豆腐味苦,凝聚强度低^[4]。第三类是乳酸、酒石酸、葡萄糖酸 δ 内脂等酸类凝固剂,但目前在实际生产中应用的仅有葡萄糖酸 δ 内脂,以此制作的豆腐口味淡,偏软,稍带有酸味^[5]。随着人们对天然食品的要求逐渐增高,越来越多学者开始研究天然有机酸类凝固剂来替代人工合成的葡萄糖酸 δ 内脂。如王玉娇等^[6]用青梅汁酸性凝固剂,并添加天然食用胶和钙盐,使得豆腐的硬度和质构得以改善。李健等^[7]利用山楂中复杂的天然酸性成分也可以制作得率较高的山楂豆腐。但对柠檬汁制备豆腐的工艺研究却

鲜有人涉及。柠檬汁中的香气成分有几十种,蒎烯、柠檬烯等含量较高,有些成分还具有促进胃蛋白酶分泌、增加肠胃蠕动的生理功能^[8]。此外, Moufida 等^[9]研究得出新鲜的柠檬汁中总酸量为 $40.3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,其中柠檬酸含量为 $53.3 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,苹果酸含量为 $3.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,此外还有亚油酸、油酸、棕榈酸等酸性成分。

因此本研究选用新鲜柠檬汁的天然酸性成分作为酸性凝固剂,通过降低豆浆的 pH,使蛋白质在等电点时发生凝固^[10]。本文利用正交实验和模糊数学评价法优化柠檬豆腐加工工艺条件,同时结合持水力参数进一步验证模糊数学评价法的准确性,以期天然有机酸性凝固剂制作豆腐的开发提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试大豆为呼伦贝尔大豆、柠檬(福建众农果蔬有限公司),市售。

收稿日期:2018-12-05

基金项目: 阜阳师范学院校级科研项目(2017FXXZK02, 2018FXGZK03, 2018FXGZK04); 安徽省省级示范实验实训中心项目(2016sxzx031)。

第一作者简介: 谢秀玲(1988-),女,硕士,助教,主要从事食品生物技术研究。E-mail: xiexiuling0824@126.com。

HR1833 飞利浦榨汁机(深圳飞利浦投资有限公司);HH-4 数显恒温水浴箱(常州荣华仪器制造有限公司);3-18KS 超速冷冻离心机(德国赛多利斯);MJ-12 磨浆机(广州雷迈机械设备有限公司)。

1.2 豆腐制备方法

1.2.1 柠檬汁的制备 挑选新鲜柠檬,洗净、去皮,用榨汁机直接榨汁,获得柠檬酸含量最高的粗柠檬汁^[11]。将粗汁用纱布过滤后,4℃储存备用。

1.2.2 豆腐加工工艺流程及操作要点

精选大豆→清洗→浸泡→清洗→磨浆→过滤→煮浆→冷却→点浆→养花→压制→成品

主要操作要点:

磨浆:用磨浆机粗磨、细磨 2 次,尽可能提高蛋白质的抽提率^[12],磨好的渣应手感细腻无颗粒。

煮浆:边加热边搅拌,防止豆浆糊底。加热至 60~70℃时放入食用消泡剂,然后继续加热至沸腾,保持 3~5 min。

点浆:将制好的柠檬汁缓慢的滴入豆浆,搅拌均匀使其形成豆花。

压制:将养好的豆花倒入带有纱布的豆腐模具中,用纱布包好盖上盖子,在盖子上加重物压制 30 min。

1.3 试验设计

1.3.1 单因素试验 以豆水比(干黄豆质量/水质量)、柠檬汁添加量(柠檬汁质量/干黄豆质量)、点浆温度、养花时间为单因素。豆水比为 1:6、1:8、1:10、1:12、1:14、1:16,柠檬汁添加量为 35%、40%、45%、50%、55%、60%,点浆温度为 60、65、70、75、80、85℃,养花时间为 18、20、22、24、26、28 min。分别讨论豆水比、柠檬汁添加量、点浆温度、养花时间各因素对柠檬豆腐感官品质和持水力的影响,每个处理

3 次重复。

1.3.2 正交试验 在单因素试验的基础上,以感官评分和持水力为指标进行 $L_9(3^4)$ 正交试验。

表 1 正交试验设计

Table 1 Orthogonal experimental design				
因素 Factor				
水平 Level	A 豆水比 Material/water ratio	B 柠檬汁添加量 Lemon juice volume/%	C 点浆温度 Temperature of adding coagulant/℃	D 养花时间 Solidification time/min
1	1:8	45	70	20
2	1:10	50	75	22
3	1:12	55	80	24

1.4 测定项目与方法

1.4.1 柠檬汁理化性质的测定 采用 2,6-二氯酚酞滴定法测定柠檬汁中维生素 C 含量,利用阿贝折射仪测量柠檬汁的可溶性固形物含量^[13]。同时测定柠檬汁可滴定酸,总酸的含量以质量分数计算^[14],公式如下:

$$X = C \times (V_1 - V_2) \times K \times F / M \times 1\,000$$

X :可溶性固形物含量, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; C :NaOH 标准滴定溶液浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; V_1 :滴定试液时消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, mL; V_2 :空白试验时消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, mL; K :折算系数, 0.064; F :试液的稀释倍数; M :试样的取样量, g。

1.4.2 豆腐感官评定 感官评价小组由 10 位(5 男、5 女)经过培训且具有经验的食物专业学生组成。将评价员随机分组,编号,分成若干组。要求评价员根据标准规定^[15-16]执行评分,分别对柠檬豆腐的口感、风味、凝固状态、组织状态进行评分,具体标准如表 2。

表 2 柠檬豆腐感官质量评定标准

Table 2 Sensory quality evaluation standard of lemon tofu

项目 Item	口感 Taste	风味 Flavor	凝固状态 Curds	组织状态 Structure	等级 Level
评分标准 Evaluation standard	无酸涩味(16~20)	浓郁豆香味,柠檬味(16~20)	成型,弹性好(25~30)	断面光滑细(25~30)	优
	稍有酸涩(11~15)	有豆香味,柠檬味(11~15)	成型,弹性稍差(17~24)	断面稍光滑细腻(17~24)	良
	较大酸涩味(6~10)	豆香味,柠檬味较淡(6~10)	微成型,弹性较差(9~16)	断面略粗糙(9~16)	中
	浓重酸涩味(0~5)	无豆香味,柠檬味(0~5)	不成型,无弹性(0~8)	断面粗糙(0~8)	差

1.4.3 持水力分析 准确称取 50 mL 离心管的质量(M_0),将豆腐放入到已编号的离心管中,称取各管总质量(M_1), $3\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 15 min,用吸水纸吸取多余的水分后称取离心管及剩余物的质量(M_2)^[17]。计算公式如下

持水力 = $(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)$

1.4.4 模糊数学评价 确定对象集 Y :本试验需要对正交试验中 9 组柠檬豆腐进行评价,则 $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7, Y_8, Y_9\}$ 。

确定因素集 U :本试验以口感、风味、凝固状态、组织状态 4 项评价指标组成因素集 U ,则 $U = \{\text{口感 } U_1, \text{风味 } U_2, \text{凝固状态 } U_3, \text{组织状态 } U_4\}$ 。

确定评语集 V :经感官评价人员讨论,确定柠檬豆腐的评语集 $V = \{ \text{优 } V_1, \text{良 } V_2, \text{中 } V_3, \text{差 } V_4 \}$ 。

确定质量因素权重集 A :各因素的重要程度不同,采用用户调查法^[18]确定质量因素的权重集 A 。10 位感官评价人员对口感、风味、凝固状态、组织状态 4 项质量因素的重要程度打分,4 项质量因素总分为 10 分,根据各质量因素的总得分与总分(100 分)的比值决定各因素的权重,口感(0.2)、风味(0.2)、凝固状态(0.3)、组织形态(0.3),记为 $A(a_1, a_2, a_3, a_4)$,且 $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 = 1$ 。

1.5 数据分析

试验数据利用 Excel 2007 进行分析。

2 结果与分析

2.1 柠檬汁主要成分分析

由分析可知,直接榨取粗滤得到的柠檬汁总酸度为 $39.228 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,维生素 C 含量 $431.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,可溶性固形物 8.504%。与李健等^[7]对山楂豆腐的研究结果相比,柠檬汁总酸含量高于山楂汁总酸含量,因此选利用柠檬汁制备豆腐是可行的。

2.2 柠檬豆腐加工工艺参数的单因素试验结果与分析

2.2.1 豆水比对柠檬豆腐品质的影响 由表 3 可知,豆水比过小,感官评分较低,且操作中存在,煮浆过程中极易糊底的情况;而豆水比过大,发现压制的豆腐不易成型,且弹性差。因此,综合比较可得豆水比控制在 1:8、1:10、1:12 为宜,此时形成的柠檬豆腐感官品质较好,持水力适中。

表 3 豆水比对柠檬豆腐品质的影响

Table 3 The effect of material/ water ratio on the quality of lemon tofu		
豆水比 Material/water ratio	感官评分 Score	持水力 Water-holding capacity
1:6	58	0.982
1:8	75	0.945
1:10	73	0.854
1:12	61	0.834
1:14	59	0.830
1:16	55	0.828

2.2.2 柠檬汁添加量对柠檬豆腐品质的影响 由表 4 可知,柠檬汁添加量过小,豆腐凝固状态差,渗出液过多,持水力差;柠檬汁添加量过大,豆腐过老,评分低。因此,综合比较可得柠檬汁添加量控制在 45%、50%、55% 为宜,此时形成的柠檬豆腐感官品质与持水力较好。

表 4 柠檬汁添加量对柠檬豆腐品质的影响

Table 4 The effect of lemon juice volume on the quality of lemon tofu		
柠檬汁添加量 Lemon juice volume/%	感官评分 Score	持水力 Water-holding capacity
35	61	0.853
40	63	0.873
45	70	0.903
50	68	0.915
55	67	0.877
60	59	0.846

2.2.3 点浆温度对柠檬豆腐品质的影响 由表 5 可知,点浆温度过低,点出的豆花少,渗出液多,豆腐组织状态与凝固状态差,持水力低;点浆温度过高,豆浆处于微沸腾状态,容易产生气泡,制成的豆腐虽成型但空隙不均匀。因此,综合比较可得点浆温度控制在 70、75、80℃ 为宜,此时形成的柠檬豆腐感官品质和持水力较好。

表 5 点浆温度对柠檬豆腐品质的影响

Table 5 The effect of coagulant added temperature on the quality of lemon tofu		
点浆温度 Temperature of adding coagulant/℃	感官评分 Score	持水力 Water-holding capacity
60	50	0.892
65	57	0.924
70	68	0.980
75	75	0.988
80	73	0.944
85	70	0.933

2.2.4 养花时间对柠檬豆腐品质的影响 由表 6 可知,养花时间过短或过长,柠檬豆腐都不易成型,凝固状态差;而柠檬豆腐的持水力随着养花时间的增加而逐渐减小,主要由于蛋白质的网状结构网眼越来越小^[19]所致。因此,综合比较可得养花时间控制在 20、22、24 min 为宜,此时形成的柠檬豆腐感官品质较好,持水力适中。

表 6 养花时间对柠檬豆腐品质的影响

Table 6 The effect of solidification time on the quality of lemon tofu		
养花时间 Solidification time/min	感官评分 Score	持水力 Water-holding capacity
18	58	0.924
20	60	0.920
22	68	0.921
24	65	0.903
26	60	0.893
28	52	0.846

2.3 感官评价正交试验结果与分析

2.3.1 柠檬豆腐模糊感官评价结果

价员对9组样品的4项质量因素逐一评价,各项质量因素在每个等级的票数分布如表7。

表7 柠檬豆腐感官评价票数分布

Table 7 The vote distribution of sensory evaluation of lemon tofu

试验号 No.	风味 Taste				口感 Flavor				组织状态 Structure				凝固形态 Solidification			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	3	6	1	0	4	5	1	0	2	7	1	0	3	7	0	0
2	3	7	0	0	3	6	1	0	1	8	1	0	3	6	1	0
3	4	5	1	0	3	4	3	0	0	2	6	2	1	6	3	0
4	2	6	2	0	5	5	0	0	0	3	6	1	1	8	1	0
5	2	7	1	0	5	2	3	0	0	2	7	1	1	9	0	0
6	2	8	0	0	4	4	2	0	8	2	0	0	6	4	0	0
7	1	5	4	0	6	4	0	0	6	4	0	0	2	7	1	0
8	1	7	2	0	6	2	2	0	0	1	6	3	1	5	4	0
9	1	8	1	0	5	4	1	0	5	5	0	0	3	6	1	0

2.3.2 模糊评价矩阵的建立及结果 采用模糊数学评判方法进行评价,由表7可知,对试验1号的色泽的评价有3人优,6人良,1人中,0人差,即风味 $R=[0.3\ 0.6\ 0.1\ 0]$ 。同理可得口感 R 、组织状态 R 、凝固状态 R ,即把这4个因素的评价写成同一矩阵,得出

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

依据模糊变换原理 $B=A\cdot R$,则各试验的模糊评价结果为:

$$B_1=A\cdot R_1$$
$$=[0.2\ 0.2\ 0.3\ 0.3]\cdot\begin{pmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$
$$=[0.29\ 0.64\ 0.07\ 0]$$

$$B_2=A\cdot R_2=[0.24\ 0.68\ 0.08\ 0]$$
$$B_3=A\cdot R_3=[0.17\ 0.42\ 0.35\ 0.06]$$
$$B_4=A\cdot R_4=[0.17\ 0.55\ 0.25\ 0.03]$$
$$B_5=A\cdot R_5=[0.17\ 0.51\ 0.29\ 0.03]$$
$$B_6=A\cdot R_6=[0.54\ 0.42\ 0.04\ 0]$$
$$B_7=A\cdot R_7=[0.20\ 0.39\ 0.29\ 0.12]$$
$$B_8=A\cdot R_8=[0.17\ 0.36\ 0.38\ 0.09]$$
$$B_9=A\cdot R_9=[0.36\ 0.57\ 0.07\ 0]$$

将评价标准赋值计算,优、良、中、差分别为90,80,70,60分,对应相乘,然后加和,即得到每组产品的感官得分(表8)。

由表8可知,基于模糊综合评价得到正交试验结果表明最优工艺组合为 $A_2B_3C_1D_1$ (6号),即豆水比为1:10,柠檬汁添加量55%,点浆温度70℃,养花时间20 min。同时6号样品等级为优,因此全面客观评定6号样品最佳。分析极差表明各因素对感官评分影响的主次顺序为:D(养花时间)>C(点浆温度)>B(柠檬汁添加量)>A(豆水比)。

表8 正交试验结果

Table 8 The result of orthogonal tests

试验号 No.	A 豆水比 Material/water ratio	B 柠檬汁添加量 Lemon juice volume/%	C 点浆温度 Temperature of adding coagulant/℃	D 养花时间 Solidification time/min	总分 Score
1	1	1	1	1	82.2
2	1	2	2	2	81.6
3	1	3	3	3	77.0
4	2	1	2	3	78.6
5	2	2	3	2	78.2
6	2	3	1	1	85.0
7	3	1	3	2	76.7

续表 8

试验号 No.	A 豆水比 Material/water ratio	B 柠檬汁添加量 Lemon juice volume/%	C 点浆温度 Temperature of adding coagulant/℃	D 养花时间 Solidification time/min	总分 Score
8	3	2	1	3	76.1
9	3	3	2	1	82.9
k ₁	80.3	79.2	81.1	83.4	
k ₂	80.6	78.6	81.0	78.8	
k ₃	78.6	81.6	77.3	77.2	
R	2.0	3.0	3.8	6.2	

根据模糊综合数学评价的分析,在最佳工艺配方下进行验证试验,得到的感官综合评分为 84.6 分,即验证实验结果与正交试验结果一致。

持水力是 0.993。从表 9 可知,5 号组合持水力 0.995,综合模糊数学评价结果,柠檬豆腐的最佳工艺组合是 A₂B₃C₁D₁。

2.4 持水力正交试验结果与分析

由表 9 分析结果可知,最佳工艺组合为 A₂B₃C₁D₁,

表 9 持水力正交试验结果
Table 9 The result of water-holding capacity by orthogonal tests

试验号 No.	A	B	C	D	持水力 Water-holding capacity
	豆水比 Material/water ratio	柠檬汁添加量 Lemon juice volume/%	点浆温度 Temperature of adding coagulant/℃	养花时间 Solidification time/min	
1	1	1	1	1	0.986
2	1	2	2	2	0.983
3	1	3	3	3	0.989
4	2	1	2	3	0.982
5	2	2	3	2	0.995
6	2	3	1	1	0.993
7	3	1	3	2	0.950
8	3	2	1	3	0.965
9	3	3	2	1	0.975
k ₁	0.986	0.973	0.981	0.985	
k ₂	0.990	0.981	0.980	0.976	
k ₃	0.963	0.986	0.978	0.979	
R	0.027	0.013	0.003	0.009	

3 讨 论

本研究利用模糊数学评价方法,综合评价了柠檬豆腐加工工艺,相比传统感官评价方法,减少了人为主观因素影响,使评判结果更科学、更准确^[20]。同时,持水力正交试验结果进一步验证了最优组合:豆水比为 1:10,柠檬汁添加量 55%,点浆温度 70℃,养花时间 20 min。此外,本研究证实了除青梅汁、山楂汁可以作为豆腐天然酸性凝固剂外^[6-7],柠檬汁也是一种天然酸性凝固剂,可以直接使豆浆 pH 下降,接近蛋白质分子等电点,发生相互缠绕聚集^[10],形成具有三维网络结构的凝胶^[3]。在研究中发现,

柠檬汁添加量对豆腐产品硬度也有影响,王玉娇等^[6]用青梅汁结合天然食用胶和钙盐促凝,改善豆腐的硬度和质构,但同时其风味也受到影响。因此,在本研究基础上,对柠檬豆腐凝胶的质构和显微结构分析将是新的研究方向。

4 结 论

运用正交试验结合模糊数学评价法得到的柠檬豆腐最佳工艺组合为:豆水比 1:10,柠檬汁添加量 55%,点浆温度 70℃,养花时间 20 min;结合持水力参数,最佳工艺组合与模糊数学评价法得到的结果一致。此种工艺组合下,制得的柠檬豆腐有浓郁

的豆香味与柠檬香气,无酸涩味,断面光滑细腻,弹性好,持水力好。因此,利用柠檬汁中天然酸性成分替代人工合成酸性凝固剂,对天然豆腐凝固剂的开发具有一定应用价值。

参考文献

[1] Masayoshi Y. Isoflavone and bone metabolism: Its cellular mechanism and preventive role in bone loss [J]. Journal of Health Science,2002,48(3):209-222.

[2] Qin L Q, Xu J Y, Wang P Y, et al. Soyfood intake in the prevention of breast cancer risk in women: A meta-analysis of observational epidemiological studies[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2006, 52(6): 428-436.

[3] 刘志胜, 李里特, 辰巳英三. 豆腐盐类凝固剂的凝固特性与作用机理的研究[J]. 中国粮油学报,2000,15(3):39-43. (Liu Z S, Li L T, Eizo T. Study on properties of tofu salt-coagulant and mechanism of tofu coagulation[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2000,15(3):39-43.)

[4] 韩丽英. 大豆蛋白凝胶特性对豆腐品质影响研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008: 20-28. (Han L Y. Effects of soybean protein coagulating properties on tofu[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2008: 20-28.)

[5] 李雨露, 刘丽萍, 毕海燕, 等. 豆腐凝固剂的研究现状及发展前景[J]. 食品与发酵科技,2015,51(3):6-9. (Li Y L, Liu L P, Bi H Y, et al. The research and development status of tofu coagulant[J]. Food and Fermentation Technology, 2015, 51(3): 6-9.)

[6] 王玉娇, 陈晓红, 李伟, 等. 青梅汁酸凝豆腐质构优化及显微结构分析[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 40-43. (Wang Y J, Chen X H, Li W, et al. Textural properties and microstructure of tofu coagulated by Plum juice[J]. Food Science, 2014, 35(6): 40-43.)

[7] 李健, 王璐, 刘宁, 等. 山楂酸豆腐凝固剂的应用工艺研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 358-360. (Li J, Wang L, Liu N, et al. Study on applied technology about tofu coagulant of the acidic components of hawthorn[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 358-360.)

[8] 孙倩茹. 柚子汁, 柠檬汁在加工关键单元操作及贮藏过程中香气物质变化的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 11-12. (Sun Q R. Study on the changes of aroma components during key processing units and storage in pomelo and lemon juice[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011: 11-12.)

[9] Moufida S, Marzouk B. Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange[J]. Phytochemistry, 2003, 62(8): 1283-1289.

[10] 杨方琪, 高福成, 孟旭. 豆腐凝固机理的研究[J]. 无锡轻工业学院学报, 1993, 12(2): 101-110. (Yang F Q, Gao F C, Meng

X. Research on the tofu coagulation mechanism[J]. Journal of the Wuxi Institute of Light Industry, 1993, 12(2): 101-110.)

[11] Penniston K L, Nakada S Y, Holmes R P, et al. Quantitative assessment of citric acid in lemon juice, lime juice, and commercially-available fruit juice products [J]. Journal of Endourlogy, 2008, 22(3): 567-570.

[12] 冷进松, 郝晓玮. 乳清粉营养豆腐加工工艺研究[J]. 大豆科学, 2015, 34(3): 485-492. (Leng J S, Hao X W. Processing technological study on health food of whey powder tofu[J]. Soybean Science, 2015, 34(3): 485-492.)

[13] 崔明学, 刘凌. 2种浓缩方法对柠檬汁特性影响的比较[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(1):1-4. (Cui M X, Liu L. Comparison of the influences in the characters of lemon juice by two methods of concentration[J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(1):1-4.)

[14] 陈贤爽. 加工处理对枇杷果汁品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016: 11-12. (Chen X S. Effect of processing technology on the quality of loquat juice[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2016: 11-12.)

[15] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 感官分析实验室人员一般导则 第1部分: 实验室人员职责: GB/T 23470.1-2009 [S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2006: 4-6. (State Administration for Quality Supervision and Inspection and Quarantine, Standardization Administration of the People's Republic of China. General guidance for the staff of a sensory evaluation laboratory-part 1: Staff responsibilities: GB/T 23470.1-2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006: 4-6.)

[16] 怀丽华, 闰喜霜, 石彦国. 加工条件对无渣豆腐品质的影响[J]. 食品科学, 2003, 24(11): 73-75. (Huai L H, Run X S, Shi Y G. Effects of process condition the characteristics of dreg-free tofu[J]. Food Science, 2003, 24(11): 73-75.)

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

[18] 余疾风. 在食品感官质量的模糊综合评价中如何正确制定权重分配方案[J]. 食品科学, 1990, 11(1):15-16. (Yu J F. How to make the weight distribution scheme correctly in the fuzzy comprehensive evaluation of food sensory quality[J]. Food Science, 1990, 11(1):15-16.)

[19] 郑明珠. 豆制品加工 200 问[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2007:5-6. (Zheng M Z. 200 question of soybean products processing [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 2007:5-6.)

[20] 彭坚, 杨国伟, 王丽英, 等. 模糊数学综合评判法在红腐乳感官评价中的应用[J]. 中国酿造, 2011(3): 138-140. (Peng J, Yang G W, Wang L Y, et al. Application of fuzzy integrated evaluation to sensory evaluation of red sufu [J]. China Brewing, 2011(3): 138-140.)