

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.03.019

基于水射流的典型淡水鱼类去鳞技术研究

Experimental study on descaling technology of typical freshwater fish based on water jet

李仁杰¹ 孟祥毅¹ 钟森森¹LI Ren-jie¹ MENG Xiang-yi¹ ZHONG Sen-miao¹芦金石^{1,2} 张旭^{1,2} 陶学恒^{1,2}LU Jin-shi^{1,2} ZHANG Xu^{1,2} TAO Xue-heng^{1,2}

(1. 大连工业大学辽宁省海洋食品加工技术与装备重点实验室, 辽宁 大连 116034;

2. 大连工业大学国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁 大连 116034)

(1. Liaoning Key Laboratory of Seafood Processing Technology and Equipment, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China; 2. National Engineering Research Center of Seafood, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China)

摘要:以鲫鱼为试验对象,以射流压力、射流入射角、射流靶距以及物料板的进给速度为主要因素,通过自主研制的水射流去鳞试验台对鲫鱼去鳞率和鱼体损伤影响的趋势与程度进行考察。结果表明,鲫鱼去鳞的最优工艺条件为射流压力 10 MPa,射流入射角 60°,射流靶距 11 cm,进给速度 5 cm/s,此时的去鳞率为 89.1%,鱼体损伤感官评价得分为 0.88。

关键词:水射流去鳞;鲫鱼;去鳞率;鱼体损伤

Abstract: Taking crucian as the test object, and the main factors are the jet pressure, jet incident angle, jet target distance, and feed speed of the material plate as the main factors, investigated the trend and extent of the influence of these factors on the descaling rate and fish damage of crucian based on the self-developed water jet descaling experimental bench. The results showed that the optimal conditions for crucian descaling were as followed: jet pressure 10 MPa, incidence angle 60°, target distance 11 cm and feed rate 5 cm/s. Under the conditions, the descaling rate was 89.1%, and the sensory evaluation score of fish damage was 0.88.

Keywords: water jet descaling; crucian; descaling rate; fish damage

对大宗淡水鱼的前处理是淡水鱼类加工过程中的首要环节,前处理的效率和得率直接影响到后续的加工能

力和资源利用率^[1]。其中,淡水鱼除鳞工序是有鳞淡水鱼前处理中的一道重要工序,也是整个淡水鱼加工技术中的一个技术难点^[2]。

现有的去鳞设备主要为机械除鳞法,利用搓擦原理进行分批式去鳞^[3-4],此法不易实现流水线加工,且产品质量标准很难控制^[5];瑞典 Arenco 公司研制的 VMK26 去鳞机,需要与其研制的 VMK31 喂料机配合使用,通过鱼体之间以及鱼体与清洗池内壁上的凸点相互摩擦进行去鳞,适用于鲭鱼和秋刀鱼这种体形细长且鳞片较小的鱼类去鳞作业^[6];德国 Baader 公司生产的 IS-069 型去鳞机,在鱼体上方和下方分别设置了两个形状不同的去鳞辊,采用搓擦的方式进行去鳞,适用于黑线鲈、海鲈鱼等相似体型的鱼类^[7]。

近年来,高压水射流清洗技术高速发展,已成为一项国际上广泛应用的物理清洗技术,利用水射流的冲击、水楔等效应,将一种或多种材料从另一种物体基体表面脱离下来,具有快速高效、效果稳定、参数可控、无污染等优点,已广泛应用于石油化工、交通、冶金等领域^[8]。试验拟提出一种将高压水射流清洗技术与淡水鱼去鳞相结合的方式,采用高压水射流对典型淡水鱼类进行去鳞,并进行模拟试验,为水射流去鳞设备的研制与调试提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

新鲜鲫鱼:(0.4±0.1) kg,市售。

1.2 仪 器 与 设 备

水射流去鳞试验台(图 1):自制,主要由机械主体、射

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFD0400800)

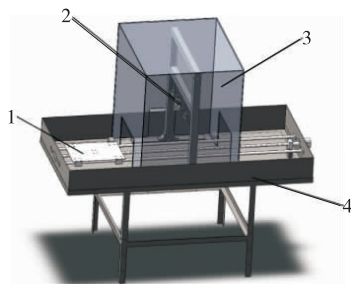
作者简介:李仁杰,男,大连工业大学在读硕士研究生。

通信作者:芦金石(1974—),男,大连工业大学副教授,博士。

E-mail:lujs@dlpu.edu.cn

收稿日期:2020-01-02

流调整装置、物料输送装置和防护装置 4 部分组成^[9]。射流调整装置由 3 组喷嘴特定夹持装置和龙门架组成,可同时安装多个喷嘴,用来调整喷嘴的固定喷射角度和高度,实现对鱼体的空间多角度喷射;物料输送装置采用丝杠传动,物料板上设有通孔,通过螺栓连接固定在丝杠副上方,通过 PLC 编程控制步进电机转动速度与方向,以此调整物料的进给速度。



1. 物料输送装置 2. 射流调整装置 3. 防护装置 4. 机械主体
图 1 水射流去鳞试验台

Figure 1 Water jet descaling experimental bench

水射流喷射系统:由 Y2-132M-4 型的三相异步电动机通过皮带与 LS-750 三缸单作用柱塞泵相连,泵头处装有调压阀,用于为试验台喷嘴提供具有不同压力的射流;试验采用的喷嘴为 40°扇形喷嘴。

1.3 试验指标

1.3.1 去鳞率 参照王玖玖等^[10]的方法,将鱼的一个侧面定义为一个试验样本,采用硫酸纸和坐标纸对鲫鱼去鳞前后鳞片的覆盖区域进行描绘,按式(1)计算去鳞率。

$$P = (S_2 - S_1) / S_2, \tag{1}$$

式中:

P——一个侧面的去鳞率, %;

S₁——去鳞后鱼身上剩余鱼鳞面积之和, mm²;

S₂——去鳞前鱼身上鱼鳞面积总和, mm²。

1.3.2 鱼体损伤 采用感官评定法。感官评定小组由多名经验丰富的感官评价专家组成,对去鳞后的鲫鱼按表 1 进行感官评分,取平均值。

表 1 感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

标准	评分
鱼皮未见破损,无褪色或少量褪色	0.8~1.0
表皮层区域不规则褪色,真皮层未见明显破损	0.6~0.8
表皮层大面积破损褪色,真皮层呈一定范围损伤	0.4~0.6
表皮层完全破损泛白,真皮层呈部分损伤,皮下浅层鱼肉松弛	0.2~0.4
鱼皮大面积破损,破损处表皮褶皱,皮下鱼肉大面积松弛无弹性	0.0~0.2

1.4 试验方法

将鲫鱼放置于物料板上方,通过 PLC 控制调节步进电机转速从而使物料板以一定的速度做直线运动,鱼头向后,鱼尾向前,当鱼体经过射流区域时,鱼体受到冲击力和剪切力,对其表面产生冲击、动压力、磨削作用,将鱼鳞从鱼体上剥离下来,完成去鳞过程,其原理图如图 2 所示^[11]。去鳞完成后,计算出去鳞率,并进行感官评定。

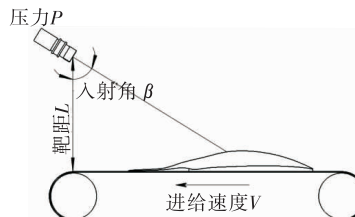


图 2 水射流去鳞原理图

Figure 2 Schematic diagram of water jet descaling

1.5 试验设计

1.5.1 射流压力对鲫鱼去鳞效果的影响 射流压力是影响水射流去除鱼鳞试验射流打击力的重要因素,射流压力与喷嘴出口处的水射流理论打击力关系为^[12]:

$$F = 0.745q\sqrt{P}\sin\beta, \tag{2}$$

式中:

F——理论水射流打击力, N;

q——水射流体积流量, L/min;

P——水射流压力, MPa;

β——水射流入射角, (°);

由式(2)可知,增大射流压力会增大水射流打击力。由预试验可知,满足去除鱼鳞条件的射流压力为 6~14 MPa;当喷嘴相对于物料板间的靶距为 11 cm,入射角为 60°时,只改变射流压力可取得较好的去鳞效果。以加工能力 900 条/h 设计输送速度为 5 cm/s,固定上述因素,考察射流压力(6, 8, 10, 12, 14 MPa)与试验指标之间的关系。

1.5.2 射流入射角对鲫鱼去鳞效果的影响 固定输送速度 5 cm/s,喷嘴相对于物料板之间的靶距 11 cm,射流压力 10 MPa,考察入射角(40°, 50°, 60°, 70°, 80°)与试验指标之间的关系。

1.5.3 射流靶距对鲫鱼去鳞效果的影响 固定输送速度 5 cm/s,射流压力 10 MPa,入射角 60°,考察喷嘴相对于物料板之间的靶距(9, 10, 11, 12, 13 cm)与试验指标之间的关系。

1.5.4 进给速度对鲫鱼去鳞效果的影响 固定喷嘴相对于物料板之间的靶距 11 cm,射流压力 10 MPa,入射角 60°,考察输送速度(5, 7, 9 cm/s)与试验指标之间的关系。

1.5.5 正交试验 以鲫鱼为试验对象,选择射流压力、射流入射角、射流靶距、进给速度为试验因素,设计 L₉(3⁴)正交试验^[13]。

1.6 数据处理

每组试验取 3 个试验样本,分别计算去鳞率及感官评价得分,取平均值作为该组试验的最后结果。利用 Origin 软件和 SPSS 软件对试验数据进行描述与分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 射流压力对鲫鱼去鳞效果的影响 由图 3 可知,鱼体去鳞率随射流压力的增大先快速增大后趋于平稳,当射流压力为 10 MPa 时,去鳞率达 89.1%;鱼体的感官评价得分随射流压力的增大先缓慢下降后极显著降低 ($P < 0.01$)。因此,最佳射流压力为 10 MPa。

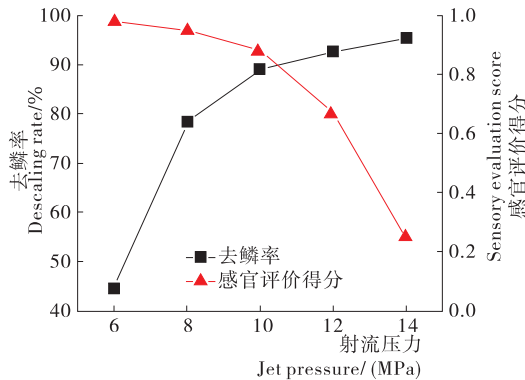


图 3 射流压力对鲫鱼去鳞效果的影响

Figure 3 Effects of jet pressure on the crucian descaling

2.1.2 射流入射角对鲫鱼去鳞效果的影响 由图 4 可知,鱼体去鳞率随入射角的增加先增加后减小,当入射角为 60°时,去鳞率达到峰值;鱼体的感官评价得分影响不显著 ($P > 0.05$)。水射流打击到鱼体产生的打击力可分为水平和垂直分量,水平分量对鱼鳞起切削作用,即剪切力;垂直分量则为冲击力,在一般的清洗操作中起渗透、破碎作用。入射角过大或过小,射流无法入射到鱼鳞与鱼体之间,难以实现水楔作用,从而影响去鳞效果。

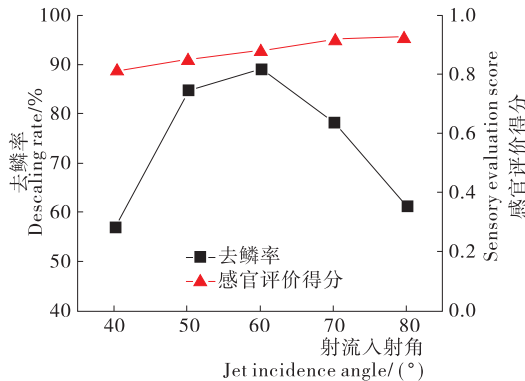


图 4 射流入射角对鲫鱼去鳞效果的影响

Figure 4 Effects of jet incidence angle on the crucian descaling

2.1.3 射流靶距对鲫鱼去鳞效果的影响 由图 5 可知,鱼体去鳞率随靶距的增加持续降低 ($P > 0.05$),而鱼体的感官评价得分显著上升 ($P < 0.05$)。由于入射角 β 的存在,靶距与喷嘴到鱼体的直线距离之间存在 $\cos\beta$ 的关系,当靶距增大时,喷射距离也会按相应比例增加,由于空化作用,射流速度降低,射流打击力显著减小,影响去鳞效果。

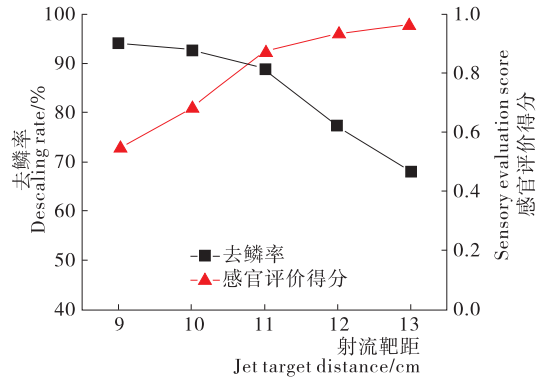


图 5 射流靶距对鲫鱼去鳞效果的影响

Figure 5 Effects of jet target distance on the crucian descaling

2.1.4 进给速度对鲫鱼去鳞效果的影响 由表 2 可知,鱼体去鳞率随进给速度的增大而显著降低 ($P < 0.05$);鱼体的感官评价得分略有提升 ($P > 0.05$)。进给速度较大,清洗效率提高,但随着进给速度的增加,一定程度上影响射流的水楔作用,去鳞不彻底的可能性提高。实际生产中,可根据不同去鳞要求,选取合适的进给速度。

表 2 进给速度对鲫鱼去鳞效果的影响

Table 2 Effects of feed speed on the crucian descaling

进给速度 / (cm · s ⁻¹)	去鳞率 / %	感官评价得分
5	89.1	0.88
7	78.2	0.92
9	64.4	0.97

2.2 正交试验

以鲫鱼为研究对象,以射流压力、射流入射角、射流靶距和进给速度为因素,鱼体去鳞率和鱼体损伤感官评分为指标,设计 L₉(3⁴)正交试验,因素水平见表 3,试验结果见表 4。

由表 4 可知,各因素对去鳞率的影响顺序为射流压力 > 进给速度 > 射流入射角 > 射流靶距,达到最优去鳞率的参数组合为 A₃B₂C₁D₁,即射流压力 12 MPa,射流入射角 60°,射流靶距 10 cm,进给速度 5 cm/s;各因素对感官评分的影响顺序为射流压力 > 射流靶距 > 射流入射角 > 进给速度,达到最优感官评分的参数组合为 A₁B₃C₂D₁,

表 3 因素水平表

Table 3 Factor and levels table

水平	A 射流压力/MPa	B 射流入射角/(°)	C 射流靶距/cm	D 进给速度/(cm·s ⁻¹)
1	8	50	10	5
2	10	60	11	7
3	12	70	12	9

表 4 正交试验方案与结果

Table 4 Scheme and results of orthogonal experiments

试验号	A	B	C	D	去鳞率/%	感官评分
1	1	1	1	1	63.5	0.86
2	1	2	2	2	58.0	0.96
3	1	3	3	3	45.7	0.98
4	2	1	2	3	55.0	0.92
5	2	2	3	1	77.2	0.94
6	2	3	1	2	72.1	0.88
7	3	1	3	2	65.0	0.74
8	3	2	1	3	78.8	0.59
9	3	3	2	1	89.3	0.79
<hr/>						
去鳞率	k_1	55.7	61.2	71.5	76.7	
	k_2	68.1	71.3	67.4	65.0	
	k_3	77.7	69.0	62.6	59.9	
	R	22.0	10.1	8.9	16.8	
<hr/>						
感官评分	k'_1	0.933	0.840	0.777	0.863	
	k'_2	0.913	0.830	0.890	0.860	
	k'_3	0.707	0.883	0.887	0.830	
	R'	0.226	0.053	0.113	0.033	

即射流压力 8 MPa,射流入射角 70°,射流靶距 11 cm,进给速度 5 cm/s。

经过现场实验验证,当采用 A₃B₂C₁D₁ 参数组合进行去鳞时,去鳞率可以达到 96.5%,鱼体表面基本无鳞片残留,但鱼体的破损程度较为严重,感官评价得分仅 0.59;当采用 A₁B₃C₂D₁ 参数组合作为去鳞方案时,感官评价得分可以达到 0.96,鱼体基本没有明显破损,但去鳞率只有 54.9%,去鳞效果并不理想。

水射流去鳞的工艺要求是在保证高去鳞率的前提下,应尽量减小鱼体的损伤程度。因此,在选取水射流去鳞最优参数组合时,应将去鳞率与鱼体损伤感官评分两项指标进行综合考虑,通过对各参数组合下的鲫鱼去鳞效果的对比中发现,当射流压力 10 MPa,射流入射角 60°,射流靶距 11 cm,进给速度 5 cm/s 时,去鳞率为 89.1%,感官评分为 0.88,既可以得到较高的去鳞率,鱼体的损伤程度又相对较小,因此选择该组参数作为水射流去鳞的最佳工艺组合较为合适。

3 结论

水射流法去除鱼鳞的最佳工艺条件为射流压力 10 MPa,射流入射角 60°,射流靶距 11 cm,进给速度

5 cm/s 时,此时的去鳞率为 89.1%,感官评分为 0.88,去鳞效果较好。试验研究的水射流去鳞技术采用的是扇形喷嘴单点喷射方式,后续可对空间多点式水射流去鳞技术以及水射流去鳞专用喷嘴的设计进行研究。

参考文献

- [1] 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.
 - [2] 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.
 - [3] 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.
 - [4] 刘良忠, 陶震, 彭三河, 等. 一种去鱼鳞装置: 中国, 201010160601.0[P]. 2011-11-09.
 - [5] 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.
 - [6] ARENCO. VMK fish processing machinery [EB/OL]. (2015-11-02) [2019-11-05]. <http://www.arenco.com/fish/machinery>.
 - [7] BAADER. Fish processing machinery products [EB/OL]. (2019-05-21) [2019-11-05]. http://www.baader.com/en/products/fish_processing/index.html.
 - [8] 王永强, 任启乐, 薛胜雄, 等. 水射流新型应用技术与装备的研究[J]. 流体机械, 2018, 46(2): 36-40.
 - [9] 李仁杰, 李小辰, 张旭, 等. 水产类原料清洗去杂的水射流实验装置设计[J]. 机械工程与技术, 2019, 8(5): 365-375.
 - [10] 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.
 - [11] 武占芳, 刘丽伟, 鲁传林, 等. 高压水射流清洗钢板系统参数分析与研究[J]. 冶金设备, 2009(3): 60-64, 49.
 - [12] 刘庭成, 范晓红. 高压水射流清洗机射流打击力的研究分析[J]. 清洗世界, 2008, 24(12): 26-29.
 - [13] 谭栋, 文泽军, 胡佳, 等. 基于回归正交实验的混凝土泵车水射流清洗参数优化[J]. 机械工程师, 2015(2): 171-173.
- (上接第 74 页)
- [15] 丁文波. 固相微萃取—气相色谱—质谱法测定饮用水中 25 种半挥发性有机物[J]. 环境卫生学杂志, 2018, 8(4): 340-344.
 - [16] 李春玉, 戴玄吏. 固相微萃取—气相色谱法测定水源水中 SVOC[J]. 环境科学与管理, 2010, 22(2): 51-54.
 - [17] 刘斌, 孙红梅, 陈山, 等. 液/液萃取—气相色谱/三重四级杆质谱联用法测定水中 24 种半挥发性有机物[J]. 环境科技, 2019, 32(4): 64-69.
 - [18] 朱明秋, 高乃云. 饮用水中典型含氮消毒副产物卤乙腈的生成和控制研究进展[J]. 水处理技术, 2013, 39(8): 1-4.
 - [19] 雷勇. 甲基叔丁基醚萃取煤气化含酚废水体系液相平衡和流程模拟研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 2-6.
 - [20] 刘玲. 程序升温汽化大体进样 GC/MS 分析痕量氯霉素[J]. 分析仪器, 2005(2): 16-19.
 - [21] 刘秋连. FIA-IC 法同时测定水中痕量 I⁻、SCN⁻、ClO₄⁻ 及草甘膦[J]. 食品与机械, 2017, 33(11): 76-79.