

超声波辅助盐渍对鲢鱼干品质和微观结构的影响

王腾^{1,2}, 宁正祥¹, 张业辉², 张友胜²

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所/农业部功能食品重点实验室/广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 为加快鲢鱼干盐渍和干制工序的进程, 本研究将超声波作为辅助鲢鱼盐渍的一种处理方式。将鲢鱼块置于相同频率(40 kHz)、不同功率(0 W、120 W、240 W、360 W和480 W)的超声波下进行辅助盐渍, 然后利用低温热泵干燥方式进行干燥(湿度为50%, 温度为20℃), 研究超声波对盐渍液的温度效应和超声波对鲢鱼干的水分含量、含盐量、质构、感官评价以及微观结构的影响。结果表明超声波具有明显的热效应, 在开放式的盐渍容器中, 超声波辅助盐渍180 min可以使盐渍液温度较环境温度增加4~16℃。鲢鱼经过超声波辅助盐渍120 min后进行50 h的干制, 鲢鱼干的含盐量、弹性和感官评价的评分分别由3.58%、0.70 g、29.00增加到5.21%、0.84 g、43.00, 水分含量和硬度分别由27.04%、2355 N减少到24.88%、1582 N; 石蜡切片和电镜扫描结果表明超声波辅助盐渍可以彻底破坏了肌肉纤维之间的结缔组织, 食盐可以快速进入肌肉纤维细胞内部, 使鲢鱼肌肉组织更加饱满。综合而言, 超声波辅助盐渍可以明显加快鲢鱼的盐渍和干制速率, 提高产品鲢鱼干的品质。

关键词: 鲢鱼干; 超声波; 盐渍; 干燥; 品质

文章编号: 1673-9078(2017)11-75-82

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.012

Effects of Ultrasound-Assisted Salting on the Quality and Microstructure of Dried Grass Carp

WANG Teng^{1,2}, NING Zheng-xiang¹, ZHANG Ye-hui², ZHANG You-sheng²

(1. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Sericulture & Agri-food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture/ Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: The grass carp salting was treated with ultrasound to reduce the salting and drying time. The effects of ultrasound treatment on the saline temperature, moisture content, salinity, texture, microstructure and sensory evaluation of dried grass carp were investigated after salting treatment assisted with different ultrasound power (0 W, 120 W, 240 W, 360 W and 480 W) at 40 kHz and then dried with low temperature heat pump operated at 20℃ with 50% humidity. Results showed that the ultrasound had an obvious heat effect. Compared to the ambient temperature, the temperature of saline could be increased by 4~16℃ with ultrasound treatment (180 min) in an open salted container. The salinity, elasticity and sensory scores increased from 3.58%, 0.70 g, 29.00 to 5.21%, 0.84 g and 43.00, respectively, after treated with ultrasound-assisted salting 120 min and then dried with heat pump for 50 h, and the moisture content and hardness decreased from 27.04% and 2355 N to 24.88% and 1582 N, respectively. Results of paraffin sections and scanning electron microscopy showed that the ultrasound-assisted salting treatment completely destroyed the connective tissues among the muscle fibers, and a quick salt could enter into the muscle fiber cells, which made muscle tissues more full. Consequently, ultrasound-assisted salting could accelerate the rates of salting and drying of grass carp, which improved the quality of dried grass carp product.

Key words: dried grass carp; ultrasound; salting; drying; quality

收稿日期: 2017-06-12

基金项目: 广东省科技项目(2016A040403080、2015B020206001); 广州市科技项目(201704020081)

作者简介: 王腾(1991-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工

通讯作者: 张友胜(1965-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 天然产物、农产品和水产品加工

草鱼、青鱼、鲢鱼和鳙鱼并称为我国的四大家鱼, 是我国重要的淡水鱼类^[1], 而草鱼更是凭借生长迅速、饲料来源广泛及产量丰富而位列四大家鱼之首。据FAO统计, 2014年全球草鱼养殖产量达 7.3783×10^7 t, 总价值超过4.7亿美元^[2]。

目前, 我国的草鱼以鲜活运销为主, 产品粗加工

为辅, 鲜有深加工的工业制品。鲢鱼干是鲢鱼的一种重要的加工产品, 也是鲢鱼贮藏的一种重要方式。鲢鱼干的制作由众多工序组成, 包括杀鱼、去鳞、去内脏、切块、清洗、盐渍、上架和干制等, 其中盐渍和干制是生产过程中重要的两个工序。盐渍的主要目的是使盐分进入鱼肉之中同时改变水分含量, 以增加产品风味^[3]; 干燥的主要目的是使鱼的水分失去和产生新型风味, 以利于长期贮藏。目前, 鱼干水分含量的多少并无明确的参考标准, “GB 10136-2015 动物性水产制品”中没有对盐渍鱼干制品中的水分含量进行规定。不同的企业有不同的要求, 主要由企业管理者根据产品的贮藏时间、销售对象以及市场需要来决定。有相关学者对商业的盐渍干制鱼进行过相关的描述: 用于商业目的的盐渍干制鱼的水分含量(某些特定的部位除外)要低于 47%^[4]。盐渍和干制时间长及产品品质差是目前盐渍鱼干生产过程中存在的几个主要问题, 如何在最短的时间内获得优质的干制产品, 是鱼干生产实践中面临的重大难题。

超声波是近年来发展的一种高新技术, 因其独特的效应在食品加工中广泛应用, 已被公认为某些传统加工工艺如活性成分的提取、管道的清洗等替代方法之一^[5]。已有相关研究表明超声波能够用来辅助鸡蛋盐渍、果蔬干制加工, 缩短时间和提高效率^[6]。郑玉鏞等^[7]将超声波用于咸蛋腌制, 发现超声波可以降低蛋清的粘性, 显著促进食盐的传质进程。Jambrak 等^[8]用超声波分别对蘑菇、孢子甘蓝和花椰菜进行预处理, 结果表明, 超声波预处理明显提高了干燥速率, 节省了干燥时间, 且复水率(质量增重)得到了显著的提升(蘑菇 45.3%、孢子甘蓝 21.4%和花菜 51%)。但超声波应用于鱼干加工的研究鲜有报道。

在此研究背景下, 本实验在鲢鱼干的盐渍过程中, 采用超声波加以辅助, 利用超声波与液体介质之间的相关机制, 期望可以加快盐渍和干制进程, 缩短盐渍和干燥时间, 提高鲢鱼干品质, 为超声波辅助盐渍在工业化的应用和鱼干的快速生产提供理论依据参考。

1 材料与方法

1.1 原料

原材料: 新鲜鲢鱼购买于广州正佳超市(由广州花都地区某养殖场供应), 鲢鱼质量为 2250 g±250 g。

主要试剂: 盐渍盐(食品级海盐, 颗粒盐), 广东省盐业集团有限公司提供; 其他相关试剂均由天津市科密欧化学试剂有限公司提供。

主要仪器与设备: SB 25-12 DTD 超声波清洗机, 宁波新芝生物科技股份有限公司; DT-200 温度即时记录仪, 杭州数测科技有限公司; GHRH-20 型热泵干燥系统, 广东省农业机械研究所; DHG-9240A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; PB-10 pH 计, 德国赛多利斯公司; TA-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro System 公司; Ultra Scan VIS CIE 标准可见光范围色差仪, 美国 Hunter Lab 公司; 6890N/5975B 气相色谱-质谱联用仪, 美国安捷伦公司; 日立 L8900 氨基酸分析仪: 日立高新技术有限公司; S-3400N 扫描电子显微镜, 日立高新技术有限公司; Axio Imager Z2 荧光显微镜上海百贺仪器科技有限公司。

1.2 样品的处理

1.2.1 原料的处理

原料购买后立即由超市工作人员进行处理, 包含以下步骤, 当场宰杀, 去头去尾及内脏, 从背部切开分为两半, 去掉中间脊椎骨和腹部鱼腩部分, 将其切成 5 cm×3 cm×1.5 cm 大小的鱼块, 每块带鱼皮, 质量约为 35 g-40 g。处理之后立即用碎冰保存带回实验室进行实验(中间停留时间不超过 30 min)。

1.2.2 盐渍

盐渍过程根据 Siró 等^[9]的方法并略加修改。首先, 在 20 °C 的条件下, 将 1000 g 鱼块放入盛有 3000 g 质量分数为 20% 的盐水溶液的玻璃容器中, 然后用自制筛网将鱼块全部压入盐水溶液中, 防止鱼块漂浮于盐水表面; 将盛有鱼块的玻璃容器放入盛有水的超声波容器中, 在超声波频率为 40 kHz 的条件下, 设置超声波清洗机的功率(0 W、120 W、240 W、360 W 和 480 W)和时间(120 min), 进行超声辅助盐渍实验。盐渍过程中, 超声波容器中的水不进行更换。

1.2.3 干制

干制过程根据 Bellagha 等^[10]的方法略加修改。用滤纸将盐渍 120 min 后的鲢鱼块表面的水分吸干, 然后将其平整的放到带有固定孔径(约 5 mm)大小的不锈钢网盘中央位置, 相邻的鲢鱼块相距 5 cm, 然后将网盘放到 GHRH-20 型热泵干燥机的同一层支架上进行干制实验。

表 1 GHRH-20 型热泵干燥机的程序设定

Table 1 Program setting of GHRH-20 heat pump dryer

温度/°C	湿度/%	时间/h	主风机	压缩机	加湿	辅助风机	风机频率/Hz	辅助加热	排湿
20	50	50	常开	自动	自动	常开	25.00	自动	偏 0 °C

根据预备实验的结果和机器的说明, 热泵干燥机的程序最终设定如表 1 所示。

1.3 超声波辅助盐渍对盐渍液的温度影响

盐渍液中温度的变化由温度即时记录仪 DT-200 自动记录, 设置自动记录时间间隔为 20 min。

1.4 水分含量的测定

水分含量的测定根据 Bellagha 等^[10]等人的方法并做适当的修改。将盐渍后的鲢鱼块放入热泵干燥机内进行干燥, 每隔 5 h 取样一次, 样品置于 105 °C 的烘箱内干燥 24 h 直至恒重, 转入干燥器内冷却后称重, 按照下列公式计算出鱼块的水分含量。

$$W_0 = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

其中: W_0 (%), 样品的水分含量; m_0 (g), 样品的初质量; m_1 (g), 样品干燥之后的质量。

1.5 鱼干品质指标测定和微观结构观察

1.5.1 品质指标测定和微观结构观察时样品的筛选

将不同处理后的鲢鱼块置于热泵干燥机内进行干燥, 每隔一定时间, 测定样品中的水分含量, 最终选择水分含量无显著性差异 ($p < 0.05$) 时的样品进行含盐量、色度、质构指标测定和感官评价以及微观结构

观察。

1.5.2 含盐量的测定

根据中华人民共和国水产行业标准-《水产品中盐分的测定(以氯化钠计)SC/T 3011-2001》中的直接滴定法进行。

1.5.3 色度的测定

根据 Brás 和 Costa^[4]的方法并做适当的修改。将鲢鱼干平整的放在色度仪上进行测定, L^* 值反映样品亮度变化; b^* 值反映样品黄蓝度变化, a^* 反映样品红绿度变化。

1.5.4 质构的测定

根据 Ozuna 等^[11]的方法略作修改进行质构的测定。测定模式为 TPA 模式, 测定探头为 P10 圆柱形探头。程序设定如下: 测前速度为 1.00 mm/s, 测中速度为 1.00 mm/s、测后速度为 1.00 mm/s, 压缩形变为 30%, 时间间隔为 5 s, 触发力 5.0 g。在每片鲢鱼干上选取 3 个点进行测试, 测试点距离鱼块边缘的距离 ≥ 2 cm。

1.5.5 感官评价

根据 Hu 等^[12]的做法略作修改。将鲢鱼干放在质量为 5 倍的清水中浸泡 15 min 去掉部分盐分后, 然后滤干表面的水分, 真空包装, 用水蒸气蒸煮 30 min。组织 5 名专业感官评定人员就熟制品的色泽、气味、组织形态、质地和口感进行打分, 每项指标的满分为 10 分, 分别取每项指标的平均值和总值进行评定。

表 2 盐渍品的感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation standards of salted products

分值	评定标准				
	色泽	气味	组织形态	质地	口感
10~9	肉色金黄, 带有光泽	香味浓郁, 无异味	纤维组织紧密	咀嚼感好	咸淡适中
8~7	肉色较金黄, 带有光泽	香味较浓郁, 无异味	纤维组织较紧密	咀嚼感较好	咸淡较适中
6~5	肉色较金黄, 不带光泽	香味一般	纤维组织开始疏松	咀嚼感一般	咸淡勉强接受
4~3	肉色较黑	香味较差, 有异味	纤维组织疏松	咀嚼差	咸或淡
2~1	肉色黑色	香味很差, 异味很浓	纤维组织很疏松	咀嚼感很差	很咸或很淡

1.5.6 鱼干微观结构的观察

(1) 石蜡切片

根据 Jiao 等^[13]等人的做法并做适当的修改。首先用实验刀片将样品修成 10 mm×10 mm×5 mm 的大小, 然后分别经过中性福尔马林溶液固定、乙醇梯度脱水、二甲苯透明、浸蜡、修块、包埋、切片、染色和显微观察等步骤。

(2) 扫描电子显微镜 (SEM)

根据 Ozuna 等^[3]等人的方法并做适当的修改, 包括修块、固定、漂洗、后固定、漂洗、脱水、干燥、喷金、观察和拍照步骤。具体操作如下: 将待测样品

切成 4 mm×2 mm×2 mm 的大小, 用 4%的戊二醛溶液固定, 0.1 M 的 PBS 磷酸缓冲液漂洗, 1%的饿酸进行后固定, 再次用 0.1 M 的 PBS 磷酸缓冲液进行漂洗; 之后用 30%、50%、70%、80%、90%、95%和 100%的乙醇进行逐步脱水操作, 采用临界点干燥的方法进行干燥, 干燥之后在中间轻轻折断, 断面朝上离子溅射仪喷金, 扫描电子显微镜进行观察和拍照。

1.6 数据处理与结果分析

所有分析测试研究均采用三次平行处理; 采用 SPSS 19.0 软件包进行数据处理; 采用 originpro 8.5 软

件进行绘图处理；显著性水平取 0.05，数据表示形式为平均值±标准差。

2 结果与讨论

2.1 超声波辅助盐渍对盐渍液的温度影响

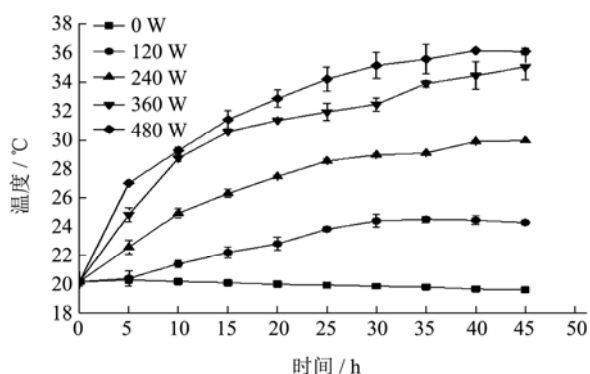


图1 超声波辅助盐渍对盐渍液的温度效应

Fig.1 Effect of ultrasound-assisted salting on temperature of salting solution

超声波的热效应、机械效应和空化效应是超声波技术得以应用的三大理论依据，而超声波的热效应究竟会对盐渍液的温度产生多大的影响是值得探究的一个问题。由图1可以看出，在20℃条件下没有超声波辅助盐渍处理的对照组中的盐渍液温度变化不明显，变化幅度不超过0.5℃；利用超声辅助盐渍处理的样品，温度上升明显。随着超声功率依次从0W、120W、240W、360W增加到480W时，盐渍液中的最高温度分别可以达到20.29℃、24.27℃、29.96℃、35.06℃和36.12℃，超声波功率越大，盐渍液中的温度上升越高。其主要原因在于超声波在盐渍液中传播时，超声波释放的能量不断地被盐渍液吸收而导致其温度升高，超声波功率越大，超声的温度效应越强^[14]。在同一个功率作用下，随着时间的延长，盐渍液的温度呈现先逐渐升高后趋于平稳的趋势，其主要原因在于本实验利用超声波辅助盐渍的容器为开放式容器，当容器内温度达到一定程度时，过多的热量则散发到环境之中从而使得盐渍液中的温度基本保持恒定。由本实验可以看出，超声波具有明显的热效应，在开放式的盐渍容器中，在180min内，当超声波功率从0W、120W、240W、360W增加到480W时，盐渍液温度较环境温度增加4~16℃，过高的盐渍液温度有可能加速鱼蛋白变性。因此，应用超声波对鱼进行辅助盐渍，要综合考虑环境温度、盐渍容器是否开放或者封闭，然后根据鱼的种类选择超声功率和超声时间。

2.2 超声波辅助盐渍对鲢鱼干水分含量的影响

响

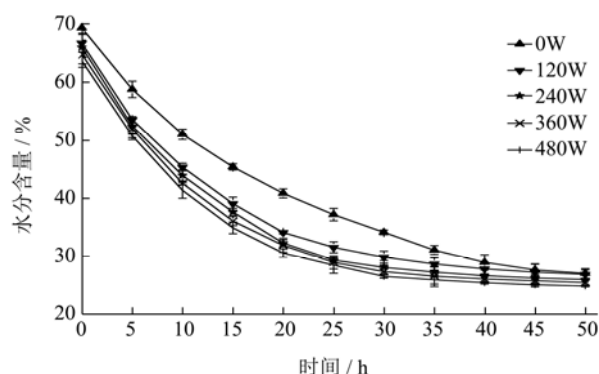


图2 超声波辅助盐渍对鲢鱼干水分含量的影响

Fig.2 Effect of ultrasound-assisted salting on moisture content of dried grass carp

干燥时间长和产品品质差是鱼干燥过程中遇到的两个主要问题，如何在最短的时间内去获得优质的干制产品，是当前鱼干生产过程中急需研究和解决的问题。如图2所示，在干制的初始时刻，功率为0W、120W、240W、360W和480W的超声波辅助盐渍120min后的鲢鱼块中水分百分含量依次为 $69.45 \pm 0.92\%$ 、 $66.56 \pm 1.51\%$ 、 $65.38 \pm 1.95\%$ 、 $64.08 \pm 2.42\%$ 和 $62.75 \pm 0.61\%$ ，各处理之间水分含量有显著差异($p < 0.05$)，说明超声波在鲢鱼盐渍阶段具有促进鲢鱼失水的作用，且随着超声波功率的增加，失水越多。Ye^[6]认为在液体的介质环境中，超声波的空化作用是增强传质的主要因素。由超声波辅助盐渍之后的鲢鱼在干燥过程中的水分含量变化曲线可知，盐渍之后的鲢鱼块在相同的条件下进行干制，所有样品的水分含量下降的过程均呈现明显的“快速”与“缓慢”下降两个阶段，经过超声波辅助盐渍的鲢鱼块的水分含量在前20h内变化较大，之后变化缓慢，没有经过超声波辅助盐渍的鲢鱼块的水分含量在前35h内变化较大，之后变化缓慢，这是因为干燥前期，鲢鱼内部的水分可以快速的扩散到鱼体表面，使得表面保持充分的湿润，随着鲢鱼水分含量的不断降低，水分扩散的阻力增大，使得干燥速度减慢^[15]；干燥过程中，快速与缓慢下降阶段拐点的不同则是由于超声波作用所致。Ojha等人^[15]在探究超声波预处理对牛肉干干燥动力学影响的研究中，认为干燥速率的改变可能是因为肉体表面的微通道的形成，从而使得水分快速的散失。Soria等^[16]相关学者持有类似的观点，认为超声波的应用会降低物料表面水分吸附力并产生微通道，有利于水分的迁移和脱除。

2.3 品质指标测定和微观结构观察时样品的

确定

根据超声波辅助盐渍之后的鲢鱼块在干燥过程中的水分含量测定结果(图2)和Brás和Costa^[4]所描述的商业盐渍鱼干的要求(除某些特定部位外,水分含量要低于47%),干燥50 h后的鲢鱼干中水分含量分别为28.56±0.93%、27.88±0.69%、27.51±0.37%、27.08±0.58%和26.68±0.34%,此时各样品之间的水分含量无显著的差异性($p < 0.05$)。因此,确定选择干燥50 h的样品进行含盐量、色度、质构指标测定和感官评价以及微观结构观察。

2.4 超声波辅助盐渍对鲢鱼干含盐量的影响

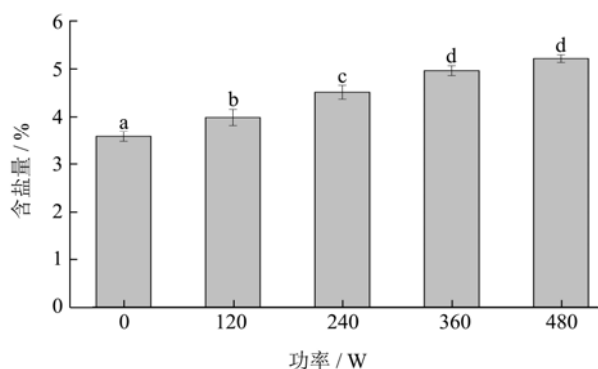


图3 超声波辅助盐渍对鲢鱼干含盐量的影响

Fig.3 Effect of ultrasound-assisted salting on salt content of dried grass carp

注:图中不同字母表示差异性显著($p < 0.05$)。

含盐量是评价盐渍品的一个重要指标,含盐量的多少与产品的感官品质、贮藏时间及安全性密切相关。如图3所示,经过120 min的浸渍,随着超声波的功率从0 W、120 W、240 W、360 W增加到480 W,鲢鱼干的含盐量也随之增加,分别达到了3.58%、3.98%、4.51%、4.96%和5.21%,鲢鱼干的含盐量增加显著。在相同的时间内,超声波的运用可以明显提高盐渍品的含盐量。如果确定了产品的含盐量,则应用超声波辅助盐渍,即可缩短盐渍时间。类似的研究结果也被其他的相关学者证实过。Siró等^[9]发现在20 kHz的超声波频率下,超声波可以极大地提高氯化钠的传质系数,并且传质系数随着功率的增大而变大。Carcel等^[17]人发现,超声波对盐渍传质过程的影响主要取决于超声波强度的应用,在猪肉的盐渍过程中,采用频率为20 kHz的超声波进行辅助,发现在超声波某个的功率之上,超声波的功率与肉类的含盐量正相关。以上实验结果与本实验结果类似。超声波之所以可以提高食盐的传质系数,加快盐渍速度,缩短盐渍时间,很有可能是因为超声波的热效应、机械效应和空化效应

等综合作用改变了鱼体的组织结构所导致。

2.5 超声波辅助盐渍对鲢鱼干质构的影响

质构是与食品的组织结构、组织状态及口感密切相关的一个物理指标,通常可利用感官评价和质构仪进行分析。如图4所示,随着超声波功率从0 W、120 W、240 W、360 W增加到480 W,鲢鱼干的硬度呈现下降的趋势,分别为2355 N、2290 N、1989 N、1778 N和1582 N;而弹性则呈现上升的趋势,分别达到0.704 g、0.747 g、0.765 g、0.804 g和0.836 g。余海霞等^[18]人在超声波技术嫩化鱿鱼的研究中同样发现通过超声波处理之后,鱿鱼的硬度显著下降、弹性显著上升。可能是因为超声波的综合作用(温度效应、机械效应和空化效应)对鱼体蛋白质以及组织造成了一定的破坏并且随着超声波功率的增大,破坏随之增强,使得硬度降低、弹性增大;Brás和Costa^[4]认为可能是盐渍和干制过程导致了蛋白质变性使得蛋白质的水化作用降低,从而导致硬度降低,Lauritzsen等^[19]人则认为可能是盐中钙镁离子的存在导致上述差异。本研究表明超声波辅助盐渍可以降低鲢鱼干的硬度、提高弹性,差异性显著。

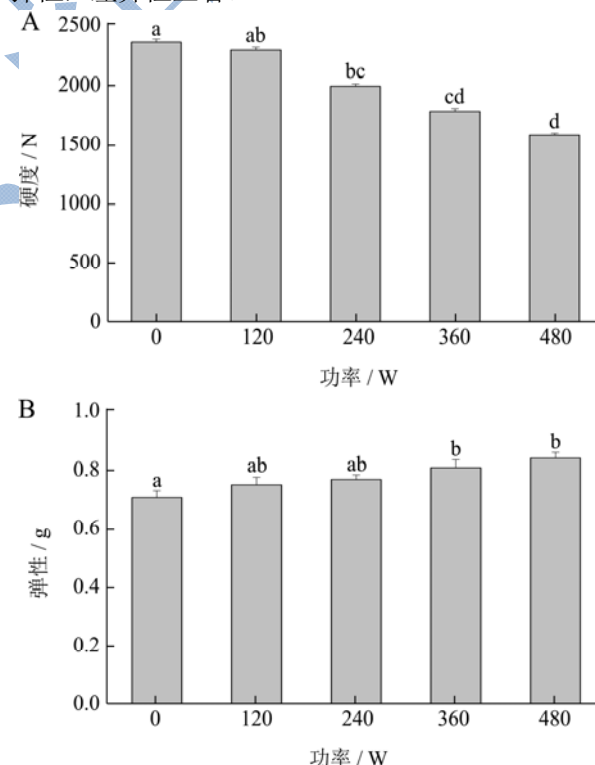


图4 超声波辅助盐渍对鲢鱼干质构的影响

Fig.4 Effect of ultrasound-assisted salting on texture of dried grass carp

注:图中不同字母表示差异性显著($p < 0.05$)。

2.6 超声波辅助盐渍对鲢鱼干色泽的影响

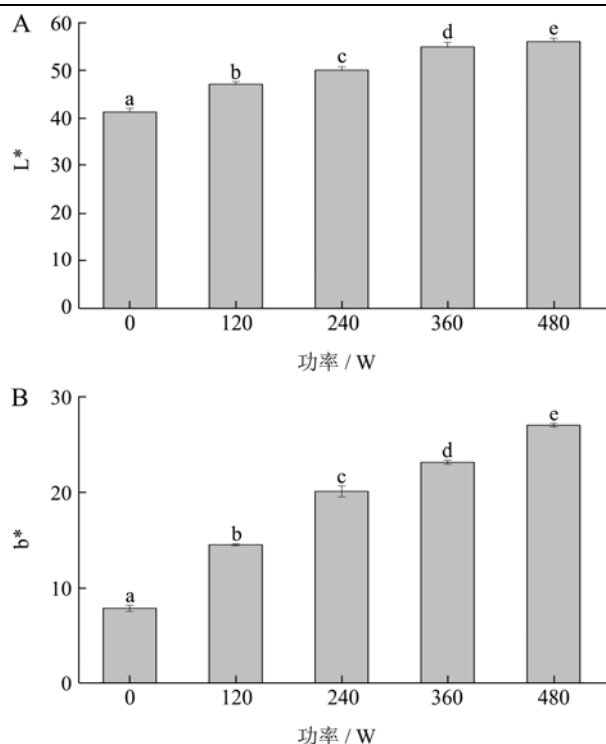


图5 超声波辅助盐渍对鲢鱼干色泽的影响

Fig.5 Effect of ultrasound-assisted salting on color of dried grass carp

注：图中不同字母表示差异性显著 ($p < 0.05$)。

色泽是鲢鱼干外观评价的重要指标。由图5可以看出，随着超声波功率由0 W、120 W、240 W和360 W增加到480 W，L*、b*值随之增大。L*值由41.33增加到47.14、49.95、54.80和55.93，b*值则由7.91增加到14.51、20.19、23.25和27.11，差异性显著，

表3 超声波辅助盐渍对鲢鱼干感官评价的影响

Table 3 Effect of ultrasound-assisted salting on sensory evaluation of dried grass carp

项目	0 W	120 W	240 W	360 W	480 W
色泽	5.50±0.71 ^a	6.50±0.71 ^{ab}	8.00±1.41 ^{ab}	8.50±0.71 ^{ab}	9.50±0.71 ^b
气味	5.00±1.41 ^a	6.50±0.71 ^{ab}	7.50±2.12 ^{ab}	8.50±0.71 ^{ab}	9.50±0.71 ^b
组织形态	8.50±0.71 ^a	8.00±0.00 ^{ab}	6.50±0.71 ^{ab}	6.50±0.71 ^a	6.50±0.71 ^b
质地	4.50±0.71 ^a	5.50±0.71 ^a	7.50±0.71 ^{ab}	8.50±0.71 ^{ab}	9.00±0.00 ^b
口感	5.50±0.71 ^a	6.00±1.41 ^a	6.50±0.71 ^a	8.00±1.41 ^a	9.00±0.00 ^a
总分	29.00±2.83 ^a	32.00±2.12 ^{ab}	36.00±2.83 ^{abc}	40.00±2.83 ^{bc}	43.00±2.12 ^c

注：图中不同字母表示差异性显著 ($p < 0.05$)；差异性分析为相关指标同一行数据之间的比较。

2.8 超声波辅助盐渍对鲢鱼干结构的影响

在超声波辅助盐渍对鲢鱼干结构影响的实验中，不同处理组别均采用三次平行处理，同一组别设三次独立重复。不同功率超声波处理的样品具有类似效果，呈现相同的趋势，本文选取频率为40 kHz、功率为480 W超声波辅助盐渍120 min之后、在20 °C干制50 h的样品为例进行阐述。

而a*值无明显变化趋势（数据未给出）。水产品色泽的变化有多种原因，如褐变（非酶褐变、酶促褐变）和微生物等，有相关学者认为非酶褐变可能是鱼干色泽变化的主要原因，鱼体死后细胞内的核苷酸链分解产生核糖，在干制时核糖与鱼体内的氨基酸发生美拉德反应而发生色变^[18]，而超声波的辅助则可能加强了核苷酸链的分解作用，从而增强干燥过程中发生的美拉德反应，使得L*和b*值变大。

2.7 超声波辅助盐渍对鲢鱼干感官评价的影响

感官评价是对食品的颜色、香、味、形、质地和口感等各项指标做出综合评价的结果。如表3所示，随着超声波功率不断增大，鲢鱼干的组织形态呈现下降的趋势，而色泽、气味、质地和口感的评分则逐渐上升并且随着辅助盐渍时超声波功率的增强，感官评价的总分则呈现出上升的趋势，由29.00增加到32.00、36.00、40.00和43.00。超声波之所以使得感官评价的分数得到提升，可能是因为超声波的温度作用、空化作用和机械作用等综合作用对鱼体组织造成了一定的破坏，使得组织松散，但正是因为这种破坏使得鱼干内游离氨基酸和脂肪酸等芳香物质的含量发生了变化，且这种破坏有利于盐分和风味物质溶出和扩散，使得色泽、气味和口感变好，同时这种破坏可能对组织起到一定的嫩化作用，使得质地和口感得到提升。

2.8.1 石蜡切片组织结构观察

石蜡切片是用于观察组织形态结构的强有力手段。超声波辅助盐渍对鲢鱼干的组织结构的影响如图6所示。a图代表的是经过盐渍处理但盐渍时无超声波辅助的鲢鱼干的组织结构样貌，从a可以看出鲢鱼干的肌肉纤维细胞明显干瘪皱缩，肌肉纤维细胞之间的间隙较小、间隙不分明。这是因为鲢鱼在盐渍时，细胞外部盐溶液的浓度大于细胞内部盐浓度，在渗透压

的作用下,细胞内部的水分及其它可溶性成分由细胞内向细胞外渗透,食盐则由细胞外渗入细胞内部,由于食盐渗入速度小于水分及其它可溶性成分的渗出速度,从而使得肌肉纤维细胞收缩。b图是经过超声波辅助盐渍的鲢鱼干的组织样貌,从b可以看到肌肉纤维细胞之间接触紧凑、间隙分明,纤维细胞呈现一种朱润饱满的形状,其原因可能是超声波的综合作用促使水分从肌肉纤维细胞渗出的同时,食盐快速进入肌肉纤维细胞内部,使纤维细胞结构保持饱满状态。消费者在品尝由超声波辅助盐渍加工而成的制品时,饱满的肌肉纤维中的内含物能够更好更快地接触消费者口腔内部舌蕾上的味觉细胞,再经大脑皮质味觉中枢产生兴奋,从而获得较好的味觉质感,而干瘪皱缩的肌肉纤维细胞则难以刺激味觉细胞使大脑皮质味觉中枢产生兴奋,因而获得较差的味觉质感,这与2.7感官评价中质地和口感的分数高低结果相一致。

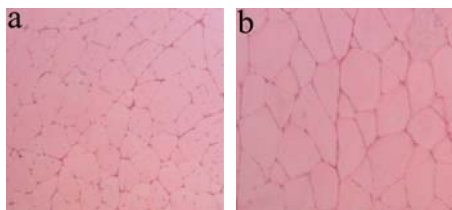


图6 超声波辅助盐渍对鲢鱼干组织形态的影响

Fig.6 Effect of ultrasound-assisted salting on morphology of dried grass carp

注: a, 表示新鲜鲢鱼肌肉放置在浓度为20%的食用海盐溶液中盐渍120 min后干燥处理的样品; b, 表示新鲜鲢鱼肌肉放置在浓度为20%的食用海盐溶液中盐渍120 min,同时加以频率为40 kHz、功率为480 W超声波辅助后干燥处理的样品。

Hu等^[12]在超声波处理嫩化巨型乌贼的研究中同样发现,超声波处理使得乌贼组织细胞损伤,肌肉纤维间隙变大。肉的质地主要取决于肌肉纤维与结缔组织蛋白,而肌肉纤维尤为重要。Hu等^[12]认为超声波处理可能促进了长的肌原纤维断裂,使得组织质感更佳。而Lyng等^[20]认为可能是超声波技术使得溶酶体、肌原纤维蛋白和结缔组织遭到破坏,特别是溶酶体的破坏使组织蛋白酶和钙蛋白酶体系得到释放从而起到嫩化作用。

2.8.2 扫描电子显微镜(SEM)微观结构观察

扫描电子显微镜(SEM)是介于透射电镜和光学显微镜之间的一种微观样貌观察手段,可直接根据样品表面材料的物质性能进行微观成像。如图7所示,a图为经过盐渍处理但无超声波辅助的鲢鱼干的微观样貌,从a可以看出,肌肉纤维彼此紧贴在一起,纤维之间间隙较小,各纤维之间仍有大量结缔组织残留物缠绕在一起,纤维排列杂乱无章。其原因可能在于盐渍

过程中食盐渗入肌纤维细胞的速度小于肌纤维细胞中水分及其它可溶性成分的渗出速度,从而使得肌肉纤维收缩变皱,结缔组织没有遭到彻底破坏,横断面纤维呈现大小不一的形状。Mackie^[21]证实鳗经过较高浓度的食盐盐渍之后,肌肉纤维组织变紧,组织结构变硬。b是经过超声波辅助盐渍的鲢鱼干的微观组织样貌,从b可以看出,肌肉纤维之间的间隙分明,排列整齐有序,横断面纤维呈现大小一致的形状,纤维之间的结缔组织彻底消失,其原因可能是超声波的空化作用和机械效应等综合作用彻底破坏了纤维之间的结缔组织,在水分从肌肉纤维细胞渗出的同时,食盐从已经破坏结缔组织通道快速进入肌肉纤维细胞内部和纤维之间,填补结缔组织空间,从而维持纤维细胞整体结构不变。SEM结果和上述石蜡切片的结果相一致,第一次证明超声波在辅助盐渍过程中具有促进食盐快速进入鱼体肌肉纤维细胞、维持肌肉纤维细胞整体结构稳定的作用。余海霞等^[18]在超声波技术嫩化鱿鱼的研究中发现同样的现象:经过超声波处理之后,鱿鱼的细小肌纤维以及相关结缔组织遭到破坏,间隙明显增大。

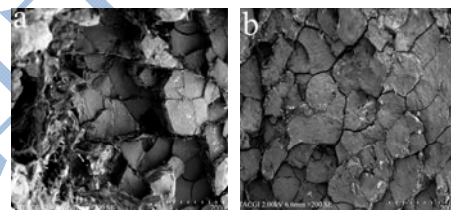


图7 超声波辅助盐渍对鲢鱼干微观结构的影响

Fig.7 Effect of ultrasound-assisted salting on microscopic structure of dried grass carp

注: a, 表示新鲜鲢鱼肌肉放置在浓度为20%的食用海盐溶液中盐渍120 min后干燥处理的样品; b, 表示新鲜鲢鱼肌肉放置在浓度为20%的食用海盐溶液中盐渍120 min,同时加以频率为40 kHz、功率为480 W超声波辅助后干燥处理的样品。

3 结论

结果表明超声波以其独有的特性受到人们的青睐,在各行各业中得到了广泛的应用。本研究将超声波技术与盐渍技术相结合,结果表明超声波有明显的热效应,能显著提高盐渍液的温度,能使开放式的盐渍容器中的盐渍液温度较环境温度增加4~16℃;鲢鱼经过超声波辅助盐渍120 min后进行50 h的干制,鲢鱼干的含盐量、弹性、L*值、b*值和感官评价的评分分别得到了不同程度的提升,由3.58%、0.70 g、41.31、7.91、29.00增加到5.21%、0.84 g、55.93、27.11、43.00,水分含量和硬度出现了下降的趋势,由27.04%、2355 N减少到24.88%、1582 N;同时鲢鱼干的组织

结构产生了一定的破坏。本研究结果为超声波在盐渍和干制方面的应用提供了强有力的理论支撑,同时本研究表明,无论是工业应用还是科研的角度,超声波在食品工艺中应用前景广阔。

参考文献

- [1] Jin Y, Tian L X, Xie S W, et al. Interactions between dietary protein levels, growth performance, feed utilization, gene expression and metabolic products in juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture*, 2015, 437: 75-83
- [2] FAO yearbook-fishery and aquaculture statistics and summary tables (aquaculture production 2014)
- [3] Ozuna C, Puig A, García-Pérez J V, et al. Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 119(1): 84-93
- [4] Brás A, Costa R. Influence of brine salting prior to pickle salting in the manufacturing of various salted-dried fish species [J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 100(3): 490-495
- [5] Awad T S, Moharram H A, Shaltout O E, et al. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: a review [J]. *Food Research International*, 2012, 48(2): 410-427
- [6] Ye Y. Enhancement of mass transfer by ultrasound: Application to adsorbent regeneration and food drying/dehydration [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, 31: 512
- [7] 郑玉婧,刘树滔.超声波技术在咸蛋腌制中的应用及其机理初探[J].福州大学学报,1996,3:71-74
ZHENG Yu-qiang, LIU Shu-tao. Application and study of mechanism of ultrasound technique in salted egg [J]. *Journal of Fuzhou University*, 1996, 3: 71-74
- [8] Jambrak A R, Mason T J, Paniwnyk L, et al. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(1): 88-97
- [9] SirÓ I, Vén C, Balla C, et al. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 91(2): 353-362
- [10] Bellagha S, Sahli A, Farhat A, et al. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 78(3): 947-952
- [11] Ozuna C, Gómez Á T, Riera E, et al. Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2014, 21(3): 1235-43
- [12] Hu Y, Yu H, Dong K, et al. Analysis of the tenderisation of jumbo squid (*Dosidicus gigas*) meat by ultrasonic treatment using response surface methodology [J]. *Food Chemistry*, 2014, 160(10): 219
- [13] Jiao J, Mo B, Wei H, et al. Comparative study of laser-induced choroidal neovascularization in rats by paraffin sections, frozen sections and high-resolution optical coherence tomography [J]. *Graefes' Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 2013, 251(1): 301-7
- [14] 钟赛意,王善荣,刘寿春.超声波技术在动物性食品中的应用[J].肉类研究,2006,11:33-37
ZHONG Sai-yi, WANG Shan-rong, LIU Shou-chun. Application of the ultrasound technique in animal food [J]. *Meat Research*, 2006, 11: 33-37
- [15] Ojha K S, Kerry J P, Tiwari B K. Investigating the influence of ultrasound pre-treatment on drying kinetics and moisture migration measurement in *Lactobacillus sakei*, cultured and uncultured beef jerky [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 81: 42-49
- [16] Soria A C, Corzomartínez M, Montilla A, et al. Chemical and physicochemical quality parameters in carrots dehydrated by power ultrasound [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2010, 58(13): 7715-22
- [17] Carcel J A, Benedito J, Bon J, et al. High intensity ultrasound effects on meat brining [J]. *Meat Science*, 2007, 76(4): 611-9
- [18] 廖泉.洞庭银鱼干燥工艺及鱼干贮藏期品质变化的研究[D].长沙:湖南农业大学,2014
LIAO Quan. Studies on drying technology of Dongting whitebait and the quality changes of dried product in storage period [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014
- [19] Lauritzsen K, Akse L, Gundersen B, et al. Effects of calcium, magnesium and pH during salt curing of cod (*Gadus morhua*, L) [J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2004, 84(7): 683-692
- [20] Lyng J G, Allen P, McKenna B M. The influence of high intensity ultrasound baths on aspects of beef tenderness [J]. *Journal of Muscle Foods*, 1997, 8(3): 237-249
- [21] Mackie I M. The effects of freezing on flesh proteins [J]. *Food Reviews International*, 1993, 9(4): 575-610