

冷冻大黄鱼通电加热解冻工艺参数研究

欧阳杰,倪锦,沈建,张军文,谈佳玉

(农业部渔业装备与工程技术重点开放实验室,中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所,
国家水产品加工装备研发分中心(上海),上海 200092)

摘要:为探索冷冻大黄鱼通电加热解冻的可行性,采用直接通电和浸泡通电两种方法对大黄鱼进行解冻,分别以空气解冻和流水解冻作为对照组,实时测定大黄鱼各部位的温度,综合解冻时间和均匀性作为解冻效果的评价指标。结果显示,直接通电加热可以有效缩短解冻时间,但解冻均匀性差,鱼体最高温差达30.2℃,不适合大黄鱼的解冻;与对照组相比,浸泡通电解冻速度提升近1倍,且均匀性较好,适合大黄鱼的解冻。为了掌握浸泡通电解冻工艺参数,研究了电源形式、电压、导电液浓度对解冻效果的影响。研究表明,电源形式(直流或交流)对解冻无显著影响,220 V最适合大黄鱼的解冻,导电液浓度为1%时解冻效果最好;重量为500 g左右的冷冻大黄鱼通电加热解冻工艺为:1% NaCl浸泡,220 V交流电通电18 min,解冻终温为5.2℃。

关键词:大黄鱼;通电加热;解冻;时间;均匀性

中图分类号:TS254.4

文献标志码:A

文章编号:1007-9580(2016)03-055-05

中国是水产品加工大国,特别是冷冻加工,占世界加工总量的一半以上^[1]。解冻是影响冷冻水产品品质的重要因素,一般在加工前或在最终消费环节进行,消费者通常只关心解冻速度,对于水产品冷冻工艺方法及解冻过程造成品质的变化往往容易被忽视^[2-7]。目前,水产品解冻常用的方法有自然解冻、水解冻、微波解冻等。但在解冻过程中,存在解冻速度慢、表面易酸化变色、营养损失严重等缺点,还容易发生微生物污染,严重影响解冻后的水产品品质^[8-15]。创新和改进解冻技术、提升解冻品质,已经成为冷冻水产品加工一个重要的发展方向。

通电加热是食品工程中的一门新兴技术,利用冷冻食品本身即是导体的特性,电流通过冷冻食品内部,自身产生热量,从而达到解冻。该技术具有加热均匀、能量利用度高、解冻速度快、没有物料厚度限制等优点^[16-18]。目前在美国、英国和日本等国,通电加热技术正处于推广应用,以及新型设备开发研究阶段,主要应用在流体食品的热加工、淀粉糊化以及解冻^[19-21]。该技术在中国还处于理论分析和实验室研究的起步阶段,实际

应用较少。关于通电加热解冻,国内外有学者做过猪肉、牛肉等的解冻,主要集中在通电加热装置的建立以及在肉类解冻中的应用^[22-25],但在水产品解冻方面的研究比较少,关于水产品通电加热解冻工艺参数的研究尚未见报道。

本研究以中国主要海产经济鱼类大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)为研究对象^[26-27],研究通电加热方式、通电电源、导电液浓度等对解冻的影响,旨在探索水产品通电加热解冻的可行性,并进一步掌握相关的技术参数,为通电加热解冻装备的研发提供理论基础和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

冰鲜大黄鱼购自某水产中心,大小均匀,每条重量 (500 ± 50) g,真空包装后放入 (-20 ± 2) ℃的冰箱中贮藏备用。试验设备:通电加热装置(自制),温度记录仪(CHT8000-B,深圳和普泰克电子有限公司),绝缘温度探头(TMDT2-32, SKF),均质机鼓风干燥箱(DHG-9140A,上海精宏实验设备有限公司),冰箱(DW-HL388,美菱),分

收稿日期:2016-03-01 修回日期:2016-05-14

基金项目:中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2014A10XK04)

作者简介:欧阳杰(1983—),男,助理研究员,硕士,研究方向:水产品加工技术。E-mail:ouyangjie@fmiri.ac.cn

通信作者:沈建(1971—),男,研究员,研究方向:水产品加工装备与技术。E-mail:shenjian@fmiri.ac.cn

析天平(XS105DU,梅特勒-托利多),水分测试仪(MA150,赛多利斯)

1.2 试验方法

1.2.1 通电加热解冻方法

直接通电解冻(图1):将大黄鱼去掉包装放在绝缘板上,头尾两端用金属夹夹紧,通过电线连接电源,电路中串联一个可调电阻,防止出现短路,连接电压表和电流表测定鱼体电压和电流,220 V 交流电通电解冻。当中心温度上升到 5 ℃ 时,视作完全解冻,以恒温 15 ℃ 自然解冻作为对照组。

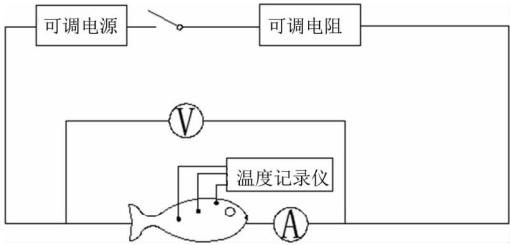


图1 直接通电加热解冻示意图
Fig.1 Diagram of direct ohmic heating thawing

浸泡通电解冻(图2):将大黄鱼去掉包装,放置在解冻槽中心的解冻台上,解冻台材质为塑料绝缘筛网,确保导电液能充分与鱼体接触,解冻槽中装有导电液,完全淹没水产品,导电液温度为 15 ℃,220 V 交流电通电解冻;当中心温度上升到 5 ℃ 时,视作完全解冻。以流水解冻作为对照组,水温 15 ℃,流速 10 L/min。

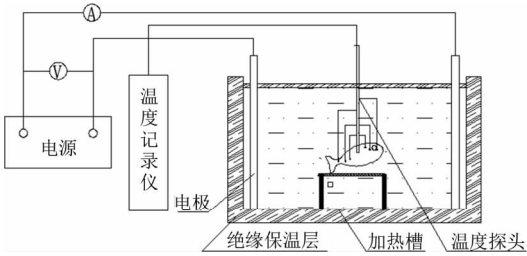


图2 浸泡通电加热解冻示意图
Fig.2 Diagram of immersed ohmic heating thawing

1.2.2 温度测定

中心温度:在大黄鱼的几何中心部位插入绝缘温度探头,实时采集温度数据作为中心温度。

温度分布测定:沿大黄鱼侧线均匀插入 5 个绝缘温度探头(TMDT2-32,测量精度 0.1 ℃),侧线与鱼体上下边缘中间部位各均匀分布 3 个探

头,鱼体表面和导电液中各连接 3 个接触式探头,探头连接多路温度记录仪,实时测定解冻过程中大黄鱼各部位的温度。

1.2.3 水分含量

称取大黄鱼背部肌肉 5.0 g 左右,放入托盘,采用 MA150 全自动水分测定仪进行测定。

1.3 数理分析

所有实验均设置 3 次重复,采用 Microsoft Excel 2010 进行数据分析,采用 SPSS 19.0 统计软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 通电加热方式对大黄鱼解冻的影响

解冻时间是评价解冻效率的重要指标。由图3可以看出,直接通电加热解冻所需时间为 52 min,对照组空气解冻时间为 85 min,浸泡式通电加热解冻所需时间为 18 min,对照组流水解冻时间为 32 min,说明无论是直接接触式还是浸泡式,通电均可以显著缩短解冻时间。这可能是因为大黄鱼和一般冷冻食品一样,并不是所有的水都形成了冰,仍有 5% ~ 10% 的水以液体的形式存在,具有导电性,电流流经鱼体时直接把电能转化成热能,从而加快解冻速度^[28]。有研究报道^[29],相比传统的解冻方法,用通电加热方法进行解冻可节约 40% ~ 50% 的时间,因为传统加热方式要通过加热介质对物料进行加热,所以在加热的过程中有大量热量损失。

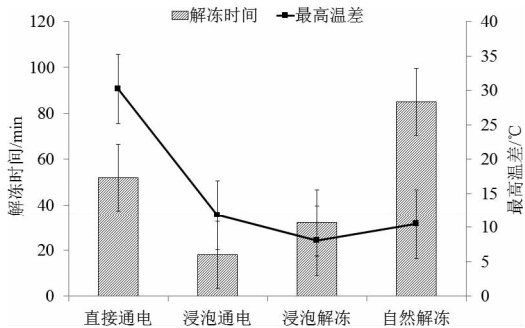


图3 通电加热方式对大黄鱼解冻的影响
Fig.3 Effect of ohmic heating method on *Pseudosciaena crocea* thawing

均匀性是评价解冻效果的另一个重要指标,通过温差来反映,最高温差是指解冻过程中鱼体局部温度和中心温度差的最大值。由图3可以看

出,直接通电解冻的大黄鱼温差最大,达到 30.2 ℃,解冻初期尤为明显,特别是与电极直接接触的部位周围,鱼肉熟化较明显,表明直接通电加热解冻不均匀,不适合大黄鱼的解冻。这是因为直接接触通电很难保证鱼体和电极的良好接触,会出现电流集中现象,引起电流集中处的局部过热^[29];另外一个原因可能是大黄鱼鱼体呈纺锤形,边缘薄,中间厚,边缘部分的冰晶融化快,通过的电流大,造成局部温升大。浸泡通电解冻最高温差为 11.8 ℃,和对照组流水解冻相比无明显升高,说明浸泡通电解冻过程中的温升不明显,解冻均匀度较好,适合大黄鱼的解冻。

2.2 通电电源对大黄鱼解冻的影响

分别采用 36 V、110 V、220 V、250 V 的直流电和交流电进行解冻,由图 4 可看出,无论是哪种电压,采用直流电和交流电的解冻时间无显著差异($P>0.05$),通电加热的原理是电流流经物料时通过自身的电导特性直接把电能转化成热能,按照电能的计算公式 $P=UI$ (P 表示电能, U 表示电压, I 表示电流) 分析,解冻速度与电压大小和通过的电流呈正相关,与电源形式无明显相关性。

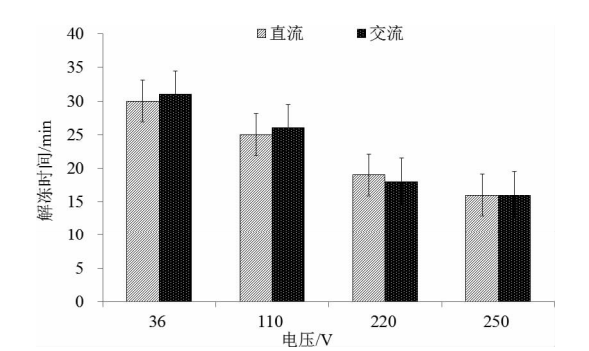


图 4 通电电源对大黄鱼通电加热解冻时间的影响

Fig. 4 Effect of power source on thawing time for *Pseudosciaena crocea*

在通电电压分别为 36 V、110 V、220 V、250 V 的条件下,大黄鱼完全解冻的时间分别为 30 min、25 min、18 min、16 min,对照组浸泡解冻大黄鱼完全解冻时间为 32 min,通电电压越高,解冻的时间越短,说明通电可以促进大黄鱼的解冻。36 V 为公认的人体安全电压界限^[30],采用 36 V 通电解冻的时间比对照组缩短 2 min,说明安全电压对大黄鱼的解冻速度无明显提升;电压上升到 220 V,

解冻时间显著减少,解冻速度提升接近 1 倍,220 V 和 250 V 的时间无显著差异($P>0.05$),考虑到安全性,没有继续采用高于 250 V 的电压进行试验。

对比各电压对温差的影响后发现(图 5),随着电压的升高,解冻过程中的温差变大。电压为 220 V 和 250 V 解冻过程中,测定到的鱼体最高温度分别为 16.8 ℃ 和 17.2 ℃,按照鱼肉短期放置温度不宜超过 20 ℃ 的原则^[31],4 种电压浸泡解冻的大黄鱼温度均在可接受范围内,对比电源形式发现采用直流电和交流电的温差无显著差异($P>0.05$)。综合解冻时间和温升实验结果,同时考虑到电压越高,能耗越大,安全隐患也越大,而且,日常生活中多使用交流电,其设备比较简单等因素,确定最适宜的浸泡通电加热解冻电源为 220 V 交流电。

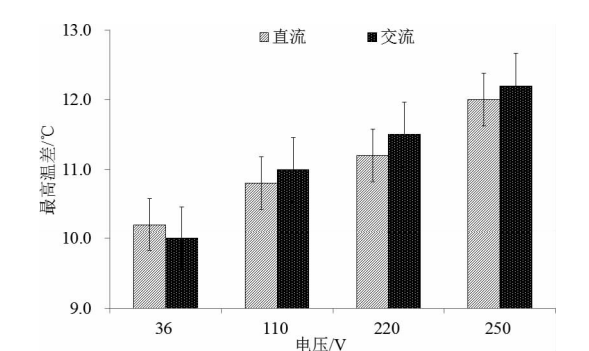


图 5 通电电源对大黄鱼解冻均匀性的影响

Fig. 5 Effect of power source on the uniformity of *Pseudosciaena crocea* thawing

2.3 导电液浓度对大黄鱼解冻的影响

分别采用 0.5%、1.0%、1.5%、2.0% 的氯化钠 (NaCl) 溶液作为导电液进行解冻试验,测定解冻时间、电解液温升、肌肉水分含量等指标。由图 6 可知,大黄鱼解冻时间随着 NaCl 浓度的升高而缩短,这可能是因为导电液导电能力的直接决定因素是自由移动离子的浓度和离子所带电荷,NaCl 浓度越高,自由移动的 Na^+ 和 Cl^- 的浓度越高,导电能力越强,解冻速度就越快。通电解冻的电能除部分用于物料的解冻外,一部分使导电液温度升高,温升大小反映了电能的利用率,温升越小,电能的利用率就越高。温升测定结果显示,导电液浓度越高,温升越小。

肌肉水分含量是衡量解冻水产品品质的一个

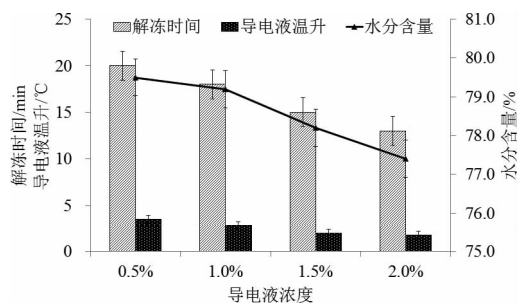


图6 导电液浓度对大黄鱼解冻的影响

Fig. 6 Effect of electrolyte concentration on *Pseudosciaena crocea* thawing

重要指标,可以反应出解冻过程中的水分损失率。由图6可看出,导电液浓度越高,肌肉的水分含量越低,0.5%和1%的导电液浓度无显著差异($P > 0.05$),浓度大于1.5%则含水率明显下降($P < 0.05$)。造成这种现象的原因可能是浓度太高会造成细胞失水,通常情况下,人的细胞液浓度为0.9%,淡水鱼的细胞液浓度为0.5%左右,海水鱼由于生活在海水环境中,细胞液浓度要高于淡水鱼^[32],由试验结果推断,大黄鱼的细胞液浓度可能接近1%,浓度1%时细胞内外浓度较均衡,因而水分损失少。综合评价解冻时间、导电液温升和肌肉水分含量,认为浓度为1.0%的NaCl溶液是最适宜大黄鱼浸泡通电解冻的导电液。

3 结论

研究表明,直接通电加热可以缩短解冻时间,解冻均匀性差,鱼体最高温差达30.2℃,不适合大黄鱼的解冻;浸泡通电解冻速度提升近1倍,最高温差为11.8℃,均匀性较好。浸泡通电加热解冻过程中,直流电和交流电对解冻无显著差异,220V为最适合的解冻电压;浓度为1%的导电液解冻效果最好。确定重量为500g左右的冷冻大黄鱼通电解冻工艺为:1%NaCl浸泡,220V交流电通电18min。本研究主要围绕大黄鱼通电解冻的效率及均匀性开展,未涉及解冻过程中大黄鱼的品质变化研究,这将在后续研究中进行完善。

参考文献

[1] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2013:96-100.
[2] 苏永玲,谢晶. 冻结和解冻过程对水产品品质的影响[J].

食品工业科技,2011,32(1):304-308.

[3] 叶伏林,顾赛麒,刘源,等. 反复冻结-解冻对黄鳍金枪鱼肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2007,33(1):172-177.
[4] 姜晴晴,刘文娟,鲁璐,等. 冻结与解冻处理对肉类品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技,2015,36(8):384-389.
[5] 于冰,孙京新,于林宏,等. 不同的冷冻和解冻方式对鸡肉品质的影响[J]. 肉类研究,2015,29(1):6-9.
[6] 张丽娜,沈慧星,张连娣,等. 冰鲜和解冻团头鲂在贮藏过程中导电特性变化规律研究[J]. 渔业现代化,2009,36(6):39-41.
[7] 包海蓉,奚春蕊,刘琴,等. 两种解冻方法对金枪鱼品质影响的比较研究[J]. 食品工业科技,2012,33(17):338-341.
[8] 高文宏,罗嫚,唐相伟,等. 微波解冻猪里脊肉过程的优化设计研究[J]. 现代食品科技,2014,30(11):151-155,111.
[9] 曹荣,陈岩,赵玉然,等. 解冻方式对南极磷虾加工品质的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(17):289-294.
[10] 刘年生,徐跃,黄渊. 三种解冻方法比较研究[J]. 渔业现代化,1997,24(1):13-15.
[11] 侯晓荣,米红波,茅林春. 解冻方式对中国对虾物理性质和化学性质的影响[J]. 食品科学,2014,35(4):243-247.
[12] 刘会省,迟海,杨宪时,等. 解冻方法对船上冻结南极磷虾品质变化的影响[J]. 食品与发酵工业,2014,40(2):51-54.
[13] 倪晓锋,刘璘,丁玉庭,等. 不同解冻方式对智利竹鱼船上冻品贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(19):313-319.
[14] 常海军,唐翠,唐春红,等. 不同解冻方式对猪肉品质特性的影响[J]. 食品科学,2014,35(10):1-5.
[15] 胡晓亮,王易芬,郑晓伟,等. 水产品解冻技术研究进展[J]. 中国农学通报,2015,31(29):39-46.
[16] 孙淑琴,孙玉利,李法德,等. 食品通电加热技术及其装备的研发与应用[J]. 包装与食品,2007,25(4):34-37,47.
[17] 李修渠. 食品解冻技术[J]. 食品科技,2002,27(2):27-31.
[18] 李修渠,李里特,李法德. 通电加热解冻的模拟电路模型及实验研究[J]. 农业机械学报,2002,33(2):57-60.
[19] 古川博一,庄司晃. 低温过热水蒸气を利用した解冻装置[J]. 冷冻,2001,76(4):33-38.
[20] NAVEH, D, KOPELMAN, L J, MIZRAHI, S. Electro-conductive thawing by liquid contact [J]. Journal of Food Process Engineering, 1991 (14):221-236.
[21] ALWIS A A P, FRYER P J. Operability of the ohmic heating process:Electrical Conductivity Effects [J]. Journal of Food Engineering, 1991 (15):22-47.
[22] 杨铭铎,张春梅,李钢. 猪肉通电加热解冻及快餐肠制作工艺研究[J]. 农业工程学报,2009,25(S1):107-111.
[23] 冯晚平,宋文萍,王海昌,等. 牛肉欧姆加热解冻试验研究[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2004,24(1):78-81.
[24] 冯晚平,崔清亮. 冷冻猪肉欧姆加热解冻电势梯度与尺寸对解冻效果的影响[J]. 食品与发酵工业,2013,39(6):90-94.
[25] 冯晚平,申国其,王海昌,等. 牛肉欧姆加热解冻的时间与

温度分布[J]. 山西农业大学学报:自然科学版,2004,24(3):265-266.

[26] 张农,刘海新,李庐峰,等. 养殖大黄鱼和天然大黄鱼的理化指标比较[J]. 渔业现代化,2007,34(6):26-30.

[27] 吴靖娜,刘智禹,许永安,等. 养殖大黄鱼脱腥工艺研究[J]. 渔业现代化,2013,40(6):40-45.

[28] 陈霞,李钢,杨铭铎,等. 通电加热技术及其在食品加工中的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2003,19(6):700-704.

[29] 杨玉娥,李法德,孙玉利. 通电加热技术的特点及其在肉制品加工中的应用[J]. 肉类工业,2004,24(10):12-14.

[30] 孙忠义. 安全电压的正确认识和应用[J]. 安徽冶金科技职业学院学报,2010,20(3):65-67.

[31] 刘书臣,廖明涛,赵巧灵,等. 不同贮藏温度下大目金枪鱼鲜度及组胺变化[J]. 食品与发酵工业,2013,39(5):213-218.

[32] 楼允东. 关于鱼类的生理盐水[J]. 动物学杂志,1977,12(1):46-47.

Study on process parameters of ohmic heating thawing for frozen *pseudosciaena crocea*

OUYANG Jie, NI Jin, SHEN Jian, ZHANG Junwen, TAN Jiayu
(Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, National R&D Branch Center For Aquatic Product Processing Equipment (Shanghai), Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to explore the feasibility of ohmic heating thawing for frozen *Pseudosciaena crocea*, direct and immerse ohmic heating methods were used for thawing, respectively taking air thawing and running water thawing as control groups, the real-time temperature of each part of *Pseudosciaena crocea* was tested, and the thawing time and uniformity were used as evaluation index. The results show that direct ohmic heating can shorten thawing time effectively, but thawing is uneven and the biggest temperature difference is 30.2 °C, which is not suitable for thawing frozen *Pseudosciaena crocea*; immersed ohmic heating is more suitable for the thawing, with the thawing speed almost one time faster compared to the control group and with a better thawing uniformity. In order to master the process parameters of immersed ohmic heating, effects of different power modes, voltages and electrolyte concentrations on thawing were researched. The results show that power mode (direct current or alternating current) has no significant influence on thawing, 220 V is the most suitable voltage for *Pseudosciaena crocea* thawing, and electrolyte concentration at 1% has a best thawing effect. After comprehensive analysis, it is confirmed that the ohmic heating thawing process for frozen *Pseudosciaena crocea* (weight about 500 g) is to immerse it in 1% NaCl, use 220 V alternating current electricity for 18 minutes, and the terminal temperature is 5.2 °C.

Key words: *Pseudosciaena crocea*; ohmic heating; thawing; time; uniformity

· 文摘 ·

金头鲷养殖生长模型综述

金头鲷是在地中海海水网箱和循环水养殖系统中养殖常见的鱼种。管理这些养殖系统,需要一个描述鱼对环境反应的 生长模型。在水质符合要求的前提下,主要的生长预测因子是鱼体尺寸、水温 and 投 饲量。本研究选择采用保留了各次实验研究处理模型之精华的简易子模型,从水产养殖管理的视角尝 试对可用信息作审慎评述。对于金头鲷,其生长似乎与鱼体大小呈指数级依存关系,而与温度和投饲量 呈线性依存关系。据此提出了具有这些特性的、采用可用数据进行校正的具有代表性的一个生长模型。