

万鹏, 吕诗阳, 刘紫莹, 等. 夹送式鲢鱼体剖切装置设计及试验[J]. 华中农业大学学报, 2025, 44(5): 259-269.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2025.05.026

夹送式鲢鱼体剖切装置设计及试验

万鹏^{1,2}, 吕诗阳¹, 刘紫莹¹, 张祥¹, 李平³

1. 华中农业大学工学院/农业农村部水产养殖设施工程重点实验室, 武汉 430070; 2. 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070; 3. 荆州市集创机电科技股份有限公司, 荆州 434025

摘要 针对现有淡水鱼鱼体剖切装置以手工喂料为主, 单机运行、加工效率低下, 无法满足机械化、自动化的鱼体剖切加工需求等问题, 以鲢(*Hypophthalmichthys moritrix*)为研究对象, 开展夹送式鲢鱼体剖切装置关键部件研究, 并试制夹送式鲢鱼体剖切装置。夹送式鲢鱼体剖切装置由机架、鱼体输送机构、鱼体夹送机构、鱼体剖切机构以及清污机构组成; 通过对鱼体进行压缩试验, 得到鱼体最小极限抗压力; 通过鱼体夹持输送过程和剖切过程的受力分析, 探索满足夹持输送过程的条件以及不同旋向的刀盘对鱼的作用力大小。以鲢可接受性评分和剖切损失率为评价指标, 对夹持辊初始间距、刀盘剖切高度、刀盘转速等影响因素开展单因素试验, 探索各因素对鲢剖切效果的影响。正交试验结果显示, 影响鱼体剖切效果因素的排序为: 刀盘转速>刀盘剖切高度>夹持辊初始间距; 当夹持辊初始间距为 20 mm、刀盘剖切高度为 135 mm、刀盘转速为 1 400 r/min 时, 鲢鱼体的剖面光滑, 鱼肉完整度高, 可接受性评分平均值为 9.48, 剖切损失率为 0.11%, 加工效率可达 8.0 尾/min。

关键词 淡水鱼加工; 鲢; 剖切装置; 夹送式

中图分类号 TS254.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2025)05-0259-11

我国是淡水鱼养殖大国, 2022 年全国淡水鱼产量达到 3 289.76 万 t, 但淡水鱼加工量占比较低, 不到淡水产品总产量的 20.44%^[1]。目前, 我国淡水鱼加工装备机械化、自动化程度低, 80% 的鱼体前处理加工需要人工干预^[2], 这极大地限制了淡水鱼深加工的发展。因此, 研制工作高效、损失率低的淡水鱼鱼体加工装置, 对于促进淡水鱼初加工业和淡水养殖业的发展具有重要意义^[3]。

国内外在鱼体的前处理加工技术和设备研发方面已取得了较大的研究进展^[4]。瑞典、丹麦、德国等国在 20 世纪就开始了对鱼体前处理加工技术以及装备的研发工作, 技术和装备发展都比较成熟^[5]。瑞典 ARENCO 公司设计了一整套的鱼体前处理加工装备, 可实现鱼体的精细化去鳞、剖切去脏、切头去尾等^[6]; Booman 等^[7]开发了一种淡水鱼鱼骨分离装置, 适用于中小型淡水鱼去骨; 德国 Baader 公司针对鳕、鲷等鱼类开发的全自动加工装备, 可实现鱼体剖切、去脏、去皮等前处理过程^[8]。Groscholz 等^[9]基于鱼体的形态特性, 研发了机械臂剖鱼机, 模拟人工剖切

过程完成鱼体加工。Azarmdel 等^[10]研发了一种基于机器视觉的头尾切割装置, 利用机器视觉提取头部和腹部切割点位, 控制刀盘实现对鱼体头尾的精准切割。

目前, 国内淡水鱼前处理加工装备的研发仍处于起步阶段, 自动化程度低^[11]。彭三河等^[12]设计了一种链式淡水鱼前处理加工装置, 以输送链作为鱼体输送夹持装置, 采用剖切刀盘对鱼体进行剖切。陈庆余等^[13]设计并优化了一种针对小杂鱼的剖鱼装置, 经设计试验优化装置部件, 可实现低损剖切。邹伟等^[14]设计了一种淡水鱼连续式去头尾装置, 结合鱼体物理特性对淡水鱼进行去头去尾加工, 可以达到精准的切割效果。黄鹏飞等^[15]利用输送带结合弹簧柱塞对鱼体进行仿形夹持输送并对鱼体进行剖切, 可以实现淡水鱼的稳定输送及精准剖切。此外, 谭鹤群等^[16]研发了加工鲢和鳊的链式剖鱼机, 赵正龙^[17]研制了一套鲢机械化加工装备, 可实现鲢的去鳞、去头尾、开背去内脏等加工。综上所述, 国外的鱼体加工装备研发起步早, 以成套装置为

收稿日期: 2024-09-27

基金项目: 湖北省农机装备补短板核心技术应用攻关项目(HBSNYT 202221); 湖北省重点研发计划项目(2023BBB115); 农业农村部华南现代农业智能装备重点实验室开放课题基金项目(HNZJ202208)

万鹏, E-mail: wanpeng09@mail.hzau.edu.cn

主,成果较多,但适用对象以海产鱼类加工为主;国内鱼体加工装置研发起步晚,以单机为主,针对淡水鱼的前处理加工装置的适用性和可靠性还有待提高。

鱼体的剖切去脏是淡水鱼前处理加工的主要内容^[18-20]。本研究以鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)为研究对象,开展夹送式鲢鱼体剖切装置设计及试验,探索鱼体在剖切过程中关键部件结构以及不同

工艺参数对鱼体剖切效果的影响,旨在为研制淡水鱼剖切装置提供设计依据。

1 材料与方法

1.1 结构与工作原理

1)装置结构。夹送式鱼体剖切装置主要由机架、鱼体输送机构、鱼体夹送机构、鱼体剖切机构以及清污机构等组成,整体结构如图1所示。

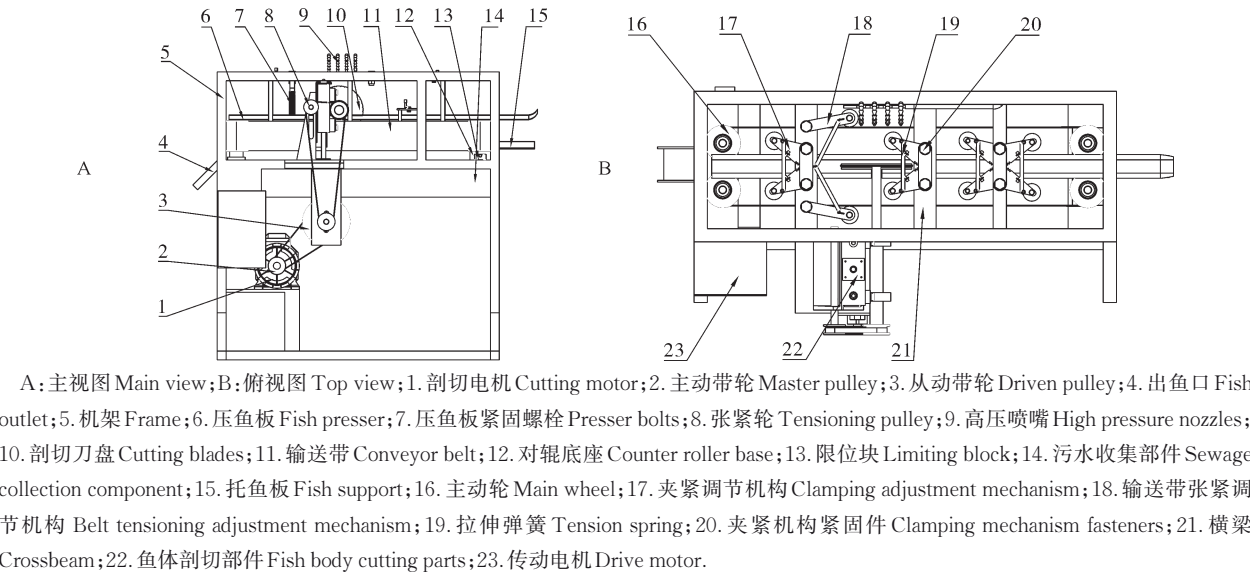


图1 夹送式鲢鱼体剖切装置结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the structure of the *Hypophthalmichthys moritrix* fish body cutting device

夹送式鲢鱼体剖切装置整体采用304不锈钢加工生产。其中,鱼体输送机构由2条对称设置的输送带、电机、锥齿轮传动部件以及压鱼板、托鱼板等部件组成;鱼体夹送机构包括鱼体夹紧调节机构、输送带张紧调节机构,其中鱼体夹紧调节机构包括1组对称设置的带齿三角连接件以及夹持辊,2个三角连接件之间通过拉伸弹簧连接,使夹持辊压紧输送带;输送带张紧调节机构由拉伸弹簧连接夹持辊和机架,自动对输送带进行张紧调节;鱼体剖切机构包括剖切传动部件和鱼体剖切部件,其中剖切传动部件由带轮、张紧轮以及传动带组成,鱼体剖切部件由丝杠、升降滑块、轴承座、轴及剖切刀盘等组成;清污系统包括高压喷嘴和污水收集部件等。夹送式鲢鱼体剖切装置的技术参数如表1所示。

2)工作过程。夹送式鲢鱼体剖切装置工作时,将鱼体头前尾后、腹下背上放置在压鱼板和托鱼板之间,通过输送带夹送导入,鱼体夹紧调节机构压紧2条输送带,使鱼体与输送带紧密贴合;当鱼体经过高速旋转的剖切刀盘时,刀盘与鱼体背部产生相对

表1 夹送式鲢鱼体剖切装置的技术参数

Table1 Technical parameters of *Hypophthalmichthys moritrix* fish body cutting device

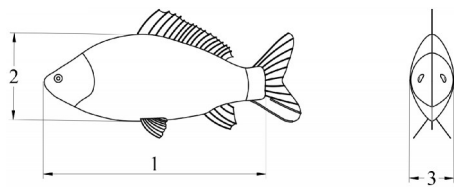
项目 Items	值 Value
整体尺寸/mm Overall size	1 180×720×1 180
额定电压/V Rated voltage	380
额定功率/kW Overall power	1.12
额定频率/Hz Rated frequency	50
生产率/(尾/min) Productivity	8.0

作用力,从背部将鱼体剖切开;输送带带动剖切后的鱼体继续平稳向前输送,最终从剖切装置出鱼口输出。

1.2 关键部件设计

鲢具有个体大、体侧扁平、稍高,头部约占体长四分之一等形态特征(图2),选取120尾鲢样本,对鱼体的体长、体宽、体高以及体质量进行测量,结果如表2所示。基于鲢形态特征设计夹送式鲢鱼体剖切装置关键部件,包括鱼体输送机构、鱼体夹紧调节机构、鱼体剖切调节部件等。

1)鱼体输送机构。鱼体输送机构是决定鱼体加



1. 体长 Body length; 2. 体高 Body height; 3. 体宽 Body width.

图2 鲢体型特征参数示意图

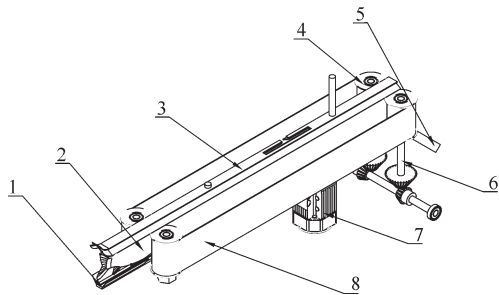
Fig.2 Schematic diagram of body size characteristics of *Hypophthalmichthys moritrix*

表2 鲢体型参数

Table 2 *Hypophthalmichthys moritrix* body type parameter table

项目 Items	最小值 Minimum	最大值 Maximum	均值 Average
体长/mm Body length	462.3	513.6	496.2
体高/mm Body height	139.5	153.9	148.9
体宽/mm Body width	63.5	68.1	65.7
体质量/g Body weight	1 235.9	1 693.4	1 527.1

工效率的主要因素,因此,需要保持鱼体输送机构平稳工作,同时尽可能提高鱼体的输送速度(图3)。



1. 托鱼板 Fish support; 2. 鱼 Fish; 3. 压鱼板 Fish presser; 4. 主动轮 Main wheel; 5. 出鱼口 Fish outlet pulley; 6. 锥齿轮传动部件 Bevel gear components; 7. 传动电机 Drive motor; 8. 输送带 Conveyor belt.

图3 鱼体输送机构结构示意图

Fig.3 Schematic diagram of the structure of fish body conveying mechanism

夹送鱼体的输送带速度和主动轮转速可通过改变传动电机转速进行调节,则鱼体的夹持输送速度 V 和主动轮转速 N 之间满足关系为:

$$V=\frac{\pi Rn}{60} \tag{1}$$

$$N=ni \tag{2}$$

式(1)中, V 为鱼体夹送速度, m/s ; N 为主动轮转速, r/min ; R 为主动带轮半径, mm ; n 为传动电机转速, r/min ; i 为传动电机减速器减速比。通过式(1)~(2)分析以及装置的加工需求最终确立夹送式鲢鱼体剖切装置的夹持输送速度范围在 $0.16\sim0.2\text{ m/s}$ 。

输送带松弛或过紧会造成鱼体输送机构运行不

稳定,进而影响加工效率,因此需考虑输送带的带长与加工效率之间主动轮的关系,确立输送带长度 X 需满足下式:

$$X=2\times(2M+1)\times w+[(2m+1)\times p+x] \tag{3}$$

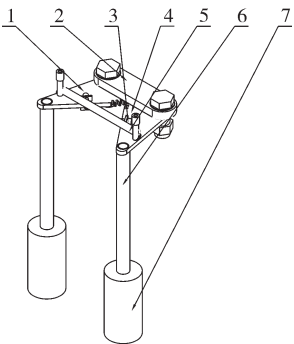
式(3)中, X 为输送带长度, mm ; M 为传动带的轮数, w 为传动带角宽, $(^\circ)$; m 为张紧带的轮数, p 为张紧带的距离, mm ; x 为加长长度, mm 。

鱼体在输送过程中可能会出现挤压打滑现象,因此设置托鱼板和压鱼板,防止鱼体上下滑动,对不同大小的鲢样本进行预试验发现,鱼体体高 S 与托鱼板以及压鱼板之间的间距 L 之间存在如下关系:

$$1.1S_{\max}\leq L\leq 1.3S_{\min} \tag{4}$$

式(4)中, S_{\max} 为样本中最大体高, mm ; S_{\min} 为样本中最小体高, mm ; L 为托鱼板与压鱼板之间的间距, mm 。

2)鱼体夹紧调节机构。在鱼体加工过程中,为了避免鱼体产生“滑移”“鱼头上翘”“鱼尾上翘”等现象,需要设置鱼体夹紧调节机构进行辅助输送^[21]。鱼体夹紧调节机构固定在机架横梁上(图4)。



1, 4. 带齿三角连接件 Triangular connectors with teeth; 2. 夹紧机构紧固件 Clamping mechanism fasteners; 3. 限位螺栓 Limit bolt; 5. 拉伸弹簧 Tension spring; 6. 夹持辊转轴 Pressure roller shaft; 7. 夹持辊 Pressure roller.

图4 鱼体夹紧调节机构结构示意图

Fig.4 Schematic diagram of the structure of the fish body clamping adjustment mechanism

鱼体夹紧调节机构通过带齿三角连接件及拉伸弹簧共同作用,调节输送带对鱼体的夹持力。鱼体在输送带作用下进入夹紧调节机构使夹持辊间距发生变化,促使2个带齿三角连接件呈对称式开合移动,同时弹簧拉伸产生拉力,通过夹持辊夹紧输送带作用于鱼体表面,使鱼体紧贴输送带平稳向前移动。

3)鱼体剖切调节部件。鱼体剖切加工过程中,剖切刀盘的高度需要根据鱼体的大小进行调节,否则剖切刀盘过低会导致鱼体腹部受损,剖切刀盘过

高会使鱼体无法完全剖开,基于此设计鱼体剖切调节部件(图5),以调节剖切刀盘升降。鱼体剖切调节部件由升降滑块与丝杠螺纹配合,通过旋转鱼体剖切调节部件上的螺帽,调节升降滑块上下移动,从而带动固定在升降滑块上的刀盘轴及刀盘上下移动。

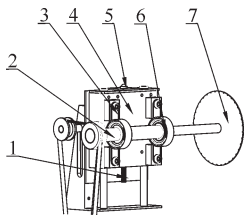


图5 鱼体剖切调节部件结构示意图
Fig.5 Schematic diagram of the structure of the fish body cutting adjustment part

鱼体剖切加工过程中,鱼体的剖切深度与刀盘的大小有关^[22]。设刀盘的直径为 W ,鱼体所需的剖切深度为 E ,刀盘轴的直径为 B (图6),则刀盘直径 W 、鱼体剖切深度 E 、刀盘轴直径 B 之间应满足:

$$W \geq 2E + B \quad (5)$$

由于鱼体剖切部件工作环境潮湿、刀盘转速高,因此刀盘轴需要有较强的强度,避免工作过程中发生振动或断裂。本研究刀盘轴选用45号钢加工,根据机械设计手册,刀盘轴的直径 B 应满足:

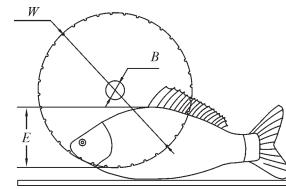


图6 剖切刀盘结构尺寸示意图

Fig.6 Schematic diagram of the structure and dimensions of the cutting disk

$$B \geq C_0 \sqrt[3]{\frac{P}{n_1}} \quad (6)$$

式(6)中, C_0 表示材料弹性系数; P 表示刀盘轴传动功率, W ; n_1 表示刀盘轴的转动速度,r/min。

1.3 鲢最小极限抗压力试验

鱼体在输送过程中会受到夹持辊挤压作用,为确保在挤压作用下鱼体不会出现损伤,需测量出鲢两侧的最小极限抗压力 F_{\max} ,为弹簧的弹性系数范围提供依据,指导鱼体夹紧调节机构的弹簧选型。试验装置为TMS-PRO质构仪(量程为1 000 N),自制圆柱形压头(直径8 mm、长度50 mm),以及载物托板进行压缩试验,装置如图7A所示。选取10尾规格为 (1.4 ± 0.3) kg的鲢为样本,将鱼体一侧分为背部水平线、中部水平线、腹部水平线3组,每组对应不同的检测点,共13个检测点进行压缩试验(图7B);试验时设置压力传感器的测量极限为500 N、下压速度为60 mm/min、初始压力为3 N,压缩行程为10 mm,压缩比=50%(图7C)。

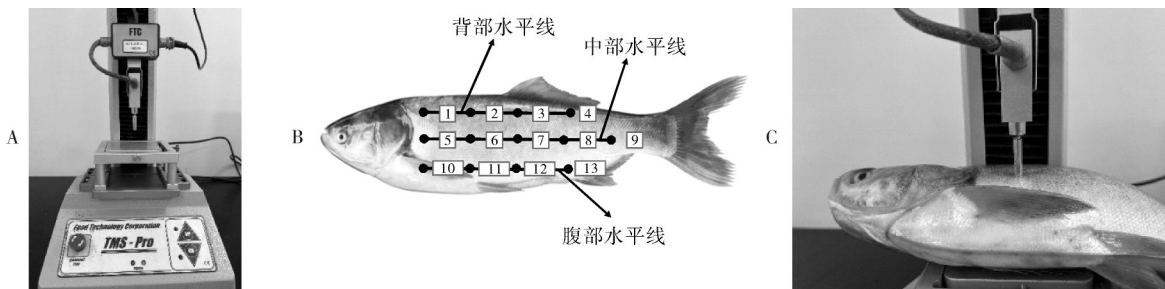


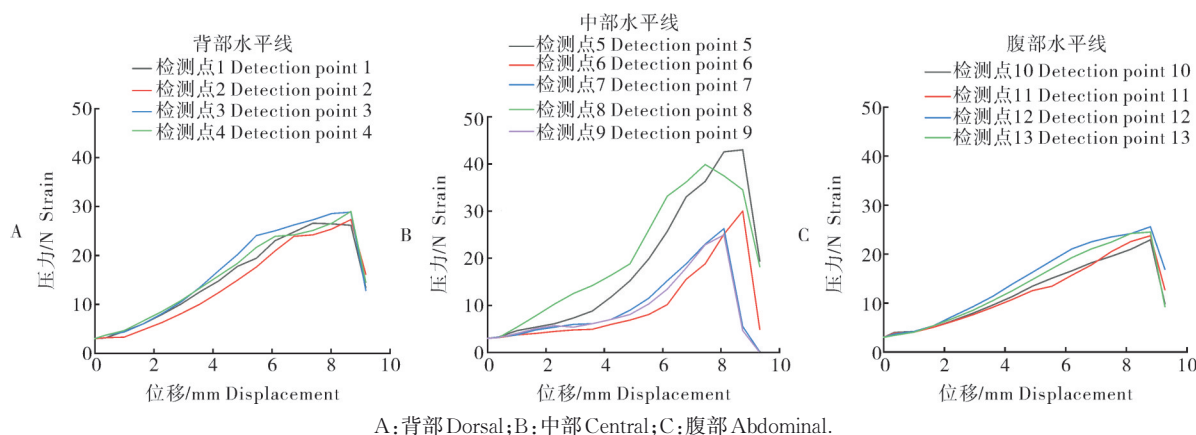
图7 鱼体压缩试验示意图
Fig.7 Schematic diagram of fish body compression test

压缩试验中鱼肉主要发生弹性变形,同时也伴随部分塑性变形(图8)。由图8A可知,背部水平线4个点压力-位移曲线的斜率大于其他两水平线,其原因在于鱼体背部肌肉较发达,并存在少部分肌间刺,背部的检测点在压缩过程中主要是鱼体肌肉之间发生弹性变形。由图8B可知,中部水平线5个点的压力-位移曲线,在压缩的初期出现弹性变形,在压缩

试验的后半段,部分曲线呈现出的压力大小出现较大的跨度,因此初步判断出现了塑性变形,分析原因发现处于中部水平线的试样,腹部样本中存在肋骨,压缩过程中,鱼体的肌肉首先出现弹性变形,进而压缩到肋骨处,出现了塑性变形,结论表明中部水平线检测出的变形既有弹性又有塑性变形。由图8C可知,腹部水平线上检测点的斜率最小,力在压缩过

程中变化较为平缓,并且发现腹部在压缩过程中会出现相对滑动,因鱼体腹部不存在肌间刺和肋骨,整个过程为弹性变形。试验表明,鱼体在背部、中部和腹部水平方向上的组织结构呈现不同力学特性。多次重复压缩试验结果显示,在样本规格范围

内,不同大小的样本呈现的压力-位移曲线图差异性不大。压缩试验曲线图呈现的第1个拐点为该检测点的屈服点,屈服点对应的压力数值为当前检测点的极限抗压力,进行多次重复试验并对极限抗压力值取平均,测得的最小极限抗压力 $F_{\max}=20.91\text{ N}$ 。



A:背部Dorsal;B:中部Central;C:腹部Abdominal.

图8 检测点压力-位移曲线图

Fig.8 Detection point pressure-displacement curve

1.4 鱼体夹持输送受力分析

夹持受力分析如图9所示。试验过程中,设置弹簧的初始形变量为 h ,鱼体受到的夹持力大小与弹簧拉伸的弹力有关^[23],弹簧的弹力 F_k 和夹持辊对鱼的

夹持力 N_1, N_2 ,应满足:

$$\begin{cases} F_k = k\Delta a \\ F_{t1} = \mu N_1 \\ F_{t2} = \mu N_2 \end{cases} \quad (7)$$

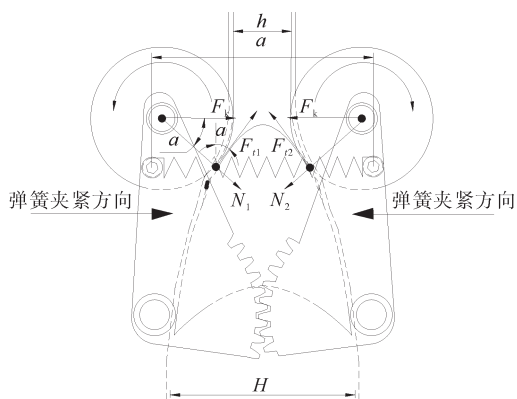
式(7)中, μ 为传动带对鱼体的摩擦因素; Δa 为弹簧的形变量,mm; F_k 为弹簧产生的弹力,N; F_{t1}, F_{t2} 为夹持棍产生的切向夹持力,N; N_1, N_2 为夹持棍产生的法向夹持力,N; k 为弹簧的弹性系数。

实现完整的夹持输送过程需满足夹持辊对鱼的作用力为正,基于式(7)鱼体实现完整的夹持输送过程应满足:

$$\mu \geq \tan \alpha \quad (8)$$

通过式(8)可知,在夹持输送过程中,弹性系数不同,夹持力大小也不同^[24],由前文测得在8 mm直径的圆柱形压头作用下鱼体的极限抗压力为 F_{\max} ,可得夹持辊对鱼的极限抗压力为 $\frac{F_{\max}}{16\pi} A$,其

中 A 为夹持辊与鱼体的接触面积;弹性系数过大,夹持辊对鱼体造成损伤,需保证最大夹持力小于鱼体的极限抗压力;夹持力过小,鱼体无法实现夹持输送,需使最小夹持力大于鱼体自重产生的摩擦力 F_f 。通过测量鱼体和夹持辊接触夹角发现,当夹持辊旋转到鱼体最大体宽时,夹持辊有最大夹持力,此时 $\alpha=0^\circ$,夹持辊间距为 H ,当夹持辊有最小夹持力时, $\alpha=45^\circ$,夹持辊间距为 h ,弹簧的弹性系数 k 应满足:



H :鱼体体厚最大处 Maximum body thickness of the fish body;
 h :两夹持辊静置间距 The static distance between the two clamping sticks;
 α :鱼与夹持棍的接触角以及为 F_k 和 N_i 的夹角 The contact angle between fish and gripping stick and is the angle between F_k and N_i ;
 N_1, N_2 :分别为夹持夹持棍对鱼左侧和右侧的法向作用力 The tangential frictional forces experienced by the left and right sides of the fish body when sliding radially along the clamping roller;
 F_{t1}, F_{t2} :分别为鱼体左侧、右侧沿夹持夹持棍径向滑动时的切向摩擦力 The tangential friction force on the left side and right side of the fish when it slides along the radial direction of the clamping stick;
 F_k :弹簧的弹力 The elastic force of the spring.

图9 夹持输送过程受力分析

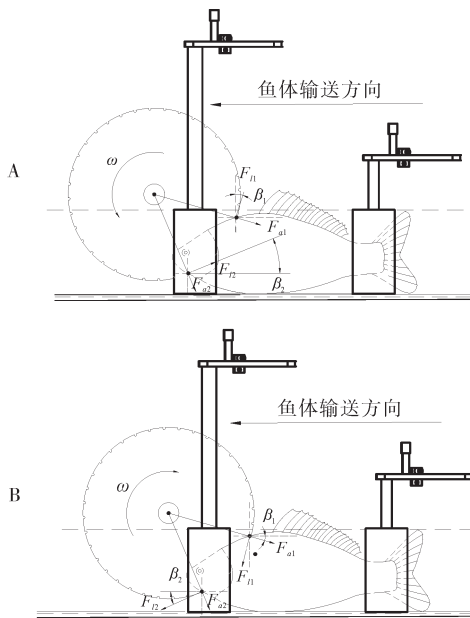
Fig.9 Force analysis of clamping and conveying process

$$\frac{F_f}{\sqrt{2}(\mu-1)h} < k < \frac{F_{\max}}{16\pi H} A \quad (9)$$

由式(8)可知,在实现夹持输送的过程中,鱼体与传动带之间摩擦系数始终大于鱼体与夹持辊接触角的正切值;对式(9)进行分析,当鱼体自重产生的摩擦力 F_f 、鱼体极限抗压力 F_{\max} 、鱼体与输送带之间的 μ 摩擦因素以及鱼体最大体宽 H 一定时,弹簧的弹性系数 k 与夹持辊初始间距 h 有关。

1.5 鱼体剖切运动受力分析

在鱼体剖切过程中,刀盘旋向对鱼体剖切效果有显著影响。在受力分析中,将鱼体输送方向视为水平力的正方向,对比刀盘旋向与输送方向相同时对鱼体产生的力 $F_{R同}$ 和输送方向相反时对鱼体产生的力 $F_{R反}$ 的大小来确立刀盘的最优剖切旋向,此时鱼体状态如图10所示。在剖切过程中,刀盘对鱼体作用产生的法向作用力和切向作用力应满足:



A,B:分别表示刀盘旋向与鱼体输送方向相反和相同 The direction of the knife hovering opposite to or the same as the direction of fish body transportation, represents; ω : 刀盘的剖切速度 Dissecting speed of the blade; F_{a1}, F_{a2} :分别为刀盘逆时针旋转时对鱼体背部和腹部的法向作用力 The normal force on the back and abdomen of the fish when the blade is rotated counterclockwise; F_{b1}, F_{b2} :分别为刀盘逆时针旋转时鱼体背部和腹部沿刀盘径向滑动时的摩擦力 The friction force on the back and abdomen of the fish when the blade is rotated counterclockwise sliding along the radial direction of the blade; β_1, β_2 :分别为背部和腹部剖切点位置和水平方向的夹角 The angle between the dorsal and abdomen dissecting point position and the horizontal direction.

图10 鱼体剖切过程受力分析

Fig.10 Force analysis of fish dissection process

$$\begin{cases} F_{t1} = \mu_0 F_{a1} \\ F_{t2} = \mu_0 F_{a2} \end{cases} \quad (10)$$

式(10)中, μ_0 为刀盘与鱼的摩擦因数。结合图10A,并结合式(10)可分析出当刀盘逆时针旋转时,应满足:

$$F_{R同} = (\cos\beta_1 + \mu_0 \sin\beta_1)F_{a1} + (\sin\beta_2 + \mu_0 \cos\beta_2)F_{a2} \quad (11)$$

结合图10B和式(10)可分析出当刀盘顺时针旋转时,应满足:

$$F_{R反} = (\cos\beta_1 - \mu_0 \sin\beta_1)F_{a1} + (\sin\beta_2 - \mu_0 \cos\beta_2)F_{a2} \quad (12)$$

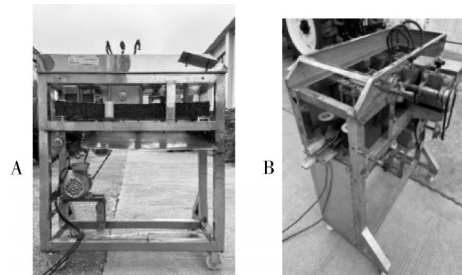
对比式(11)、(12)分析刀盘同向旋转和反向旋转时鱼体剖切过程,得到如下结论:

$$F_{R同} < F_{R反} \quad (13)$$

故确定刀盘最优剖切旋向为顺时针方向。

1.6 鱼体的夹送剖切试验

1) 试验材料及设备。选取120尾出水时间为20~30 min、鱼体新鲜程度高、表面保持完整、无明显伤痕、规格为 (1.4 ± 0.3) kg的鲢进行试验,试验设备如图11所示。试验仪器:游标卡尺(量程150 mm,精度为0.02 mm)、变频器(台达V800-4T001R5G)、电子秤(索沃TSC,量程15 kg,精度0.1 g)、刻度尺(量程500 mm,精度1 mm)、秒表(PS-80,精度0.01 s)。



A:主视图 Main view; B:侧视图 Side view.

图11 夹送式鲢鱼体剖切装置实物图

Fig.11 Physical drawing of *Hypophthalmichthys moritrix* fish body cutting device

2) 鱼体夹送剖切试验的评价指标。以感官评定的可接受性评分和剖切时鱼体损失率作为鱼体剖切效果的评价指标^[25-26]。①鱼体加工感官评价指标。评定内容包括:鱼体剖面质量、鱼体剖切效率、内胆是否破裂^[27-28]。感官评定的具体操作流程:组织5名试验人员作为感官评定者,根据评分标准依次对不同编号的鱼体加工效果进行可接受性评分并取平均值,具体评分标准如表3所示。②鱼体剖切时鱼体损失率。依据湖北省地方标准 DB42/T 2054—2022^[29],计算剖切完成后的鱼体损失率:

$$t = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (14)$$

表 3 鲢可接受性评分标准		
Table 3 Acceptability scoring criteria for <i>Hypophthalmichthys moritrix</i>		
项目 Items	评分标准 Scale for evaluation	得分 Scores
鱼体剖面质量(5分) Fish profile quality (5 score)	剖面光滑切面平整	3.5~5.0
	剖面少许毛刺、切面较平整	2.0~3.5
	剖面较多毛刺、切面不平整	≤2.0
鱼体剖切效率(3分) Fish dissection efficiency (3 score)	总体加工时间 6~8 s	2.0~3.0
	总体加工时间 8~10 s	1.0~2.0
	总体加工时间大于 10 s	≤1.0
内胆是否破损(2分) Is the gallbladder ruptured (1 score)	内胆完整	1.0
	内胆破裂	0.0

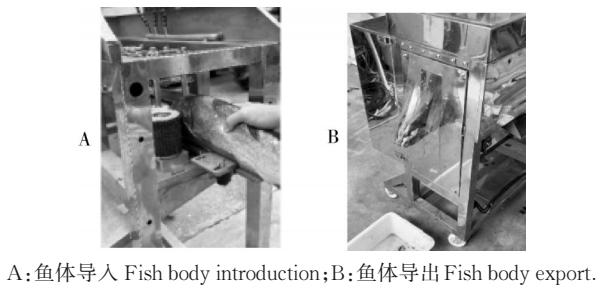
式(14)中, t 为单条鲢鱼的剖切损失率,%; w_1 为剖切前完整鱼体的质量,g; w_2 为剖切后完整鱼体的质量,g。

2 结果与分析

2.1 鱼体夹送剖切单因素试验结果

以实现完整剖切且剖面光滑为试验目标,达到加工所需的剖切效率,结合鱼体输送机构分析,确立鱼体夹送速度 $v=0.16\text{ m/s}$ 。基于对夹持过程的理论分析,选取满足条件的弹簧进行预试验,以夹持辊初始间距 h 作为影响夹持输送过程的重要因素,开展单因素预试验。当夹持辊间距小于 20 mm 时,鱼体两侧受夹持辊作用力过大,鱼体未能通过夹紧调节机构;当夹持辊间距大于 60 mm 时,鱼体两侧受夹持辊作用力不足,输送过程中出现打滑等现象,预试验结果表明夹持辊初始间距为 $20\sim60\text{ mm}$ 时能够实现完整输送过程。对鱼体剖切过程进行受力分析可知,刀盘旋向会影响加工效果,基于此开展同向和反向旋转对鱼体剖切加工效果的单因素试验。

确立好夹持辊初始间距参数后,结合鱼体剖切运动受力分析,并开展预实验。结果表明:当鱼体输送速度一定时,过慢的刀盘转速会导致剖切过程卡顿,过快的刀盘转速会使鱼体产生“打滑”“头尾上翘”等情况,因此将刀盘转速作为影响鱼体加工的重要因素开展单因素试验,通过调节刀盘转速开展预试验,发现当刀盘剖切转速为 $1\ 100\sim1\ 500\text{ r/min}$ 时,基本满足剖切加工要求;剖切高度过高会使鱼体无法完整剖开,剖切高度不足会造成鱼体损伤影响剖切效果。以样本体高为参考,结合预试验结论,设置该因素水平范围,当刀盘剖切高度为 $115\sim155\text{ mm}$ 时,能够实现完整的剖切过程(图 12)。



A: 鱼体导入 Fish body introduction; B: 鱼体导出 Fish body export.
图 12 鲢加工预试验
Fig.12 Pre-testing of *Hypophthalmichthys moritrix*

1)刀盘旋向对鱼体剖切效果的影响。试验结果表明,当刀盘同向旋转时,鱼体完整剖开,剖面光滑无明显毛刺,切割效果好,鲢的可接受性评分达到 9.15 ,同向旋转的剖面剖切损失率为 0.19% ;当刀盘反向旋转时,鱼体尾部未剖开,且剖面出现毛刺,鲢的可接受性评分仅为 8.19 ,逆向旋转的剖面剖切损失率为 0.23% 。

2)刀盘剖切高度对鱼体剖切效果的影响。设定刀盘的转速为 $1\ 400\text{ r/min}$,夹持辊初始间距为 30 mm ,再分别设置剖切高度 $D_L=115、125、135、145、155\text{ mm}$,剖切高度示意图如图 13 所示,设定刀盘与鱼体输送方向同向旋转,对每组水平进行 3 次重复试验,取各水平的可接受性评分平均值作为评分参考,对鲢进行剖切效果的影响试验。

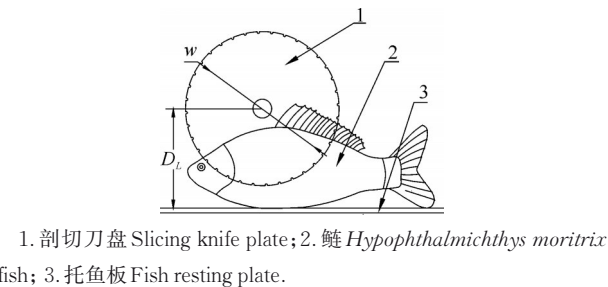


图 13 刀盘剖切高度试验示意图
Fig.13 Cutterhead cutting height test schematic diagram

当刀盘剖切高度为 135 mm 时,鲢的可接受性评分达到 9.32 ,鱼体完整剖开,剖面光滑无明显毛刺,切割效果好(表 4),剖面剖切损失率为 0.16% 。剖切高度过高或过低都会影响剖面质量,当剖切高度为 155 mm 时,剖面有少许毛刺,鱼体头部下方存在部分未剖开,可接受性评分分别为 7.82 ,剖切损失率为 0.29% ;而剖切高度为 115 mm 时,剖面较为光滑且鱼体腹部组织出现损伤,鱼胆有破裂,可接受性评分为 6.22 ,剖切损失率为 0.26% 。结合试验以及装置尺寸分析,选择剖切高度分别为 $125、135$ 和 145 mm 时有较好的剖切效果。试验结果表明,当剖切高度较高

时,剖面平整度较差,不能完整剖开鱼体;而剖切高度较低时,鱼体剖切易损伤腹部,且出现鱼胆破裂。

3)夹持辊初始间距对鱼体加工效果的影响。设定刀盘的转速为1 400 r/min,刀盘剖切高度为135 mm,再分别设置夹持辊初始间距为20、30、40、50、60 mm;设定刀盘与鱼体输送方向同向旋转,对每组水平进行3次重复试验,取各水平的可接受性评分平均值作为评分参考,对鲢进行剖切效果的影响试验。当夹持辊初始间距为30 mm时,可接受性评分最高,此时鱼体剖面平整,鱼体在剖切过程中稳定通过,剖切效果好,可接受性评分为9.18(表4),剖面剖切损失率为0.17%。随着初始间距的增大,夹持力逐渐减小,当夹持初始间距增加到50 mm时,鱼体出现轻微打滑现象,剖切刀盘对鱼体作用力不均匀,剖面出现毛刺,继续增加夹持辊初始间距为60 mm时,鱼体出现明显“打滑”和“头尾上翘”现象,剖面质量差,出现内胆破裂,可接受性评分为4.74,剖面剖切损失率为0.31%。结合试验,选择20、30和40 mm时有较好剖切效果。试验结果表明,随着夹持辊初始间距逐渐增大,输送带对鱼体夹持力逐渐减小,当两夹持辊对鱼体产生的夹持力不足以抵消剖切刀盘产生的阻力时,鱼体剖切效果差。

4)剖切刀盘转速对鱼体加工效果的影响。设定

刀盘剖切高度为135 mm,夹持辊初始间隙为30 mm,再分别设置剖切刀盘转速为1 100、1 200、1 300、1 400、1 500 r/min,设定刀盘与鱼体输送方向同向旋转,每组水平进行3次重复试验,取各水平的可接受性评分平均值作为评分参考,对鲢进行剖切效果试验。当刀盘转速为1 400 r/min时,鱼体剖面光滑,切割效率高,可接受性评分为9.28剖面剖切损失率为0.12%(表4)。试验发现,刀盘转速低会导致剖面不光滑,当刀盘转速为1 100 r/min时,可接受性评分为6.54,剖面剖切损失率为0.29%。结果显示,刀盘转速在1 300、1 400、1 500 r/min时有较好剖切效果,表明刀盘转速越快,剖面质量越好,但速度过快会导致和输送速度不匹配,此时剖切质量会有所下降。

2.2 正交试验结果

单因素试验结果表明,选择与输送方向相同的剖切旋向有更优效果。对刀盘剖切高度(因素A)、夹持辊初始间距(因素B)、刀盘转速(因素C)3个因素设计正交试验进一步得出鱼体加工效果影响因素之间的最佳参数组合。选择鲢可接受性评定标准和剖切损失率作为衡量白鲢剖切加工的标准。选择L₉(3⁴)正交试验方法(表5),试验结果如表6所示。

表5 正交试验因素水平表

Table 5 Orthogonal test factor level table			
水平 Levels	A 刀盘剖切高度/ mm Blade cutting height	B 刀盘转速/ (r/min) Rotating speed of cutter	C 夹持辊初始间距/ mm Initial distance between clamping rods
1	125	1 300	20
2	135	1 400	30
3	145	1 500	40

2.3 台架试验结果

由表6可知,对鱼体加工效果影响程度大小为:B(刀盘转速)>A(刀盘剖切高度)>C(夹持辊间距),各因素之间的最优水平组合:A₂B₂C₁,即当选择刀盘剖切高度为135 mm、夹持辊间距为20 mm、刀盘的转速为1 400 r/min时,对鲢加工效果是最佳的。

根据正交试验结果,选取30尾鲢样本,设置刀盘剖切高度135 mm、夹持辊间距20 mm、刀盘转速1 400 r/min,开展验证性试验,观察加工后的鱼体的剖切效果,结果显示:鱼体剖面光滑,剖切效果好、鱼肉的完整度高,几乎没有破坏(图14)。鲢剖切效果的可接受性评分平均值为9.48,剖切损失率0.11%,加工效率可达8.2尾/min。

表4 单因素试验结果

Table 4 Results of the one-way test

项目 Items		可接受性评 Acceptability evaluation	鱼体损 失率/% Rate of fish loss
刀盘旋向 Rotation direction of the knife disc	同向旋转 Isotropic rotation	9.15	0.19
	反向旋转 Rotate in the opposite direction	8.19	0.23
刀盘剖切高度/mm Blade cutting height	115	7.82	0.26
	125	8.34	0.22
	135	9.32	0.16
	145	7.72	0.26
	155	6.22	0.29
夹持辊初始间距/mm Initial distance between clamping rods	20	8.30	0.23
	30	9.18	0.17
	40	8.42	0.21
	50	6.94	0.28
	60	4.74	0.31
刀盘转速/(r/min) Rotating speed of cutter	1 100	6.54	0.29
	1 200	7.18	0.28
	1 300	8.46	0.22
	1 400	9.28	0.12
	1 500	8.68	0.20

表 6 正交试验结果
Table 6 Orthogonal test analysis results

编号 Number	A	B	C	空列 Blank column	可接受性评分 Acceptability evaluation	鱼体损 失率/% Rate of fish loss
1	1	1	1	1	8.7	0.17
2	1	2	2	2	9.1	0.13
3	1	3	3	3	8.3	0.21
4	2	1	2	3	9.2	0.14
5	2	2	3	1	9.3	0.12
6	2	3	1	2	8.9	0.19
7	3	1	3	2	8.4	0.21
8	3	2	1	3	9.1	0.15
9	3	3	2	1	8.9	0.19
K_1	26.1	26.2	26.9			
K_2	27.4	27.5	26.4			
K_3	26.4	26.1	26.6			
k_1	8.70	8.73	8.97			
k_2	9.13	9.17	8.80			
k_3	8.80	8.70	8.87			
R	0.43	0.47	0.17			

注：A、B、C 分别为刀盘剖切高度、刀盘转速、夹持辊初始间距。
Note: A, B, and C are the cutter profile height, cutter rotation speed, and initial spacing of the clamping stick, respectively.

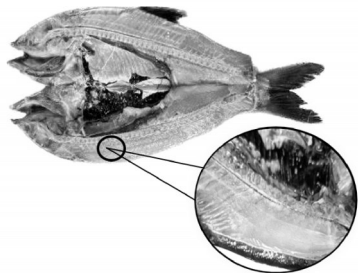


图 14 鲢鱼体剖切效果
Fig.14 *Hypophthalmichthys moritrix* fish
body dissection effect

3 讨 论

本研究设计了一种夹送式鲢鱼体剖切装置并通过试验对夹送式鲢鱼体剖切装置的关键部件参数进行验证。为了实现鱼体的正常剖切,在输送过程中鱼体应受到均匀的夹持力作用,平稳输送。由于鱼体夹紧调节机构的弹簧的弹性系数过大,会导致鱼体对夹持辊的作用无法撑开夹持辊,导致鱼体无法正常进入夹持输送状态;弹簧的弹性系数过小,鱼体在输送过程中,对鱼体的夹持作用较弱,难以保证鱼体受到均匀的夹持力,使鱼体头前尾后、背上腹下向前输送。在夹紧机构的作用下,夹持辊与鱼体发生

接触形成的接触角,会随着鱼体往前输送逐渐增大,两边弹簧作用于鱼体的夹持力也随之增大^[26],因此需确定弹簧力与夹持力之间的关系,并优化部件参数,使鱼体实现夹持输送过程,通过对鲢鱼体在夹持输送和剖切过程中的受力情况进行分析,确立了弹簧作用力与夹持力之间的关系式,明确了弹簧弹性系数的选取范围;鱼体在夹持输送过程中保持平稳输送应该满足鱼体与传动带之间摩擦系数始终大于鱼体与夹持辊接触角的正切值;在鱼体剖切时,在水平方向上,刀盘与输送方向同向旋转时,刀盘对鱼体产生的约束反力明显小于刀盘与输送方向反向旋转时,刀盘对鱼体产生的约束反力。

本研究通过压缩试验确立了鱼体的极限抗压力;通过单因素试验分析了夹持辊初始间距、刀盘剖切高度、刀盘转速的在不同旋向情况下鱼体的加工情况,试验结果表明,对鱼体剖切效果影响程度的大小为:刀盘转速>刀盘剖切高度>夹持辊间距;通过正交试验分析得出最优水平组合,即刀盘剖切高度 135 mm、夹持辊间距 20 mm、刀盘转速 1 400 r/min 时鲢剖切效果最佳,其可接受性评分平均值为 9.48,剖切损失率为 0.11%,加工效率可达 8.0 尾/min,符合预期设计要求。

参考文献 References

[1] 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-2021[M].北京:中国农业出版社,2021.Bureau of Fisheries Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National General Station for Promotion of Aquatic Technology, Chinese Fisheries Society. China fishery statistical yearbook-2021[M].Beijing: China Agriculture Press, 2021 (in Chinese).

[2] 钱坤,郭炳坚.我国水产品加工行业发展现状和发展趋势[J].中国水产,2016(6):48-50.QIAN K, GUO B J. Present situation and development trend of aquatic product processing industry in China[J]. China fisheries, 2016(6):48-50(in Chinese).

[3] 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. Present situation, problems and countermeasures of aquatic products processing industry in China[J]. China fisheries, 2017(12):36-39(in Chinese).

[4] 徐皓,张建华,丁建乐,等.国内外渔业装备与工程技术研究进展综述(续)[J].渔业现代化,2010,37(3):1-5.XU H, ZHANG J H, DING J L, et al. The review of the research progress of fishery equipment and engineering technology at home and abroad(continued)[J]. Fishery modernization, 2010, 37(3):1-5(in Chinese with English abstract).

[5] 欧阳杰,沈建,郑晓伟,等.水产品加工装备研究应用现状与

- 发展趋势[J]. 渔业现代化, 2017, 44(5): 73-78. OUYANG J, SHEN J, ZHENG X W, et al. Research and application status and development tendency of aquatic products processing equipment[J]. Fishery modernization, 2017, 44(5): 73-78 (in Chinese with English abstract).
- [6] ARENCO. VMK fish processing machinery [EB/OL]. (2017-09-05). [2024-09-27]. <http://www.arenco.com/fish/machinery>.
- [7] BOOMAN A, MÁRQUEZ A, PARIN M A, et al. Design and testing of a fish bone separator machine[J]. Journal of food engineering, 2010, 100(3): 474-479.
- [8] BAADER. Fish processing machinery products [EB/OL]. (2017-09-05). [2024-09-27]. http://www.baader.com/en/products/fish_processing/index.html.
- [9] GROSSEHOLZ W, GUTTE U, HOLZHUTER A, et al. Method and apparatus for gutting fish: US5980376 [P]. 1999-11-09.
- [10] AZARMDEL H, MOHTASEBI S S, JAFARI A, et al. Developing an orientation and cutting point determination algorithm for a trout fish processing system using machine vision[J]. Computers and electronics in agriculture, 2019, 162: 613-629.
- [11] 魏立昂, 李璐, 马若飞, 等. 鱼类初加工装备关键技术研究进展[J]. 现代农业装备, 2023, 44(1): 2-7. WEI L A, LI L, MA R F, et al. Research progress on key technologies of fish primary processing equipment[J]. Modern agricultural equipment, 2023, 44(1): 2-7 (in Chinese with English abstract).
- [12] 彭三河, 徐武. 链式淡水鱼加工前处理装置的研制[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 139-142. PENG S H, XU W. Study and designing of prepare handle machine with fish process of chain[J]. Food & machinery, 2013, 29(2): 139-142 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陈庆余, 沈建, 欧阳杰, 等. 典型海产小杂鱼机械去脏试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 278-285. CHEN Q Y, SHEN J, OUYANG J, et al. Experiment of mechanized gutting for typical small marine fish[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(20): 278-285 (in Chinese with English abstract).
- [14] 邹伟, 万鹏, 付豪, 等. 淡水鱼连续式去头尾装置的研制[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 107-111. ZOU W, WAN P, FU H, et al. Design of continuous device for cutting head and tail of freshwater fish[J]. Food & machinery, 2018, 34(4): 107-111 (in Chinese with English abstract).
- [15] 黄鹏飞, 谭鹤群, 张春吉, 等. 带式夹送淡水鱼剖鱼机的研制[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 83-86. HUANG P F, TAN H Q, ZHANG C J, et al. Design of freshwater fish splitter by belt-clamp[J]. Food & machinery, 2016, 32(12): 83-86 (in Chinese with English abstract).
- [16] 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 CSAE, 2011, 27(6): 332-336 (in Chinese with English abstract).
- [17] 赵正龙. 鲢鱼的机械化加工[J]. 渔业现代化, 2005, 32(3): 36-37. ZHAO Z L. Development of fish machinery for mud carp, *Cirrhina molitorella* [J]. Fishery modernization, 2005, 32(3): 36-37 (in Chinese with English abstract).
- [18] 朱国, 谭鹤群. 鱼体在剖鱼机夹片中受力有限元分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(4): 44-48. ZHU G, TAN H Q. Finite element analysis of loaded silver carp in fish shearing machine clips[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 44-48 (in Chinese with English abstract).
- [19] 赵明岩, 翟晓东, 林敏. 黑鱼整皮剥离系统切割刀具工作参数优化与试验[J]. 农业工程学报, 2023, 39(5): 249-255. ZHAO M Y, ZHAI X D, LIN M. Optimization and test of the working parameters of the cutting disc for the whole-skin peeling system of snakehead[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(5): 249-255 (in Chinese with English abstract).
- [20] 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 CSAE, 2012, 28(20): 88-94 (in Chinese with English abstract).
- [21] 张乾能, 朱国, 宗力. 鲢鱼鱼体抗压特性的研究[J]. 食品科学, 2009, 30(11): 95-98. ZHANG Q N, ZHU G, ZONG L. Study on compressive properties of silver carp[J]. Food science, 2009, 30(11): 95-98 (in Chinese with English abstract).
- [22] 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 with English abstract).
- [23] 万鹏, 汪荣, 李梦珂, 等. 鲜活黄鳝剖割装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2022, 38(22): 220-228. WAN P, WANG R, LI M K, et al. Design and experiments of the sectioning device for the fresh *Monopterus albus* [J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(22): 220-228 (in Chinese with English abstract).
- [24] 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 CSAE, 2020, 36(6): 28-35 (in Chinese with English abstract).
- [25] 杨俊, 万鹏, 黄毓毅, 等. 基于机器视觉的鲢鱼头加工装置设计及试验[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(1): 178-187. YANG J, WAN P, HUANG Y Y, et al. Design and test of silver carp head processing device based on machine vision[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(1): 178-187 (in Chinese with English abstract).
- [26] 赵镭, 刘文, 汪厚银. 食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J]. 中国食品学报, 2008, 8(3): 121-124. ZHAO L, LIU W, WANG H Y. General guidance and method for establishing index system of food sensory evaluation[J]. Journal of Chinese institute of food science and technology, 2008, 8(3): 121-124 (in Chinese with English abstract).
- [27] 胡晓亮, 陈庆余, 沈建. 竹筴鱼去脏加工用剖割刀具的优化试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(12): 270-277. HU X L, CHEN Q Y, SHEN J. Optimization of slitting cutters used for

- gutting *Trachurus japonicus* [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(12): 270-277 (in Chinese with English abstract).
- [28] 王二霞, 赵健. 感官评价原理及其在肉质评价中的应用[J]. 肉类研究, 2008, 22(4): 71-74. WANG E X, ZHAO J. Application of sensory evaluation in meat quality [J]. Meat research, 2008, 22(4): 71-74 (in Chinese with English abstract).
- [29] 湖北省市场监督管理局. 淡水鱼加工机械化前处理技术规范: DB42/T 2054—2023 [EB/OL]. (2023-06-27). [2024-09-27]. <https://dbba.sacinfo.org.cn/snDetail/49d17f1acb57d769086d3c1870946c89ec12cd7b4f9136e7f8f16a892971b6be>. Hubei Provincial Administration for Market Regulation. Technical specification for pre-treatment of freshwater fish processing mechanization: DB42/T 2054—2023 [EB/OL]. (2023-06-27). [2024-09-27]. <https://dbba.sacinfo.org.cn/snDetail/49d17f1acb57d769086d3c1870946c89ec12cd7b4f9136e7f8f16a892971b6be> (in Chinese).

Design and testing of a pinch-feeding device for dissecting *Hypophthalmichthys moritrix* body

WAN Peng^{1,2}, GUO Shiyang¹, LIU Ziying¹, ZHANG Xiang¹, LI Ping³

1. College of Engineering/ Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Aquaculture Facilities Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Ministry of Agriculture and Rural Affairs Key Laboratory of Agricultural Equipment in Mid-Lower Yangtze River, Wuhan 430070, China;

3. Jingzhou Jichuang Electromechanical Technology Co., Ltd., Jingzhou 434025, China

Abstract *Hypophthalmichthys moritrix* was used to study the key components of a pinch-feeding device for dissecting freshwater fish body to solve the problems of single-machine operation and low efficiency of processing in terms of the current device for dissecting freshwater fish body mainly relying on manual feeding, which cannot meet the requirements for mechanized and automated dissection of fish body. A pinch-feeding device for dissecting *Hypophthalmichthys moritrix* body was developed and tested. The pinch-feeding device for dissecting *Hypophthalmichthys moritrix* body was consisted of a frame, a fish body feeding component, a fish body pinching component, a fish body dissecting component, and a cleaning component. The minimum limiting pressure of the fish body was obtained by conducting compression tests on the fish body. The conditions of satisfying the process of pinching and feeding, and the magnitude of the force exerted on the fish by different rotation directions of the knife discs were studied by analyzing the force in the process of pinching and dissecting the fish body. A single factor experiment using the acceptability score and cutting loss rate of *Hypophthalmichthys moritrix* as evaluation indexes was conducted to study the effect of factors including the initial spacing of pinching rollers, the height and speed of the cutting disc on dissecting *Hypophthalmichthys moritrix*. The results of the orthogonal experiment showed that the factors affecting the effect of dissecting fish body was in the decreasing order of speed of the cutting disc > height of the cutting disc > initial spacing of pinching rollers. When the initial spacing of pinching rollers, the height of the cutting disc, and the speed of the cutting disc was 20 mm, 135 mm, and 1 400 r/min, the profile of *Hypophthalmichthys moritrix* body was smooth and the integrity of the fish meat was high, with the average acceptability score of 9.48, the cutting loss rate of 0.11%, and the efficiency of processing up to 8.0 pieces/min. It will provide a reference for developing the device for dissecting bulk freshwater fish body and designing the automated pre-treatment processing line for freshwater fish.

Keywords freshwater fish processing; *Hypophthalmichthys moritrix*; dissecting device; pinch-feeding

(责任编辑:陆文昌)