

对虾腹背定向系统设计与试验

熊 师¹ 李 璐² 董 鑫² 李 阳² 方宪法² 王德成¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083;

2. 中国农业机械化科学研究院土壤植物机器系统技术国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 针对对虾前处理的定向环节依赖人工操作、未实现自动化作业的问题,以南美白对虾为研究对象,提出了一种分流式腹背定向方法。该定向方法基于对虾腹背轮廓曲线斜率差异的特征判断腹背朝向,然后通过分选的方式实现腹部朝前和背部朝前两类对虾的分流,达到腹背定向的目的。理论分析表明,采用双行光电检测的方法可以判断对虾的腹背朝向,通过控制对虾的输送间隙可以分选对虾,最终实现对虾的腹背分流定向。根据腹背定向方法,设计了对虾腹背定向系统,完成了系统的硬件搭建与软件开发。系统硬件主要由光电对射传感器、输入输出模块、计算机和分流机构组成。试验结果表明,针对大型规格和中型规格对虾,定向系统的平均检测正确率分别为96.9%和98.8%,定向系统的平均定向成功率分别为95.4%和97.5%。

关键词: 对虾; 定向方法; 定向系统; 检测正确率; 定向成功率

中图分类号: S985.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2021)S0-0449-08

Design and Experiment of Orientation System of Abdomen and Back for Shrimp

XIONG Shi¹ LI Lu² DONG Xin² LI Yang² FANG Xianfa² WANG Decheng¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. State Key Laboratory of Soil-Plant-Machine System Technology,
Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Due to the irregular shape of shrimp, the automatic orientation is difficult. In order to solve the problem that the orientation link of shrimp pretreatment still relies on manual operation and does not realize automatic operation, taking *Penaeus vannamei* as the research object, a shunting orientation method of abdomen and back for deheading shrimp was proposed. This method was a directional way of detection before sorting. In principle, it was different from the orientation method relying on friction and gravity. According to the principle that there were differences in the slope of the abdominal and dorsal curve of shrimp, the shunting orientation method of abdomen and back detected the ventral and dorsal orientation. Then the shrimp with different ventral and dorsal orientations were selected to achieve the same ventral and dorsal orientations. Theoretical analysis showed that the two-line photoelectric sensing method can be used to judge the ventral and dorsal orientation of shrimp. By controlling the transportation gap of shrimp, shrimp can be sorted, and finally the orientation of the abdomen and back of shrimp can be realized. According to the orientation method of abdomen and back for shrimp, the orientation system of abdomen and back for shrimp was designed, and the hardware construction and software development of the system were completed. The hardware of the system was mainly composed of photoelectric sensor, input and output module, computer and shunt mechanism. The test results of the detection accuracy and the orientation success rate showed that the average detection accuracy of large shrimp was 96.9% and the average detection accuracy of medium shrimp was 98.8%. And the average orientation success rate of large shrimp was 95.4% and the average orientation success rate of medium shrimp was 97.5%.

Key words: shrimp; orientation method; orientation system; detection accuracy; orientation success rate

收稿日期: 2021-06-09 修回日期: 2021-09-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0700904, 2019YFD0901801)

作者简介: 熊师(1994—),男,博士生,主要从事机械设计及理论研究, E-mail: xiongsh565@126.com

通信作者: 方宪法(1963—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业机械化研究, E-mail: fangxf@caams.org.cn

0 引言

对虾的前处理流程主要包括:清洗、分级、排序定向、去头、开背、去肠线、剥壳^[1-6]。实现机械化和自动化的前处理对提高虾加工水平具有重要意义^[7-9]。排序定向是去头、开背、去肠线和剥壳等工序的前提,目前夹具转盘式对虾剥壳机和对虾开背去肠机均需要对虾的头尾与腹背保持一定的方向上料^[10-11]。由于对虾不规则的外形特征导致机械化定向困难,目前这一定向喂入工序仍然依靠人工完成,劳动强度大,效率低。因此研究对虾的自动定向技术、开发对虾定向装备是提高对虾前处理效率和自动化水平的关键。

对虾定向包括头尾定向和腹背定向两部分,目前国内外在虾定向技术方面的研究较少。张秀花等^[12]进行了南美白对虾摩擦特性的基础性研究,通过试验得到了对虾不同部位在不同材料上滑动的摩擦规律,为定向原理与装置研究提供了数据。赵庆龙等^[13]根据对虾的体型特征和摩擦特性,设计了一种对辊式对虾定向机,通过辊轴直径的变化以及辊面上凸棱和凹槽的配合实现头朝前背朝下的定向。赵玉达等^[14]通过 2 个直径不同的对辊旋转产生差速的方式进行腹背定向。张秀花等^[15]设计了一种对虾头尾与背腹定向装置,分别利用倾斜 V 形滑槽和曲面滑道实现头尾定向和背腹定向。上述对虾定向技术主要处于理论设计与试验研究阶段,目前在虾定向方面未见到有实际应用的报道。定向技术在鱼类加工方面已有较多研究^[16-20],可为对虾定向方法研究提供参考。

针对对虾定向环节依赖人工定向喂料的问题,本文以去头南美白对虾为研究对象,在对虾头尾定向输送装置的基础上^[21],研究对虾腹背定向方法,开展对虾自动定向系统的设计与试验研究,以期为实用性对虾定向装备的设计提供技术支撑。

1 对虾腹背定向方法

去头对虾在侧面方向所成的形状近似为月牙形,对虾两个侧面的外形结构基本一致,如图 1 所示。观察发现,腹部除了有一些凸出的腹足外,与背部在轮廓上没有明显的特征区分。由于腹足存在不同姿态,图 1a 中腹足伸出,可以作为背部与腹部的轮廓区分特征。但图 1b 中腹足贴合腹部,几乎无凸出,腹部与背部轮廓相似,此时腹足轮廓无法作为背部与腹部的区分特征。因此对虾的腹部与背部在外形结构上不具备明显且稳定的区别,依靠机械结构的变化不易实现腹部与背部的区分。

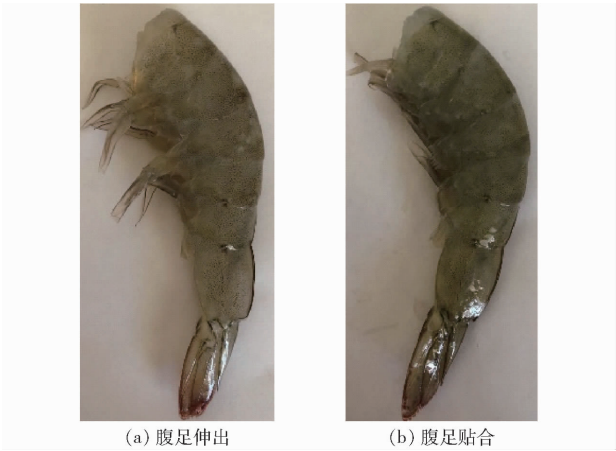


图 1 对虾腹足姿态

Fig. 1 Pleopod posture of shrimp

对虾在头尾定向输送装置中可实现头朝上尾朝下的定向姿态,如图 2 所示。完成头尾定向后的对虾沿同一方向输送,将输送方向定义为前方,对虾会出现腹部朝前或背部朝前两种状态。如图 3 所示,右侧对虾腹部朝前,左侧对虾背部朝前。若以输送方向为正方向,由于虾体近似为月牙外形,腹部朝前对虾的轮廓曲线的斜率为负,背部朝前对虾的轮廓曲线的斜率为正。因此对虾在头尾定向后的输送过程中轮廓曲线的斜率存在明显区别。



图 2 对虾头尾定向姿态

Fig. 2 Head and tail orientation posture of shrimp

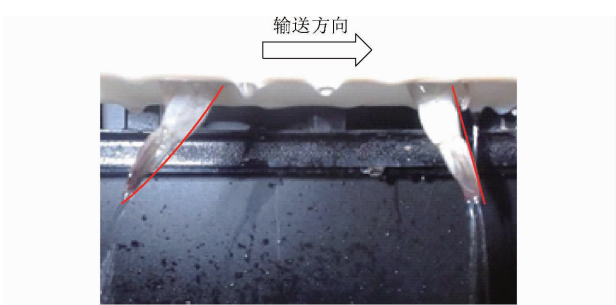


图 3 对虾腹背姿态

Fig. 3 Ventral and dorsal posture of shrimp

根据上述分析,提出一种分流式腹背定向方法。该方法根据对虾腹背轮廓曲线斜率差异的特征检测腹背朝向,然后通过分选的方式实现腹部朝前和背部朝前两类对虾的分流,达到腹背定向的目的。

目前对虾腹背定向技术方面的研究主要根据对虾腹背摩擦特性不同和重心分布不均的特点,通过

设计不同的机械结构使对虾在转动或下滑过程中自动调整腹背方向。这种方法在腹背定向效果上具有不确定性。本文提出的分流式腹背定向方法在原理和设计上与前人研究不同,通过先检测后分选的方式可以实现流水线式的定向分流,在定向准确性方面具有优势。

2 腹背定向机理分析

对虾腹背检测主要通过在同一竖直平面上设置 2 套上下平行排列的光电对射传感器,形成双行检测线,如图 4 所示。对虾经过检测带时会先后遮挡激光信号,通过感知同一时间传感器光电信号的有无可以实现背部和腹部的检测,判断方法如下:传感器 1 信号被遮挡,传感器 2 信号未被遮挡,则对虾背部朝前;传感器 2 信号被遮挡,传感器 1 信号未被遮挡,则对虾腹部朝前。

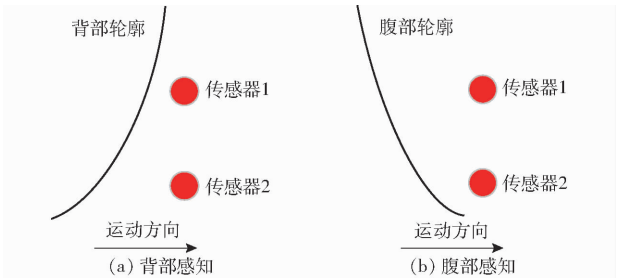


图 4 双行光电检测原理图
Fig. 4 Principle diagram of double line photoelectric detection

根据检测结果进行对虾腹背朝向的分选,分选原理如图 5(图中, h 表示对虾最大厚度, k 表示输送间隙)所示。对虾在输送过程中由支撑轨支撑,当 $k < h$ 时对虾保持稳定,当 $k > h$ 时对虾从间隙中掉落。根据该结构特点,可通过控制对虾输送间隙实现对虾的分选。当检测结果为背部朝前时,分选轨的输送间隙 k 增大,对虾经过时从上支撑轨掉落到下支撑轨,然后沿着下支撑轨反向输送;当检测结果为腹部朝前时,输送间隙 k 恢复至正常值,对虾继续在上支撑轨的支撑下向前输送。通过该分选方法,对虾被分流为 2 个输送方向,每个输送方向上的对虾腹背朝向保持一致,从而实现对虾的腹背定向。

3 腹背定向系统设计

3.1 结构与原理

对虾腹背定向系统硬件由 2 套光电对射传感器、输入输出模块、分流机构和计算机组成,如图 6 所示。分流机构由电磁铁、分选轨、正向滑轨和反向滑轨组成。光电对射传感器接收激光信号并转换为开关量信号传输至输入输出模块,输入输出模块将

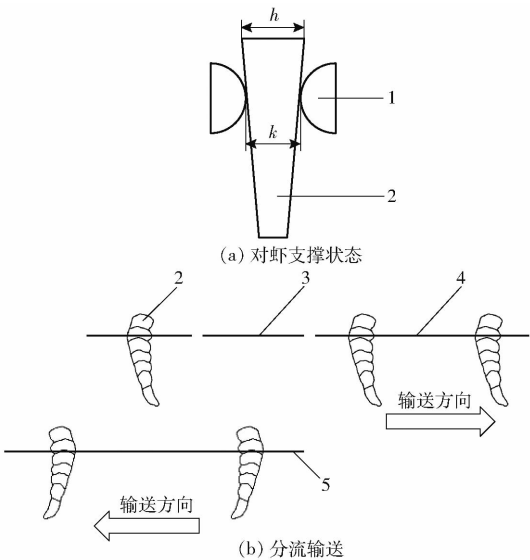


图 5 对虾分选原理图

Fig. 5 Schematics of shrimp sorting

1. 支撑轨 2. 对虾 3. 分选轨 4. 上支撑轨 4. 下支撑轨

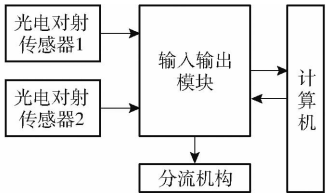


图 6 定向系统硬件结构框图

Fig. 6 Hardware structure of directional system

开关量转换为数字量然后发送至计算机。计算机进行数据分析与判断后将控制指令发送至输入输出模块,模块根据指令控制分流机构运动,使腹背朝向不同的两种对虾分别向不同方向输送。

在对虾头尾定向输送装置上安装对虾腹背定向系统,搭建对虾腹背定向试验台,如图 7 所示。该定向试验台主要由喂料口、对辊、输送推板、光电对射传感器、电磁铁、分选轨、正向滑轨和反向滑轨组成。2 套光电对射传感器安装于对辊下方,分选机构置于对辊末端。各轨道间隙与对辊间隙保持一致。电

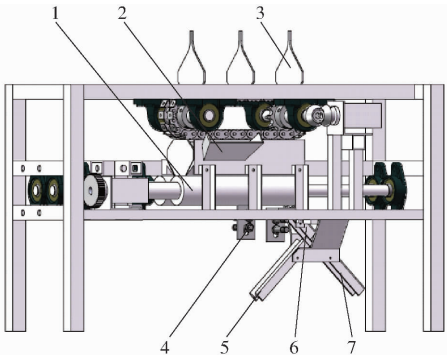


图 7 对虾腹背定向试验台

Fig. 7 Shrimp orientation test bed

1. 对辊 2. 喂料口 3. 输送推板 4. 光电对射传感器 5. 反向滑轨 6. 分选轨 7. 正向滑轨

磁铁的推杆与分选轨连接。

对虾腹背定向试验台的定向工序是先头尾定向然后再腹背定向。2 个定向辊反向转动,去头对虾从喂料口滑入对辊间隙中,在重力作用下自动调整至头上尾下的姿态。头尾定向后的对虾在输送推板的推动下向前输送。对虾经过双行光电检测线时将先后对 2 条光线产生遮挡,系统检测到对虾腹背朝向后,控制分流机构进行分选。当对虾背部朝前时,电磁铁通电吸合,分选轨的间隙增大,对虾从对辊末端落入反向滑轨间隙中,然后沿着反向滑轨下滑。当对虾腹部朝前时,电磁铁断电复位,分选轨间隙恢复到与对辊间隙一致的状态,对虾从对辊末端落入分选轨间隙中,然后沿着分选轨下滑至正向滑轨,实现对虾腹背朝向的分流定向。

3.2 硬件设计

3.2.1 选型

光电对射传感器是检测对虾腹背朝向的关键元件,本系统选取 E3F-20C/L 型激光对射光电开关。该传感器由激光发射端和激光接收端组成,如图 8a 所示。光电开关的工作电压为 6~36 V DC,三极管类型为 NPN 型,动作状态为 NO,感应距离为 0.3~20 m。该光电开关可检测 1 mm 以上非透明物体,响应时间不超过 2 ms,适应对虾的检测。



图 8 硬件选型
Fig. 8 Hardware selection

输入输出模块负责数据采集与通断控制,需要具备开关量输入和开关量输出的功能,因此选取 HY624M 型综合隔离输入输出模块,如图 8b 所示。该模块具有 6 路开关量信号输入、2 路继电器接点输出的能力,通过 RS485 通信接口实现输入信号的采集和开关量输出的控制。模块的输入电压规格为 DC 24 V,与计算机之间的通信执行 MODBUS-RTU 通信规约。

电磁铁是定向系统的执行部件,需要驱动分选轨往复运动实现分选轨间隙的变化,因此选取 EML-0630B 型推拉式电磁铁,如图 8c 所示。电磁铁的工作电压为 24 V,最大行程为 10 mm,保持吸力为 8 N,

具有响应快、行程可调、吸力大的优点。

3.2.2 传感器高度

光电对射传感器布置于定向辊下方,传感器距离定向辊的高度过大会导致对虾无法被检测,因此传感器高度影响对虾检测的准确性。由于对虾大小和姿态不同,可供检测的高度区域也不同,因此需要根据头尾定向后对虾的实际参数确定传感器的合适高度。

分析图 1 的对虾图像发现,对虾的第 1 节至第 5 节腹部均存在腹足。凸出的腹足会干扰腹部朝前虾的检测准确度,可能出现检测结果为背部朝前的错误情况。为避免误检,需要将对虾第 6 节至尾节所处的高度设置为可检测区,因此传感器发射的激光束需置于对虾第 6 节至尾节所处的高度区域。

以去头南美白对虾为对象,对头尾定向后的对虾进行参数测量,测量方法如图 9 所示。图中, L_1 表示定向辊辊心至对虾尾部的高度, L_2 表示定向辊辊心至对虾第 6 节的高度, h_1 表示虾体头部厚度。

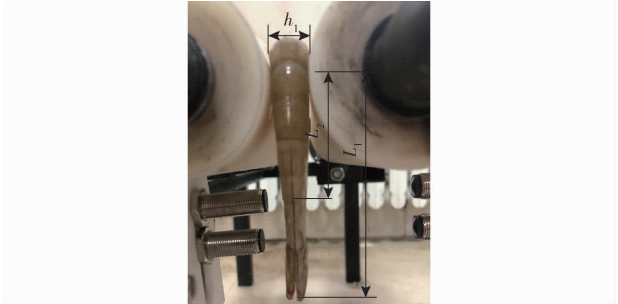


图 9 对虾参数测量方法
Fig. 9 Measurement method of shrimp parameters

对虾定向系统的设计针对中大型对虾,因此测量中型虾时对辊间隙设置为 10 mm,测量大型虾时对辊间隙设置为 13 mm。选取中型规格对虾和大型规格对虾各 50 只作为测量样本,头尾定向后的测量结果如表 1 所示。

表 1 对虾参数测量结果
Tab.1 Measurement results of shrimp parameters

对虾规格	mm		
	头部厚度	辊心至对虾尾部高度	辊心至对虾第 6 节高度
中型	12 ± 1.1	77.5 ± 4.5	39 ± 3.0
大型	15 ± 1.6	84.5 ± 5.5	40 ± 4.0

由表 1 可得,中型规格对虾的可检区域为距离辊心 42~73 mm 的高度区,大型规格对虾的可检测区域为距离辊心 44~79 mm 的高度区。综合可知适合大中型对虾的可检测区域为 44~73 mm 的高度区,因此 2 个光电对射传感器的安装高度分别设置在距离对辊辊心 48 mm 和 68 mm 的位置。

3.2.3 分流机构

分流机构主要通过改变对虾输送间隙的方式实现对虾的分选,因此分流机构设计为双轨式结构。如图 10 所示,滑轨之间形成一定间隙的平行双轨,双轨间隙与定向辊间隙相同。分选轨与正向滑轨 2 组成活动双轨,正向滑轨和反向滑轨均为固定双轨。电磁铁可驱动分选轨左右移动,通过调整间隙进行对虾分流。根据对虾厚度参数设定分选轨的移动距离为 8 mm。双轨倾斜设置有利于对虾沿轨道下滑。轨道均采用尼龙材料制成,根据前期试验得到双轨与水平方向的夹角为 50°时可实现对虾的顺利下滑。

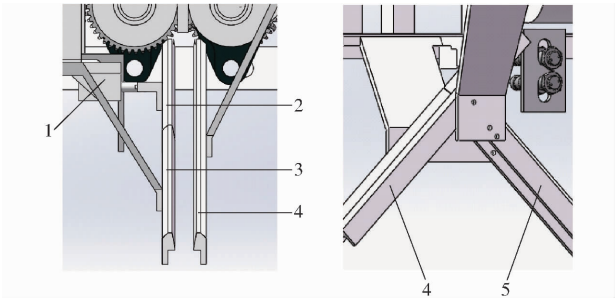


图 10 分流机构

Fig. 10 Separation mechanism

1. 电磁铁 2. 分选轨 3. 正向滑轨 1 4. 正向滑轨 2 5. 反向滑轨

3.3 软件设计

3.3.1 程序设计

对虾腹背定向系统的程序设计主要为实现传感器数据的获取、判断以及电磁铁状态的控制,因此根据系统总体结构和功能要求设计的程序流程如图 11 所示。通过读取 RS485 总线数据可获取光电对射传感器的实时信息,然后根据腹背定向方法判断对虾的状态。当判断为背部朝前对虾时,程序向输入输出模块发送电磁铁通电指令;当判断为腹部朝前对虾时,程序向输入输出模块发送电磁铁断电指令;其他情况时,程序向输入输出模块发送电磁铁状态保持指令。通过循环此过程,实现对虾姿态的实时检测和控制。

3.3.2 软件开发

根据程序流程,采用 LabVIEW 2017 软件环境进行对虾腹背定向测控系统软件的开发,软件界面如图 12 所示。软件在计算机上运行,通过串口通信的方式与输入输出模块进行数据交互。软件具备通信参数设置、对虾姿态检测、电磁铁状态监控和数据统计等功能。

4 试验

4.1 试验条件

为了测试对虾腹背定向系统的效果,于 2021 年

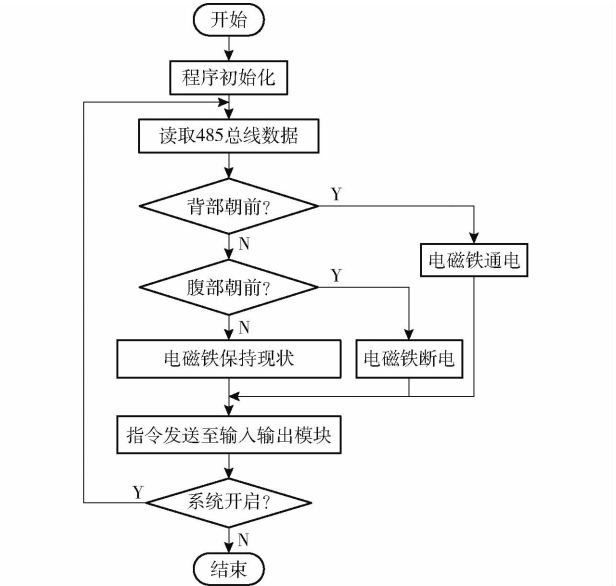


图 11 程序流程图

Fig. 11 Program flow chart



图 12 软件界面

Fig. 12 Software interface

3 月进行了试验,试验台如图 13 所示。试验对象选择南美白对虾,通过称量分选出中型和大型两种规格的对虾,所有对虾均进行人工去头处理。

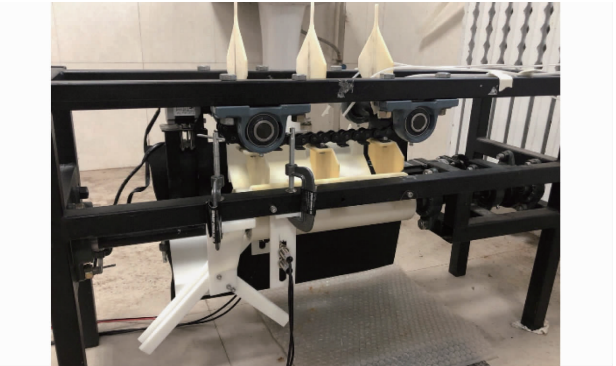


图 13 定向试验台

Fig. 13 Directional test bed

4.2 试验指标与方法

腹背朝向检测准确程度和定向成功率是评价定向系统可靠性和性能的主要指标,因此选取对虾检

测正确率和定向成功率作为评价指标。

进行对虾检测正确率试验时,将对虾以背部朝前的姿态从喂料口喂入,记录输送过程中背部朝前的实际对虾数量,试验结束后记录软件检测的背部朝前对虾数量。然后将对虾以腹部朝前的姿态喂入,记录输送过程中腹部朝前的实际对虾数量,试验结束后记录软件检测的腹部朝前对虾数量。

进行对虾定向成功率试验时,将对虾随机喂入,记录喂入对虾的总数和定向成功的对虾数量。虾体滑落至正向滑轨和反向滑轨上时腹部朝向与下滑方向一致视为定向成功。

根据对虾头尾定向试验得到的参数优化结果,设置试验台的输送推板速度为 40 mm/s,定向辊转速为 90 r/min,定向中型虾时对辊间隙为 10 mm,定向大型虾时对辊间隙为 13 mm。每次试验从对虾样本中随机选取 80 只作为一组,试验重复 3 次,结果取平均值。

检测正确率计算公式为

$$M = \frac{M_1}{M_2} \times 100\%$$

(1)

式中 M ——检测正确率

M_1 ——系统检测的某一朝向对虾数量

M_2 ——某一朝向的对虾实际数量

定向成功率计算公式为

$$W = \frac{W_1}{W_2} \times 100\%$$

(2)

式中 W ——定向成功率

W_1 ——每次试验中定向成功的对虾数量

W_2 ——每次试验的对虾总数

4.3 试验结果与分析

4.3.1 检测正确率试验

按照试验方法进行了定向系统的检测正确率试验,试验结果如表 2 所示。试验结果表明,大型虾的总体检测正确率均值为 96.9%,中型虾的总体检测正确率均值为 98.8%。系统检测正确率达到了较高的水平,证明设计的对虾腹背检测方法有效。

表 2 检测正确率试验结果

Tab.2 Test results of detection accuracy

对虾规格	实际数量/只		检测数量/只		检测正确率/%	
	背部	腹部	背部	腹部	背部	腹部
	朝前	朝前	朝前	朝前	朝前	朝前
大型	80	80	80	77	100	96.3
	80	80	78	75	97.5	93.8
	80	80	79	76	98.8	95.0
中型	80	80	80	79	100	98.8
	80	80	80	79	100	98.8
	80	80	79	77	98.8	96.3

针对大型规格对虾,系统检测背部朝前对虾的平均检测正确率是 98.8%,检测腹部朝前对虾的平均检测正确率为 95.0%;针对中型规格对虾,系统检测背部朝前对虾的平均检测正确率为 99.6%,检测腹部朝前对虾的平均检测正确率为 98.0%。由数据可知,腹部朝前对虾的检测正确率低于背部朝前对虾。结合试验过程分析,在正常情况下,检测背部朝前对虾时,上方传感器的指示灯比下方传感器先亮,如图 14a 所示;检测腹部朝前对虾时,下方传感器的指示灯比上方传感器先亮,如图 14b 所示。由于对虾腹部存在凸出的腹足,与背部平滑的轮廓曲线不同,在少数情况下会出现腹足向下伸出较长的现象,对腹部倾斜的轮廓造成干扰,导致上方传感器的指示灯先于下方传感器亮起,造成误检,因此腹部朝前的检测正确率会偏低。

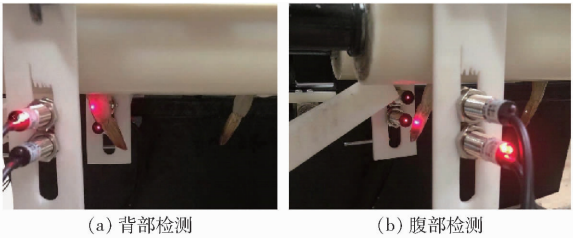


图 14 光电检测效果

Fig.14 Detection effect of photoelectric

4.3.2 定向成功率试验

按照试验方法进行了定向系统的定向成功率试验,试验现场如图 15 所示。对数据处理后得到试验结果如表 3 所示。试验结果表明,大型对虾和中型对虾的平均定向成功率分别为 95.4% 和 97.5%。系统的定向成功率较高,满足定向要求。

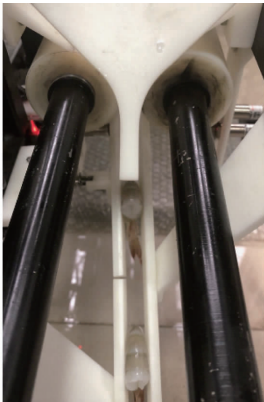


图 15 定向试验

Fig.15 Orientation test

试验过程中分流机构运行稳定,能够根据系统输出的结果控制分选轨进行间隙调整。分析定向失败的案例发现,影响系统定向效果的主要因素是误分选。由于系统误检导致分流机构将腹部朝前的对

表 3 性能试验结果

Tab.3 Test results of performance

对虾规格	对虾总数/ 只	定向成功 数/只	定向成功 率/%	定向成功 率均值/%
大型	80	76	95.0	95.4
	80	76	95.0	
	80	77	96.3	
中型	80	78	97.5	97.5
	80	77	96.3	
	80	79	98.8	

虾分选至反向滑轨。因此提高腹部朝前对虾的检测准确度可以进一步提高腹背定向系统的定向成功率。

腹足的伸出会导致检测腹部朝前对虾时出现错误,进而影响分流定向的效果。针对系统误检的问题,需要在双行光电检测方法方面进一步改进。通过试验研究,已实现对虾的头尾定向和腹背定向。下一步工作应针对对虾定向后的稳定夹持问题,研究对虾的定位夹持技术,为后续的开背、去肠线和取仁工序创造条件。

5 结论

(1)通过分析去头对虾的外形姿态提出一种分流式腹背定向方法。该方法为先检测后分选的定向方式,在原理上与依靠摩擦和重力的定向方法不同。分流式腹背定向方法根据对虾腹背轮廓曲线斜率存在差异的原理检测腹背朝向,然后分选出腹背朝向不同的对虾,达到腹背朝向一致的目的。

(2)设计了对虾腹背定向系统,硬件主要包括光电射传感器、输入输出模块、计算机和分流机构。系统通过双行光电检测对虾腹背朝向,控制分流机构实现腹背分流定向。根据系统功能要求设计了程序流程,并采用 LabVIEW 2017 软件环境开发了对虾腹背定向测控系统软件。

(3)试验结果表明,对虾腹背定向系统能够有效实现对虾的腹背定向。针对大型规格和中型规格对虾,定向系统的平均检测正确率分别为 96.9% 和 98.8%,定向系统的平均定向成功率分别为 95.4% 和 97.5%。腹部朝前对虾的误检是影响腹背定向效果的主要原因。

参 考 文 献

[1] 赵玉达,张秀花,王泽河,等. 对虾机械式剥壳技术的探讨与研究[J]. 农机化研究, 2014, 36(7): 42-45.
ZHAO Yuda, ZHANG Xiuhua, WANG Zehe, et al. Discuss and research on shrimp mechanical shelling technology[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(7): 42-45. (in Chinese)

[2] 张秀花,王利光,弋景刚,等. 带式夹持输送对虾开背机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20): 284-291.
ZHANG Xiuhua, WANG Liguang, YI Jinggang, et al. Design and experiment of shrimp backside cutting machine formed by belt clamping and conveying[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 284-291. (in Chinese)

[3] 李影欣,崔保健,弋景刚,等. 双辊式对虾分级设备的试验与研究[J]. 食品与机械, 2014(3): 94-97.
LI Yingxin, CUI Baojian, YI Jinggang, et al. Test and research on double roller shrimp grading device[J]. Food and Machinery, 2014(3): 94-97. (in Chinese)

[4] 李铎,张秀花,王伟,等. 对辊挤压式对虾去头装置研究[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(1): 97-101.
LI Duo, ZHANG Xiuhua, WANG Wei, et al. Experimental study on the dual-roller squeeze device for shrimp head cutting[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2017, 40(1): 97-101. (in Chinese)

[5] 熊师,赵博,胡小鹿,等. 对虾逐只分离装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 357-365.
XIONG Shi, ZHAO Bo, HU Xiaolu, et al. Design and experiment on prawn single separation device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 357-365. (in Chinese)

[6] 张秀花,赵庆龙,赵玉达,等. 对虾对辊挤压式剥壳工艺参数及预处理条件优化[J]. 农业工程学报, 2014, 30(14): 308-314.
ZHANG Xiuhua, ZHAO Qinglong, ZHAO Yuda, et al. Parameter and pretreatment condition optimization of dual rollers extrusion peeling device for *Litopenaeus vannamei*[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(14): 308-314. (in Chinese)

[7] 弋景刚,马骏原,王泽河,等. 对虾加工装备现状与发展[J]. 现代农业装备, 2020, 41(1): 2-11.
YI Jinggang, MA Junyuan, WANG Zehe, et al. Status and development of shrimp processing equipment[J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(1): 2-11. (in Chinese)

[8] 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 Jie, SHEN Jian, ZHENG Xiaowei, et al. Research and application status and development tendency of aquatic products processing equipment[J]. Fishery Modernization, 2017, 44(5): 73-78. (in Chinese)

[9] 张汉月,龚丽,马道宽,等. 广东省对虾加工产业发展的现状分析及对策研究[J]. 现代农业装备, 2017(5): 57-60.

[10] BETTS E D. Shrimp processing machine having improved cutting structure; US4414709A[P]. 1983-11-15.

[11] BETTS E D. Shrimp peeling machine and method; US4769871A[P]. 1988-09-13.

[12] 张秀花,王泽河,张丽丽,等. 基于摩擦特性的轮式对虾背腹定向装置[J]. 河北农业大学学报, 2015, 38(1): 122-127.

ZHANG Xiuhua, WANG Zehe, ZHANG Lili, et al. Wheel directional device for shrimp based on the friction characteristics of it's back and abdomen[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2015, 38(1): 122 – 127. (in Chinese)

[13] 赵庆龙, 张秀花, 李铎, 等. 对辊式对虾定向机的设计[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 410 – 412.

[14] 赵玉达, 张秀花, 王泽河, 等. 对虾背腹定向装置试验[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 356 – 358.

[15] 张秀花, 赵庆龙, 王泽河, 等. 对虾头尾与背腹定向的摩擦特性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 344 – 347.

[16] 周彤, 徐皓. 北欧渔业装备情况考察[J]. 渔业现代化, 2000, 27(6): 3 – 6.
ZHOU Tong, XU Hao. Investigation report of fishery equipments situation in nordiccountries[J]. Fishery Modernization, 2000, 27(6): 3 – 6. (in Chinese)

[17] ANDRESEN H, HAMMEREN J E, OPPHEIM P A, et al. Device for orientating fish: EP2498616A1[P]. 2012 – 09 – 19.

[18] LEANDER L. Method and apparatus for orientation of fish upon a conveyor: US5115903A[P]. 1992 – 05 – 26.

[19] PEGORARO G, WADELL L G A. Fish feed apparatus and method: EP0548383[P]. 1994 – 09 – 28.

[20] 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 Peng, HUANG Jun, TAN Hequn, 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)

[21] 熊师, 方宪法, 牛康, 等. 对虾定向输送装置设计与参数优化试验[J]. 农业机械学报, 2021, 52(5): 324 – 331.
XIONG Shi, FANG Xianfa, NIU Kang, et al. Design and parameter optimization of directional conveying device for shrimp[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(5): 324 – 331. (in Chinese)

(上接第 441 页)

[18] 阚建文, 何芳, 汪裕安. 一种新型圆筒筛的性能分析[J]. 农业机械学报, 1996, 27(3): 67 – 70.

[19] 樊绍良. 立式圆筒筛的试验及工业实践[J]. 化工矿物与加工, 1990(2): 39 – 41.

[20] 左向韶, 李林芳. 自磨机排矿圆筒筛的改进[J]. 化工矿物与加工, 2000(8): 35.

[21] 王浩, 林恩玉, 邬斌, 等. 红土镍矿筛分用圆筒筛的优化设计[J]. 山东工业技术, 2015(3): 120.

[22] 杜长龙, 王力. 搅拌磨新型介质分离筛的设计研究[J]. 矿山机械, 2006, 34(1): 78 – 79.

[23] 万星宇, 舒彩霞, 徐阳, 等. 油菜联合收获机分离清选差速圆筒筛设计与试验[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 27 – 35.
WAN Xingyu, SHU Caixia, XU Yang, et al. Design and experiment on cylinder sieve with different rotational speed in cleaning system for rap combine harvesters[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(14): 27 – 35. (in Chinese)

[24] 尹守仁. 筛分基础理论和筛分过程物料运动规律的研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 1999.

[25] 王亭杰. 概率筛分过程透筛概率问题的研究[J]. 江苏煤炭, 1991(4): 26 – 29.

[26] 陈松. 离心筛透筛的概率原理[J]. 长沙铁道学院学报, 1989(3): 43 – 51.

[27] 李占福, 童昕, 周广涛. 基于离散单元法的平摆筛设计及其透筛机理分析[J]. 机械设计与研究, 2016, 32(1): 155 – 159.
LI Zhanfu, TONG Xin, ZHOU Guangtao. Vibration screen based on composite motion of swing and translation and the 3D DEM research of particle penetration[J]. Machine Design & Research, 2016, 32(1): 155 – 159. (in Chinese)

[28] 刘廷发. 堆肥滚筒筛分机开发研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2017.