



多段滚筒式罗非鱼高效低损去鳞工艺

郑晓伟^{1,2,3,4*}, 陈庆余^{1,3,4}, 张军文^{1,3,4}

(1. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;

2. 农业农村部远洋渔船与装备重点实验室, 上海 200092;

3. 国家水产品加工装备研发分中心(上海), 上海 200092;

4. 大连工业大学, 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 辽宁大连 116034)

摘要: 滚筒去鳞是鱼类连续去鳞加工的有效方法之一, 虽然国内已有去鳞设备应用于实际生产, 但实际去鳞效果和损伤等方面还无法完全满足生产需求。为探究不同去鳞部件在滚筒式去鳞加工过程中的实际效果和影响因素, 该研究选取钢板网、圆形孔网、角钢刀具和螺纹钢 4 种去鳞结构件, 设计滚筒去鳞实验装置并开展工艺参数研究, 测量不同条件下去鳞率并观察分析损伤情况, 在此基础上设计多段滚筒去鳞装置并进行试验验证。结果显示, 去鳞时间和滚筒转速是影响钢板网和圆形孔网去鳞效果的主要参数, 不同去鳞时间下的去鳞率差异显著, 去鳞率随时间延长不断上升。在滚筒转速为 35 r/min, 去鳞时间接近 4 min 时, 去鳞率可达 95%; 相同时间和转速下, 各去鳞部件的去鳞效果依次为钢板网>角钢刀具>圆形孔网>螺纹钢, 对鱼体的损伤程度依次为螺纹钢<圆形孔网<角钢刀具<钢板网; 钢板网和圆形孔网组合式多段滚筒去鳞装置, 在转速为 35 r/min, 去鳞时间为 3 min 时的最高去鳞率可达 95%, 且损伤率低。研究获得的适宜罗非鱼多段滚筒去鳞装置的工艺参数, 可为罗非鱼滚筒去鳞设备的完善和优化提供依据。

关键词: 罗非鱼; 去鳞; 损伤率; 多段滚筒

中图分类号: S 985.1

文献标志码: A

中国是世界第一渔业生产大国, 渔业总产量占到世界总产量的近 40%。罗非鱼是我国水产养殖业的重要品种, 2019 年我国罗非鱼总产量达 164 万 t^[1-5]。其肉质鲜嫩、鱼刺少、价格低廉, 广泛应用于水产品加工业, 产品以罗非鱼片和冷冻罗非鱼为主^[6-8]。鱼类前处理工序复杂, 主要包括去鳞、去头、去内脏和清洗等关键环节, 以及定向、排序等辅助环节^[9-12]。虽然近几年我国鱼类加工技术发展取得成效, 但总体而言仍然存在自动化程度低、劳动强度大以及加工质量不可控等问题, 严重影响了鱼类产品加工业

的发展^[13-15]。

鱼类去鳞机是指通过类似于人工刮鳞刀具的结构件来去除鱼体表面鱼鳞的一类机械设备, 通常应用于批量加工中小型鱼或逐条加工大中型鱼。去鳞机可采用的方法包括水射流、刮刀、毛刷、网板、辊轮等^[16-18], 根据送料方式的不同, 去鳞机可分为间歇式和连续式^[19-20]。滚筒式结构是实现鱼类连续去鳞的有效方法之一^[21], 将刮刀、网板等去鳞结构件安装于滚筒内壁, 在滚筒旋转时鱼体与滚筒内壁相互作用下完成去鳞。与水射流去鳞相比, 滚筒去鳞具有处理量大和生

收稿日期: 2021-04-26 修回日期: 2021-05-30

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFD0700903)

通信作者: 郑晓伟(照片), E-mail: zhengxiaowei@fmiri.ac.cn



产连续性佳的特点^[22]。国内虽然已有去鳞设备应用于实际生产^[23-24]，但并未开展系统的结构及工艺参数研究，理论也尚未得到阐明。行业缺乏相关的标准和技术规范，设备结构单一、生产连续性差，实际去鳞效果和损伤等方面还无法完全满足生产需求。针对上述问题，本实验选取了钢板网、圆形孔网、角钢刀具和螺纹钢4种去鳞结构件，设计滚筒式去鳞实验装置，开展罗非鱼滚筒去鳞装置结构及工艺参数研究，探讨不同滚筒转速和加工时间下的去鳞效果，获得适宜罗非鱼滚筒去鳞最佳参数。设计多段滚筒去鳞装置并进行生产验证，通过多种功能部件的有效组合和优势互补，以实现去鳞效果的提升。

1 材料与amp;方法

1.1 实验原料与amp;仪器

实验对象 实验用鲜活罗非鱼由水产市场采购，根据实验进度分批次运送，带水充氧保活，体质量500~600 g。根据实验要求抓取一定数量的鱼作为一组进行滚筒去鳞实验。活鱼从水中取出后放置约1 h，使其活性下降，每个因素组合测量3组数据，取其平均值。

实验仪器 SJ9-2 II型电子秒表，精度0.01 s；台秤，分度值50 g，上海浦东计量仪器厂；VC6234P非接触式转速测量仪，精度0.1 r/min，深圳市驿生胜利科技有限公司；DL7306不锈钢角度尺，测量范围0~180°，精度1°。

1.2 去鳞装置

实验用罗非鱼去鳞装置结构如图1所示，将去鳞部件环形布置作为筒壁，电机转速通过变频器调控，罗非鱼通过滚筒侧板上的预留窗放入和取出。参考常见的手持式去鳞工具的结构，在前期实验的基础上，选取了4种不同的去鳞结构部件(图2)。去鳞实验装置结构参数采用了前期实验的优化结果，基本参数见表1。

1.3 滚筒去鳞受力分析

以网孔板和角钢刀具为例，分析开孔板类和刀具类去鳞部件的去鳞状态。滚筒与鱼体接触状态如图3所示。将鱼体放置在滚筒内部，并在滚筒的转动下产生移动和翻滚，当鳞片边缘挂在去鳞部件“凸台”上，并相互作用时实现鳞片

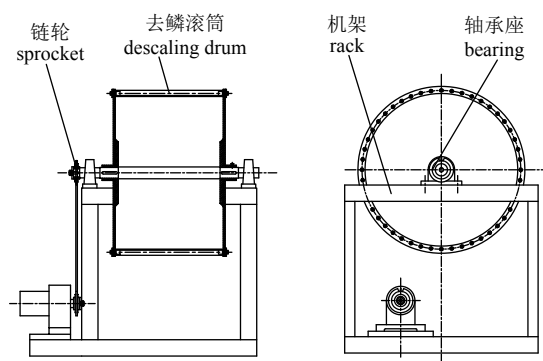


图1 罗非鱼去鳞实验装置

Fig. 1 Tilapia descaling experimental device

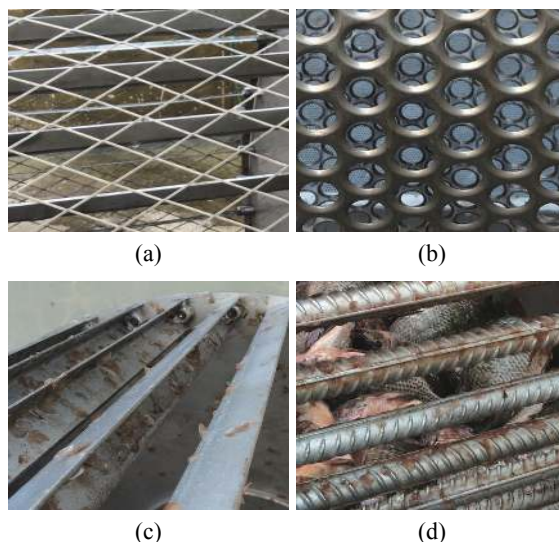


图2 不同结构去鳞部件

(a) 钢板网, (b) 圆形孔网, (c) 角钢刀具, (d) 螺纹钢

Fig. 2 Descaling parts of different structures

(a) steel mesh, (b) punched mesh, (c) angle cutter, (d) rebar

表1 罗非鱼去鳞实验装置基本参数表

Tab. 1 Parameter table for descaling experimental device

参数 parameter	数值 value
滚筒直径/mm roller diameter	750
滚筒宽度/mm roller width	520
电机功率/kW power	1.5
刀具数量/片 number of blades	48
刀具宽度/mm blade width	30
螺纹钢直径/mm rebar diameter	20
钢板网规格/mm steel mesh size	30×60
圆形孔网直径/mm punched mesh diameter	18

的去除。实际去鳞过程中受力非常复杂，还会受到离心力、鱼体跌落时的冲击力以及鱼体互

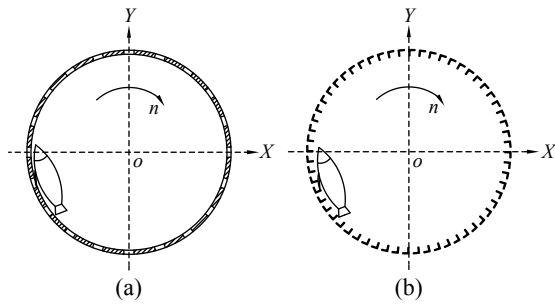


图3 滚筒与鱼体接触状态

Fig. 3 State of contact between the drum and the fish

相之间的作用力等。

为便于分析, 假设鱼头方向与滚筒运动方向一致, 不考虑鱼体间的相互作用力, 分析鱼体与滚筒接触部位的受力情况(图4)。鱼体在与滚筒内部接触过程中, 除了受到重力 G 的作用外, 主要作用力还包括摩擦力 f 和对鳞片的刮力 T 。在没有鳞片挂到刀具或网孔边时, 鱼体与滚筒之间以摩擦力为主, 当重力切向分量 G_2 大于摩擦力 f 时, 鱼体滑动或跌落; 在一片或多片鱼鳞正好挂到刀具或网孔边时, 鱼体在鳞片所受刮力 T 作用下随滚筒转动, 当鳞片生物结合力无法承受所需刮力时鱼鳞被去除^[25], 鱼体跌落; 当鱼体随滚筒运动至超过滚筒中心高度时, 随着去鳞部件角度和受力情况的改变, 鱼体被抛出; 鱼体在跌落和被抛出的过程中产生移动和翻转, 从而实现不同部位鱼鳞的去除。

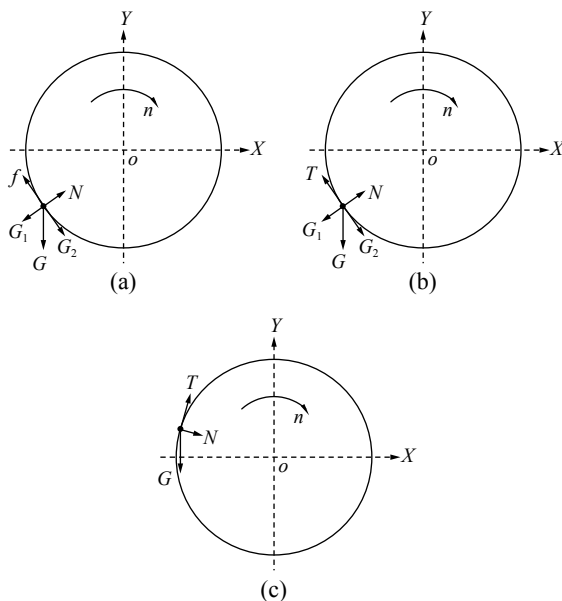


图4 鱼体与滚筒接触部位的受力

Fig. 4 Force on the contact part between the fish body and the drum

1.4 去鳞实验操作流程

将原料鱼分批次倒入滚筒。根据实验条件控制去鳞滚筒的转速和时间, 进行去鳞加工。停机后取出罗非鱼并用清水冲洗, 去除鱼体表面黏附的鱼鳞和血水。擦干鱼体表面, 观察去鳞效果和损伤情况。水平放置鱼体并获取图像, 根据观察情况划分鱼体表面总的生长鳞片的区域和未去除鳞片区域。统计各区域面积并计算去鳞率。

1.5 实验方法

滚筒转速 实验前空车启动去鳞滚筒驱动电机, 用转速测量仪测定滚筒转速, 根据实验要求调整变频器的输出频率, 直到所测滚筒转速与实验要求转速一致, 关闭电源并待机, 数值精确到1 r/min。

处理时间 使用秒表记录每次滚筒去鳞时间, 当滚筒转动时间达到要求时间后关闭驱动电源, 数值精确到秒。

去鳞率 鱼体表面成功去除鳞片的区域面积所占鱼体表面总的生长鳞片的区域面积的百分比^[26], 按公式(1)计算去鳞率。每组实验参数平行3次, 分别计算去鳞率并取平均值。

$$R(\%) = \frac{s_1 - s_2}{s_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, R 为去鳞率; s_1 为鱼体表面总面积(cm^2 , 采用方格纸测量并计数); s_2 为鱼体表面未去除鳞片的面积(cm^2)。

损伤率 成立5人评定小组, 采用感官评定法根据表2对加工后鱼体的损伤进行评判和打分, 并按照公式(2)计算损伤率 Y 。

$$Y = \frac{\sum x_1 + \sum x_2 + \sum x_3 + \sum x_4 + \sum x_5}{50} \quad (2)$$

因素水平 根据滚筒去鳞装置结构特点可知, 当滚筒转速过高时会出现噪音大、鱼体翻动剧烈以及跟转的现象。根据前期实验经验, 设置滚筒最高转速为55 r/min。考虑到实际生产对处理量的需求以及实验装置的装载容量, 选择每次实验的罗非鱼数量为50条和20条, 去鳞时间在4 min以内, 其中20条为低产量对照组。各因素水平如表3所示。其中角钢刀具作用原理参考人工用刀刮除鱼鳞的动作, 将角钢一条边加工成 45° 、1 mm宽的切口用作刀具, 刀具垂直于筒壁切线时角度为 0° , 向滚筒转动方向倾斜

表 2 鱼体损伤感官评定表

Tab. 2 Sensory evaluation of the degree of damage to fish body

感官指标 sensory indicators	评价分值 score
鱼体表面无伤口, 鱼嘴和鱼鳍完好 no wounds, beak and fins intact	10
鱼体表面和鱼鳍完好, 鱼嘴略有划痕 body and fins intact, mouth slightly scratched	8
鱼体表面、鱼嘴和鱼鳍有轻微伤 slight injuries in fish body, mouth and fin	6
鱼体表面、鱼嘴和鱼鳍伤痕明显 significant damage in fish body, mouth and fins	4
鱼体、鱼嘴损伤程度达2 cm×2 cm以上 2 cm×2 cm of damage in fish body and mouth	2

表 3 因素水平表

Tab. 3 Levels of factors

因素 factors	水平 levels
去鳞时间/min descaling time	0,1,2,3,4
滚筒转速/(r/min) drum speed	15,25,35,45,55
单批次数量/尾 quantity per batch	20,50
刀具角度/(°) blade angle	0,7,14,21,28

时角度为正^[27]。

1.6 数据分析

应用 AutoCAD 2015 简体中文版软件对鱼体图片区域面积进行统计校对。用 Microsoft Excel 2010 软件对罗非鱼去鳞实验数据进行统计分析并绘图。应用 SPSS 19.0.0 统计软件对数据进行方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著。

2 结果

2.1 去鳞时间和滚筒转速对钢板网去鳞效果的影响

根据前期实验可知, 对于采用钢板网作为去鳞功能部件的去鳞滚筒而言, 去鳞时间和滚筒转速是对去鳞有较大影响且易于调控的主要参数。以去鳞率为指标, 罗非鱼数量 50 尾, 滚筒转速分别为 25、35 和 45 r/min, 分别比较去鳞时间为 1、2、3 和 4 min 时的去鳞效果 (图 5)。结果表明, 不同去鳞时间下的去鳞率差异显著 ($P < 0.05$), 去鳞率随着时间的增加不断上升。当去鳞

时间在 2 min 以内时, 去鳞率约呈线性上升的趋势, 2 min 后去鳞率持续上升, 但速率逐渐放缓, 并在 3 min 后接近峰值。在实验条件下, 3 种转速下去鳞率的变化趋势相同, 数值也相近。其中转速为 35 和 45 r/min 时的去鳞率趋于一致, 最高去鳞率为 96%, 感官评分为 7.9。转速为 25 r/min 时的去鳞率稍低一些, 最高去鳞率为 91%。观察去鳞后鱼体的损伤情况, 损伤主要包括嘴部破损、鱼鳍破损、表面划痕等类型 (图 6)。随着去鳞时间的增加, 损伤程度总体上呈上升的趋势, 但还属于轻微损伤, 处于可接受的程度^[28]。

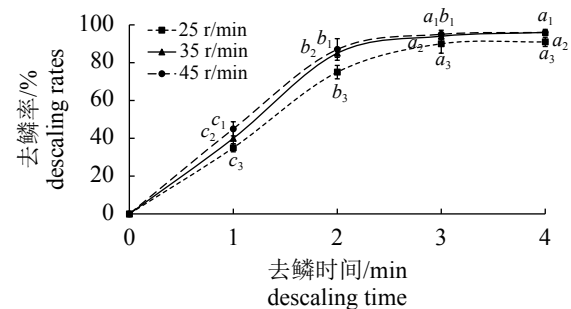


图 5 去鳞时间和滚筒转速对钢板网去鳞率的影响

曲线上同一下标不同字母表示该滚筒转速下的去鳞率之间有显著性差异 ($P < 0.05$), 图 7 同

Fig. 5 Influence of descaling time and drum speed on descaling effect of expanded metal lath

Different letters in the same subscript on the curve indicate that there is a significant difference ($P < 0.05$) between the descaling rate at the drum speed, as shown in Fig. 7

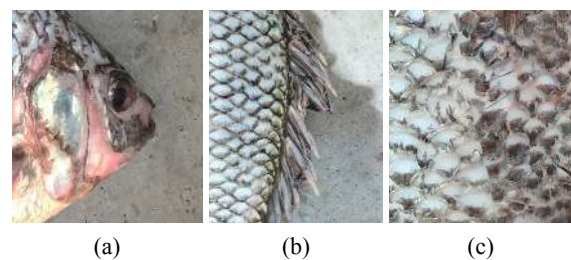


图 6 罗非鱼去鳞加工损伤

(a) 嘴部破损, (b) 鱼鳍破损, (c) 表面划痕

Fig. 6 Damage during descaling of tilapia

(a) mouth damage, (b) fin damage, (c) surface scratch

2.2 去鳞时间和滚筒转速对圆形孔网去鳞效果的影响

以去鳞率为指标, 罗非鱼数量 50 尾, 滚筒转速分别为 25、35 和 45 r/min, 比较去鳞时间为 1、2、3 和 4 min 时的去鳞效果, 实验数据如图 7 所示。结果表明, 不同去鳞时间下的去鳞率差

异显著 ($P<0.05$), 去鳞率随着时间的增加不断上升。当去鳞时间在 2 min 以内时, 去鳞率约呈线性上升的趋势, 2 min 后去鳞率增速减缓, 并在 4 min 后接近峰值。在实验条件下, 3 种转速下去鳞率的变化趋势相同, 数值也相近。其中转速为 35 和 45 r/min 时的去鳞率趋于一致, 最高去鳞率为 95%, 感官评分为 9.2。转速为 25 r/min 时的去鳞率稍低一些, 最高去鳞率为 89%。观察去鳞后鱼体的损伤情况, 鱼体及鱼鳍部分的损伤不明显。与钢板网去鳞结构相比, 圆形孔网去鳞率接近, 且对鱼的损伤也更少, 适合较长时间持续生产或应用于后道工序进行去鳞加工生产, 从而尽可能提高产品质量。综合分析钢板网和圆形孔网去鳞结果可知, 在所述实验条件下, 3 min 是滚筒去鳞加工的必要时间, 期间可完成鱼体大部分鳞片的去除, 同时产生的损伤有限。在此基础上延长去鳞时间可进一步提高去鳞效果, 但损伤也同步增长, 在实际生产中需要根据产能和质量要求进行调整。

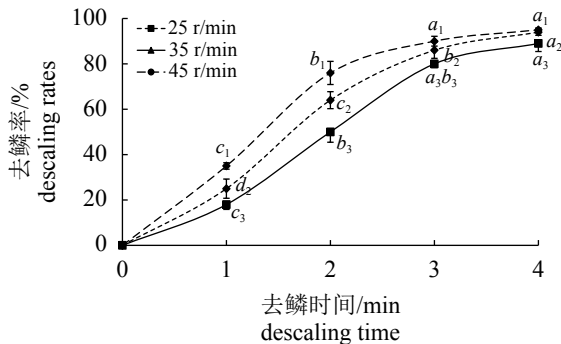


图 7 去鳞时间和滚筒转速对圆形孔网去鳞效果的影响

Fig. 7 Influence of descaling time and drum speed on descaling effect of punched mesh

2.3 滚筒转速对角钢刀具去鳞效果的影响

以去鳞率为指标, 罗非鱼数量分别为 20 和 50 尾, 去鳞时间 3 min, 刀具角度 0° 时, 分别比较滚筒转速在 15、25、35、45 和 55 r/min 时的去鳞效果, 结果表明, 不同滚筒转速下的去鳞效果差异显著 ($P<0.05$), 去鳞率随着时间的增加呈先上升后下降的趋势。当转速在 15 至 35 r/min 时, 去鳞率逐步上升, 且在 35 r/min 时达到峰值, 其中原料鱼为 50 尾的去鳞率最高可达到 90%, 对应的感官评分为 7.3 (图 8)。随着滚筒转速的提升, 鱼体间的碰撞和翻动机会不断增加, 同时

鱼体在转动时产生的离心力也不断增加。在摩擦力的作用下去鳞功能部件的作用效果更为显著, 因此能显著提高去鳞效果。但当转速提升至 55 r/min 时, 去鳞率逐步下降, 其中原料鱼为 20 尾的去鳞率在 55 r/min 时降至 30%。可见转速过高时, 离心力和摩擦力将克服重力的作用, 使鱼体在滚筒内产生跟转的现象, 反而影响鱼体移动和翻滚, 造成去鳞率下降。观察去鳞后鱼体的损伤情况, 其中嘴部损伤相对较为明显。

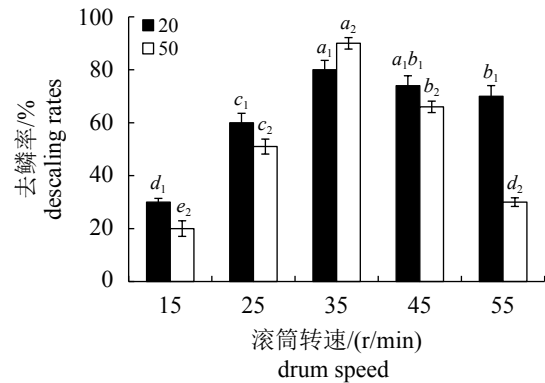


图 8 滚筒转速对角钢刀具去鳞效果的影响

不同小写字母表示相同尾数不同滚筒转速的去鳞率之间有显著性差异 ($P<0.05$), 图 10 同

Fig. 8 Influence of drum speed on descaling effect of angle cutter

The same subscript with different lowercase letters indicates that there is a significant difference ($P<0.05$) between the descaling rate of different drum speed, as shown in Fig. 10

2.4 刀具角度对角钢刀具去鳞效果的影响

在前期研究的基础上, 以去鳞率为指标, 罗非鱼数量 20 和 50 尾, 去鳞时间 3 min, 滚筒转速 35 r/min, 分别比较刀具角度在 0° 、 7° 、 14° 、 21° 和 28° 时的去鳞效果, 结果表明, 不同刀具角度下的去鳞效果差异不显著 ($P>0.05$), 去鳞率随着角度的增加呈上升的趋势, 但增加幅度不大 (图 9)。刀具角度为 0° 时去鳞率为 90%, 相对较低。刀具角度为 28° 时去鳞率最高, 为 96%, 对应的感官评分为 4.7, 原料量的多少对去鳞效果几乎没有影响。观察去鳞后鱼体的损伤情况, 与之前实验组别相比, 鱼嘴部的损伤明显增加, 多数出现破损或残缺的状况。由于鱼头比鱼尾重的特性, 鱼在滚筒内部翻滚过程中头部通常位于下方, 更容易与刀具接触。刀具角度增加时, 切割角度逐渐减小, 因此更容易造成损伤。综上所述, 虽然增加刀具角度在一定程度上能

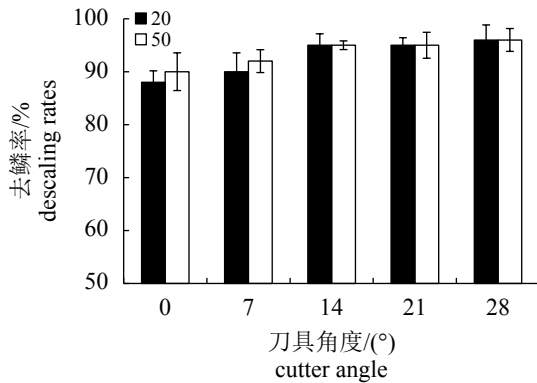


图9 刀具角度对角钢刀具去鳞效果的影响

Fig. 9 Influence of cutter angle on descaling effect of angle steel cutter

提高去鳞效果，但造成的损伤也明显增加，在整体效果上并未有提升。

2.5 滚筒转速对螺纹钢去鳞效果的影响

螺纹钢也是一种常见的去鳞功能部件，现有的去鳞设备多采用间歇式滚筒的结构形式。以去鳞率为指标，去鳞时间3 min，罗非鱼数量20和50尾，分别比较转速为15、25、35、45和55 r/min时的去鳞效果，结果表明，不同滚筒转速下的去鳞率差异显著 ($P < 0.05$)，去鳞率随着转速的增加不断上升。当转速增至55 r/min时，去鳞率最高可达到90%，对应的感官评分为8.9。原料数量对去鳞效果的影响更为显著，当原料鱼数量为20尾时，去鳞率最高值仅达到30% (图10)。虽然去鳞率也逐渐上升，但增长幅度和峰值与生产要求存在较大差距。当原料鱼数量为50尾时，鱼体在去鳞滚筒中可形成一定堆积高度，可增加鱼体之间、鱼体与螺纹钢的摩擦

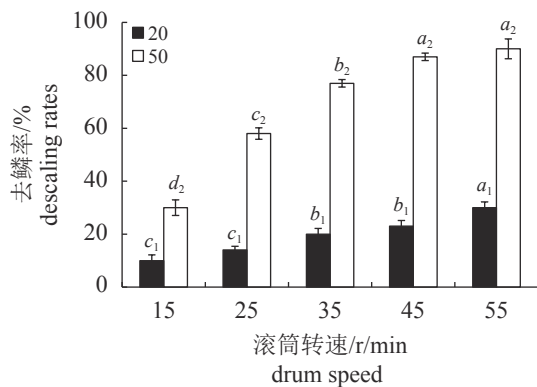


图10 滚筒转速对螺纹钢去鳞效果的影响

Fig. 10 Influence of drum speed on descaling effect of rebar

力，从而提高去鳞效果。观察去鳞后鱼体的损伤情况，螺纹钢去鳞对鱼体的损伤相对较小，嘴部、鱼体及鱼鳍部分的损伤均不明显。虽然螺纹钢去鳞在损伤方面具有一定的优势，但所需转速更高。

2.6 罗非鱼多段滚筒去鳞装置结构与工艺参数验证

实验发现，去鳞初期鱼体在体表鳞片的保护下并不易形成损伤，而随着鳞片的减少，鱼皮与滚筒的摩擦使其更易造成损伤。平衡去鳞率与鱼体损伤，罗非鱼滚筒去鳞试验装置相对适宜参数：转速35 r/min、加工时间3 min。虽然进一步增加转速和加工时间还能提升去鳞率，但损伤也明显增加。在所选时间和转速下4种去鳞部件的去鳞效果依次为钢板网>圆形孔网>角钢刀具≥螺纹钢，对鱼体的损伤程度依次为圆形孔网<螺纹钢<角钢刀具<钢板网。

基于不同去鳞部件的效果差异，选择去鳞效果较好的钢板网和圆形孔网进行组合，根据损伤特点将损伤略高的钢板网布置在第一段，用于原料鱼的初始加工，损伤程度相对更低的圆形孔网布置在第二段，用于残留鳞片的进一步去除，实现进一步提升去鳞率和控制损伤率。设计罗非鱼多段滚筒去鳞装置并进行生产验证 (图11)，多段滚筒去鳞试验装置具体参数详见表4，由钢板网和圆形孔网制成的等长去鳞滚筒通过螺栓连接，采用链传动电机驱动。主轴上设置螺旋叶片推动鱼体匀速前进，通过调整主轴转速控制去鳞时间。结果表明，当滚筒内罗非鱼瞬时密度约为50尾 (根据长度换算，每段螺距间约20尾)，总加工时间为3 min后，设计的多段滚筒去鳞装置的去鳞率为95%，感官评分

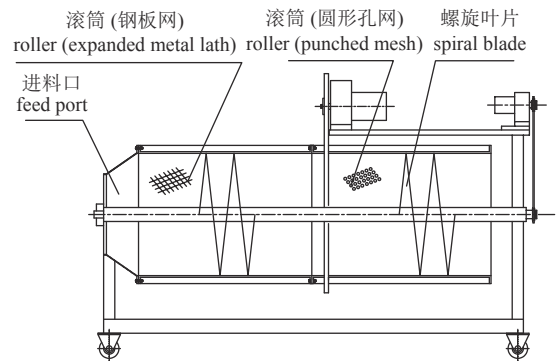


图11 多段滚筒去鳞装置结构

Fig. 11 Structure of multistage-drum descaling device

表4 罗非鱼多段去鳞实验装置基本参数表

Tab. 4 Parameter table for multi-drum descaling experimental device

参数 parameter	数值 value
滚筒直径/mm roller diameter	750
滚筒宽度/mm roller width	1 200
滚筒转速/(r/min) drum speed	35
电机功率/kW power	2.95
钢板网规格/mm steel mesh size	30×60
圆形孔网直径/mm punched mesh diameter	18
叶片螺距/mm screw pitch	200
主轴转速/(r/min) spindle speed	4

为9.0。与单一结构的去鳞滚筒相比,去鳞效果更加理想,说明通过多种去鳞功能部件的合理组合,能有效地提升去鳞效果并实现损伤控制。滚筒去鳞也适用于其他纺锤形鱼类的去鳞加工,但具体工艺参数需进一步开展相关研究。

3 讨论

去鳞时间和滚筒转速是影响钢板网去鳞效果的主要参数,不同去鳞时间下的去鳞率差异显著($P<0.05$),去鳞率随着时间的增加不断上升。在滚筒转速为35 r/min,去鳞时间大于3 min时,去鳞效果趋于稳定,最高去鳞率为96%。鱼体损伤主要包括嘴部破损、鱼鳍破损、表面划痕等类型,随着去鳞时间的增加,损伤程度总体呈上升的趋势。

去鳞时间和滚筒转速是影响圆形孔网去鳞效果的主要参数,不同去鳞时间下的去鳞率差异显著($P<0.05$),去鳞率随着时间的增加不断上升。在滚筒转速为35 r/min,去鳞时间接近4 min时,最高去鳞率为95%。综合分析钢板网和圆形孔网去鳞试验数据可知,在所述实验条件下3 min是滚筒去鳞加工的必要时间,期间可完成鱼体大部分鳞片的去除,同时产生的损伤有限。

不同滚筒转速下角钢刀具的去鳞效果差异显著($P<0.05$),去鳞率随着时间的增加呈先上升后下降的趋势。实验条件下,当滚筒转速在35 r/min左右时,去鳞率最高可达到90%。增加刀具角度在一定程度上能提高去鳞效果,但造成的损伤也明显增加。

不同滚筒转速下螺纹钢的去鳞效果差异显著($P<0.05$),去鳞率随着转速的增加不断上升。转速增至55 r/min时,去鳞率最高可达到90%。与其他结构的去鳞部件相比,虽然螺纹钢在损伤方面具有一定的优势,但同等转速下的去鳞效果有所降低。

选取去鳞效果较好的钢板网和圆形孔网,设计形成多段滚筒去鳞装置并开展生产试验。在实验条件下,罗非鱼滚筒去鳞装置的最优参数为滚筒直径750 mm、转速35 r/min、加工时间3 min。在试验条件下加工3 min后的去鳞率可达95%,且损伤低。通过多种去鳞功能部件的合理组合和优势互补,能有效地提升去鳞效果并实现损伤控制。

参考文献 (References):

- [1] 张宇雷,倪琦,刘晔,等.挪威大西洋鲑鱼工业化养殖现状及对中国的启示[J].*农业工程学报*,2020,36(8):310-315.
Zhang Y L, Ni Q, Liu H, et al. Status quo of industrialized aquaculture of Atlantic salmon in Norway and its implications for China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(8): 310-315(in Chinese).
- [2] 郑思宁,刘强,郑逸芳.规模化水产养殖技术效率及其影响因素分析[J].*农业工程学报*,2016,32(20):229-235.
Zheng S N, Liu Q, Zheng Y F. Analysis of scale aquaculture production efficiency and analysis of its determinants[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(20): 229-235(in Chinese).
- [3] 代云云,袁永明,袁媛,等.罗非鱼生产技术效率与市场竞争力的关系分析[J].*渔业信息与战略*,2012,27(4):336-341.
Dai Y Y, Yuan Y M, Yuan Y, et al. Analysis of relationship between technical efficiency and market competitiveness in tilapia production[J]. *Fishery Information & Strategy*, 2012, 27(4): 336-341(in Chinese).
- [4] 李娜,赵永强,李来好,等.冰藏过程中罗非鱼鱼片肌肉蛋白质变化[J].*南方水产科学*,2016,12(2):88-94.
Li N, Zhao Y Q, Li L H, et al. Change of muscle proteins in Nile tilapia fillets during iced storage[J]. *South*

- China Fisheries Science*, 2016, 12(2): 88-94(in Chinese).
- [5] 于福田, 岑剑伟, 杨贤庆, 等. 罗非鱼片发色新技术研究进展[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(6): 322-326.
Yu F T, Cen J W, Yang X Q, *et al.* Research progress on new color retention technology for tilapia fillet[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(6): 322-326(in Chinese).
- [6] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, PRC Administration of Fishery and Fisheries, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. *China Fishery Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [7] 岑剑伟, 于福田, 杨贤庆, 等. 微酸性电解水冰对罗非鱼片的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2019, 40(19): 288-293.
Cen J W, Yu F T, Yang X Q, *et al.* Quality preservation of tilapia fillets using slightly acidic electrolyzed water ice[J]. *Food Science*, 2019, 40(19): 288-293(in Chinese).
- [8] 万鹏, 黄俊, 谭鹤群, 等. 淡水鱼腹背定向装置设计及试验[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(6): 28-35.
Wan P, Huang J, Tan H Q, *et al.* Design and test of orientation device for freshwater fishes' abdomen and back[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(6): 28-35(in Chinese).
- [9] 莫盛秋. 一种鱼类去鳞开膛机的设计[J]. *中国农机化学报*, 2013, 34(6): 236-238.
Mo S Q. Design of one kind of machine for scrape the scales and sipper[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2013, 34(6): 236-238(in Chinese).
- [10] 谭鹤群, 高星星. 链式剖鱼机工艺参数优化试验[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(6): 332-336.
Tan H Q, Gao X X. Experiment on optimizing technical parameters of fish shearing machine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(6): 332-336(in Chinese).
- [11] 彭三河, 刘良忠. 鱼加工预处理机的研制[J]. *食品与机械*, 2010, 26(4): 84-86.
Peng S H, Liu L Z. Study and designing on preprocessing machine for fish processing[J]. *Food & Machinery*, 2010, 26(4): 84-86(in Chinese).
- [12] 高星星, 谭鹤群. 淡水鱼头尾与腹背定向装置的设计与试验[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(5): 342-347.
Gao X X, Tan H Q. Design and experiment of directional transport device of freshwater fish bodies[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(5): 342-347(in Chinese).
- [13] 刘子飞, 孙慧武, 蒋宏斌, 等. 我国水产加工业发展现状、问题与对策[J]. *中国水产*, 2017(12): 36-39.
Liu Z F, Sun H W, Jiang H B, *et al.* Current situation, problems and countermeasures of aquaculture processing industry in China[J]. *China Fisheries*, 2017(12): 36-39(in Chinese).
- [14] 黄剑彬, 成芳. 鱼类初加工装备与自动监控技术研究进展[J]. *食品与机械*, 2019, 35(8): 204-208, 215.
Huang J B, Cheng F. Research progress of fish primary processing equipment and automatic monitoring technology[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(8): 204-208, 215(in Chinese).
- [15] 张军文, 陈庆余, 欧阳杰, 等. 中国淡水鱼前处理加工技术研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(21): 25-28, 41.
Zhang J W, Chen Q Y, Ouyang J, *et al.* Research progress on pretreatment and processing technology of freshwater fish in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(21): 25-28, 41(in Chinese).
- [16] 尚锐, 黄健, 杜佳舒. 整鱼去鳞机设计[J]. *包装与食品机械*, 2019, 37(2): 51-53.
Shang R, Huang J, Du J S. Design of whole fish descaler[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2019, 37(2): 51-53(in Chinese).
- [17] 李玲, 宗力, 王玖玖, 等. 大宗淡水鱼加工前处理技术和装备的研究现状及方向[J]. *渔业现代化*, 2010, 37(5): 43-46, 71.
Li L, Zong L, Wang J J, *et al.* Research status and development trend of massive freshwater fish pre-treatment-processing technology and equipment[J]. *Fishery Modernization*, 2010, 37(5): 43-46, 71(in Chinese).
- [18] 密鑫宇, 吴文锦, 弋景刚, 等. 一种高压水去鱼鳞设备的研制及其对罗非鱼肉组织结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(22): 210-213, 239.
Mi X Y, Wu W J, Yi J G, *et al.* Development of a high-pressure water descaling equipment and its effect on the organizational structure of tilapia meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(22): 210-213, 239.

- 239(in Chinese).
- [19] 程世俊, 宗力, 万鹏, 等. 连续式淡水鱼弹簧刷去鳞机参数优化与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 88-94.
Cheng S J, Zong L, Wan P, *et al*. Parameter optimization and test of continuous spring brush scaling machine for freshwater fish[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(20): 88-94(in Chinese).
- [20] 彭三河, 杨焕. 新型除鱼鳞机除鳞效果研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 71-73.
Peng S H, Yang H. Experimental study on fish-scale remover[J]. Food & Machinery, 2011, 27(2): 71-73(in Chinese).
- [21] 程海, 袁跃峰, 李德然. 新型滚筒式贻贝清洗设备设计[J]. 渔业现代化, 2020, 47(2): 89-96.
Cheng H, Yuan Y F, Li D R. Design of a new drum-type mussel cleaning equipment[J]. Fishery Modernization, 2020, 47(2): 89-96(in Chinese).
- [22] 李仁杰, 孟祥毅, 钟森淼, 等. 基于水射流的典型淡水鱼类去鳞技术研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 101-104.
Li R J, Meng X Y, Zhong S M, *et al*. Experimental study on descaling technology of typical freshwater fish based on water jet[J]. Food & Machinery, 2020, 36(3): 101-104(in Chinese).
- [23] 程世俊, 万鹏, 宗力, 等. 连续式弹簧刷去鳞机的研制与试验[J]. 渔业现代化, 2012, 39(3): 46-50.
Cheng S J, Wan P, Zong L, *et al*. Design and experiment of continuous spring brush scaling machine[J]. Fishery Modernization, 2012, 39(3): 46-50(in Chinese).
- [24] 李儒君. 特定鱼类去鱼鳞及内脏加工机应用研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2015.
Li R J. The research on the processing machine to scale and remove the viscera for the specific fishes[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015 (in Chinese).
- [25] Ikoma T, Kobayashi H, Tanaka J, *et al*. Microstructure, mechanical, and biomimetic properties of fish scales from *Pagrus major*[J]. Journal of Structural Biology, 2003, 142(3): 327-333.
- [26] 王玖玖, 宗力, 熊善柏. 淡水鱼的连续式鱼鳞去除方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 339-343.
Wang J J, Zong L, Xiong S B. Continuous scaling method for freshwater fish[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(9): 339-343(in Chinese).
- [27] 王玖玖, 宗力, 熊善柏. 淡水鱼鱼鳞生物结合力与去鳞特性的试验研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 288-292.
Wang J J, Zong L, Xiong S B. Study on scale bio-adhesion force and scaling properties for freshwater fish[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(3): 288-292(in Chinese).
- [28] 闫朋涛, 王昆仑, 孙家亮, 等. 基于机器视觉的淡水鱼去鳞损伤无损检测识别方法[J]. 食品工业, 2020, 41(3): 184-187.
Yan P T, Wang K L, Sun J L, *et al*. A Non-destructive detection and identification method for descaling damage of freshwater fish based on machine vision[J]. The Food Industry, 2020, 41(3): 184-187(in Chinese).

Efficient and low-damage descaling technology for tilapia based on multi-drum

ZHENG Xiaowei^{1,2,3,4*}, CHEN Qingyu^{1,3,4}, ZHANG Junwen^{1,3,4}

(1. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Shanghai 200092, China;

2. Key Laboratory of Ocean Fishing Vessel and Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 200092, China;

3. National R & D Branch Center For Aquatic Product Processing Equipment, Shanghai 200092, China;

4. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: Tilapia is an important species of aquaculture in China. It is widely used in aquatic product processing due to its tender meat, less bones and low price. The main products are fillet and frozen fish. Fish pre-treatment process is complex. The key links include descaling, head removal, viscera removal and cleaning, etc. Fish descaling machine refers to a kind of mechanical equipment to remove the scales of fish body by using the scale-scraping structure. It is usually used for batch processing small and medium-sized fish or processing large fish one by one. Descaling machine can use the methods including water jet, scraper, brush, mesh-plates, etc. The descaling machine can be divided into intermittent type and continuous type according to the feeding mode. The roller structure is one of the effective methods for fish descaling. Scraper, mesh-plate and other structural parts are installed in the inner wall of the drum. Descaling is realized under the interaction between the fish body and the inner wall of the drum while the drum is rotating. Compared with water jet, roller descaling has the characteristics of large handling capacity and good continuity of production. In the actual production, the final production effect will be affected by the type of structural parts, the structure of the drum and the actual production operation. This paper focuses on exploring the practical effect and influencing factors of different components in the process of drum descaling. Four common descaling structures are selected such as steel mesh, punched mesh, angle cutter and rebar. A drum descaling experimental device was designed to carry out the research on the technological parameters of the tilapia drum descaling. The descaling rate and damage degree were measured under different test conditions. On this basis, a multi-drum descaling device was designed and tested. The results show that: Descaling time and drum speed are the main parameters affecting the descaling effect of expanded metal lath and punched mesh. The descaling rates with different descaling time were significantly different ($P < 0.05$), and the descaling rates increased with the increase of time. The descaling rate can reach 95% when the drum speed is 35 r/min and the descaling time is close to 4 min. Descaling effect of angle steel cutter at different drum speeds is significantly different ($P < 0.05$). The descaling rate can reach up to 90% when the drum speed is about 35 r/min. Thus it can be seen that angle steel cutter suitable for fish descaling processing onalarge scale. The resulting damage is significantly increased, although increasing the tool angle can improve the descaling effect. The descaling effect of rebar at different drum speeds is significantly different ($P < 0.05$). The descaling rate increases with the increase of rotating speed. The descaling rate can reach up to 90% when the drum speed is increased to 55 r/min. The damage of fish body mainly includes mouth damage, fin damage, surface scratch and other types. The damage degree increased with the increase of descaling time. The optimum parameters of tilapia drum descaling device are 35 r/min and 3 min. According to the descaling effect, expanded metal lath and punched mesh were selected to form a multi-drum descaling device. Under the experimental conditions, the descaling rate was up to 95% after 3 min of processing, and the damage was low. The combination of different descaling functional parts can effectively improve the descaling effect and reduce the damage. This study obtained the best roller descaling process parameters used for tilapia. It provides the basis for the improvement and optimization of tilapia drum descaling equipment.

Key words: tilapia; descaling; damage rate; multiple drum

Corresponding author: ZHENG Xiaowei. E-mail: zhengxiaowei@fmiri.ac.cn

Funding project: National Key R & D Program of China(2018YFD0700903)