

酱汁鲍鱼硬罐头杀菌工艺及流变学性质研究

黄菊青, 方 婷, 陈锦权*

(福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002)

摘 要:目的: 确定酱汁鲍鱼硬罐头最佳杀菌工艺, 以保证产品安全性及最大限度地保留其营养价值, 并进一步描述产品流变特性, 为其质量客观评价提供一定的理论依据。方法: 通过考察不同杀菌条件(不同 F 值)对罐头主要品质指标的影响确定最佳杀菌工艺; 通过应力松弛试验测定鲍鱼流变特性; 通过静态及动态流变试验测定酱汁流变特性。结果: 不同杀菌条件对罐头主要品质指标产生明显影响, 罐头最佳杀菌工艺为 12min-12min-12min/121℃ ($F_{121.1℃}=3.6\text{min}$); 鲍鱼流变(应力松弛)特性可用二元 Maxwell 模型很好的描述; 酱汁属于非牛顿流体, 显示出一定的黏弹性及弱凝胶性质, 其流变特性可用 Cross 方程很好的描述。结论: 以 F 值为指导所确定的罐头最佳杀菌工艺能保证产品安全性并最大限度地保留其营养价值; 所描述的产品流变特性可为其质量客观评价提供一定的理论依据。

关键词: 鲍鱼硬罐头; 酱汁; 杀菌; F 值; 流变

Sterilization Process and Rheological Properties of Canned Abalone with Sauce

HUANG Ju-qing, FANG Ting, CHEN Jin-quan*

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Objective: To explore the optimal sterilization process of canned abalone with sauce for ensuring its safety and maximizing its nutritional value, and then describe its rheological properties for providing a theoretical basis for quality assessment. Methods: The optimal sterilization process was explored by determining key quality indicators of canned abalone at various sterilization conditions. Meanwhile, the rheological properties of abalone were investigated by stress relaxation test and of sauce by static and dynamic rheological tests. Results: An obvious effect of different sterilization conditions on key quality indicators of canned abalone with sauce was observed. The optimal sterilization process was 12 min-12 min-12 min/121 °C ($F_{121.1℃}=3.6\text{ min}$). The rheological properties of the canned abalone could be described by a dual Maxwell model during stress relaxation process. The sauce behaved as a kind of non-Newtonian fluid and revealed the properties of visco-elasticity and weak gel, and its rheological properties could be described by Cross equation. Conclusion: The determination of optimal sterilization process based on F -value for canned abalone can ensure its safety and maximize its nutritional value. The described rheological properties for this product can provide a theoretical basis for its quality assessment.

Key words: canned abalone; sauce; sterilization; F -value; rheology

中图分类号: TS295.4; TS201.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)14-0067-05

鲍鱼肉质细嫩, 味道鲜美, 位列“海产八珍”之一, 是极为珍贵的海产品^[1], 其食用价值和药用价值已得到广泛认可。由于鲜鲍保鲜贮运要求较高, 销售规模有限, 将其加工成罐头食品, 不仅便于携带、方便食用、保质期长, 且能在一定程度上保持鲜鲍的原有风味, 因此, 是一种不错的加工方式。目前, 我国鲍鱼罐头的加工形式主要有普通鲍鱼软罐头^[2-3], 即食鲍

鱼软罐头^[4-6]及汤类鲍鱼硬罐头^[7-8], 尚未发现有关酱汁鲍鱼硬罐头加工的报道。杀菌是罐头食品生产的重要环节, 其工艺条件是否适当, 直接关系到产品贮藏期间的品质及安全性^[9]。已知低酸性罐头食品的杀菌温度一般采用 121℃^[10], 且其 $F_{121.1℃}$ 至少应为 3.0min($Z=10℃$)^[11]。传统上, 对罐头冷点温度的采集通常采用人工法, 这易产生误差, 随着计算机及电测技术的发展, 以计算机

收稿日期: 2010-11-05

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAD94B01)

作者简介: 黄菊青(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品加工理论与应用。E-mail: juqing.555@126.com

* 通信作者: 陈锦权(1954—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: chenjq6613@yahoo.com.cn

为核心的数据采集系统得到迅速发展, 将它应用于罐头杀菌过程参数的采集, 可大大提高数据精度^[12]。因此, 本实验采用计算机系统测定罐头 F 值, 并以此为依据, 研究不同杀菌条件(不同 F 值)对罐头品质的影响, 得出最佳杀菌工艺, 在保证产品安全性的基础上最大限度地保留其营养价值, 并进一步对产品流变学性质进行分析, 描述产品流变特性, 建立产品流变模型, 为同类加工企业产品质量客观评定体系的建立提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酱汁鲍鱼硬罐头半成品[210g \pm 10g, 其中, 鲍鱼约 100g(共 4 粒, 每粒肉约 25g, 带壳时 6~7 粒/500g, 品种为皱纹盘鲍), 酱汁可溶性固形物含量为 6.0%], 自制, 待杀菌; 751 型空罐 福建和成制罐有限公司。

1.2 仪器与设备

LP1002B 电子天平 常熟百灵天平仪器有限公司; Personal Daq/56TM USB Data Acquisition Modules 北京康泰电子有限公司; GT4A1 型手扳封罐机 广东省汕头市金园区顺成食品机械厂; YX280B 型手提式不锈钢蒸汽杀菌锅 上海三三医疗器械有限公司; GSP-9160MBE 型隔水式恒温培养箱 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; SW-CJ-1F 型单人双面净化工作台 苏州净化设备有限公司; WYA 阿贝折射仪 上海精密科学仪器有限公司; EZ-S 食品质构仪 日本岛津(香港)有限公司; MCR301 型流变仪 奥地利安东帕有限公司。

1.3 方法

1.3.1 罐头 F 值测定

校正完热电偶温度后, 固定热电偶一端于罐中心处的鲍鱼肉质中心(罐头冷点), 将其另一端与数据采集器连接, 用于测量鲍心温度, 采用同样方法测量酱汁及杀菌锅蒸汽温度, 每隔 1min 记录 1 次, 经数据采集器将数据传至计算机界面, 通过 Matlab 软件计算罐头 F 值。

1.3.2 罐头杀菌条件设计

控制升温及降温时间均为 12min, 使杀菌恒温温度

为 121℃, 分别进行 7 个不同梯度(不同杀菌恒温时间)的杀菌处理, 每个梯度平行 10 罐。

1.3.3 罐头感官评定

分别对风味、色泽、形态、口感及稳定性 5 个项目进行评分, 总满分为 100 分。评定小组由 10 位专业感官评审员组成, 最后取 10 人评分平均值作为罐头感官得分。具体标准见表 1。

1.3.4 鲍鱼咀嚼性测定

咀嚼性(chewiness), 即口语中的咬劲, 反映样品对咀嚼的持续抵抗性, 其大小为硬度^[13]、弹性^[13]及凝聚性^[14-15]三者的乘积。实验采用食品质构仪于室温进行 TPA 质地测试(texture profile analysis, TPA), 测量部位为鲍鱼足部肌肉, 压缩模具为圆柱形探头($d=20\text{mm}$), 压缩速度为 20mm/min, 连续压两次, 样品变形量为 50%。

1.3.5 酱汁咀嚼黏度测定

采用流变仪进行测定, 选择直径为 25mm 的平板夹具, 设定平板与平台间距为 0.051mm、温度 40℃(与人体口腔温度接近), 剪切速率 34.41s⁻¹(与人体口腔咀嚼食物时舌头的搅拌速率接近^[16]), 运行时间为 10s, 每隔 5s 取一点, 计算平均值。

1.3.6 酱汁可溶性固形物含量测定

折光计法^[17]。

1.3.7 鲍鱼流变特性测定

采用食品质构仪于室温进行测定, 测量部位为鲍鱼足部肌肉, 压缩模具为圆柱形探头($d=20\text{mm}$), 压缩速度为 20mm/min, 样品变形量为 20%, 探头最大位移处停顿时间为 120s。

1.3.8 酱汁流变特性测定

采用流变仪进行测定。

1.3.8.1 酱汁静态流变特性测定

静态流变分析于旋转测试模式下进行, 选择直径为 25mm 的平板夹具, 设定平板与平台间距为 0.051mm, 温度为 40℃, 剪切速率为 10⁻³~10³s⁻¹(线性变化), 运行时间为 180s, 每隔 5s 取一点, 测定酱汁剪切应力 τ 及表观黏度 η 随剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的变化曲线。

表 1 罐头感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation standard of canned abalone with sauce

评分	风味	色泽	形态	口感	稳定性
100~80 (每项 20~16 分)	罐头鲍香味浓郁, 无腥味其他异味	鲍鱼保持原有色泽, 分布均匀, 无褐变现象; 酱汁为明亮的金黄色	鲍鱼外形完整, 呈元宝状, 表面无皱缩; 酱汁很透明, 呈半流体状, 无颗粒	鲍鱼滑嫩爽口, 软硬适中, 稍有弹牙; 酱汁黏稠适中, 细腻、柔和、爽口	罐头贮藏 10d 后感官品质无任何变化
80~60 (每项 16~12 分)	罐头鲍香味不够浓郁, 稍有腥味, 无其他异味	鲍鱼色泽分布基本均匀, 有轻微褐变; 酱汁色泽不够明亮	鲍鱼: 外形基本完整, 表面稍有皱缩; 酱汁不够透明, 无小颗粒	鲍鱼基本爽口, 稍硬或稍软; 酱汁稍黏或稍稠, 不够细腻爽口	罐头贮藏 10d 后感官品质稍有变化
< 60 (每项 < 12 分)	罐头无鲍香味, 有腥味及其他异味	鲍鱼色泽分布不均匀, 褐变现象严重; 酱汁色泽暗淡	鲍鱼外形不美观, 表面皱缩严重; 酱汁浑浊, 有小颗粒	鲍鱼太硬或太软; 酱汁太黏或太稠, 很不适口	罐头贮藏 10d 后感官品质变化较大

1.3.8.2 酱汁动态流变特性测定

动态流变分析于振荡测试模式下进行,选择直径为50mm的平板夹具,设定平板与平台间距为0.5mm,应变 γ 为1%(线性黏弹区范围LVE-R内),角频率 ω 为0.1~100s⁻¹,测定酱汁储能模量 G' (反映黏弹性流体的弹性大小)、损耗模量 G'' (反映黏弹性流体的黏性大小)及复合黏度 $[\eta^*]$ 于室温(储藏温度)下随角频率 ω 的变化规律。

1.3.9 罐头商业无菌检验

参照罐头食品商业无菌的检验方法^[18]。

以上所有测定均于样品贮藏1d后进行,并平行6次。

2 结果与分析

2.1 F值测定结果

将多组温度数据导入Matlab 7.0软件进行处理,结果发现,当杀菌条件为12min-10min-12min/121℃时, $F_{121.1^\circ\text{C}} = 3.1\text{min} > 3\text{min}$,符合低酸性罐头食品杀菌要求,而当杀菌条件为12min-9min-12min/121℃时, $F_{121.1^\circ\text{C}} = 2.8\text{min} < 3\text{min}$,未能达到杀菌要求。前者的温度曲线及致死率曲线如图1、2所示。

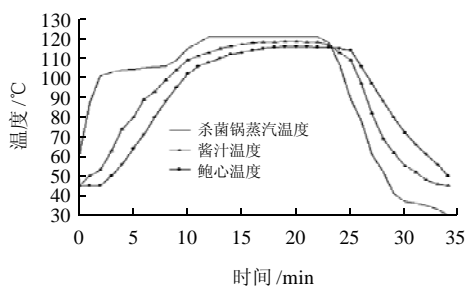


图1 杀菌锅蒸汽、酱汁及鲍心的温度曲线

Fig.1 Temperature curves of autoclave steam, sauce and abalone

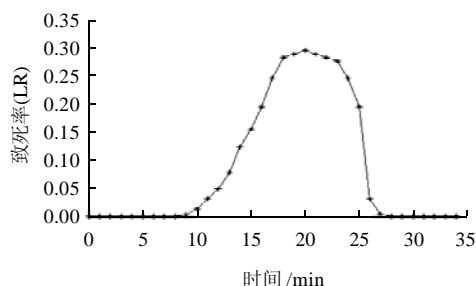


图2 鲍心致死率曲线

Fig.2 Lethal rate curve of abalone

因此,选择12min-10min-12min/121℃为最低杀菌条件,并将其作为后续杀菌条件设定基准。

2.2 不同杀菌条件(不同F值)对罐头感官评价结果及理化指标的影响

表2 不同杀菌条件(不同F值)下罐头感官得分、理化指标及商业无菌检验结果

Table 2 Sensory scores, physical and chemical indices and commercial sterilization results of canned abalone under different sterilization conditions (different F-values)

恒温时间/min	$F_{121.1^\circ\text{C}}/\text{min}$	罐头感官得分	鲍鱼咀嚼性/N	酱汁咀嚼黏度/(mPa·s)	酱汁可溶性固形物含量/%	商业无菌检验结果
10	3.1	82	33.67	195	6.2	商业无菌
12	3.6	86	36.86	218	6.4	商业无菌
14	4.2	80	41.87	244	6.8	商业无菌
16	4.8	79	45.96	259	7.2	商业无菌
18	5.3	74	49.31	272	7.5	商业无菌
20	5.9	72	42.64	261	8.1	商业无菌
22	6.5	68	25.43	240	8.5	商业无菌

从表2可以看出,各杀菌恒温时间(各 $F_{121.1^\circ\text{C}}$)下的罐头均符合商业无菌要求,证实F值测定的可靠性及必要性。同时,罐头感官得分随杀菌恒温时间的增加先增加而后逐渐降低,罐头理化指标在不同杀菌条件下均发生明显变化,并对其感官评价结果产生明显影响。其中,鲍鱼咀嚼性随杀菌恒温时间的增加呈先增加后降低的变化趋势,反映了鲍鱼肉质随热处理程度的加强先变硬后变软的过程;酱汁可溶性固形物含量随杀菌恒温时间的增加而逐渐增加,说明随着杀菌恒温时间的增加,鲍鱼肉质中越来越多的胶原蛋白发生变性,并转化为可溶性明胶流失至酱汁(据报道,鲜鲍经加热后胶原蛋白含量由64%(占总蛋白含量)下降为46%^[19]),使酱汁色泽越来越泛白,并大大影响罐头感官得分;酱汁咀嚼黏度随杀菌恒温时间的增加呈先增加后降低的变化趋势,黏度增加的原因主要与如上所述的杀菌过程中鲍鱼肉质胶原蛋白变性及其流失有关,而黏度降低则可能由于高强度的热处理使酱汁增稠体系网状结构受到破坏。综上,当杀菌恒温时间为12min时,罐头各方面感官品质均处于较佳状态,理化参数也适中,感官得分最高,因此,确定罐头最佳杀菌条件为12min-12min-12min/121℃($F_{121.1^\circ\text{C}} = 3.6\text{min}$),此时,鲍鱼咀嚼性为36.86N,酱汁咀嚼黏度为218mPa·s,酱汁可溶性固形物含量为6.4%。

2.3 鲍鱼流变分析结果

对鲍鱼等复杂黏弹性体黏弹性的解析,多用广义麦克斯韦(Maxwell)模型^[19-20]。广义Maxwell模型是由许多Maxwell模型并联而成的,其应力松弛表达式为^[13]:

$$\sigma(t) = \varepsilon \left(\sum_{i=1}^n E_{Mi} e^{-t/\tau_{Mi}} \right), \quad \tau_{Mi} = \eta_{Mi} / E_{Mi}$$
 其中: $\sigma(t)$ 表示应力松弛过程中的应力; ε 表示恒定的应变(本实验为20%); E_{Mi} 表示第*i*个Maxwell模型的弹性模量; τ_{Mi} 表示第*i*个Maxwell模型的应力松弛时间; η_{Mi} 表示第*i*个Maxwell模型的黏性模量; t 表示时间。本实验最佳杀菌条件下鲍鱼肌肉的应力松弛曲线如图3所示。

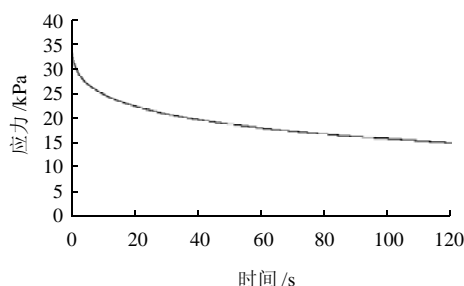


图3 鲍鱼肌肉应力松弛曲线

Fig.3 Stress relaxation curve of abalone muscle

采用逐次渐近法^[21]对鲍鱼肌肉二元 Maxwell 模型(图4)应力松弛曲线进行解析,通过 SPSS 13.0 数据分析软件建立非线性回归方程,结果见表3。

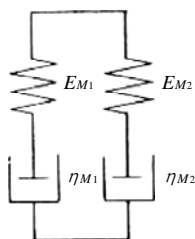


图4 鲍鱼肌肉二元 Maxwell 模型

Fig.4 Dual Maxwell model of abalone muscle

表3 鲍鱼肌肉应力松弛过程非线性回归结果

Table 3 Non-linear regression results of abalone muscle in the stress relaxation process

测量部位	参数	估计值	标准差	估计值范围(95% CI)		相关系数 R^2
				下限	上限	
鲍鱼	E_{M1}	110.651	0.210	110.240	111.062	0.996
	τ_{M1}	293.676	1.986	289.780	297.572	
足部肌肉	E_{M2}	44.962	0.255	44.462	45.463	
	τ_{M2}	11.166	0.139	10.893	11.439	

因此,所建立的鲍鱼流变(应力松弛)模型为:

$$\sigma(t) = \varepsilon E_{M1} e^{-t/\tau_{M1}} + \varepsilon E_{M2} e^{-t/\tau_{M2}} = 22.130 e^{-t/293.676} + 8.992 e^{-t/11.166}, R^2 = 0.996$$

2.4 酱汁流变分析结果

2.4.1 静态流变特性分析

由图5可以得知,酱汁属于非牛顿流体,其表观黏度 η 随剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的增大而降低,呈“剪切变稀”现象,说明其易于咀嚼、吞咽,同时,其流变曲线可通过 Cross 方程进行很好的拟合。已知, Cross 方程适于较宽剪切速率范围的流变行为,并可用来预计零剪切速率和无穷剪切速率下的表观黏度^[22],这些极限黏度的表征对于酱汁制备过程中的搅拌调控具有很大的指导作

用。Cross 方程表达式^[23]为:

$$\frac{\eta - \eta_{\infty}}{\eta_0 - \eta_{\infty}} = \frac{1}{1 + (k \dot{\gamma})^m}$$

式中: η_0 和 η_{∞} 分别表示零剪切黏度和无穷剪切黏度,分别为极低和极高剪切速率时表观黏度的渐进值/(Pa·s); k 为具有时间量纲的常数/s; m 为无量纲常数。

因此,通过软件分析,建立酱汁流变模型如下:

$$\eta = \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{1 + (k \dot{\gamma})^m} + \eta_{\infty} = \frac{9.885}{1 + (7.640 \dot{\gamma})^{0.684}} + 0.010, R^2 = 1$$

式中: $\eta_0 = 9.895$; $\eta_{\infty} = 0.010$; $k = 7.640$; $m = 0.684$ 。

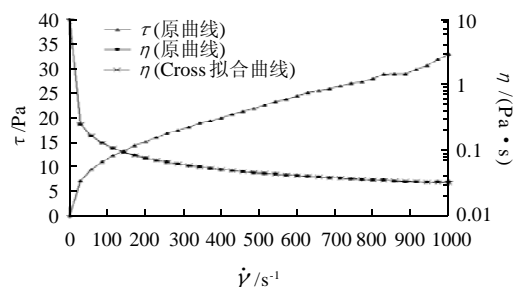


图5 酱汁流动原曲线及其拟合曲线

Fig.5 Original and fitted flow curves of the sauce

2.4.2 动态流变特性分析

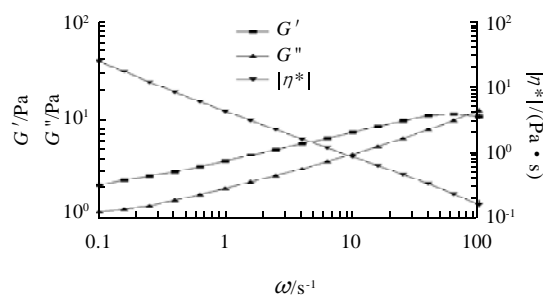


图6 酱汁频率扫描结果

Fig.6 Frequency scanning results of the sauce

由图6可以看出,酱汁是一种黏弹性流体,并显示出弱凝胶性质。酱汁体系随频率 ω 的增大,储能模量 G' 、损耗模量 G'' 均逐渐增大,而复合黏度 $|\eta^*|$ 逐渐减小,而当 G' 与 G'' 相交后, G' 开始呈下降趋势, G'' 则继续增大。原因可能是,随着频率的增大,酱汁体系分子的振动与外在频率的振动发生共振作用,体系弹性效应逐渐增强,但随着频率的进一步增大,振动破坏了酱汁体系分子形成的网络结构,弹性效应减弱,黏性效应逐渐增强。因此,酱汁在贮藏和运输过程中应

尽量避免振动和摇动,使其结构和黏度保持稳定。

3 结 论

3.1 研究不同杀菌条件(不同 F 值)对罐头感官得分、理化指标及商业无菌检验结果的影响。结果表明,各杀菌恒温时间(各 $F_{121.1^\circ\text{C}}$)条件下的罐头均符合商业无菌要求,证实 F 值测定的可靠性及必要性;罐头感官得分随杀菌恒温时间的增加先增加而后逐渐降低,罐头物理化指标在不同杀菌条件下均发生明显变化,并对其感官评价结果产生明显影响,罐头最佳杀菌条件为 12min-12min-12min/ 121°C ($F_{121.1^\circ\text{C}}=3.6\text{min}$),此时,鲍鱼咀嚼性为 36.86N,酱汁咀嚼黏度为 218mPa·s,酱汁可溶性固形物含量为 6.4%。

3.2 通过应力松弛试验对最佳杀菌条件下鲍鱼肌肉的应力松弛特性(流变)进行测定,采用逐次渐近法对其二元 Maxwell 模型应力松弛曲线进行解析,建立鲍鱼的流变(应力松弛)模型为:

$$\sigma(t)=22.130e^{-t/293.676}+8.992e^{-t/11.166}, R^2=0.996$$

3.3 通过静态及动态流变试验测定酱汁流变特性。结果表明,酱汁属于非牛顿流体,是一种黏弹性流体,并显示出弱凝胶性质;其流变行为用 Cross 方程描述为:

$$\eta=\frac{\eta_0-\eta_\infty}{1+(k\dot{\gamma})^m}+\eta_\infty=\frac{9.885}{1+7.640(k\dot{\gamma})^{0.684}}+0.010, R^2=1$$

3.4 鲍鱼肌肉由足肌和壳肌组成,两者及其不同切面在组织构造上均有一定区别,这可能会造成其力学性质(如质构特性及流变特性)上的差异,本实验只从宏观上选取较为主要的足肌部分作为研究对象,因此,有待进一步从微观上对鲍鱼肌肉的力学特性进行全面研究。

参考文献:

- [1] 杜贤君. 鲍鱼知识面面观[J]. 四川烹饪, 2003(5): 30-31.
- [2] 陈思行, 曾敏珍. 海味四珍之首鲍鱼[J]. 海鲜世界, 2004(4): 4-6.
- [3] 高岩绪, 张维科, 王卫云, 等. 一种鲍鱼软罐头及其制备方法: 中国,

CN101073418A[P]. 2007-11-21.

- [4] 朱蓓薇, 吴厚刚, 董秀萍. 鲍鱼软包装即食产品的制备方法: 中国, CN101019664A[P]. 2007-08-22.
- [5] 刘昌衡, 刘健敏, 孟秀梅, 等. 即食鲍鱼的加工方法: 中国, CN101396133A [P]. 2009-04-01.
- [6] 贾鹏, 吕洪波, 贾培起. 即食鲍鱼加工的新方法: 中国, CN101199354A [P]. 2008-06-18.
- [7] 叶倩倩. 鲍鱼罐头关键技术及传热数学模型的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [8] 刘扬瑞, 李银塔, 吴新颖. 一种鲍鱼罐头及其生产方法: 中国, CN101574157A[P]. 2009-11-11.
- [9] 李琳, 陈峰. 罐头食品杀菌过程优化研究的发展与分析[J]. 食品与发酵工业, 1997, 23(3): 59-65.
- [10] 赵晋府. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 148-152.
- [11] 宋彬彬. 低酸性食品罐头的杀菌与 P.A.3679 菌[J]. 食品与发酵工业, 1985(3): 45-52.
- [12] 赵大云, 吴希铭. 罐头杀菌冷点温度和 F 值测定系统的设计[J]. 食品科学, 2005, 26(4): 118-123.
- [13] 屠康, 姜松, 朱文学. 食品物性学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006.
- [14] TIM K. Application of liquid and solid rheological technologies to the textural characterisation of semi-solid foods[J]. Food Research International, 2006, 39(3): 265-276.
- [15] RAFAELG, TYRI V, KOLBRUN S. Effects of rearing temperature and in on sensory characteristics, texture, colour and fat of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*)[J]. Food Quality and Preference, 2004, 15(2): 177-185.
- [16] 李全阳, 夏文水. 酸乳流变学特性的初步研究[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(12): 35-38.
- [17] GB/T 10786 — 2006 罐头食品的检验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [18] GB/T 4786.26 — 2003 食品卫生微生物学检验: 罐头食品商业无菌的检验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [19] 张亚琦. 鲍鱼的物性学研究及加工工艺探讨[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [20] STEFFE J F. Rheological methods in food process engineering[M]. Minnesota: Freeman Press, 1992: 56-58.
- [21] GAO Xin, HIROO O. Rheological properties and structural changes in raw and cooked abalone meat[J]. Fisheries Science, 2001, 67(2): 314-320.
- [22] 谭洪卓, 谷文英, 刘敦华, 等. 甘薯淀粉糊与绿豆淀粉糊流变行为的共性与区别[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 32-37.
- [23] GONZALEZ R E, MENDEZ M, SOLORZA F J, et al. Rheological and thermal characterization of *Okenia hypogaea* (Schlech.&Cham.) starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 52(3): 297-310.