

研究报告

酿造酱油热力杀菌规程研究

王铁龙¹,许凌云¹,刁钢²

(1. 中国检验检疫科学研究院,北京 100176;2. 丽水学院,浙江丽水 323020)

摘要:目的 研究酿造酱油杀菌条件并对其进行验证,最终得出酿造酱油的杀菌规程。方法 测定金黄色葡萄球菌增菌稀释后,在80℃、85℃、90℃加热条件下,对残留活菌进行计数,计算出D值、Z值和F值,再通过直接对酿造酱油产品进行热穿透实验,最终得出合理的杀菌规程。结果 杀菌规程为: $D_{80℃}=6.13\text{ min}$, $r^2=0.9094$; $D_{85℃}=4.78\text{ min}$, $r^2=0.9010$; $D_{90℃}=1.53\text{ min}$, $r^2=0.6802$; Z值为16.6℃; $F_{80℃}=36.78\text{ min}$; $F_{85℃}=28.68\text{ min}$; $F_{90℃}=9.18\text{ min}$ 。通过理论计算得出最佳杀菌温度和时间为90℃,9.18 min;经过实际加工过程验证,确定出最终的杀菌规程为:36 min-4 min/90℃。结论 细菌致死是一个累积的过程,是产生理论与实际差异的最主要因素,因此在实际应用过程中,除了理论计算,验证工作更为重要。

关键词:酿造酱油;金黄色葡萄球菌;热力杀菌;规程

中图分类号:R155

文献标识码:A

文章编号:1004-8456(2023)01-0015-05

DOI:10.13590/j.cjfh.2023.01.003

Thermal scheduled process of brewed soy sauce

WANG Tielong¹, XU Lingyun¹, DIAO Gang²

(1. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China;

2. Lishui University, Zhejiang Lishui 323020, China)

Abstract: Objective To study and verify the sterilization conditions of brewed soy sauce, and finally obtain the sterilization procedures for brewed soy sauce. **Methods** After determining of diluted *Staphylococcus aureus*, the remaining viable bacteria was counted after 80℃, 85℃, 90℃ treatment. And the D, Z and F value were calculated. After directly conducting heat penetration experiments on brewed soy sauce products, a reasonable sterilization procedure was finally obtained. **Results** The sterilization procedure was: $D_{80℃}=6.13\text{ min}$, $r^2=0.9094$; $D_{85℃}=4.78\text{ min}$, $r^2=0.9010$; $D_{90℃}=1.53\text{ min}$, $r^2=0.6802$; $Z=16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$; $F_{80℃}=36.78\text{ min}$; $F_{85℃}=28.68\text{ min}$; $F_{90℃}=9.18\text{ min}$. After the theoretical calculation when the reference was 90℃, the best sterilization temperature and time were 90℃, 9.18 min. After verification of actual processing process, it was determined that the final sterilization procedure was: 36 min-4 min/90℃. **Conclusion** The main factor leading to the difference between theoretical calculation and actual processing process is that sterilization is a cumulative process, so in addition to theoretical calculations, verification is also particularly important in the actual application process.

Key words: Brewed soy sauce; *Staphylococcus aureus*; thermal process; scheduled process

酱油最早起源于我国的周朝(公元前1046年~公元前256年)^[1],又称“清酱”或“酱汁”。目前传统酱油以大豆、豆粕等为原料,以面粉、小麦等作为辅料,利用微生物的分解作用,最终形成具有特殊色泽、滋味并带有浓烈酱香味的醪液^[2]。在酱油生产过程中,需要对酱油进行加热灭菌处理,常用的热

处理方式有两种,一种是采用巴氏杀菌法,另一种是采用高温瞬时杀菌法^[3]。采用巴氏杀菌法的酱油一般是水分活度低于0.85,当水分活度大于或等于0.85时,一般采用高温瞬时杀菌法。目前对酱油杀菌技术的研究主要从以下两个方面进行,一是新型杀菌技术的应用:尹倩等^[4]研究在酱油生产中采用高压脉冲电场进行杀菌;黄亚东与黄亚玲^[5]研究采用超高压处理技术对酱油进行杀菌;高翔^[6]研究了应用紫外线杀菌技术对酱油制品进行杀菌;二是杀菌对产品品质的影响:很多日本学者研究了日本酱油在不同加热条件下,及加热前后酱油香气的变化^[7-9];邓岳等^[10]研究了杀菌工艺对先市酱油品质形

收稿日期:2021-12-31

基金项目:河北省重点研发项目(20327113D,21327117D)

作者简介:王铁龙 男 高级工程师 研究方向为食品安全、HACCP体系、食品热加工 E-mail:36924431@qq.com

通信作者:刁钢 男 副教授 研究方向为农林经济及食品安全管理 E-mail:diaogang82@sina.com

成的影响;高献礼^[11]对高盐稀态酱油在发酵和巴氏杀菌过程中风味物质的形成和变化进行了研究。到目前为止,酿造酱油在绝大部分企业仍然采用加热杀菌的方式进行生产,但是鲜见对酱油制品热杀菌规程进行研究,因此本文结合实际生产对酿造酱油热力杀菌规程进行研究,以期提高企业对热力杀菌的整体认知。

根据欧阳友生等^[12]对酱油涨罐原因的分析,涨罐的主要原因是埃切毕赤酵母;蒋雪薇等^[13-14]研究发现耐盐芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌是引起成品酱油微生物污染及变质变化的主要因素,上述整体研究针对的是酱油成品中存在的风险,并没有明确酱油本身属性。本文研究的酿造酱油水分活度 ≤ 0.840 。在研究前,对未杀菌酱油致病菌进行了分离,分离出的主要致病菌为金黄色葡萄球菌,这与STEPHEN^[15]在食品中微生物风险评估中所研究的结果一致。因此本文选择金黄色葡萄球菌作为目标菌来进行研究。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与试剂

立式自动电热压力蒸汽灭菌器(LDZX-40BI,上海申安医通机械厂),超净工作台(SW-CJ-1 C μ ,苏州净化设备有限公司),智能恒温恒湿培养箱(LHP-250,上海鸿都电子科技有限公司),台式天平(PL2002,梅特勒-托利多),恒温振荡培养箱(THZ-98A,上海一恒科技有限公司),水浴恒温振荡器(SHZ-82A)、旋涡混合器(XH-T,金坛市医疗仪器厂),高速台式离心机(TGL-16G,上海安亭科学仪器厂),0.01~1 000 mL移液器(德国Eppendorf公司),S-3400N-II扫描电子显微镜(日本日立公司),温度传感器(TSPRO-2,丹麦ELLAB公司),夹层式灭菌罐(ERV-001,浙江伊瑞机械有限公司)。

胰蛋白胨大豆肉汤、胰蛋白胨大豆琼脂、酵母浸粉、Baird-Parker基础培养基、亚碲酸钾卵黄增菌液购自北京路桥技术有限责任公司;氯化钠(分析纯)购自无锡市亚泰联合化工有限公司;随机抽取10家酿造酱油加工企业高盐稀态发酵酱油。

1.2 菌株

选用的高盐稀态发酵酱油(水分活度不大于0.840)和金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* CICC10384)均由烟台欣和味达美食品有限公司提供。

1.3 样品处理

1.3.1 匀液制备

吸取25 mL高盐稀态发酵酱油至盛有225 mL 7.5%氯化钠肉汤的无菌锥形瓶中,震荡混匀,将样

品匀液于 (36 ± 1) °C培养18~24 h。用梯度稀释法调整金黄色葡萄球菌液增菌浓度为8 lg CFU/mL。对随机抽取的10家酿造酱油加工企业高盐稀态发酵酱油直接进行平板计数。

1.3.2 样品前处理

以无菌吸管吸取25 mL酱油置于盛有225 mL生理盐水的无菌锥形瓶中,充分混匀,制成1:10的样品匀液,之后接入75 mL 1.3.1制备的匀液,直接进行平板计数。

1.4 热处理

将1.3.2制备好的样品按每份10 mL注入无菌试管中,共12份,其余备用。将12份样品分别放置在预热的恒温水浴锅中进行热处理,水浴锅分别设定80 °C、85 °C、90 °C。每个温度段分别保温5、10、15、20 min,之后立即放入冰水中冷却。

1.5 菌落计数

将热处理后的样品在洁净无菌的条件下,加入3 mL的0.85%无菌生理盐水,在均质器中拍打2 min,使之与样品混合均匀,用0.85%的无菌生理盐水连续稀释后,取适当稀释度1 mL菌液涂布于加有亚碲酸钾卵黄增菌液的Baird-Parker选择性固体培养基上,在37 °C条件下培养48 h后计数^[16]。

1.6 D值计算

利用软件以保温时间为横坐标,残存活菌数为纵坐标,拟合计算出热力杀菌致死指标D值。

1.7 Z值计算

以加热温度为横坐标,D值为纵坐标,绘制热致死时间曲线,求出热致死时间减少1个对数周期所需升高的温度,即为Z值^[17]。

1.8 F值计算

为定量计算微生物灭活程度,保证食品安全,引入热力杀菌强度F值,便于热杀菌过程的优化及控制^[18-20]。F值又叫作杀菌致死值,一般F值与D值的关系可以用 $F=nD$ 来表示,n标识产品最大污染程度对数,不是固定不变的,随卫生条件、食品污染物生物的种类及程度而变化^[21]。

1.9 建立热力杀菌规程

王铁龙等^[22]利用热穿透检测方法对水产罐头关键因子进行了比较分析;段伟等^[23]曾用此法对冷冻虾仁杀菌过程进行研究;MACNAUGHTON等^[24]对采用热穿透方式建立杀菌规程的杀菌方式和关键因子进行研究;ADEPOJU等^[25]研究了在蒸汽和水不同杀菌方式下,采用热穿透方法建立奶鱼产品杀菌规程,由此可见采用热穿透建立产品热力杀菌规程是一个非常有效的方法。

首先本实验依据理论可以得出金黄色葡萄球

菌在某一杀菌温度下的杀菌时间,进而计算出 D 值、Z 值、F 值,在利用丹麦 ELLAB 温度传感器,参照 SN/T 0400.13—2014《进出口罐头食品检验规程第 13 部分:热渗透测试》^[26]中的热穿透测定方法,在夹层式灭菌罐中满载酿造酱油产品,1 支传感器置于设备几何中心处,测定夹层式灭菌罐内环境温度,本研究仅采用 90 °C 杀菌举例来建立杀菌规程。

1.10 统计学分析

利用 Origin、SPSS 软件作图拟合计算出热力杀菌致死指标 D 值。

2 结果

2.1 金黄色葡萄球菌在不同温度下加热不同时间的残存活菌数

从表 1 中可以看出,不同温度下加热 5 min 后在稀释 10 倍的酿造酱油中金黄色葡萄球菌数较为接近。随着温度的升高及加热时间的延长,活菌数出现较大变化,当加热至 90 °C,处理 20 min 后残存活菌数下降最多,从 9.52×10^6 CFU/mL 下降到 4.13×10^3 CFU/mL,下降了 3 个数量级,80 °C 处理 20 min 后,残存活菌数从 2.66×10^7 CFU/mL 下降到 3.68×10^6 CFU/mL,仅下降了 1 个数量级。

表 1 金黄色葡萄球菌在稀释 10 倍酱油中的存活菌数(CFU/mL)

Table 1 Plate count of *Staphylococcus aureus* in dilute 10 times soy sauce (CFU/mL)

保温时间/min	加热温度/°C		
	80	85	90
5	2.66×10^7	2.61×10^7	9.52×10^6
10	2.22×10^7	1.94×10^7	9.60×10^5
15	1.76×10^7	1.51×10^6	8.11×10^4
20	3.68×10^6	7.03×10^5	4.13×10^3

2.2 金黄色葡萄球菌的 D 值、Z 值、F 值

由表 2 可以得出,在不同温度下 D 值不同,随着温度升高,D 值减小。在不同热处理温度时金黄色葡萄球菌在稀释 10 倍酿造酱油中的 D 值为: $D_{80^\circ\text{C}}=6.13 \text{ min}$, $r^2=0.9094$; $D_{85^\circ\text{C}}=4.78 \text{ min}$, $r^2=0.9010$; $D_{90^\circ\text{C}}=1.53 \text{ min}$, $r^2=0.6802$ 。

表 2 不同温度下的热致死 D 值及相关系数 r^2

Table 2 Thermal death index D value and relation index r^2 under different temperatures

温度/°C	D 值/min	r^2
80	6.13	0.9094
85	4.78	0.9010
90	1.53	0.6802

根据上述 D 值计算 Z 值,得出加热致死时间曲线如图 1。

根据图 1 得知,金黄色葡萄球菌在稀释 10 倍

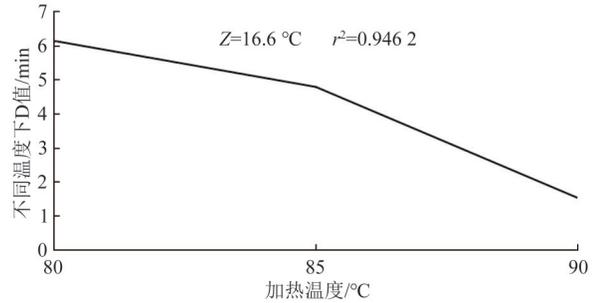


图 1 金黄色葡萄球菌的热致死时间曲线

Figure 1 Phantom TDT curve for *Staphylococcus aureus* in dilute 10 times soy sauce

酿造酱油中的 Z 值为 16.6 °C。再根据 1.3.1 平板计数结果,其最大污染程度为 6 lg CFU/mL,因此其 F 值为: $F_{80^\circ\text{C}}=36.78 \text{ min}$; $F_{85^\circ\text{C}}=28.68 \text{ min}$; $F_{90^\circ\text{C}}=9.18 \text{ min}$ 。

2.3 热力杀菌规程建立

根据图 2 可知,酱油产品在加热 36 min 后进入 90 °C 的恒温状态。采用累积计算方法: $F = \sum 10^{(T_i - T_r)/Z} \Delta t$ (T_i 表示某一时刻的温度,°C; T_r 表示参考温度,°C; Δt 表示两个时间点之间时间间隔,s)^[27],因此 90 °C 4 min 后的累积 F 值达到 9.180 min,即达到杀灭金黄色葡萄球菌的目的。因此该酿造酱油杀菌规程为: 36 min—4 min/90 °C。比理论值的 90 °C 9.18 min 的要求低了很多,因此,结合热穿透实验来建立合理的杀菌规程,能够更为直观、更为有效的达到杀菌的目的。

3 讨论

在不同热处理温度时金黄色葡萄球菌在稀释 10 倍酿造酱油中的 D 值为: $D_{80^\circ\text{C}}=6.13 \text{ min}$, $r^2=0.9094$; $D_{85^\circ\text{C}}=4.78 \text{ min}$, $r^2=0.9010$; $D_{90^\circ\text{C}}=1.53 \text{ min}$, $r^2=0.6802$; Z 值为 16.6 °C; F 值为: $F_{80^\circ\text{C}}=36.78 \text{ min}$; $F_{85^\circ\text{C}}=28.68 \text{ min}$; $F_{90^\circ\text{C}}=9.18 \text{ min}$ 。以 90 °C 加工为例,对实际加工过程检验,确定出最终的杀菌规程为: 36 min—4 min/90 °C。

在酿造酱油涨罐和引起污染状态的细菌分离过程中,分离出埃切毕赤酵母、耐盐芽胞杆菌、地衣芽胞杆菌、巨大芽胞杆菌等。这些都是从结果指向产品,分离出的很多细菌也为非致病菌,与酿造酱油热力杀菌的目标菌不一致,热力杀菌主要针对致病菌,且为存在致病菌中最强的致病菌,因此本文研究过程只考虑了金黄色葡萄球菌,而未考虑酵母菌。

在进行 F 值计算过程中,选取了 90 °C 作为参考温度来进行计算验证建立杀菌规程,对于参考 80 °C,85 °C 来说实际过程是一致的,本文未对另外两个温度进行讨论。如果企业污染程度 > 6D 水平,

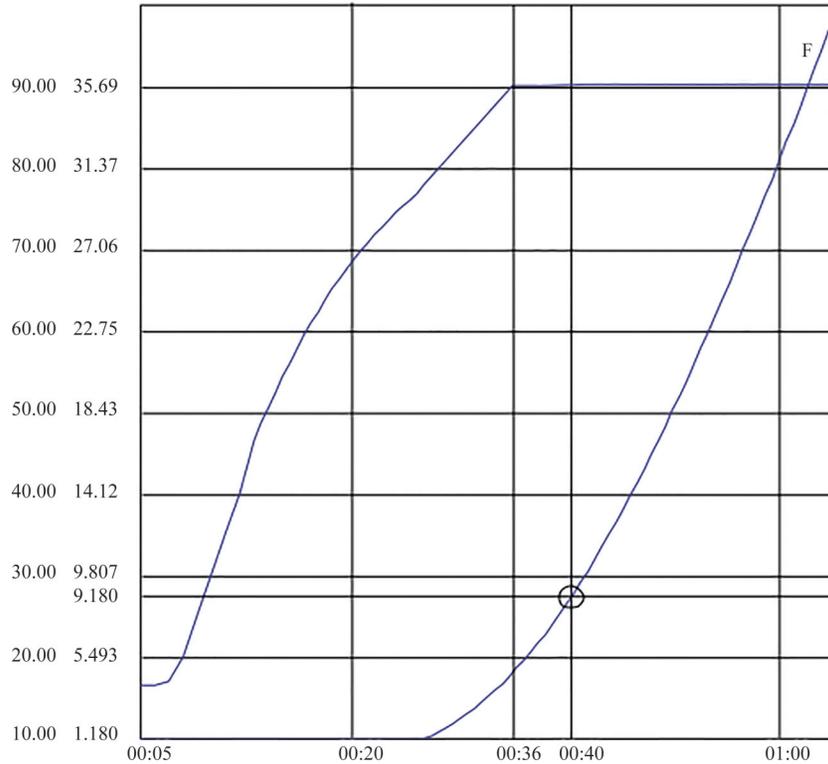


图2 酱油产品热穿透及F值曲线

Figure 2 Heat penetration and F value curve of soy sauce

那么在上述条件下还需要进行加严控制。通过上述研究,企业如果采用 90 °C,只需要 4 min 即可以达到目的;如果采用 85 °C来杀菌,也可以采用热力杀菌换算公式进行换算,本文尚未对此进行讨论。企业实际使用的杀菌时间远远大于上述结论,因此在实际产品出现问题时,除了分析热力杀菌是否存在问题,还需要关注车间环境和其他可能污染的情况。

在讨论热力杀菌规程过程中,仅对水分活度低于 0.840 的酿造酱油进行了研究,确定了升温时间、杀菌温度、杀菌时间的要求,而未对杀菌过程关键因子进行约束。因此,未来在实际杀菌过程中,热穿透的检验是最终科学确定杀菌工艺及控制关键因子的重要手段,也是研究产品杀菌规程的一个重要方法。

参考文献

- [1] 刘丽华. 大豆蛋白质与油分含量品质的变化及影响因素[J]. 中国农业信息, 2015(23): 151.
LIU L H. Changes and influencing factors of soybean protein and oil content and quality[J]. China Agriculture Information, 2015 (23): 151.
- [2] 孙莉, 胡文康, 黄瑶, 等. 非耐盐乳酸菌与米曲霉共生酿造酱油的研究[J]. 中国调味品, 2020, 45(5): 13-18.
SUN L, HU W K, HUANG Y, et al. Study on symbiotic brewing of soy sauce with non-salt-tolerant lactic acid bacteria and *Aspergillus oryzae*[J]. China Condiment, 2020, 45(5): 13-18.
- [3] 康文丽, 陈亮, 贺博, 等. 高盐稀态酿造酱油中香气活性成分在灭菌前后的变化[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 253-258.
KANG W L, CHEN L, HE B, et al. Changes of aroma-active components in high-salt liquid-state fermented soy sauce before and after sterilization [J]. Food Science, 2019, 40 (18) : 253-258.
- [4] 尹倩, 徐维昌, 金妙仁, 等. 高压脉冲电场杀菌技术在酱油生产中的应用初探[J]. 现代食品, 2018(9): 44-46.
YIN Q, XU W C, JIN M R, et al. Application of high-voltage pulse electric field sterilization technology in soy sauce production[J]. Modern Food, 2018(9): 44-46.
- [5] 黄亚东, 黄亚玲. EPT技术在酱油杀菌中的应用研究[J]. 中国调味品, 2005, 30(1): 29-32.
HUANG Y D, HUANG Y L. Research on the application EPT in sauce disinfection [J]. Chinese Condiment, 2005, 30 (1) : 29-32.
- [6] 高翔. 紫外线杀菌技术在即食酱油中的应用研究[J]. 中国调味品, 2004, 29(5): 25-28.
GAO X. Applied research of ultraviolet sterilization technology used in fast sauce [J]. Chinese Condiment, 2004, 29 (5) : 25-28.
- [7] STEINHAUS P, SCHIEBERLE P. Characterization of the key aroma compounds in soy sauce using approaches of molecular sensory science[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(15): 6262-6269.
- [8] KANEKO S, KUMAZAWA K, NISHIMURA O. Studies on the key aroma compounds in raw (unheated) and heated Japanese soy sauce [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(14): 3396-3402.
- [9] MENG Q, IMAMURA M, KATAYAMA H, et al. Key

- compounds contributing to the fruity aroma characterization in Japanese raw soy sauce [J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2017, 81(10): 1984-1989.
- [10] 邓岳, 杨阳, 夏白雪, 等. 杀菌工艺对先市酱油品质形成研究[J]. *中国测试*, 2016, 42(6): 54-59.
DENG Y, YANG Y, XIA B X, et al. Research on sterilization process for quality formation of Xianshi soy sauce [J]. *China Measurement & Test*, 2016, 42(6): 54-59.
- [11] 高献礼. 高盐稀态酱油在发酵和巴氏杀菌过程中风味物质形成和变化的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
GAO X L. Study on the formation and changes of flavor compounds in high-salt and diluted-state soy sauce during fermentation and pasteurization [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010.
- [12] 欧阳友生, 谢小保, 陈仪本, 等. 酱油胀罐原因分析及控制技术[J]. *中国食品添加剂*, 2006, C00: 293-295.
OUYANG Y S, XIE X B, CHEN Y B, et al. Analyse of packaging soy sauce swelling and its control technics [J]. *China Food Additives*, 2006, C00: 293-295.
- [13] 蒋雪薇, 叶菁, 周尚庭, 等. 成品酱油微生物污染变质的风险预警[J]. *食品与机械*, 2016, 32(4): 67-70.
JIANG X W, YE J, ZHOU S T, et al. Risk pre-warning of deterioration in finished sauce with microbial contamination [J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(4): 67-70.
- [14] 蒋雪薇, 周尚庭, 叶菁, 等. 成品变质酱油中微生物的分离鉴定及变质原因分析[J]. *食品与机械*, 2016, 32(2): 46-50.
JIANG X W, ZHOU S T, YE J, et al. Identification of contamination microbes separated from finished deterioration sauce and analysis of deterioration reason [J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(2): 46-50.
- [15] STEPHEN J F 著. 石阶平, 史贤明, 岳田利译. 食品中微生物风险评估[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 15-17.
STEPHEN J F translated by SHI J P, SHI X M, YUE T L. Microbial risk assessment in food [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 15-17.
- [16] 卢杨柳, 马静一, 艾志录, 等. 含肉桂醛猪肉糜中金黄色葡萄球菌热失活模型的建立[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(9): 195-201.
LU Y L, MA J Y, AI Z L, et al. Thermal inactivation model of *Staphylococcus aureus* in ground pork contained cinnamaldehyde [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(9): 195-201.
- [17] 刘慧. 现代食品微生物学实验技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006: 107.
LIU H. Experimental technology of modern food microbiology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2006: 107.
- [18] 漳州中罐协科技中心. 食品热力杀菌理论与实践[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2014: 1-396.
Zhangzhou Chinese Canned Association Technology Center. Thermal processes for foods packaged in sealed containers-theory & practice [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2014: 1-396.
- [19] HOLDSWORTH S D, SIMPSON R. Software for Thermal Food Processing Evaluation and Optimization [M]. Springer, Cham: Thermal Processing of Packaged Foods, 2016: 269-277. .
- [20] CHYSIRICHOTE T, PHONGPIPATPONG M. Effect of sterilizing temperature on physical properties of rice porridge mixed with legumes and Job's tear in retortable pouch [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 2356-2360.
- [21] 李朝伟. 罐头食品生产加工与安全性管理[M]. 北京: 中国质检出版社, 2001: 42-43.
LI C W. Canned food production processing and safety management [M]. Beijing: China Quality and Standards Publishing & Media Co., Ltd, 2001:42-43.
- [22] 王铁龙, 徐晓丽, 杨倩, 等. 水产罐头食品热穿透主要关键因子比较分析的研究[J]. *现代食品*, 2019(2): 119-123.
WANG T L, XU X L, YANG Q, et al. Compare and research of canned seafood processing critical factor on heat penetration [J]. *Modern Food*, 2019(2): 119-123.
- [23] 段伟, 侯阳, 杨倩, 等. 热穿透测定法和公式法在建立冻虾仁杀菌模型中的比较研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(9): 137-142.
DUAN W, HOU Y, YANG Q, et al. A comparative study on the establishment of sterilization model of frozen shrimp by heat penetration method and formula method [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(9): 137-142.
- [24] MACNAUGHTON M S, WHITESIDE W S, RIECK J R, et al. The effects of residual air and viscosity on the rate of heat penetration of retort food simulant in pouch when using static and oscillating motions [J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(4): 922-928.
- [25] ADEPOJU M A, OMITOYIN B O, MOHAN C O, et al. Heat penetration attributes of milkfish (*Chanos chanos*) thermal processed in flexible pouches: a comparative study between steam application and water immersion [J]. *Food Science & Nutrition*, 2017, 5(3): 521-524.
- [26] 国家市场监督管理总局. 进出口罐头食品检验规程第13部分: 热渗透测试: SN/T 0400.13—2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Rules for inspection of canned food for import and export. Part 13: Heat penetration testing: SN/T 0400.13—2014 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [27] 陈舒航, 刘懿, 周建伟, 等. 杀菌强度(F值)实时计算及杀菌釜智能纠偏控制系统的设计与开发[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(5): 294-299.
CHEN S H, LIU Y, ZHOU J W, et al. Design and development of the real-time heat sterilization intensity (F value) measuring and intelligent correcting control system for sterilization retort [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(5): 294-299.