

变温杀菌工艺对鳙鱼软罐头品质的影响

张路遥, 姜启兴, 许艳顺, 夏文水*
(江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 在鳙鱼软罐头杀菌加工中应用一种新型变温程序, 研究杀菌工艺对制品品质的影响; 采用指数函数与台阶函数相结合的新型变温杀菌程序的变温杀菌工艺, 测定杀菌锅的传热曲线, 并测定采用最优变温杀菌后鳙鱼软罐头杀菌后的全质构、肌肉纤维结构、蒸煮损失和渗出液等品质特性, 与恒温杀菌工艺进行比较。结果表明: 新型变温杀菌程序与真实杀菌锅升温曲线拟合程度高($R^2=0.978$), 适用性好; 质构测定结果显示, 最优变温杀菌工艺与恒温杀菌工艺相比, 加工后的样品硬度、弹性分别提高了16.0%、7.6%; 肌肉横切面显示最优变温杀菌工艺样品肌肉纤维以及结缔组织破坏程度较小, 胶原蛋白降解程度较小; 最优变温杀菌工艺样品蒸煮损失、渗出液中的粗蛋白含量、胶原蛋白含量比恒温杀菌样品分别下降了17.6%、9.4%和7.6%; 风味分析结果显示过熟味较低, 感官评定较好; 变温杀菌工艺可显著提高鳙鱼软包装罐制品品质, 在实际生产操作中有很好的应用性。

关键词: 变温杀菌; 鳙鱼; 罐头; 品质; 质构; 风味

Effect of Variable-Temperature Sterilization on the Quality of Canned Bighead Carp

ZHANG Lu-yao, JIANG Qi-xing, XU Yan-shun, XIA Wen-shui*
(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A new type of variable-temperature sterilization process was applied to canned bighead carp to explore the effect on product quality. The process was composed of exponential functions and stepped functions, and canned bighead carp was sterilized by using the variable-temperature profile. The temperature curves were measured to verify the model. The textural properties of canned fish sterilized under optimize conditions, the microstructure of fish muscle, cooking loss, and total protein and soluble collagen content in exudates were determined to evaluate the constant retort temperature profile for the sterilization of products. The results showed that the temperature curves in retort had a strong correlation with experimental values ($R^2 = 0.978$). Compared with the samples sterilized by optimal constant retort temperature profile, the hardness and springiness of fish muscle of those sterilized by optimal variable temperature profile were increased by 16.0% and 7.6%, respectively, and endomysium was less disintegrated, as shown by observing the cross-sectional microstructure of muscle. Cooking loss, soluble collagen protein content of the samples sterilized by optimal variable temperature profile decreased by 17.6%, 9.4% and 7.6%, respectively, and less overcooked flavor was observed, accompanied by better sensory characteristics. This study suggests that the variable retort temperature profile can significantly improve the quality of bighead carp packaged in retort pouches and therefore has great application value.

Key words: variable retort temperature sterilization; bighead carp; canned foods; quality; texture; flavor

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)20-0037-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201320008

高温杀菌可造成微生物的热致死和酶的热变性, 是已知最古老食品保藏技术之一, 广泛应用于现在罐头食品工业中。在罐头食品的工业生产中, 一方面要达到商业无菌, 另一方面, 产品的质量应当保持最小破坏。要同时达到这两个目的, 必须要优化杀菌工艺条件, 近年来, 在

罐头食品加工研究中, 数值计算方法广泛的应用于温度场计算和杀菌条件优化研究中, 如差分法^[1-2]、有限元法^[3]、流体力学^[4]、各种迭代优化法^[5-6]、插值法以及神经网络法等^[7]。几十年来的食品工程领域的大量优化研究, 理论上证实了变温杀菌(variable retort temperature, VRT)与恒温

收稿日期: 2013-07-04

基金项目: 农业部现代农业产业技术体系建设专项(CARS-46-22)

作者简介: 张路遥(1984—), 男, 博士研究生, 研究方向为功能性食品。E-mail: zhangluyao@live.cn

*通信作者: 夏文水(1958—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品科学与水产品加工。E-mail: Xiaws@jiangnan.edu.cn

杀菌(constant retort temperature, CRT)工艺相比可显著提高罐头食品的品质^[8-9];对肉酱、豆酱罐头^[9]、鲑鱼罐头^[10]的斜坡函数杀菌,以及对炒面软罐头^[11]、肉品快餐^[12]的分段升温杀菌的实验研究结果都表明了变温杀菌工艺对品质提高的作用;而变温杀菌采用的函数如台阶函数、斜坡函数、正弦函数和指数函数等^[2],要使杀菌锅内或食品表面温度严格按照理论的函数变化存在一定难度^[13],造成变温杀菌在罐头食品的实际生产中的应用受到一定限制。

近年来,淡水鱼的加工研究发展快,将淡水鱼加工成罐头食品是淡水鱼产品开发的重要方面,解决淡水鱼罐头食品杀菌后的品质劣变现象是迫切需要解决的难题,本研究室基于名菜天目湖砂锅鱼头煲开发出一种鳊鱼软包装罐制品^[14],在制品杀菌工艺研究中,采用阶段升温变温杀菌工艺,发现杀菌锅温度每个阶段先按指数函数上升,到达设定温度后温度恒定,持续一段时间后进入下一阶段,这种温度变化是指数型升温过程代替了台阶函数中的温度瞬间垂直变化的近似台阶函数变化过程;所以开发中采用一种台阶函数和指数函数相结合的新型分段变温杀菌工艺,可准确模拟杀菌锅温度变化,解决了由于淡水鱼肉质细嫩不紧实,结缔组织少而使过高热强度导致质构软烂、品质劣化的问题。变温杀菌在淡水鱼罐食品中应用研究鲜有报道。

本研究旨在对研究变温杀菌工艺对高温杀菌食品品质的影响进行研究,评价其相对于恒温杀菌的优势。本研究对于淡水鱼的深加工具有一定的应用价值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鳊鱼购于无锡华润万家超市,体质量(2.0±0.2)kg。

RHS-03-700全制动回转式多功能杀菌锅 温州市龙强乳品机械厂;热力验证系统(配有SSA12040 G700 TS热电偶、TM 9608数据记录器) 丹麦Ellab公司;DZ-280/2SE真空封口机 上海三联包装机械有限公司;TA-XT2i物性测定仪 英国Stable Micro System公司;DZG-6020真空干燥箱 上海森信实验仪器有限公司;S-4800扫描电子显微镜 韩国Sumsung仪器公司;气相色谱仪(配有CAR/PDMS顶空萃取头、DB-WAX弹性毛细管柱、NIST2005和Willey 7标准图库) 日本日立公司。

1.2 方法

1.2.1 鳊鱼头软包装罐制品的制备

选用鲜活或新鲜的鳊鱼为原料,宰杀后去鳞、内脏、内膜、血污,清洗后将鳊鱼从背鳍前部切分,取鱼头部分,鱼头质量为0.96~1.04kg,最厚处为5.0~5.5cm;然后将清洗后鱼头在5%~15%的食盐溶液中腌制2.5~4h,料液比约为1/2,在环境温度控制在15℃

以下;将腌制后的鱼头置于180~210℃的植物油中炸10~30s,油炸后沥干冷却,然后装入复合铝箔袋中,在真空度不小于0.09MPa条件下封口。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 质构测定

采用物性测定仪,选用P/6平底柱形探头。测定条件:测试模式Texture Profile Analysis(TPA);探头:P/6;测前速率:2mm/s;测试速率:2mm/s;测后速率:2mm/s;压缩程度:50%。

1.2.2.2 蒸煮损失率测定

将杀菌后的样品于室温条件下冷却,开袋,拭干样品表面水分,称量,按式(1)计算蒸煮损失率:

$$C_{\text{loss}}/\% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

式中: C_{loss} 为蒸煮损失率/%; m_1 为杀菌前样品的质量/g; m_2 为蒸煮后的质量/g。

1.2.2.3 胶原蛋白的测定

羟脯氨酸是胶原蛋白中特有的氨基酸,参照GB/T 9695.23—2008《肉与肉制品中羟脯氨酸含量测定》来确定。由标准曲线得羟脯氨酸的质量浓度以后,乘以9.75即为胶原蛋白的质量浓度^[15]。标准曲线回归方程见式(2):

$$A_{558\text{nm}} = 0.1784\rho_{\text{hp}} + 0.0118 \quad (2)$$

式中: $A_{558\text{nm}}$ 为558nm波长处的吸光度; ρ_{hp} 为羟脯氨酸质量浓度/(mg/mL)。

1.2.3 扫描电子显微镜(SEM)测定

采用SEM测定鱼肌肉的微观结构,将鱼肉切成小块(1cm×1cm×0.5cm)后用2.5%的戊二醛溶液在4℃条件下固定24h,然后用0.1mol/L pH7.3的磷酸缓冲液漂洗,漂洗后用25%、50%、70%、95%和100%的乙醇溶液脱水,分别处理1h;将脱水后的小肉块在液氮中用刀片按横切面切断,再放进真空干燥箱中干燥;将处理好的样品用扫描电子显微镜在10kV的加速电压下拍照。

1.2.4 GC-MS测定挥发性风味物质

称取2g粉碎后的鱼肉放入顶空瓶中,插入老化后的75μm萃取头50℃吸附30min,将萃取头取出插入气相色谱进样口,250℃解吸3min,启动仪器采集数据;挥发性成分在弹性毛细管中完成分离,载气为氦气,恒定流速0.81mL/min,不分离进样;程序升温条件:柱初温40℃恒定3min,然后以5℃/min的速率升温至90℃,再以15℃/min升至240℃,保持6min;进样口及接口温度250℃;质谱条件为,离子源为电子电离源,温度200℃,四极杆温度150℃,检测器电压350℃,发射电流200μA,电压70eV,扫描范围 m/z 30~500,采用标准图库自动检索。

1.2.5 杀菌工艺参数

根据前期研究基础,开发的鳊鱼头软包装罐制品在杀菌强度 $F=4.0\text{min}$ 的最优恒温杀菌(CRT)工艺为

119℃, 28min; 最优变温杀菌(VRT)工艺为93℃/10min-108℃/10min-117℃/10min-120℃/10min, 两种杀菌工艺结束后分别在0.12MPa条件下采用反压冷却冷却至制品中心温度40℃以下。

1.2.6 温度测定方法

采用Ellab公司的热力验证系统, 将温度传感器探针放入样品最厚部位中心, 每组样品测试3个平行, 以传热速率最慢的曲线作为样品的中心温度曲线; 并测定杀菌锅内杀菌及冷却过程中的温度分布。

1.2.7 感官评定方法

感官评定在样品贮藏24h后进行, 样品的各项指标评价采用5分制, 评定小组由20位感官评审员组成, 男女各半, 最后取平均值为产品的得分。

1.2.8 变温杀菌模型

1.2.8.1 升温函数

在杀菌锅升温阶段, 输送蒸汽温度恒定, 而且杀菌锅装填量相同时, 忽略排气造成的影响, 则升温速率常数应为恒定值, 则锅内升温曲线可近似表示为指数函数, 见式(3); 在输送蒸汽的绝对压力0.48MPa、温度150℃、杀菌锅初始温度30℃的装满罐头样品的条件下, 测定杀菌锅的温度变化, 得到杀菌锅升温曲线方程: $y = -12.0 \exp(-0.00409x) + 150$, 可用式(3)回归得到 $k = 4.09 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ($R^2 = 0.992$)。

$$\frac{T_r - T_s}{T_{r0} - T_s} = \exp(-kt) \quad (3)$$

式中: T_r 和 T_{r0} 分别为杀菌锅实时和初始温度/℃; T_s 为输送蒸汽温度/℃; k 为杀菌锅升温速率常数 s^{-1} ; t 为时间/s。

1.2.8.2 杀菌锅变温杀菌模型

多阶段杀菌中的每一个阶段包括升温过程和恒温过程, 升温速率越快, 多阶段升温杀菌过程中温度变化越接近台阶函数(step function), 在实际生产中的杀菌设备升温速率往往达不到理想状态, 为了消除这一误差, 本研究提出指数-台阶联合式变温杀菌程序, 将多阶段升温中升温过程通过指数函数(exponential function)表示, 而将恒温过程用台阶函数表示, 从而对整个多阶段升温过程通过指数和台阶函数相结合来进行拟合。每个阶段先按指数函数上升, 到达设定温度后恒定到设定时刻进入下一阶段; 各阶段的锅内初始温度为前一阶段的设定温度, 则以此温度代替 T_{r0} 可按式(3)求出该阶段的杀菌锅升温过程, 升温到达设定温度后恒定, 则杀菌锅分段函数可表示为式(4):

$$T_{r,a} = \begin{cases} (T_{\text{set}(a-1)} - T_s) \exp\{-k[t - (a-1) \cdot t_a]\} + T_s, & (a-1) \cdot t_a \leq t < t_{p,a} \\ T_{\text{set}(a)}, & t_{p,a} \leq t < a \cdot t_a \end{cases} \quad (4)$$

式中: $T_{r,a}$ 为第 a 时间段的杀菌温度/℃; a 为时间段序

号; $T_{\text{set}(a-1)}$ 为第 $a-1$ 时间段杀菌锅设定温度/℃; t_a 为第 a 时间阶段持续时间/s; $t_{p,a}$ 为第 a 时间段内杀菌锅温度上升到设定温度的时间/s。

2 结果与分析

2.1 变温杀菌程序适用性的实验验证

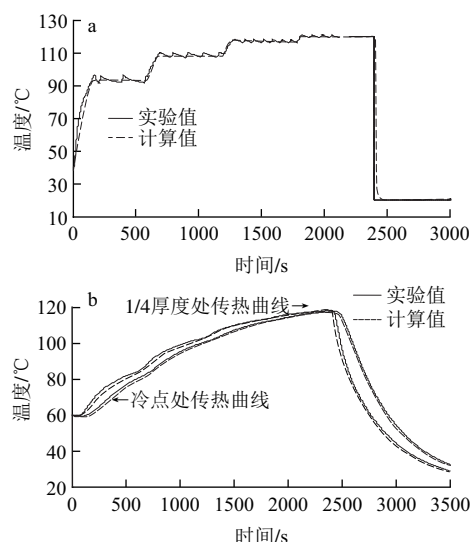


图1 多阶段升温杀菌过程中杀菌锅(a)和样品(b)各点温度变化
Fig.1 Heating history of the retort (a) and the samples (b) during sterilization using multi-stage temperature program

从图1a可以看出, 在4阶段杀菌过程中, 杀菌锅温度变化的实验真实值相对于模型计算值有一定的差别, 主要是因为排气等条件造成的升温过程温度的差别, 以及在恒温阶段, 由于热蒸汽的补充以及热扩散造成温度的波动, 但总体上实验值与计算值的吻合较好($R^2 = 0.978$), 说明这种新型杀菌程序可以较好地拟合杀菌锅的温度变化, 在实际生产中有较好的应用性。图1b显示了样品各点温度变化, 应用提出的指数-台阶联合的变温函数作为边界条件, 通过差分法计算得出样品各点传热曲线, 与通过杀菌锅配备的Ellab热力验证系统进行实验测定的传热曲线相比可以看出, 显示样品冷点及1/4厚度处的传热曲线预测值与实验测定曲线之间重合性好, 相关性高($R^2 = 0.999$), 说明这种变温杀菌程序计算结果的正确性及精确性较好。

2.2 最优杀菌工艺对鲮鱼软罐头品质的影响比较

2.2.1 对鱼肉品质的影响

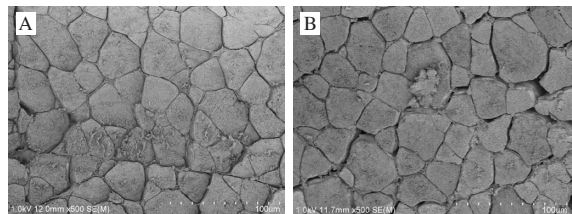
表1 不同杀菌工艺对制品肌肉品质的影响

Table 1 Effects of different sterilization processes on the quality of muscle products

杀菌工艺	质构特性					色差			
	硬度	弹性	凝聚性	黏附性	咀嚼性	L^*	a^*	b^*	白度
CRT	704.7 ± 48.2^a	0.579 ± 0.016^a	0.483 ± 0.027^a	338.9 ± 28.5^a	196.2 ± 17.4^a	70.53 ± 1.98^a	0.88 ± 0.49^a	15.92 ± 1.23^a	66.5 ± 1.32^a
VRT	817.2 ± 56.2^b	0.623 ± 0.027^b	0.529 ± 0.031^b	431.6 ± 37.4^b	260.1 ± 23.8^b	72.35 ± 2.39^b	1.06 ± 0.55^b	14.84 ± 1.02^b	68.6 ± 1.57^b

注: 同列数据肩标不同字母为差异显著($P < 0.05$)。下同。

表1显示了最优恒温、变温杀菌工艺对制品肌肉品质特性的影响,两种杀菌工艺处理的样品在硬度、弹性、黏附性和咀嚼性都有显著性的差异,可以看出VRT比CRT样品的质构特性都有不同程度的提高,硬度和弹性分别提高了16.0%、7.6%;鱼肉中结构蛋白包括胶原蛋白和弹性蛋白,胶原蛋白在质构中起着主要的作用^[16-17],硬度和弹性的差别是由于鱼肉中的胶原蛋白降解程度的不同造成的,杀菌过程中胶原蛋白不断水解为可溶性胶原蛋白及明胶,胶原蛋白吸水膨润而成为柔软状态,机械强度降低,造成质构劣变,而变温杀菌工艺处理的样品显示出较小的质构破坏作用,说明其作用于鱼肉的热强度较小,结构蛋白降解较小。色差分析结果表明,杀菌工艺间没有显著性差异,这主要是因为鱼肉的肌球蛋白在100℃已完全变性,杀菌后的白度不会有很大的变化。



A. VRT; B. CRT。

图2 鳙鱼软包装罐制品在不同杀菌工艺条件下肌肉的超微结构(×500)

Fig.2 Microstructure of muscles in bighead carp packed in retort pouches under different sterilization processes (×500)

图2显示了变温、恒温杀菌工艺下的鳙鱼头软罐头制品鱼肌肉的显微结构,从横切面看出二者的肌肉纤维组织有明显的差别,变温杀菌处理的样品肌肉结构比恒温工艺更致密和紧凑,此外,变温杀菌样品肌肉结缔组织肌内膜降解较轻微,而质构特性显示硬度较高,可推测渗出液中蛋白质主要来源于肌内膜的胶原蛋白,说明肌内膜的胶原蛋白降解程度与渗出液中蛋白质质量浓度以及制品质构特性具有密切关系。

2.2.2 对渗出液品质特性的影响

表2 不同杀菌工艺对制品渗出液品质的影响
Table 2 Effect of different sterilization processes on the quality of exudates

杀菌工艺	蒸煮损失/%	粗蛋白质量浓度/(mg/mL)	胶原蛋白质量浓度/(mg/mL)
CRT	12.5±0.7 ^b	63.5±1.4 ^b	9.82±0.34 ^b
VRT	10.3±0.8 ^a	57.5±1.9 ^b	9.07±0.23 ^a

表2显示了杀菌工艺渗出液变温杀菌工艺对制品渗出液品质特性的影响。杀菌过程中部分含氮化合物随水分一起流失,由于鱼肉中蛋白的损失,导致渗出液中粗蛋白质量浓度的增加,蒸煮损失,以及营养价值的降低。增加杀菌过程中由于肌球蛋白完全变性,肌肉纤维收缩,产生细胞间机械力导致细胞内水分流失,结缔组

织胶原蛋白不断变性溶解随水分而渗出,表中显示变温杀菌制备的样品蒸煮损失、渗出液中的粗蛋白、胶原蛋白质量浓度比恒温杀菌样品分别下降了17.6%、9.4%和7.6%,均有显著性差异,说明变温杀菌工艺的热强度相对较小,造成上述品质的劣变程度下降。

2.2.3 制品风味及感官评价

表3 不同杀菌工艺对制品挥发性风味成分的影响
Table 3 Effect of different sterilization processes on volatile compounds of canned bighead carp

英文名称	中文名称	保留时间/min	组分相对含量/%	
			CRT	VRT
aldehydes	醛类		38.281	49.728
pentanal	戊醛	3.70	2.472	3.130
hexanal	己醛	5.74	23.082	30.949
heptanal	庚醛	7.96	6.632	9.966
octanal	辛醛	10.28	0.914	1.344
nonanal	壬醛	12.85	3.777	2.884
2-nonenal, (Z)-	(Z)-2-壬烯醛	14.63	0.722	0.886
benzaldehyde	苯甲醛	15.82	0.673	0.566
alcohols	醇类		9.305	6.408
1-penten-3-ol	1-戊烯-3-醇	8.18	0.920	0.566
1-hexen-3-ol	1-己烯-3-醇	10.17	ND	0.161
1-pentanol	1-正戊醇	10.38	1.117	0.445
2-penten-1-ol, (Z)-	2-戊烯-1-醇	11.58	2.829	2.728
1-octen-3-ol	1-辛烯-3-醇	14.48	1.866	1.324
(5Z)-octa-1,5-dien-3-ol	1,5-辛二烯-3-醇	15.22	0.796	0.424
cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	2,4-二甲基环己烷	16.39	0.538	0.454
2-octen-1-ol, (E)-	2-辛烯-1-醇	17.75	1.362	0.304
esters	酯类		3.537	1.377
ethyl acetate	乙酸乙酯	2.57	2.754	0.608
acetic acid, 2-propenyl ester	乙酸-2-丙烯基酯	2.74	0.781	0.769
ketones	酮类		6.348	9.889
2-heptanone	2-庚酮	8.01	2.173	3.689
3-octanone	3-辛酮	9.58	0.484	0.665
2-butanone, 3-hydroxy-	3-羟基-2-丁酮	11.18	0.981	0.857
2-propanone, 1-hydroxy-	1-羟基-2-丙酮	11.45	2.709	4.678
furans	呋喃类		3.812	4.695
furan, 2-ethyl-	2-乙基-呋喃	3.30	3.470	4.316
furan, 2-pentyl-	2-戊基-呋喃	8.74	0.342	0.378
aromatic compounds	芳香族化合物		4.593	2.297
benzene, methyl-	甲基苯	4.80	2.349	1.538
benzene, 1,2-dimethyl-	1,2-二甲基苯	6.84	1.094	0.102
benzaldehyde	苯甲醛	15.82	0.673	0.656
benzaldehyde, 3-ethyl-	3-乙基苯甲醛	19.06	0.476	ND

注: ND. 未检出。

表3显示经过不同工艺杀菌后样品的挥发性风味成分,除了存在大量挥发性的醛和醇,还有少量挥发性的酯类和呋喃类。与Josephson^[18]的结果类似,鳙鱼的特征气味主要源于C₆~C₉烯醇和一些酮和醛类;变温杀菌工艺制备的样品与恒温杀菌相比,腥味物质如己醛、庚醛等醛类较多,这可能是由于恒温杀菌工艺的热强度较高,有去腥的作用;具有烧肉香味的1-戊烯-3-醇随热处

理的强度而增加^[19],被认为是一种过熟味,而其在变温杀菌样品中相对降低了38.5%;含苯氨基酸可降解成芳烃,如甲基苯,带来不愉快的味道。正如预期的一样,变温杀菌样品显示较低相对含量;具有煮肉风味的2-乙基呋喃和2-戊基呋喃^[20]在变温杀菌样品中较高,猜测这类风味化合物的降解可能在较高的热强度下发生。

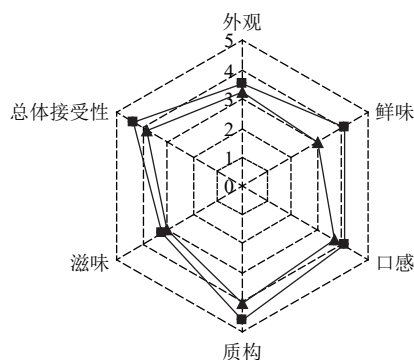


图3 不同杀菌工艺下制品的感官评定(CRT ▲, VRT ■)
Fig.3 Sensory characteristics of products processed by different sterilization profiles

最优变温与恒温杀菌工艺加工后的制品的感官评定结果见图3,最优变温杀菌工艺加工的样品在外观、鲜味、滋味、质构和总体接受性方面均稍高于恒温杀菌样品,这一感官结果与品质测定结果相吻合,也说明了变温杀菌工艺对制品的热强度较小,对品质的劣变较小,感官接受性较好。

2.3 最优恒温杀菌工艺减小品质破坏的理论探讨

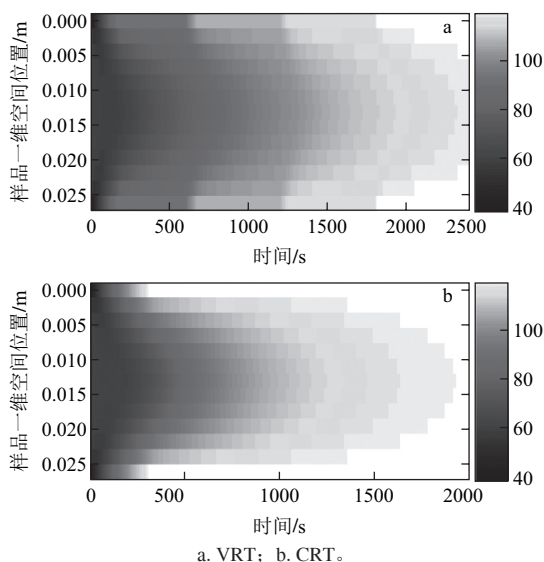


图4 不同杀菌工艺对杀菌过程中样品温度场的影响

Fig.4 Effect of different sterilization processes on the temperature distribution of samples during sterilization

变温杀菌程序比恒温杀菌程序理论上具有提高罐头食品品质的作用^[9],图4显示变温与恒温杀菌工艺对样品

温度场的影响,可以看出在整个杀菌过程中温度场分布有很大区别,为达到制品中心温度的杀菌强度值,变温跟恒温杀菌程序所用的边界条件是不一样的,在杀菌过程的不同时刻中,变温杀菌程序中的样品空间位置的温度分布比较平均,而恒温杀菌过程中尤其在杀菌前期空间点温度差异非常大,这就对罐头食品外层组织的热破坏大,这是变温杀菌程序对制品的品质保留的影响优于恒温杀菌程序的主要原因。而杀菌过程中,虽然变温比恒温程序所需杀菌时间和总加工时间分别长404、462s,但是恒温杀菌对外层组织的高温热处理时间长,计算可得表面品质率相对变温程序降低了4.6%,体均质量率降低1.9%,这也是造成变温优于恒温程序的另一个原因。

3 结论

本研究研究了变温杀菌工艺和恒温杀菌对鳙鱼头软包装罐制品的品质影响,提出了一种新型的变温杀菌程序,指数函数与台阶函数相结合的多阶段升温模型,与最优恒温杀菌程序相比,杀菌后制品在质构、风味、色差和感官等品质特性有明显的提高,说明变温杀菌工艺在淡水鱼罐制品中有很好的应用价值;此外,通过进一步研究,此变温杀菌工艺可以在其他罐头食品应用,为罐头食品加工领域研究人员在提高罐头食品品质的研究中具有一定的帮助和启发。

参考文献:

- [1] OHLSSON T. Temperature dependence of sensory quality changes during thermal processing[J]. Journal of Food Science, 1980, 45(4): 836-839.
- [2] TEIXEIRA A A, ZINSMEISTER G E, ZAHRAJNIAK J W. Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thiamine retention in thermally processed foods[J]. Journal of Food Science, 1975, 40(4): 656-659.
- [3] SASTRY S K, BEELMAN R B, SPERONI J J. A three-dimensional finite element model for thermally induced changes in foods: Application to degradation of agaritine in canned mushrooms[J]. Journal of Food Science, 1985, 50(5): 1293-1299.
- [4] GHANI A G A, FARID M M, CHEN X D, et al. Thermal sterilization of canned food in a 3-D pouch using computational fluid dynamics[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(2): 147-156.
- [5] SENDIN J O H, ALONSO A A, BANGA J R. Efficient and robust multi-objective optimization of food processing: a novel approach with application to thermal sterilization[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 98(3): 317-324.
- [6] MIRI T, TSOUKALAS A, BAKALIS S, et al. Global optimization of process conditions in batch thermal sterilization of food[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(4): 485-494.
- [7] CHEN C, RAMASWAMY H L. Modeling and optimization of variable retort temperature (VRT) thermal processing using coupled neural networks and genetic algorithms[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(3): 209-220.
- [8] ANSORENA M R, SALVADORI V O. Optimization of thermal pro-

- cessing of canned mussels[J]. Food Science and Technology International, 2011, 17(5): 449-458.
- [9] BANGA J, PEREZ-MARTIN R, GALLARDO J, et al. Optimization of the thermal processing of conduction-heated canned foods: study of several objective functions[J]. Journal of Food Engineering, 1991, 14(1): 25-51.
- [10] DURANCE T D, DOU J, MAZZA J. Selection of variable retort temperature processes for canned salmon[J]. Journal of Food Process Engineering, 1997, 20(1): 65-76.
- [11] 郑志强, 刘嘉喜, 王月鹏. 软包装主食罐头杀菌工艺研究[J]. 食品科学, 2012, 33(20): 56-60.
- [12] 刘战民, 蒋爱民, 连喜军, 等. 中式肉品快餐分段升温热力杀菌工艺研究[J]. 食品科学, 2001, 22(8): 43-45.
- [13] 李琳, 陈峰. 罐头食品热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): 59-66.
- [14] 夏文水, 许学勤, 项建琳, 等. 一种可常温保藏的砂锅鱼头的加工方法: 中国, CN 1736267A[P]. 2006-02-22.
- [15] 曾名, 黄海. 几种鱼类胶原蛋白含量在冻藏过程中的变化[J]. 食品科学, 2004, 25(2): 183-186.
- [16] LEPETIT J. Collagen contribution to meat toughness: theoretical aspects[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 960-967.
- [17] LEPETIT J. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness[J]. Meat Science, 2007, 76(1): 147-159.
- [18] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Variations in the occurrences of enzymically derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1984, 32(6): 1344-1347.
- [19] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish *miso*, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631.
- [20] KALUA C, ALLEN M, BEDGOOD D, et al. Olive oil volatile compounds, flavour development and quality: a critical review[J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 273-286.