

淡水鱼前处理设备与技术研究现状和展望

Research status and prospect of pretreatment equipment and technology for freshwater fish

陈朗 吴文锦 陈胜 石柳 郭晓嘉 汪兰

CHEN Lang WU Wen-jin CHEN Sheng SHI Liu GUO Xiao-jia WANG Lan

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北 武汉 430072)

(*Institute of Agro-products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan, Hubei 430072, China*)

摘要:文章从目前淡水鱼加工工艺特点出发,结合不同淡水鱼及其产品的加工需求,归纳了现有前处理设备的主要结构形式和作业方式;阐述了国内外视觉识别、自动监控等前沿技术在淡水鱼前处理加工实际生产应用的研究进展;并从淡水鱼前处理的自动化、智能化技术等方面,提出了适应中国国情的淡水鱼前处理设备的研究方向。

关键词:淡水鱼;前处理加工;机器视觉;自动监控;加工设备

Abstract: The current situation of the development of freshwater fish pretreatment processing industry and development level of freshwater fish pretreatment equipment were briefly described in this manuscript. The development history of mechanical for freshwater fish pretreatment was reviewed. Based on the processing technology of freshwater fish, combining the processing needs of different freshwater fish and freshwater fish products, the main structure composition form and operation mode of existing freshwater fish pretreatment was summarized. The current cutting-edge technology of existing visual recognition and automatic monitoring practical applications in domestic and foreign were included. The research direction combined with China's national conditions of freshwater fish pretreatment equipment was proposed in two aspects, which were automation and intelligence.

Keywords: freshwater fish; pretreatment; machine vision; automatic monitoring; processing equipment

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2019YFD0901801);湖北省农机装备补短板核心技术攻关项目(编号:HBSNYT202221)

作者简介:陈朗,男,湖北省农业科学院研究实习员,硕士。

通信作者:吴文锦(1982—),男,湖北省农业科学院研究员,博士。
E-mail: wuwenjin@hbaas.com

收稿日期:2022-11-23 **改回日期:**2023-02-10

中国具有十分丰富的水产品资源,是全球最大的水产品生产国。2021年,中国淡水养殖总产量为3 183.27万t,其中淡水鱼类养殖产量为2 640.28万t,淡水加工产品416.23万t,约为淡水总量的13.08%;与发达国家水产品80%以上加工率相比,中国淡水鱼的加工率较低,严重限制了中国淡水鱼加工产业的发展^[1]。淡水鱼在精深加工前,需要进行定向、去鳞、去内脏、去头 etc 前处理初加工,中国现有的前处理设备大多只能单机作业,使用过程中需要人工调整淡水鱼的喂入姿态^[2]。

文章拟综述淡水鱼前处理设备的研发历程,从加工工艺特点出发,结合不同淡水鱼及其产品的加工需求,归纳现有前处理设备的主要结构形式和作业方式,分析国内外前沿技术在前处理设备的应用与研发进展,总结目前国内前处理设备的不足之处,并对中国淡水鱼前处理设备智能化发展进行展望。

1 淡水鱼前处理设备的研发历程

早在20世纪,国外就基本实现水产品加工的自动化,并着手智能化加工的研究^[3]。1979年,德国的BADDER公司^[4]设计制造了“BADDER 485”型自动分级机,通过驱动压轮和压板组合机构,利用鱼体不同部位刚度不同实现鱼体头尾定向,适用于新鲜的鱼体。1993年,Franklin等^[5]设计了利用去鳞刷实现自动化去鳞作业的去鳞设备,并沿用至今。1994年,Pegoraro等^[6]设计了鱼体头尾定向系统,并在设备上使用传感器,以提高定向设备的准确率和生产效率。

21世纪初,White等^[7-8]研发的视觉识别系统、Arnarnson等^[9-10]设计的机器视觉联合机器人协同作业鱼类前处理加工生产线系统,都运用了机器视觉识别技术;Viazzi等^[11-14]建立了鱼的轮廓与重量之间的关系,并通过视觉技术估算鱼的重量。近几年,冰岛Marel公司^[15]研发的INNOVA水产品加工系统、德国BADDER

公司^[16]研发的鱼类前处理加工生产线等国际先进的鱼类前处理加工生产线,通过将机器视觉、物联网、智能监控等先进技术进行集成,将生产数据量化成图表,人机界面也更加直观简洁,可实现全生产周期的实时监控。同时,大数据分析技术也在前处理设备中得到广泛应用,Azarmdel 等^[17]在视觉识别技术的基础上建立了数据库,通过智能分析识别鱼体上胸鳍和臀鳍位置,最终实现鱼体的精准切割。Nicholas 等^[18-22]通过卷积神经网络对大量的鱼类图像数据进行深度学习,获取鱼的长度、质量、周长等数据,并建立了鱼的长度和质量特征关系。

中国从 20 世纪 80 年代中期开始研制淡水鱼前处理设备,最初只是通过研制切头、剖腹去内脏等单机设备,辅助人工操作,提高水产品前处理加工的效率^[23-24]。上海阿仁科机械有限公司^[25]设计了全国第一条鲢鱼加工流水线,通过整合现有的前处理设备,辅助少量人工,基本实现了鲢鱼前处理的机械化。常永胜等^[26-27]研发了一条大宗淡水鱼前处理加工生产线,通过传感器、控制系统、执行机构等实现生产过程闭环控制,基本实现了淡水鱼前处理的自动化生产。陈庆余等^[28]设计了鱼类去内脏加工智能化设备,通过智能识别,提高了设备的可靠性。陈艳等^[29]设计了一种基于机器视觉的淡水鱼鱼体在线去头尾及分拣系统,建立了机器视觉模型,完成了控制系统的设计,可实现鱼尾的快速精准切除。目前,中国市场上的淡水鱼前处理设备仍以单机设备为主,还未实现规模化的全自动淡水鱼前处理加工生产线。

2 淡水鱼前处理设备的研究进展

淡水鱼前处理加工工序主要包括:定向输送、去鳞、去内脏、去头^[30],各工序的加工设备目前正处于机械化快速普及、自动化逐步推进、智能化逐步显现的快速发展阶段;通过研究淡水鱼前处理的先进技术,加快淡水鱼前处理设备的推陈出新,优化前处理设备的加工效果,对提升淡水鱼加工产品的生产效率和产品质量有着重要意义。

2.1 定向输送设备

定向输送是指在喂入淡水鱼时,首先将鱼体的头尾和腹背调整到指定的姿态,然后输送到前处理设备加工的过程,是保证淡水鱼前处理设备能够高效准确运行的前提。目前,淡水鱼定向输送设备的定向装置主要有两类。

(1) 机械式定向装置:机械式定向装置是一种基于鱼的物理特性,通过机械结构实现鱼体头尾、腹背定向的定向装置。常见的机械式定向设备主要采用以下 3 种定向原理:① 利用鱼体重心偏向头部位置的特性定向。当鱼体沿斜坡下滑时,通常鱼头会先到达底部,实现头尾定向。② 利用鱼体头尾刚度不同的特性定向。当鱼头或鱼尾在悬空时,通过两者悬空产生的形变差异并辅助机械

结构实现头尾定向。③ 利用鱼体腹背轴向不对称的特性定向。当鱼腹背在运输过程中受到挤压时,由于腹背轴向不对称使鱼体受力不均产生扭矩,实现鱼的腹背定向^[31]。机械式定向装置结构简单,运行稳定可靠,但定向过程中存在碰撞、挤压的动作,可能会导致鱼体产生损伤,影响淡水鱼产品的品质。万鹏等^[32-33]设计了淡水鱼腹背定向装置,在淡水鱼通过对辊进行输送时,鱼体会因腹背受力不均绕质心旋转,在对辊的作用下,产生鱼腹朝下、鱼背朝上的旋转运动,实现淡水鱼的腹背定向。

(2) 光电式定向装置:光电式定向装置是一种利用光电传感器感知鱼体姿态,通过姿态调整机构辅助定向的定向装置。当鱼体以一定间隔进行输送时,光电传感器会获取鱼体姿态和位置信息,通过软件计算分析,控制姿态调整机构,实现鱼的头尾和腹背定向^[34]。光电式定向装置对每条鱼都进行了识别、调整动作,能够达到 100% 的定向成功率且智能化程度较高。丁安子等^[35-36]设计了输送中鱼体姿态调整装置,通过开发淡水鱼头尾识别系统,在淡水鱼输送过程中,自动识别鱼体的头尾、腹背姿态,并利用简单的机械装置对鱼体进行头尾和腹背定向。

此外,国内外学者还研究探索了鱼体头尾定向的方法,发现利用鱼体表面的摩擦特性差异可实现头尾定向。向云鹏等^[37-38]设计了淡水鱼水平往复振动头尾定向装置,淡水鱼在振动平台上进行输送时,输送带表面结构呈倒三角形,鱼体在输送带上由于振动产生滑动时会表现出摩擦异性,即沿鱼体顺鳞方向(从鱼头至鱼尾方向)滑动和逆鳞方向(从鱼尾至鱼头方向)滑动时所受摩擦力不同,实现了鱼体在输送过程中的头尾定向^[39-42]。

2.2 去鳞设备

2.2.1 滚筒去鳞装置 滚筒去鳞装置是将刮刀、网板等去鳞结构安装在可旋转的滚筒内部的去鳞装置。滚筒去鳞装置根据其核心部件滚筒分为单级去鳞滚筒或多级去鳞滚筒,可对不同大小、类型鱼类进行去鳞,是一种适应性较强的淡水鱼去鳞装置。

市场上多为单级去鳞滚筒,即滚筒内部安装单一类型的去鳞构件,如图 1 所示。常见的去鳞结构形式包括钢板网、圆形孔网、直角刮刀、螺纹钢条等形状,单级滚筒去鳞装置在运行时,鱼体放置在去鳞滚筒内部,在滚筒的转动下产生移动和翻滚,鳞片边缘和去鳞构件接触后相互作用,实现鳞片的去除。此外,由于鱼体在去鳞过程中受到离心力、鱼体跌落时冲击力的相互叠加作用,进一步促进了鱼体去鳞。

多级去鳞滚筒装置^[43]是基于单级去鳞滚筒装置的技术原理,在转动滚筒内部分段安装不同类型去鳞构件的去鳞装置,如图 2 所示。郑晓伟等^[44]通过将多种结构件组合,探究不同去鳞部件在滚筒去鳞过程中的实际效

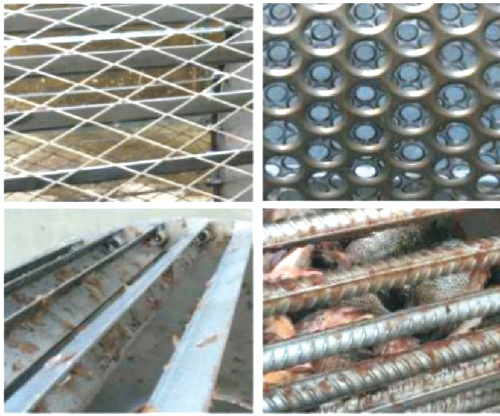
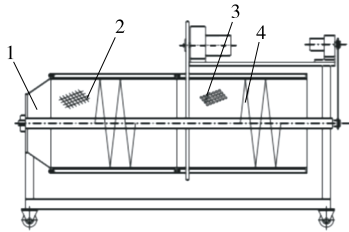


图 1 去鳞结构件

Figure 1 Descaling structure and monopole drum descaling equipment



1. 进料口 2. 钢板网滚筒 3. 圆形孔网滚筒 4. 螺旋叶片

图 2 多级滚筒去鳞装置结构示意图

Figure 2 Schematic diagram of multi-stage drum descaling device

果和影响因素,以获得高效低损二级去鳞滚筒的最优去鳞参数。该装置能够提升去鳞设备的去鳞效果,降低去鳞过程中的鱼体损伤。

2.2.2 刷式去鳞装置 刷式去鳞装置是通过可旋转的刷式结构对鱼鳞进行连续性冲击而实现去鳞的一种装置。其结构外轮廓一般为仿鱼体形结构或柔性结构,在去鳞过程中实现对鱼体表面包覆,当旋转时,刷式结构与鱼体表面的鳞片碰撞冲击,使鱼鳞与鱼体脱离实现去鳞。刷式去鳞装置按结构形式一般分为弹簧刷去鳞装置和齿形刷去鳞装置两种类型。

(1) 弹簧刷去鳞装置:弹簧刷去鳞装置主要结构由弹簧、转轴和刮片等零部件组成。如图 3 是两种弹簧刷结构,其中弹簧刷去鳞装置 a 是将弹簧丝整体螺旋缠绕在转轴上的一种弹簧刷去鳞装置,当弹簧丝随着转轴旋转时,弹簧丝会与鱼体表面接触,嵌入到鱼鳞与鱼体之间,将鱼体表面的鳞片刮除。弹簧刷去鳞装置 b 是将弹簧的两端固定在转轴上,弹簧丝上安装有刮片,工作时,弹簧刷上面的输送辊将鱼向下输送,当鱼通过弹簧刷时,由于弹性变形,弹簧刷能够很好地覆盖鱼体表面,同时,转轴带动弹簧进行旋转作业,弹簧上的刮片和鱼鳞产生摩擦,使其从鱼体脱落,完成去鳞作业。

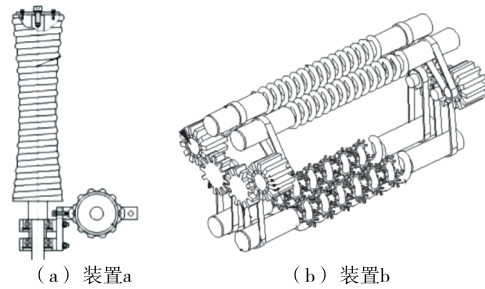
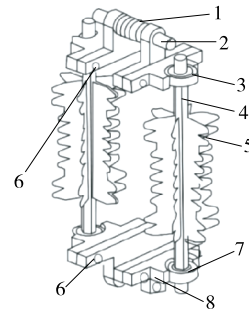


图 3 弹簧刷结构示意图

Figure 3 Schematic diagram of spring brush structure

(2) 齿形刷去鳞装置:齿形刷去鳞装置由轴承、转轴、去鳞齿等组成。如图 4 所示,去鳞齿固定在转轴上,去鳞装置工作时,转轴与去鳞齿一起旋转,去鳞齿与鱼体鳞片碰撞,能够连续地完成淡水鱼去鳞作业。但由于去鳞齿的外轮廓无法完全拟合鱼体外轮廓形状,去鳞作业时会鱼体产生一定的损伤^[45-46]。齿形刷也常见于半自动去鳞设备,美国 STEEN 公司^[47]生产的 ST521 半自动去鳞机,该设备采用电机驱动,利用手持完成鱼体表面仿形,从而达到较高的去鳞率,且去鳞刷有外壳防护,安全性高,但依赖人工作业,生产效率不高。



1. 弹簧 2. 滑轴 3. 轴承 4. 转动轴 5. 去鳞齿 6. 螺栓及螺母 7. 轴承座 8. 轴承座板

图 4 钢齿去鳞刷结构示意图

Figure 4 Schematic diagram of steel tooth descaling brush

2.2.3 水射流去鳞装置 水射流式去鳞装置^[48]由输送带、高压喷嘴、电磁阀、传感器等零部件组成。如图 5 所示,鱼体通过输送带向前连续输送,当传感器监测到鱼体到达指定位置时,通过电磁阀控制高压水喷嘴按特定角度向鱼表面喷出高压水流,鱼鳞受到高压水流冲击从鱼体脱落。水射流式去鳞装置可通过调整喷出水流的面积、压强和冲击时间等工作参数,在保证较高去鳞率的前提下,极大地减少了对肉质的损伤。密鑫宇等^[49]研制了一种高压水去鳞设备,确定了去鱼鳞设备传输带轮频率的最优值,去鳞率达到 98%。水射流式去鳞装置由于使用的结构简单可靠,去鳞效果优异,在中国市场已有成熟的产品。如鱼客机械公司^[50]设计的 FCM-658 高压水

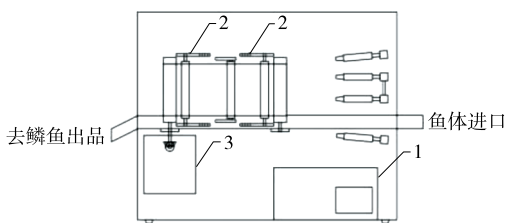


图 5 水射流式去鳞装备及其结构示意图

Figure 5 High pressure water descaling equipment and schematic diagram of its structure

去鳞机,适用于多种淡水鱼的去鳞作业,产量最高可达 60 条/min,其水压和清洁力度可根据鱼的种类进行调整,确保最优去鳞效果。

2.3 去内脏设备

去内脏是指将鱼的内脏从鱼腹取出,并将鱼腹清理干净的过程。若内脏不及时清理或者清理不干净,鱼肉会在贮藏时快速变质,对产品的品质有很大影响,因此,去内脏是淡水鱼前处理加工必不可少的工序。通过去内脏设备对淡水鱼去内脏时,一般有不剖切和剖切两种方式。其中不剖切去内脏方式包括真空吸附、离心法、切头断面去内脏等。如德国 BADDER 公司生产的 456 型切头机,在切头的同时,将内脏从鱼腹拉出,不需要对鱼进行剖切;真空去内脏和离心法也可以做到不剖腹去内脏,但真空去内脏法的设备成本较高,离心去内脏法对鱼体有较大损伤,故市场上少见。

剖切去内脏方式是指将鱼腹或鱼背剖开,通过去内脏刮板、刮刀、毛刷等结构将内脏从鱼腹取出,实现清除内脏的方式。剖切去内脏装置根据剖切位置不同分为以下两种。

(1) 开背去内脏装置:开背去内脏装置一般由夹持装置、剖杀刀、去内脏刮铲等零部件组成。去内脏装置工作时,鱼体由夹持机构夹持输送,保证鱼体以特定姿态通过圆盘剖杀刀,实现背部剖切后鱼体自然展开,然后利用去内脏刮铲从展开的鱼体上将内脏刮除^[51]。市场上整鱼风干鱼、鱼头预制菜等产品的制作都需要对鱼体开背处理,但开背后鱼腹较软,开背后将内脏清理干净十分困难、为此,陈庆余等^[52]设计了一种开背去内脏滚刀装置,如图 6 所示,该装置通过仿形刮内脏滚刀进行去内脏,同时不断有清水对刮内脏刀和鱼体进行冲洗,能够在去内脏的同时,将内脏黑膜清理干净。

(2) 开腹去内脏装置:开腹去内脏装置是通过夹持装置将鱼以指定姿态向前输送,输送过程中圆盘剖杀刀剖开鱼腹,利用撑开装置将鱼腹撑开,然后用刮铲、毛刷、水流冲刷等将内脏清除^[53-55],淡水鱼开腹去内脏装置的形式较多。例如:张程皓等^[56-57]设计了一种去内脏装置,如图 7 所示,剖切刀上带有内脏刮板,在进行剖切的同时,

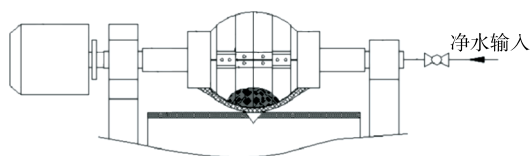


图 6 去内脏滚刀装置

Figure 6 Dirty hob removal device

时,刮板将内脏从鱼腹带出,完成剖杀去内脏动作。张旭等^[58]设计了一种鱼类去内脏清洗装置,如图 8 所示,该装置具备一把剖腹刀,一把去内脏刀和两个去内脏毛刷,通过设置各部件的转动方向,对鱼腹进行反复清理。但开腹去内脏方式一般需要将鱼腹撑开后再使用机械结构伸入鱼腹中执行去内脏动作,对鱼体损伤较大,且很难将鱼腹中的内脏黑膜清除干净。

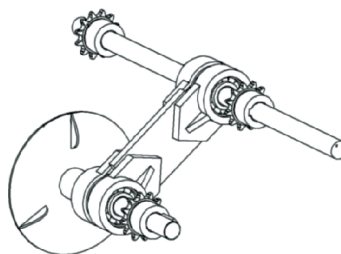


图 7 剖杀去内脏设备

Figure 7 Cutting and removing dirty equipment

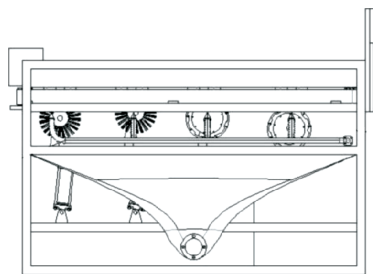


图 8 鱼类去内脏清洗装置

Figure 8 Fish cleaning device

鱼腹中的内脏黑膜对淡水鱼产品的品质和口感有较大的影响,在进行去内脏作业时,也会对内脏黑膜进行清洗。但由于内脏黑膜清洗难度大,现有的去内脏装置基本无法将内脏黑膜清洗干净,企业通常会采用人工进行内脏黑膜清洗,导致人工成本增加。针对内脏膜去除难的问题,周小文等^[59]设计了一种大批量鱼制品生产加工去内脏层装置,如图 9 所示,该装置控制刷套在鱼腹内不断开合、旋转,通过刷套和内脏膜的摩擦,使鱼腹中的内脏膜脱落,然后通过清水将内脏膜冲洗出来,实现内脏膜的快速清除和鱼腹清洁。

2.4 去头设备

去头设备的功能是通过刀具按指定切割路线将鱼头和鱼身分离。由于鱼头的形状不规则,使用不同形状的

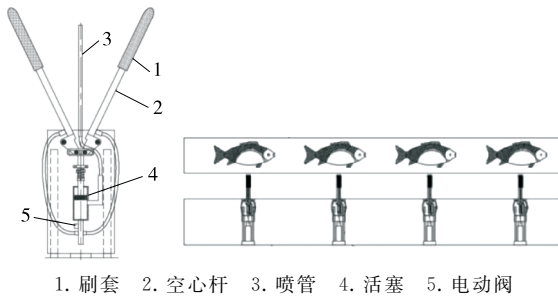


图 9 除黑膜装置

Figure 9 Black film removal device

切割刀具,选择不同轨迹的切割路线,最终产品的得肉率也会有所差异。目前,淡水鱼去头设备的鱼头切割装置按切割刀具分类有以下两类。

(1) 圆盘刀鱼头切割装置:圆盘刀鱼头切割装置中,切割刀具一般布置在鱼体输送的路线上,根据预设的位置对鱼体进行切割,实现将鱼头和鱼身分离。该切割装置能快速的完成去头动作,具备连续去鱼头功能,同时可调整切割刀具的安装位置和方向,对鱼头进行直切或斜切;渔客机械的 FCM-618 鱼头切割头机设置有一把圆盘刀进行去头切割,同时增加一组圆盘刀,通过限制刀片深度,对鱼体表面进行走刀,为后续深加工提供基础条件。

中国学者在对去头设备进行研究时,通过在去头设备上加装视觉传感器等智能设备,提高淡水鱼的切割效率和得肉率。李晨阳^[60]设计了一种自适应去头机(见图 10),该设备由自适应调整系统、夹持输送系统及切割系统组成,通过传感器获取鱼体位置信息,自适应调整鱼体位置,使切割系统按指定的切割轨迹对鱼体进行切割作业。

(2) 斩切刀鱼头切割装置:斩切刀鱼头切割装置由斩切刀、气缸、定位装置等组成,该装置通过传感器确定鱼体位置,控制气缸带动斩切刀进行往复运动,完成切头的动作。斩切刀鱼头切割装置的斩切刀可以根据鱼的种类定制刀片形状,从而合理地分配鱼身和鱼头的得肉率,但该去头方式属于间歇性切割动作,与圆盘刀去头方式相比,工作效率较低。为了提高往复斩切刀的切割质量,邹伟等^[61]通过定制不同刃口的斩切刀具(见图 11),探究不

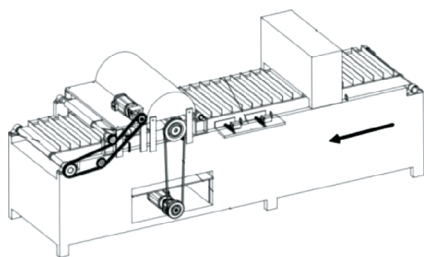
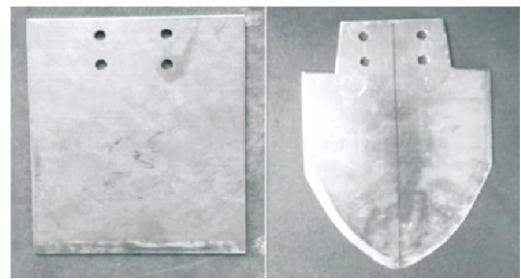


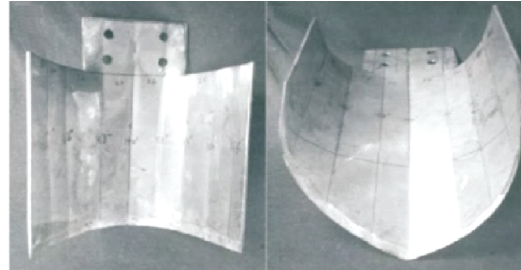
图 10 自适应去头机

Figure 10 Adaptive head removal machine



直刃平刀

尖刀



仿形平刀

仿形尖刀

图 11 4 种不同刃口结构刀图

Figure 11 Structural of four knives

同形状斩切刀具去头时的得肉率和去头率,结果表明采用经鱼头鲤盖骨外沿仿形设计的 U 型弧刃刀的鱼头切断面评分最高,平均采肉率为 75.6%,平均去头率为 91.0%。

3 淡水鱼前处理设备前沿技术应用

3.1 机器视觉识别技术应用

目前,在淡水鱼前处理设备的加工过程中,鱼体姿态的判断和调整多依靠人工作业,限制了前处理设备的加工效率,是淡水鱼前处理设备自动化、智能化生产需要克服的重大问题。通过在淡水鱼前处理加工设备中引入机器视觉识别技术,融合现有淡水鱼前处理工艺,从而替代前处理加工过程中人工作业的工序,是淡水鱼前处理设备迈向智能化的重要特征。一些科研团队通过应用视觉传感器,利用智能算法对采集的数据进行深度学习和分析,获取淡水鱼的种类、数量、形态、重量、位置等关键信息,形成自适应决策机制,自动控制前处理设备的执行机构,实现淡水鱼姿态调整、精准切割、品质监测等智能化加工^[62-63]。

3.1.1 淡水鱼姿态识别技术 淡水鱼的前处理加工过程中,去鳞、去头、去内脏等工序对淡水鱼的喂入姿态都有不同的要求,而淡水鱼在前处理加工的输送过程中,淡水鱼姿态的不确定性,是影响前处理加工效率的重要因素。目前,中国现有的淡水鱼定向输送技术大多采用机械式定向法,机械式定向法采用的定向结构简单,但淡水鱼头尾、腹背定向准确率仍存在误差。通过机器视觉来进行姿态识别,辅助机械结构进行淡水鱼头尾、腹背定向的输送技术,能够通过多次识别,有效提高淡水鱼定向输送过程中姿态调整的准确率和效率,保障淡水鱼在去头、去内

脏等工序的喂入姿势的准确。

刘雅琪^[64]研究淡水鱼鱼尾定向检测技术时,通过工业相机进行淡水鱼的图像采集,利用 MATLAB 软件和 Faster RCNN 算法对采集的鱼体图像进行分析处理,并对该淡水鱼鱼尾定向检测技术不断地进行训练,使检测系统进行深入学习;基于采集图像的颜色和形状特征对鱼尾特征进行匹配,完成淡水鱼的头尾位置精准定位。

3.1.2 淡水鱼精准切割技术 淡水鱼前处理设备在进行鱼头切割时,通常采用人工定位或者机械限位来确定切割的位置,由于鱼体形状、大小的差异,切割后的得肉率有较大差异,直接影响产品的品质。而综合运用机器视觉、智能控制等技术进行切割,能够实现鱼头精准切割;鱼头切割设备首先通过机器视觉对鱼体位置、外形等数据的采集,利用程序算法分析鱼体切割位置与重量分配的关系,确定切割轨迹,伺服电机控制系统接收到切割轨迹数据,控制执行机构实现对淡水鱼按切割轨迹精准切割,合理分配鱼头和鱼身的得肉率,保障前处理加工产品品质^[65-66]。

李木银^[67]通过采集淡水鱼在进行去头切割前的位置图像,使用软件计算切割时需要调整的位移,通过 PLC 控制系统自动调节鱼体位置,保障切割后得到的产品重量、大小基本一致。

3.2 自动监控系统应用

中国的淡水鱼前处理设备类型和样式较多,但大多数前处理设备均为出厂时预设固化了运行参数,无法在运行过程中进行实时调整,适应性较差;同时,由于现有前处理设备的原料喂入、设备转换都依赖人工,无法对淡水鱼产品的品质进行量化标准,导致最终淡水鱼前处理加工产品的品质参差不齐。此外,国内对淡水鱼前处理加工过程中的产品质量监测和淡水鱼前处理设备运行参数实时监控的研究较少,而国外已经形成成熟的水产品加工设备生产线,且设备集成度高,能够实现对每条鱼的加工状态监测,同时还具备设备运行参数检测、故障诊断、自动监控等功能,对生产效率和产品品质有着较大的提高^[68]。

3.2.1 物料加工状态检测技术 国内外对水产品前处理过程中的产品质量检测方式主要通过视觉传感器、电子舌等设备实时采集鱼体的各项机理特征数据,并建立产品品质数据库,通过软件进行计算分析,对每件加工产品的品质进行智能判断。

为了保障前处理过程的高质量生产,德国 BAADER 公司生产的 BADDER 144 型切割除脏机通过智能监控系统实时收集、分析、处理数据,判断内脏去除干净程度,实现去内脏过程的实时监测,确保剖杀去内脏环节高效准确。Shi 等^[69]基于机器视觉对罗非鱼瞳孔和鳃颜色变化进行系统分析,通过瞳孔和鳃的颜色参数与不同新鲜度

指标的相关性,利用图像算法对罗非鱼的新鲜度进行评估。张超等^[70]研制的基于机器视觉的喂入量实时监测设备,对罗非鱼加工喂入量进行实时监测,同时采集前处理设备的运行参数,通过喂入量的监测数据实时调整加工设备运行参数,保障加工设备正常运行,加工产品品质稳定。

3.2.2 设备运行状态监控技术 目前,中国诸多生产制造行业已经广泛应用设备运行状态监控技术,但在水产品加工领域还没有成熟的工业软件,而国外许多大型水产品加工企业已经将监控技术应用于自动化生产线,可以现场或远程监控设备的运行状态,并对实时监测的运行参数进行大数据分析,进而优化设备的运行状态,提升产品品质的同时降低人工成本^[71]。

德国 BAADER 公司研发了一款 Blogic4.0 监控系统,该系统能够对加工设备的运行参数进行实时监测,经过软件对监测数据进行分析,控制加工设备自动连续调整,优化加工设备的运行参数,该系统可以通过 PC 浏览器、智能手机等终端设备远程网络访问。

4 总结与展望

4.1 存在的问题

通过对比国内外的鱼类前处理设备的技术特点,中国现有前处理加工设备与国外先进设备相比仍存在明显差距。主要表现在以下两点:

(1) 淡水鱼前处理设备产品自动化有待提高。PLC 技术、变频器技术、传感技术、激光扫描技术、红外定位技术等在国外已经被普遍应用于水产品加工领域。而中国现有的淡水鱼前处理设备大部分仍以单机为主,虽然国内学者通过不断开发传感器的功能,创新加工设备的机械结构,优化加工工艺,促进了淡水鱼加工设备逐步向自动化发展,但淡水鱼前处理设备在系统构成和设备集成方面,仍存在成套设备研发技术缺乏,不同工序之间衔接设备性能有待提高,自动化监控软件不成熟的问题,尚未形成高效的自动化加工生产线^[73]。

(2) 淡水鱼前处理设备智能化程度有待加强。在日本、美国、德国等发达国家,现代化信息技术已经在水产品加工领域广泛运用,许多大型水产品加工企业在设备中使用伺服控制、机器视觉、智能算法等前沿技术,实现智慧感知、智能决策、故障诊断等功能,智能化程度高。近些年,国内的现代化信息技术发展迅速,但在水产品加工领域的应用还不够深入,现有的淡水鱼前处理设备在进行关键信息采集和分析时,缺乏对数据的深入挖掘和多元化分析。如何利用现代化信息技术提高淡水鱼前处理设备的智能化程度,从而提高生产效率,是中国淡水鱼前处理设备需要攻克的重大难点。

4.2 发展趋势

将前沿技术应用到淡水鱼前处理加工设备上,促进

中国淡水鱼加工企业的生产模式由劳动密集型向技术密集型转型。

(1) 集成淡水鱼前处理加工关键设备,搭建全自动化生产线。针对中国加工设备多为单机设备,功能简单,无法进行规模化生产的问题,研究加工设备之间自动耦合技术,将定向输送、去鳞、去头、去内脏等关键设备进行集成,并研发自动化控制系统,降低对人工的依赖,实现规模化的淡水鱼前处理加工。

(2) 建设现代化淡水鱼前处理加工设备,提升产品品质。针对现有淡水鱼前处理加工产品品质不稳定,存在食品安全隐患等问题,可以通过运用机器视觉、伺服控制等技术,实现淡水鱼的快速定向、精准切割去头等智能化控制,提高加工产品的稳定性;通过运用智能监测技术,实时监测去鳞、去内脏、去头效果,减少人工作业过程,降低加工过程中二次污染风险,避免食品安全隐患。

(3) 开发淡水鱼前处理加工设备智能化监控软件,提升企业的生产和管理效率。在淡水鱼前处理加工过程中,传感器采集的大量设备运行数据和物料状态数据靠人工进行分析处理难度较大,通过开发智能化监控系统,综合运用大数据分析、神经网络、自适应决策等信息化技术,辅助企业人员对设备运行状态和加工产品品质进行管理,减少人为的失误判断操作,从而优化企业的管理方法,提高企业的生产效率。

参考文献

- [1] 农业部渔业局编制. 中国渔业统计年鉴: 2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 17-36.
Compiled by Ministry of Agriculture, Fisheries Bureau. China fishery statistical yearbook: 2022 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022: 17-36.
- [2] 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. Development of preprocessor for fish processing[J]. Food & Machinery, 2010, 26(4): 84-86.
- [3] BIBWE B R, HIREGODAR S, NIDONI U R, et al. Development of meat-bone separator for small scale fish processing[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(4): 763-769.
- [4] 路光明. 西德 Baader 型鱼类加工处理机械[J]. 渔业机械仪器, 1979(4): 46-50.
LU G M. West German Baader type fish processing machinery[J]. Fishery Machinery and Instruments, 1979(4): 46-50.
- [5] FRANKLIN P O, THOMAS F. Fish skinner: 5184973 [P]. 1993-02-09.
- [6] PEGORARO G, LARS G. Apparatus for aligning and uniformly orienting fish: 5291983 [P]. 1994-03-08.
- [7] WHITE D J, SVELLINGEN C, NJC S. Automated measurement of species and length of fish by computer vision[J]. Fisheries Research, 2006(2/3): 80.
- [8] KOSMOWSKI M, GERLACH K. The new method of setting the small fishes' backs in the desired direction [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83: 99-105.
- [9] ARNARNSON H, KHODABANDEHLOO K. Fish processing using computer vision and robots[J]. Journal of Food Protection, 2016, 50(3): 70-84.
- [10] Arenco. VMK vision system[EB/OL]. (2016-12-22) [2022-11-01]. <http://www.arenco.com/fish/vmk-vision-system/>.
- [11] VIAZZI S, HOESTENBERGHE S V, GODDEERIS B M, et al. Automatic mass estimation of Jade perch *Scortum barcoo* by computer vision[J]. Aquacultural Engineering, 2015, 64: 42-48.
- [12] KONOVALOV D A, SALEH A, EFREMOVA D B, et al. Automatic weight estimation of harvested fish from images[C]// 2019 Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA). [S.l.]: IEEE, 2019: 1-7.
- [13] HWANG K H, CHOI J W. Machine vision based weight prediction for flatfish [C]// 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS). [S.l.]: IEEE, 2018: 1 628-1 631.
- [14] HUFSCHMIED P, FANKHAUSER T, PUGOVKIN D. Automatic stress-free sorting of sturgeons inside culture tanks using image processing [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2011, 27(2): 622-626.
- [15] Marel. Fish-trimming-flowline[EB/OL]. (2018-11-08) [2022-11-01]. <https://marel.com/fish-processing/systems-and-equipment/whitefish-groundfish/fillet-processing/trimming/fish-trimming-flowline/102>.
- [16] Baader. Production processes; BAADER food processing machinery[EB/OL]. (2019-05-26) [2022-11-01]. http://www.baader.com/en/products/logistix_solutions/production_processes/index.html#further_p.
- [17] AZARMDDEL H. 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.
- [18] NICHOLAS B, DYLAN K, JESSE E, et al. Applications of deep convolutional neural networks to predict length, circumference, and weight from mostly dewatered images of fish[J]. Ecology and Evolution, 2020, 10(17): 9 313-9 325.
- [19] MONKMAN G G, HYDER K, KAISER M J, et al. Using machine vision to estimate fish length from images using regional convolutional neural networks [J]. Methods in Ecology and Evolution, 2019, 10(12): 2 045-2 056.
- [20] DAMANHURI N S, ZAMRI M F M, OTHMAN N A, et al. An automated length measurement system for tilapia fish based on image processing technique[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1 088(1): 012049.
- [21] LUBICH C C F, AGUIAR-SANTOS J, FREITAS C E C, et al. Length-weight relationship of 16 fish species from the Negro river basin (Amazonas state, Brazil)[J]. Journal of Applied Ichthyology, 2020, 37(2): 342-346.

- [22] AMAYA Á, MIQUEL P, IGNACIO A C, et al. Image-based, unsupervised estimation of fish size from commercial landings using deep learning[J]. ICES Journal of Marine Science, 2019, 77(4): 1 330-1 339.
- [23] 雷树德. 小型剖鱼机的研制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009: 18-38.
LEI S D. Development of small fish cutting machine[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009: 18-38.
- [24] 王平权. 鲜鱼去头去脏机的设计[J]. 粮油加工与食品机械, 1990(5): 27-29.
WANG P Q. The design of fresh fish head and dirt removal machine[J]. Grain and Oil Processing & Food Machinery, 1990(5): 27-29.
- [25] 赵正龙. 鲢鱼的机械化加工[J]. 渔业现代化, 2005(3): 36-37.
ZHAO Z L. Mechanized processing of dace fish [J]. Fishery Modernization, 2005(3): 36-37.
- [26] 常永胜. 大宗淡水鱼前处理加工生产线的研发[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015: 9-20.
CHANG Y S. Research and development of pretreatment and processing line for bulk freshwater fish [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015: 9-20.
- [27] 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: 7-47.
LI R J. Research on the application of special fish scale-removing and viscera processing machine[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015: 7-47.
- [28] 陈庆余, 沈建, 郑晓伟, 等. 自识别鱼体腹背朝向的鱼类去内脏加工智能化设备及方法: CN112471233B[P]. 2021-11-30.
CHEN Q Y, SHEN J, ZHENG X W, et al. Intelligent equipment and method for fish gutting processing with self-recognition fish body abdominal and dorsal orientation: CN112471233B[P]. 2021-11-30.
- [29] 陈艳, 胡志刚, 李木银. 一种基于机器视觉的淡水鱼鱼体在线去头尾及分拣系统: CN212279695U[P]. 2021-01-05.
CHEN Y, HU Z G, LI M Y. An online removal and sorting system based on machine vision: CN212279695U[P]. 2021-01-05.
- [30] 陈庆余, 欧阳杰, 周春生. 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.
CHEN Q Y, OUYANG J, ZHOU C S. Chinese freshwater fish pre-treatment processing technology research progress[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2018, 46(21): 25-28, 41.
- [31] 万鹏, 郭三琴, 杨俊, 等. 淡水鱼水平往复振动头尾定向输送方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 40-48.
WAN P, GUO S Q, YANG J, et al. The head and tail directional transportation method of horizontal reciprocating vibration of freshwater fish [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(4): 40-48.
- [32] 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 experiment of ventral and dorsal directional device for freshwater fish [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(6): 28-35.
- [33] 张敏. 一种鱼类有序排列装置: CN105752659A[P]. 2016-07-13.
ZHANG M. An orderly arrangement device for fish: CN105752659A[P]. 2016-07-13.
- [34] 单慧勇, 张程皓, 李晨阳, 等. 鱼加工生产线头尾定向调理上料系统设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2021, 28(4): 105-119.
SHAN H Y, ZHANG C H, LI C Y, et al. Design and experiment of feeding system for directional conditioning of thread head and tail in fish processing production[J]. Chinese Journal of Agricultural Mechanization, 2021, 28(4): 105-119.
- [35] 丁安子, 吴文锦, 汪兰, 等. 一种输送中鱼体姿态调整装置及方法: CN112374101B[P]. 2022-03-15.
DING A Z, WU W J, WANG L, et al. The utility model relates to a fish body attitude adjustment device and method in conveying: CN112374101B[P]. 2022-03-15.
- [36] 吴文锦, 丁安子, 汪兰, 等. 定向调整装置、鱼类生产线姿态调整设备及方法: CN112374098A[P]. 2021-02-19.
WU W J, DING A Z, WANG L, et al. Orientation adjustment device, attitude adjustment equipment and methods for fish production line: CN112374098A[P]. 2021-02-19.
- [37] 向云鹏. 淡水鱼头尾振动定向规律与试验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 12-38.
XIANG Y P. Research on head and tail vibration orientation law and experiment of freshwater fish [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016: 12-38.
- [38] 向云鹏, 谭鹤群, 万鹏, 等. 白鲢在振动平台上的头尾定向规律研究[J]. 华中农业大学学报, 2017, 36(1): 130-138.
XIANG Y P, TAN H Q, WAN P, et al. Study on the law of head and tail orientation of silver carp on vibrating platform[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2017, 36(1): 130-138.
- [39] BRUET B J, SONG J, BOYCE M C, et al. Materials design principles of ancient fish armour[J]. Nature Materials, 2008, 7(9): 748-756.
- [40] 段婷婷, 郑威, 黄玉松. 鱼鳞的结构及其仿生材料[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2017, 38(4): 288-292.
DUAN T T, ZHENG W, HUANG Y S. Research progress of the structure and biomimetic materials of scales[J]. Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition), 2017, 38(4): 288-292.
- [41] 刘鹏, 汪俊文, 朱德举. 草鱼鳞片的多级结构及力学性能[J]. 复合材料学报, 2016, 33(3): 657-665.
LIU P, WANG J W, ZHU D J. Hierarchical structure and mechanical properties of scales from grass carp[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(3): 657-665.
- [42] 郭子淳, 黄家桢, 王水传, 等. 淡水鱼头尾及腹背自动定向方法[J]. 农业机械学报, 2022, 53(S2): 141-151.
GUO Z C, HUANG J Y, WANG S C, et al. Automatic orientation method of head, tail and abdomen and back of freshwater fish[J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(S2): 141-151.
- [43] 陈庆余, 郑晓伟, 沈建, 等. 基于卧式多级滚筒轴式推进器的智控鱼类去鳞设备及方法: CN112956522B[P]. 2022-05-27.
CHEN Q Y, ZHENG X W, SHEN J, et al. Equipment and method of intelligent control fish de-scaling based on horizontal multistage roller shaft propeller: CN112956522B[P]. 2022-05-27.
- [44] 郑晓伟, 陈庆余, 张军文. 多段滚筒式罗非鱼高效低损去鳞工艺[J]. 水产学报, 2021, 45(7): 1 101-1 110.
ZHENG X W, CHEN Q Y, ZHANG J W. High efficiency and low loss of scaling technology for multi-stage drum Tilapia[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(7): 1 101-1 110.
- [45] 张可维, 张家凡, 马明, 等. 一种鱼体去鳞剖切装置: CN114982810A[P]. 2022-09-02.
ZHANG K W, ZHANG J F, MA M, et al. The utility model relates to a descaling and cutting device for fish body: CN114982810A[P]. 2022-09-02.
- [46] 杨瑞莺, 黄良杰. 一种用于水产品鱼类加工的自动化去鳞装置: CN217242457U[P]. 2022-08-23.
YANG R Y, HUANG L J. An automatic descaling device for fish processing of aquatic products: CN217242457U[P]. 2022-08-23.
- [47] STEEN. Fish processing machinery products[EB/OL]. (2020-10-05)[2022-11-01]. https://www.steen.be/zh/product/st521-sam/#_pll_switcher.
- [48] 陈海滨, 王鹏, 张继明, 等. 一种水射流清除鱼鳞机: CN107027865A[P]. 2017-08-11.
CHEN H B, WANG P, ZHANG J M, et al. A water jet removing fish scale machine: CN107027865A[P]. 2017-08-11.
- [49] 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 scale-removing equipment and its effect on the structure of tilapia fish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(22): 210-213, 239.
- [50] 渔客机械. 高压水去鳞机 FCM-658 [EB/OL]. (2020-10-09)[2022-11-01]. <https://www.xtjx.com/show.php?cid=15&id=57>.
Fisher machinery. High pressure water descaling machine FCM-658[EB/OL]. (2020-10-09)[2022-11-01]. <https://www.xtjx.com/show.php?cid=15&id=57>.
- [51] 张军文, 陈庆余, 沈建, 等. 开背大黄鱼去脏用鱼体仿形料槽设计研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(7): 63-67.
ZHANG J W, CHEN Q Y, SHEN J, et al. Study on the design of fish body imitation material tank for filth removal of large yellow croaker[J]. Chinese Journal of Agricultural Mechanization, 2019, 40(7): 63-67.
- [52] 陈庆余, 沈建, 丁建乐, 等. 一种开背加工大黄鱼的特形去脏滚刀装置: CN104351308B[P]. 2016-04-06.
CHEN Q Y, SHEN J, DING J L, et al. The utility model relates to a special dirty hob device for processing large yellow croaker: CN104351308B[P]. 2016-04-06.
- [53] 陈行. 小型自动化淡水鱼前处理机的研制[D]. 成都: 成都大学, 2021: 64-72.
CHEN H. Small freshwater fish pre-treatment automation development[D]. Chengdu: Chengdu University, 2021: 64-72.
- [54] 陈丽红. 一种快速剖鱼去内脏装置: CN206453096U[P]. 2017-09-01.
CHEN L H. A fast gutting device for fish: CN206453096U[P]. 2017-09-01.
- [55] 夏伟伟, 孟庆国, 张畅原, 等. 淡水鱼往复式去脏装置设计与工艺优化[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 124-129.
XIA W W, MENG Q G, ZHANG C Y, et al. Design and process optimization of reciprocating device for cleaning freshwater fish [J]. Food & Machinery, 2021, 37(1): 124-129.
- [56] 张程皓. 淡水鱼开腹去脏与切片加工机设计研究[D]. 天津: 天津农学院, 2021: 20-54.
ZHANG C H. Freshwater fish open to dirty and slicing machine design research[D]. Tianjin: Tianjin Agronomy Courtyard, 2021: 20-54.
- [57] 王选. 淡水鱼剖切加工设备的试验分析与设计[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 22-33.
WANG X. Test analysis and design of freshwater fish cutting processing equipment [D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 22-33.
- [58] 张旭, 温保岗, 马骏骁, 等. 一种鱼类去脏清洗装置: CN111184055B[P]. 2021-04-30.
ZHANG X, WEN B G, MA J X, et al. A dirty cleaning device for fish: CN111184055B[P]. 2021-04-30.
- [59] 周小文, 彭正宁. 一种大批量鱼制品生产加工去内膜脏层装置: CN114403197A[P]. 2022-04-29.
ZHOU X W, PENG Z N. The utility model relates to a device for removing inner membrane and dirty layer for mass production and processing of fish products: CN114403197A[P]. 2022-04-29.
- [60] 李晨阳. 鲶鱼电击麻醉系统与自适应去头机的设计研究[D]. 天津: 天津农学院, 2021: 54-79.
LI C Y. Design and research of catfish electroshock anesthesia system and self-adaptive decapitation machine[D]. Tianjin: Tianjin Agronomy Courtyard, 2021: 54-79.
- [61] 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. Freshwater fish continuous to end device development[J]. Food & Machinery, 2018 (4): 107-111.
- [62] 袁培森, 宋进, 徐焕良. 基于残差网络和小样本学习的鱼图像识别[J]. 农业机械学报, 2022, 53(2): 282-290.
YUAN P S, SONG J, XU H L. Fish image recognition based on residual network and small sample learning[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(2): 282-290.
- [63] 黄文章. 基于机器视觉的鱼尾切除装置研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 33-55.
HUANG W Z. The tail resection device based on machine vision

- research[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 33-55.
- [64] 刘雅琪. 基于机器视觉的鱼头鱼尾定位技术的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 49-54.
- LIU Y Q. Fish head fish tail positioning technology based on machine vision research[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 49-54.
- [65] 李楷模, 文跃兵. 视觉引导淡水鱼自动去头尾系统关键技术[J]. 食品与机械, 2014, 30(5): 141-143.
- LI K M, WEN Y B. Key technology of vision guided automatic decapitation system for freshwater fish[J]. Food & Machinery, 2014, 30(5): 141-143.
- [66] 李晨阳, 单慧勇, 张程皓, 等. 鲶鱼自适应去头加工机设计与实现[J]. 食品与机械, 2022, 38(8): 115-121.
- LI C Y, SHAN H Y, ZHANG C H, et al. Design and implementation of catfish adaptive decapitation processing machine[J]. Food & Machinery, 2022, 38(8): 115-121.
- [67] 李木银. 基于机器视觉的淡水鱼切头去尾装置及控制技术研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2021: 10-30.
- LI M Y. Research on head and tail cutting device and control technology of freshwater fish based on machine vision[D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2021: 10-30.
- [68] 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.
- [69] SHI C, QIAN J P, HAN S, et al. Developing a machine vision system for simultaneous prediction of freshness indicators based on tilapia (*Oreochromis niloticus*) pupil and gill color during storage at 4 °C [J]. Food Chemistry, 2018, 243: 134-140.
- [70] 张超, 黄剑彬, 成芳. 罗非鱼初加工喂入量监测与运行参数在线控制[J]. 农业工程学报, 2021, 37(13): 46-54.
- ZHANG C, HUANG J B, CHENG F. Monitoring and on-line control of tilapia feeding quantity in primary processing [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(13): 46-54.
- [71] 许海波, 赵锡和, 陈远辉, 等. 鱼初加工生产线自动化控制系统设计与研发[J]. 现代农业装备, 2022, 43(2): 43-48.
- XU H B, ZHAO X H, CHEN Y H, et al. Design and development of automatic control system for fish primary processing line[J]. Modern Agricultural Equipment, 2022, 43(2): 43-48.
- [72] 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.

(上接第 193 页)

- [10] 王丽波, 徐雅琴, 杨昱, 等. 南瓜籽油的水酶法提取工艺及产品的理化性质[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 383-387.
- WANG L B, XU Y Q, YANG Y, et al. Pumpkin seed oil extraction using aqueous enzymatic technology and physicochemical properties of the oil[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(10): 383-387.
- [11] NADAR S S, RAO P, RATHOD V K, et al. Enzyme assisted extraction of biomolecules as an approach to novel extraction technology: A review[J]. Food Research International, 2018, 108: 309-330.
- [12] YUSOFF M M, GORDON M H, NIRANJAN K. Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 41(1): 60-82.
- [13] KUMAR S, PRASAD S R, BANERJEE R, et al. Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds [J]. Chemistry Central Journal, 2017, 11(1): 1-7.
- [14] SUI X N, JIANG L Z, LI Y, et al. The research on extracting oil from watermelon seeds by aqueous enzymatic extraction method [J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4 673-4 680.
- [15] 刘艳兰, 刘爽, 林本平, 等. 米糠膳食纤维纤维素酶水解工艺优化及其功能特性研究[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 6-11.
- LIU Y L, LIU S, LIN B P, et al. Optimization of cellulase hydrolysis process of rice bran dietary fiber and its functional properties[J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 6-11.
- [16] MOHAMMAD B, KARAMATOLLAH R, JOSE A, et al. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of oil from iranian wild almond [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2015, 92(7): 985-992.
- [17] LIU J J, GASMALLA M, LI P F, et al. Enzyme-assisted extraction processing from oilseeds: Principle, processing and application[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 35: 184-193.
- [18] LI Y, JIANG L Z, SUI X N, et al. Optimization of the aqueous enzymatic extraction of pine kernel oil by response surface methodology[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4 641-4 652.
- [19] NESFU N, OSMAN H, MOHAMAD S, et al. The effect of the aqueous enzymatic extraction method towards momordica charantia seed oil and its lignocellulosic biomass [J]. Walailak Journal of Science & Technology, 2021, 18(6): 1-13.
- [20] 姚宏亮, 蒋胜慧, 刘成花, 等. 樱桃仁油的提取工艺研究及其脂肪酸成分分析[J]. 粮食与食品工业, 2012, 19(1): 30-32.
- YAO H L, JIANG S H, LIU C H, et al. Analysis on the extraction of cherry seed oil and compositions of fatty acids[J]. Cereal and Food Industry, 2012, 19(1): 30-32.
- [21] 张玲丽, 卢奎. 樱桃仁油的理化性质及成分分析[J]. 中国油脂, 2009, 34(9): 74-77.
- ZHANG L L, LU K. Physicochemical properties and component analysis of cherry kernel oil[J]. China Oils and Fats, 2009, 34(9): 74-77.