

冻豆腐微波解冻工艺优化

田少君¹, 马燕¹, 张学鹏², 干霖¹

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001;

2. 中储粮油脂(新郑)有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要:为改善传统解冻耗时长、易污染的缺点,适应现代化餐饮业需要,利用微波技术对冻豆腐进行解冻。设定不同微波功率和微波时间对冻豆腐进行处理,以基本成分、质构特性、pH、色泽、感官品质为评价指标,并与新鲜豆腐进行对比,考察微波解冻对豆腐品质的影响。确定最佳解冻参数为微波功率 150 W、解冻时间 90 s。

关键词:微波解冻;冻豆腐;品质

中图分类号:TS 214.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)02-0044-05

Optimization of microwave thawing process of frozen tofu

TIAN Shao-jun¹, MA Yan¹, ZHANG Xue-peng², GAN Lin¹

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou Henan 450001;

2. Sinograin Oils & Fats Industrial Xinzheng Co. LTD, Zhengzhou Henan 450001)

Abstract: Thawing needs long time and is contaminated easily by traditional way. In order to overcome the disadvantages and adapt to modern catering industry, microwave thawing for frozen tofu was optimized. Frozen tofu was thawed under different microwave power and time, and compared to fresh tofu. To explore the effects of thawing by microwave on the quality of frozen tofu, indexes such as basic composition, texture, pH, color and sensory quality were investigated. The result showed that the optimal thawing parameters of microwave power and time were 150 W and 90 s.

Key words: microwave thawing; frozen tofu; character

微波解冻是利用电磁波对冷冻产品中的高、低分子极性基团起作用,尤其是冷冻产品中的水分子,微波能使极性分子在电场中高速振荡,同时造成分子间剧烈摩擦,由此产生热量将微波能转化为热能^[1-2],因其具有解冻速度快、效率高、耗能少、无污染等优点,目前已广泛应用于肉及肉制品、水产品、水果及水果制品等的加热解冻中^[3-4]。

冻豆腐在我国早有记载,清·袁枚《随园食单》说:“将豆腐冻一夜,切方块滚去豆味,…起蜂窝如冻腐”^[5]。在保留新鲜豆腐营养的同时,冻豆腐孔隙多易入味、弹性好咀嚼性强,深受人们喜爱,并且较新鲜豆腐更易储藏和运输,因此已有不少学者对其进行了研究,但多数集中于冷冻参数、冷冻方式及原料成分的影响^[6-9],由于冻豆腐在自然条件下也会融化,其解冻方式鲜有研究,然而,对于冷冻食品

而言,解冻方式直接影响产品品质,其重要性不亚于冷冻工艺,因此有必要对其进行研究。目前,各类火锅店、涮锅店的传统解冻方式都是自然解冻或水浴解冻,所需时间长,微生物繁殖多,不能保证产品的安全性,若能采用微波解冻,使得冻豆腐快速卫生地送至消费者面前,不失为一种好方法。本研究以解冻后豆腐的质构、pH、色泽、感官品质等为评价指标,通过对不同微波功率和微波时间解冻后的豆腐进行测定,探讨微波解冻对冻豆腐品质的影响,优化微波解冻工艺。

1 材料与方法

1.1 实验原料

老豆腐:市售,郑州世通食品有限公司。

1.2 仪器设备

BCD-272/HC 科龙冰箱:广东科龙股份有限公司;FA2004 上皿电子天平:上海精密科学仪器有限公司;TA.XT2i 型物性测试仪:英国 SMS 公司;SMY-2000ST 测色色差计:北京盛名扬科技开发有限责

收稿日期:2014-09-17

基金项目:河南省高校科技创新团队支持计划(13IRTSTHN028)

作者简介:田少君,1964年出生,女,教授。

任公司;PHS-3C 精密型酸度计:上海雷磁仪器厂;101A-1B 型电热鼓风干燥箱:上海市实验仪器总厂;FOSS 2300Kjeltec 凯式定氮仪:广州和竺生物科技有限公司;TDL-5-A 低速大容量离心机:上海安亭科学仪器厂;SX-5-12 箱式电阻炉:北京中兴伟业仪器有限公司;MM72/NG1-PW 美的微波炉:广东美的厨房电器有限公司。

1.3 实验方法

以基本成分、质构特性、pH、色泽、感官品质为参考指标,考察不同微波功率(50、150、400、500、675 W)和不同解冻时间(30、60、90、120、150 s)对冻豆腐品质的影响,并与新鲜豆腐品质进行对比(文中0 W、0 s所指),确定微波解冻的最佳工艺条件。

1.3.1 微波炉实际功率的测定^[10]

取大烧杯一个,称量 1 000 g 蒸馏水加入其中,测量水的初始温度 t_0 ,放进微波加热设备中,加热 1 min后取出,测量烧杯中水的最终温度 t_1 。

微波加热的功率计算公式为:

$$P = \frac{Cm(t_1 - t_0)}{60}$$

C 为水的比热(单位: J/kg

· °C), m 为水的质量(单位: kg)。

1.3.2 老豆腐的处理

将购买好的新鲜老豆腐,采用自制的切割磨具切割成 2 cm × 5 cm × 5 cm 的长方体;然后放入冰箱(-10 °C)进行冷冻,冷冻 3.5 h,随后将冷冻好的冻豆腐冻藏(-18 °C) 21 d 后解冻。

1.3.3 冻豆腐解冻后基本成分的测定

水分:按 GB/T 5009.3—2010 方法进行测定;灰分:按 GB/T 5009.4—2010 方法进行测定;脂肪:按 GB/T 5009.6—2003 方法进行测定;蛋白质:按 GB/T 5009.5—2010 方法进行测定。

1.3.4 冻豆腐解冻后质构的测定^[11-12]

将不同功率下解冻的豆腐用物性仪进行两次压缩实验(TPA,质地剖面分析,又称为两次咀嚼测试),选择参数为:P/35 探头,测前速度 5.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测后速度 1.0 mm/s,中间停留时间为 1 s,下压距离为 50%。

1.3.5 冻豆腐解冻后 pH 值的测定

分别称取 4 g 不同功率下解冻的豆腐,用小型粉碎机粉碎 1.0 min,然后加入 40 mL 的蒸馏水进行溶解处理,4 000 r/min 离心 30 min 后,取上清液,再用精密 pH 计测定冻豆腐 pH 值。

1.3.6 冻豆腐解冻后色泽的测定

色泽采用 SMY-2000ST 测色色差计测定,用标

准陶瓷板($x = 90.66, y = 95.68, z = 99.58$)作为工作标准,选用平均测试,对每块豆腐的不同部位测定四次取平均结果,选择 $L^* a^* b^*$ 系统,记录数据样品的 $L^* a^* b^*$ 值。

1.3.7 冻豆腐解冻后的感官评价

参照 GB/T22106—2008 豆腐类产品的感官要求,作适当修改:将解冻后的豆腐横切,置于白色搪瓷盘中,由感官评定小组进行感官评定,评分表见表 1,其中色泽 15 分,气味 15 分,切面结构 20 分,蒸煮特性 20 分,口感(弹性、咀嚼性、硬度)30 分,各项累加作为评定的最终得分。

表 1 冻豆腐解冻后的感官评价方法

项目	满分	评分标准
色泽	15	豆腐的颜色。豆腐呈现白色、乳白色为 13~15 分,微黄为 9~12 分,黄为 0~8 分
气味	15	豆腐的天然味道。具有豆腐应有的气味和香味为 13~15 分,气味较好为 9~12 分,气味过浓或过淡为 0~8 分
切面结构	20	切面粗糙,不均匀,孔隙粗大很多或者切面光滑,无孔隙 0~9 分;切面较平整,孔径不明显 10~14 分;切面平整,孔隙均匀分布,大小适中为 15~20 分
蒸煮特性	20	豆腐在沸水中煮 5 min 后的表现状态。不开裂不散、能保持原有形状 15~20 分,稍有开裂或分散 10~14 分,开裂且分散、形状不复存在 0~9 分
弹性	10	弹性很好,为 7~10 分;弹性一般,4~6 分;弹性较差,0~3 分
咀嚼性	10	咀嚼性很好,嚼劲大为 7~10 分;嚼劲一般,4~6 分;咀嚼性差、易碎,0~3 分
硬度	10	软硬适当、入口舒适,7~10 分;偏软或偏硬,4~6 分;很软或很硬,0~3 分

1.3.8 数据统计方法

本实验采用 SPSS16.0 对实验数据进行处理与分析,采用 origin8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 微波炉实际功率的测定

微波炉实际功率测定结果见表 2

表 2 微波炉实际功率

档位	1	2	3	4	5
功率/W	50	150	400	500	675

2.2 微波解冻最佳功率的测定

2.2.1 不同功率解冻后基本成分的测定与分析

将冻豆腐分别置于 5 个不同功率下进行解冻,解冻时间为 90 s,不同功率下冻豆腐解冻后基本品质指标测定结果见表 3。从所测数据可以看出,与新鲜豆腐相比,冻豆腐的含水量明显降低,这是冻融工艺过程水分损失造成的,且冻豆腐与鲜豆腐的基本营养成分均有显著性差异;就解冻过程而言,不同

解冻功率对豆腐的水分和粗蛋白含量影响较大,对灰分和粗脂肪影响较小,随解冻功率的增加含水量逐渐降低,粗蛋白含量逐渐增加,这是因为功率越高豆腐温度越高,水分散失快,含水量下降,蛋白含量与含水量有一定关系,水分流失越多,蛋白含量相对越高。不同解冻功率下冻豆腐的基本营养成分之间均有差异,可见微波解冻功率对冻豆腐自身的营养流失起关键性作用。

表 3 不同功率下冻豆腐解冻后的基本成分 /%

处理	水分	灰分	粗脂肪	粗蛋白
新鲜豆腐	81.71 ± 0.35 ^a	1.00 ± 0.02 ^a	3.14 ± 0.18 ^a	10.45 ± 0.28 ^a
50 W	73.37 ± 0.36 ^b	1.24 ± 0.01 ^b	3.74 ± 0.2 ^b	16.33 ± 0.27 ^b
150 W	72.61 ± 1.28 ^{bc}	1.23 ± 0.01 ^b	4.19 ± 0.12 ^c	16.73 ± 0.09 ^c
400 W	71.80 ± 0.14 ^c	1.24 ± 0.02 ^b	4.15 ± 0.23 ^c	16.65 ± 0.01 ^{bc}
500 W	70.69 ± 0.36 ^d	1.26 ± 0.04 ^b	4.24 ± 0.06 ^c	18.11 ± 0.23 ^d
675 W	70.67 ± 0.18 ^d	1.25 ± 0.04 ^b	4.21 ± 0.03 ^c	18.29 ± 0.10 ^d

注:指标均为湿基含量;结果为三次平行实验的平均值 ± 标准偏差;同一列中不含相同字母表示差异显著(P < 0.05)。

2.2.2 不同功率解冻后质构的测定与分析

从图 1 可以看出,与新鲜豆腐相比,冻豆腐的硬度、咀嚼性、弹性均有不同程度的增加,尤其是前两者,变化比较明显,这是由于大豆蛋白发生了冻结变性,即蛋白质分子自然态下的紧凑有序结构 N 变成了变性状态下的无序结构 D^[13],蛋白质分子之间发生缔合作用使其表面水合层的水分分离析出从而提高了蛋白质凝胶的韧性^[14];随着解冻功率的增加,豆腐的硬度和咀嚼性逐渐下降,弹性整体呈上升趋势,这是因为功率增加温度升高,蛋白质的交联程度增加,使其在结构上更有序、稳定,因而弹性增加^[15]。在较低功率下,豆腐中心尚未解冻完全,因而硬度较大,随着温度升高,豆腐硬度渐小,咀嚼性也呈减小趋势。综上可看出低档位(1、2 档)下解冻后豆腐硬度适中,弹性和咀嚼性较好。

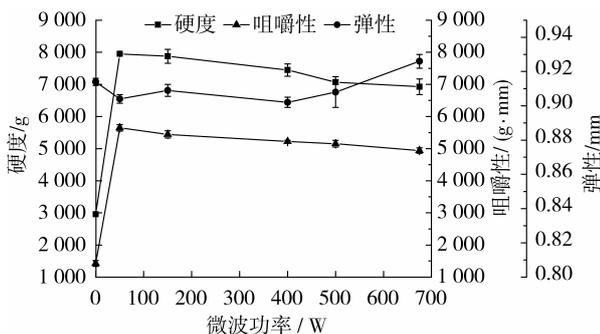


图 1 不同功率解冻后豆腐硬度、咀嚼性、弹性的变化

2.2.3 不同功率解冻后 pH 值的测定与分析

不同功率下冻豆腐解冻后的 pH 值如图 2 所

示。由图可知,鲜豆腐 pH 值最高,冻豆腐的 pH 值随解冻功率的增加而不断下降,这是因为在解冻功率增加的过程中,样品的温度升高,从而加速氧化作用使得糖酸比减小,同时加速有机酸向无机酸的转换,降低了样品的 pH 值^[16]。

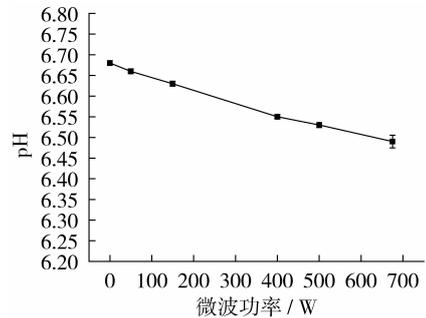


图 2 在不同功率下冻豆腐解冻后的 pH 值

2.2.4 不同功率解冻后色泽的测定与分析

对消费者而言,色泽是产品的第一感官印象,产品的色泽好坏直接影响消费者的购买欲望。冻豆腐的色泽品质以乳白色为最佳,L* 的数值越小,说明色泽越暗淡,b* 的数值越大,说明色泽越黄。由图 3 可知,与新鲜豆腐相比,冻豆腐颜色发黄表面色泽暗淡,这是由于冻豆腐加工期间与空气接触多,豆腐中的脂肪发生酸败,导致表面发黄变色^[17]。随着解冻功率的增加,豆腐表面水分蒸发增多,放置期间与空气接触,加速了氧化,因而色泽不佳,而较低档位下解冻时水分蒸发少,有利于保持豆腐的色泽,故 1、2 档较为合适。

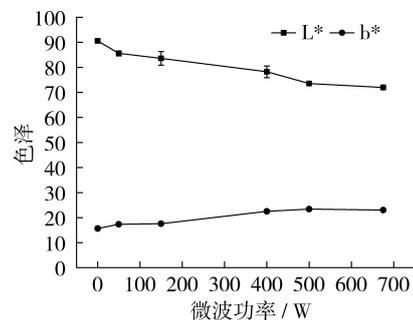


图 3 不同功率解冻后冻豆腐的色泽

2.2.5 不同功率解冻后的感官评价与分析

不同功率下冻豆腐解冻后的感官评价结果见表 4。由表可知,从色泽看:随着微波档位提高,色泽整体评分降低,在高功率下解冻,豆腐表面升温过快,影响其色泽;从气味看,2、3 档位的评分明显高于其它档位,这是由于功率过低豆腐尚未完全解冻,其自然香味没有散发出来,而功率过高,微波加热不均匀^[18-19],导致部分温度过高,有股熟豆腐味道,影响其原本的豆香味,故中间档位较好;档位对其切面结

构无较大影响,因为其空隙大小及致密程度主要取决于冷冻工艺,解冻过程对其影响甚微;从口感(弹性、咀嚼性、硬度)看,弹性得分先增后减,这是因为温度升高使得蛋白质的交联程度增加,因而弹性增

加,但解冻功率过高,可能使蛋白质分子过度变性,分子链大量断裂,影响蛋白质的网络结构,影响弹性,也导致其咀嚼性和硬度下降^[20],这与质构测试结果基本一致。

表4 不同功率下冻豆腐解冻后的感官评价

处理	色泽	气味	切面结构	蒸煮特性	弹性	咀嚼性	硬度	总分
50 W	11.6±0.5	11.6±0.5	17.6±0.5	17.4±0.5	7.6±0.5	8.0±0.6	6.8±0.4	80.6±1.4
150 W	13.2±0.4	13.4±0.5	17.0±0.6	17.8±0.4	8.4±0.5	8.4±0.5	7.8±0.4	86.0±1.8
400 W	12.2±0.4	12.8±0.7	17.2±0.4	17.4±0.5	8.0±0.6	7.4±0.5	7.6±0.5	82.6±1.0
500 W	11.2±0.4	12.2±0.7	16.4±0.5	17.0±0.6	7.4±0.5	7.2±0.4	7.2±0.4	78.6±1.0
675 W	10.2±0.4	11.2±0.7	16.6±0.8	16.4±0.5	6.8±0.4	6.8±0.7	6.6±0.5	74.6±1.6

由上述实验可知:低功率解冻得到的豆腐品质优于高功率解冻得到的,其中1、2档位下解冻的冻豆腐的质构特性、pH及色泽较好。就感官评价而言,150 W下解冻豆腐的得分明显高于其它档位。综合考虑,选取150 W作为最佳解冻功率。

2.3 微波解冻最佳时间的测定

2.3.1 不同时间解冻后基本成分的测定与分析

将冻豆腐置于150 W功率下,分别解冻30、60、90、120、150 s,解冻后的基本品质指标测定结果见表5。由表5可知,随着解冻时间的延长,冻豆腐的灰分和粗脂肪含量变化无明显规律,但时间增加,豆腐吸收热量多,温度迅速升高,水分蒸发快,由显著性分析可看出解冻时间对豆腐的水分和蛋白含量影响显著。

表5 不同时间解冻后冻豆腐的基本指标 /%

处理	水分	灰分	粗脂肪	粗蛋白
新鲜豆腐	81.71±0.35 ^a	1.00±0.02 ^a	3.14±0.18 ^a	10.45±0.28 ^a
30 s	74.17±0.05 ^b	1.20±0.01 ^b	3.86±0.02 ^b	15.73±0.01 ^b
60 s	73.93±0.05 ^b	1.19±0.01 ^b	3.78±0.02 ^{bc}	15.76±0.01 ^b
90 s	73.31±0.09 ^c	1.20±0.01 ^{bc}	3.75±0.01 ^{bc}	16.33±0.05 ^c
120 s	72.86±0.04 ^d	1.22±0.01 ^c	3.69±0.03 ^c	16.47±0.02 ^c
150 s	71.11±0.17 ^e	1.19±0.01 ^b	3.71±0.04 ^c	17.05±0.08 ^d

注:指标均为湿基含量;结果为三次平行实验的平均值±标准偏差;同一列中不含相同字母表示差异显著(P<0.05)。

2.3.2 不同时间解冻后冻豆腐的质构测定与分析

不同时间解冻后豆腐的质构变化如图4所示。由图可知,随着解冻时间的延长,豆腐弹性增加,硬度和咀嚼性整体呈下降趋势,这与不同功率下变化趋势的原因一致,皆是由于豆腐吸收热量不同,影响其蛋白网络结构。综合看来,解冻90 s和120 s时豆腐软硬适中、嚼劲大、弹性好,品质最佳。

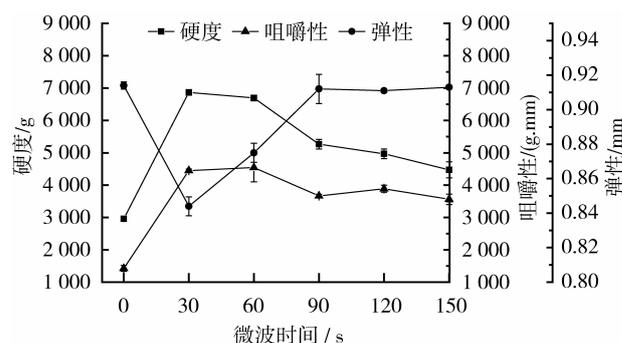


图4 不同时间解冻后豆腐硬度、咀嚼性、弹性的变化

2.3.3 不同时间解冻后 pH 值的测定与分析

不同解冻时间后冻豆腐的 pH 值如图5所示。

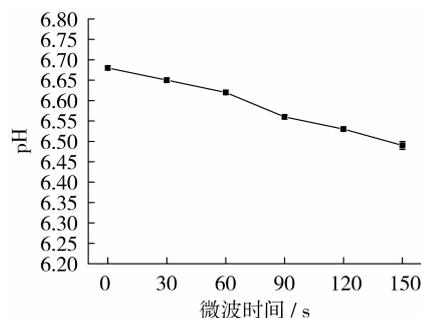


图5 不同时间解冻后豆腐的 pH 值

由图5可知,新鲜豆腐的 pH 值明显高于冻豆腐,冻豆腐的 pH 值随解冻时间的延长而不断下降,同一功率下解冻时间越长豆腐温度越高,导致氧化作用加强,降低了样品的 pH 值^[16]。

2.3.4 不同时间解冻后色泽的测定与分析

不同时间下冻豆腐解冻后色泽的测定结果如图6所示。由图可知,在短时间内由于豆腐尚未完全解冻,部分仍处于冻结状态,故色泽较黄,随着时间的延长,豆腐内的冰完全解冻为水,豆腐恢复自然乳黄色,表面亮度也提高,但时间过长可能导致豆腐与空气接触的表面开始氧化,色泽变差,综合看来,解

冻90 s后色泽最好。

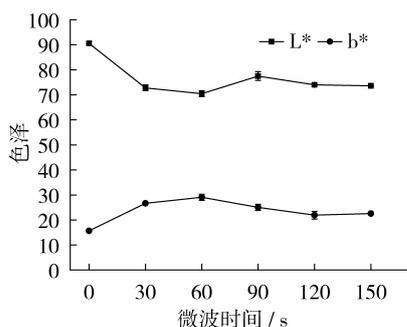


图6 不同时间解冻后豆腐的色泽

2.3.5 不同时间解冻后冻豆腐的感官评价与分析

不同解冻时间后冻豆腐的感官评价结果见表6。由表可知,随着解冻时间的延长,豆腐的色泽、气味以及口感得分均是先逐渐增加再逐渐降低,这与短时间内解冻不完全,长时间下解冻过头有关,切面结构和蒸煮特性无明显变化规律,口感方面得分与质构特性较为一致,90 s下得分最高,120 s次之。综合考虑,选取90 s为最佳解冻时间。

3 结论

本实验研究了微波解冻工艺对冻豆腐品质的影响,并确定了最佳工艺参数。结果表明,微波功率对豆腐品质影响很大,随着功率的变化,豆腐的质构特

表6 不同解冻时间后冻豆腐的感官评价

分

处理	色泽	气味	切面结构	蒸煮特性	弹性	咀嚼性	硬度	总分
30 s	10.8 ± 0.4	10.1 ± 0.4	18.5 ± 0.8	18.5 ± 1.3	7.6 ± 0.2	8.7 ± 0.3	7.7 ± 0.1	81.9 ± 0.5
60 s	11.2 ± 0.1	13.4 ± 0.2	18.4 ± 0.6	18.3 ± 1.2	8.1 ± 0.4	8.4 ± 0.2	8.1 ± 0.3	85.9 ± 0.4
90 s	13.5 ± 0.3	13.5 ± 0.3	18.5 ± 1.2	18.4 ± 0.9	8.5 ± 0.8	8.3 ± 0.3	8.4 ± 0.1	89.1 ± 0.6
120 s	13.2 ± 0.2	13.1 ± 0.2	18.3 ± 1.8	18.2 ± 1.9	8.7 ± 0.3	8.2 ± 0.4	8.2 ± 0.2	87.9 ± 0.7
150 s	12.1 ± 0.1	10.1 ± 0.1	18.4 ± 0.7	17.7 ± 1.3	8.4 ± 0.6	7.6 ± 0.3	7.3 ± 0.3	81.6 ± 0.5

性、pH、色泽都有不同程度的改变,整体而言低功率解冻的品质优于高功率解冻的,但功率太低耗时长且难解冻完全;微波时间对冻豆腐品质影响大,时间太长得到的豆腐 pH、色泽不佳,感观评价得分较低且浪费资源,时间过短则未完全解冻,选取适当时间能保证产品品质。综合考虑选取微波功率 150 W、微波时间 90 s 作为最佳工艺参数。

参考文献:

[1] 谢晶, 华泽钊, 李云飞. 非热技术在食品解冻中的应用[J]. 制冷学报, 1999(3): 36-40.

[2] Tong C H, Lentz R R, Lund D B. A microwave oven with variable continuous power and a feedback temperature controller[J]. Biotechnology progress, 1993, 9(5): 488-496.

[3] Rosenberg U, B? gl W. Microwave thawing, drying, and baking in the food industry[J]. Food Technology, 1987, 41(6): 85-91.

[4] 牛广财, 周丽萍, 李春花, 等. 微波技术在食品工业中的应用[J]. 延边大学农学学报, 2003, 25(4): 295-297.

[5] 杨坚. 中国豆腐的起源与发展[J]. 农业考古, 2004, 2: 217-226.

[6] 危贵茂. 脱水速冻豆腐的加工工艺[J]. 肉类工业, 1997(7): 27-28.

[7] 庞中伟, 张泽俊. 冷冻豆腐和冷冻干燥豆腐加工[J]. 食品科学, 2004, 25(S1): 128-130.

[8] 徐丽涵. 冻豆腐的冷冻工艺及冷冻数学模型的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.

[9] 神田幸忠, 青木美千代, 小杉敏行. Studies on Pressure - shift freezing. Part I. Freezing of Tofu (Soybean curd) by Pressure - shift

Freezing and Its Structure[J]. 日本食品工业学会誌, 1992, 39(7): 608-614.

[10] 沈万兴, 张懋, 卢利群. 一种夏季配菜的微波解冻特性对比研究[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(1): 78-85.

[11] 徐丽涵, 楼田园, 顾永祥, 等. 冻豆腐的规模化生产工艺[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(5): 140-142.

[12] 刘国良, 田少君, 刘翠翠. 冷冻豆腐熟化期间的质构变化[J]. 粮油加工, 2009(3): 108-110.

[13] Brandts J F. The thermodynamics of protein denaturation. I. The denaturation of chymotrypsinogen [J]. Journal of the American Chemical Society, 1964, 86(20): 4291-4301.

[14] 王凤翼. 新大豆蛋白食品开发(六) - 大豆蛋白质的变性[J]. 肉类工业, 1995, 9: 45-47.

[15] 杨柳, 刘玉环, 阮榕生, 等. 交联作用对蛋白类食品的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(19): 394-395.

[16] 施冰心, 刘宝林, 王小波. 不同真空预冷终温对豆腐品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(4): 226-229.

[17] 杨瑞. 食品保藏原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 84-85.

[18] Chamchong M, Datta A K. Thawing of foods in a microwave oven: I. Effect of power levels and power cycling [J]. Journal of microwave power and electromagnetic energy, 1999, 34(1): 8-21.

[19] Kim T H, Choi J H, Choi Y S, et al. Physicochemical properties of thawed chicken breast as affected by microwave power levels [J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(4): 971-977.

[20] 李海萍, 易菊珍. 大豆分离蛋白改性的研究进展[J]. 高分子通报, 2009(2): 58-63. ㊞