



## 标准化船载加工模式中南极磷虾脱壳加工的 虾水配比关键技术

倪锦<sup>1,2,3</sup>, 谈佳玉<sup>1,2,3</sup>, 郑晓伟<sup>1,2,3</sup>, 沈建<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;

2. 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;

3. 农业农村部远洋渔船与装备重点实验室, 上海 200092)

**摘要:** 为满足南极资源开发需求, 解决目前船载南极磷虾脱壳加工装备无序发展, 虾水配比关键技术缺乏导致脱壳运行稳定性差等问题。本研究采用机理分析法, 基于国内某南极磷虾专业捕捞加工船的南极磷虾脱壳生产线, 结合产业发展需求等, 建立南极磷虾脱壳加工的标准化船载加工模式。采用机理分析法, 结合质量守恒定律、狄克松准则及数据融合滤波算法等, 构建南极磷虾供料系统的采集信号数据处理方法, 动态虾水配比数学模型, 虾水配比控制模型和工作流程, 并利用国内某南极磷虾专业捕捞加工船的脱壳加工装备开展了虾水配比关键技术的应用效果研究。结果显示, 基于实验设定的工艺参数, 虾水配比围绕预设值波动, 最大变化控制在 $\pm 2\%$ 内。其中在启动状态时, 海水流量和虾质量速率的调控时间约 119 s, 二者均能按预设参数稳定运行; 在运行状态时, 海水流量和虾质量速率的调控时间约 32 s, 随后伴随着液位变化而呈现周期性稳定变化, 海水流量偏差为  $-0.48$  至  $0.42 \text{ m}^3/\text{h}$ , 虾质量速率偏差为  $-0.48$  至  $0.42 \text{ m}^3/\text{h}$ , 得肉率提高了 0.7%。研究表明, 本研究的标准化船载加工模式中南极磷虾脱壳加工的虾水配比关键技术能保证虾水配比稳定, 虾水配比最大变化控制在 $\pm 2\%$ , 得肉率提高 0.7%, 确保南极磷虾脱壳加工稳定运行, 促进产业发展。

**关键词:** 南极磷虾; 脱壳; 虾水配比; 加工模式

**中图分类号:** TP 23; S 986

**文献标志码:** A

随着极地资源开发和人民生活水平逐步提高, 南极磷虾 (*Euphausia superba*) 及虾肉制品日益受到人们关注<sup>[1-2]</sup>。我国南极磷虾资源产业开发起步时间晚, 2017年巴东县丰太农业专业合作社提出了一种磷虾壳肉分离方法<sup>[3]</sup>, 可以实现连续化生产, 虾肉完整率较高, 脱壳效率较高。同年中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所公开了一种

南极磷虾脱壳设备<sup>[4]</sup>, 包括了原料供料、布料、去壳、喷淋输送以及虾肉虾壳收集装置等, 虾肉得肉率 $>20\%$ 。郑晓伟等<sup>[5]</sup>开展了船舶摇摆和工艺参数设置对南极磷虾挤压脱壳加工效果的影响, 结果显示, 船舶摇摆会对脱壳加工得肉率与虾壳残留率造成影响, 但差异均不显著, 在纵摇 $7^\circ$ 和横摇 $5^\circ$ 时虾壳残留率分别达到 1.07% 和 1.64%,

收稿日期: 2021-12-20 修回日期: 2022-01-13

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901501); 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2020TD70)

第一作者: 倪锦 (照片), 从事水产品加工装备智能研究, E-mail: nijin@fmiri.ac.cn

通信作者: 沈建, 从事水产品加工装备研究, E-mail: shenjian@fmiri.ac.cn



可为南极磷虾脱壳设备的产业化应用提供参考。倪锦等<sup>[6]</sup>等构建了南极磷虾均质槽模型和基本控制方法,建立了基于精确数学模型的虾水控制模型,以实现南极磷虾均质槽虾水的精确控制,确保南极磷虾均质槽的稳定运行。

南极磷虾具有的高活性酶主要存在虾壳中,在新鲜虾肉中含量极少,而船载脱壳加工是获取新鲜虾肉的重要途径,因此形成标准化、连续式的船载脱壳加工应用模式,攻克脱壳加工中虾水配比等关键技术,对形成可靠稳定的船载南极磷虾加工装备,促进行业有序发展,保障南极资源开发都具有重要意义。虽然我国南极磷虾脱壳加工装备研究已取得显著进步<sup>[7]</sup>,但与产业发展需求相比还有较大差距<sup>[8]</sup>,当前对不同规格、品质的南极磷虾脱壳加工采用单一加工参数,或由操作人员凭经验手动调整,缺少在线检测和智能控制手段,难以保证稳定的产品品质。本研究采用机理分析法,基于国内某南极磷虾专业捕捞加工船的南极磷虾脱壳生产线,结合产业发展需求等,建立南极磷虾脱壳加工的标准化船载加工模式。采用机理分析法,结合质量守恒定律、狄克松准则及数据融合滤波算法等,构建南极磷虾供料系统的采集信号数据处理方法,动态虾水配比数学模型,虾水配比控制模型和工作流程,并利用国内某南极磷虾专业捕捞加工船的脱壳加工装备开展了虾水配比关键技术的应用效果研究,旨在解决制约南极磷虾脱壳加工智能化发展的关键难点,促进我国南极磷虾加工产业的发展。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

南极磷虾购自辽渔集团有限公司,南极磷虾的规格为L级,在冷库中保存,冷库温度为 $(-20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.2 实验设备

实验平台为本单位研发的南极磷虾脱壳加工虾水配比实验平台以及国内某南极磷虾专业捕捞加工船上南极磷虾脱壳加工生产线,液位测量采用德国KEWILL的型号为LUD30的分体式超声波液位计,流量测量采用德国KEWILL的型号为FE20的电磁流量计,质量速率测量采用西门子的型号为WL230的重量传感器。数字信号采集采用是德科技的型号为349710A的多路数据采集终端,

虾肉质量称重采用梅特勒托利多型号为ICS689g-CC60的电子计量称。

### 1.3 实验方法与建模方法

标准化船载南极磷虾脱壳加工模式的建模方法是采用机理分析法,利用国内某南极磷虾专业捕捞加工船上的南极磷虾脱壳生产线,结合国内其他客户需求等,综合考虑船载加工装备的功能特点进行建模。

动态供料虾水配比数学模型、虾水配比的控制模型及工作流程的建模方法也采用机理分析法,利用南极磷虾脱壳加工装备的实际配置参数,结合质量守恒定律、生产工艺流程进行推导建模。

南极磷虾脱壳加工的虾水配比实例验证的方法为根据现有实验平台情况,通过改进海水输送、南极磷虾输送和控制系统等,设置相关实验参数,启动生产线后采集流量、液位、南极磷虾质量速率等参数,并利用模型推导虾水配置参数,并计量得肉率。实验系统的额定工况及参数设定:供料系统的液位上限为1.1 m、下限为0.5 m,供料系统底面积为 $1.22\text{ m}^2$ ,虾水比预设值为0.05,启动状态参数下,海水的流量为 $60\text{ m}^3/\text{h}$ ,虾水混合物流量为 $22.0\text{ m}^3/\text{h}$ ,南极磷虾调控质量速率为 $20\text{ kg}/\text{min}$ ,调控时间为80 s。运行状态下,南极磷虾质量调控速率为 $28\text{ kg}/\text{min}$ 。虾水混合物的流量值在启动状态为 $0\text{ m}^3/\text{h}$ ,在运行状态一直恒定设置为 $22.0\text{ m}^3/\text{h}$ ,本研究不单独分析。南极磷虾得肉率的方法为分别称重南极磷虾原料和虾肉的质量后计算获得。

### 1.4 数据分析

采用Originpro 9.1软件处理从南极磷虾脱壳加工虾水配比实例验证实验获得的数据。采用Microsoft visio软件处理建模获得虾水配比的控制模型及流程。

## 2 结果

### 2.1 标准化船载南极磷虾脱壳加工模式

本研究结合国内现有产业应用情况以及实际发展特点,探讨适应智能化加工要求的标准化模式,建立的标准化船载南极磷虾脱壳加工模式如图1所示。

南极磷虾脱壳加工系统包括混合匀料仓、泵送系统、分水布料装置、壳肉分离设备、虾肉输

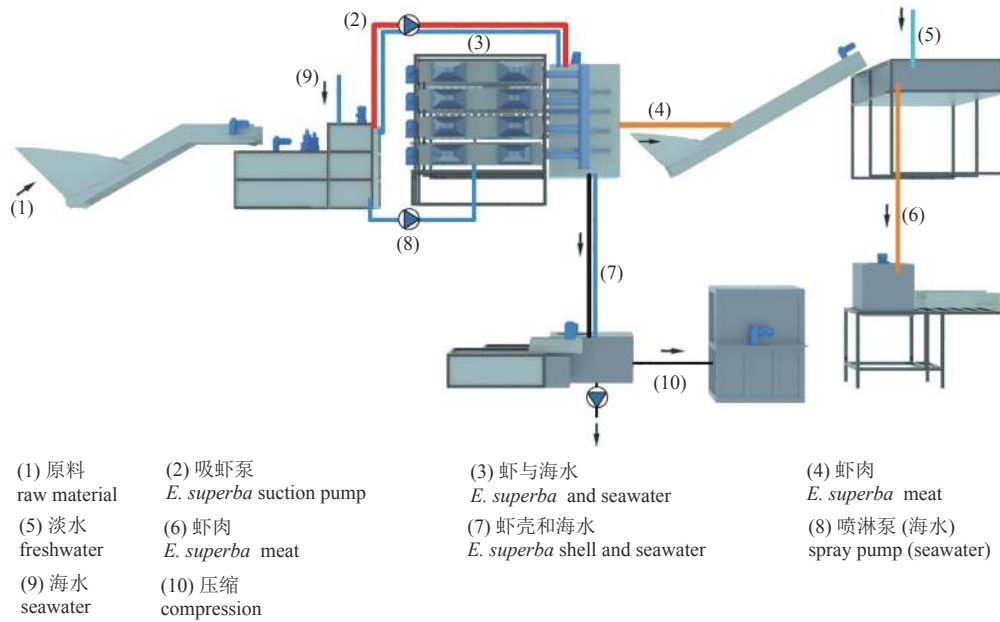


图 1 标准化南极磷虾脱壳加工应用模式

Fig. 1 Standardized application mode of *E. superba* deshelling process

送系统、除杂分拣系统和虾壳输送处理系统等，涉及加工过程包含了均质匀料调控、布料输送控制、壳肉分离控制、虾肉虾壳输出控制等。应用模式中定义了原料输送、虾水混合泵送布料、壳肉分离、虾肉输送与分拣除杂、虾壳输送与压缩打包等功能，其中原料输送是指南极磷虾经料仓、称重输送到混合匀料仓；虾水混合与泵送布料指南极磷虾在混合匀料仓内被均匀混合后，经吸虾泵与海水一并被输送到布料输送机，南极磷虾和海水在布料输送机内分离，并实现南极磷虾脱壳前在输送带上的均匀布置。壳肉分离是指南极磷虾在壳肉分离设备中被挤压分离为虾肉和虾壳，并在喷淋海水的作用下实现虾肉和虾壳的独立输送。虾肉输送与分拣除杂指虾肉经输送带进入分拣平台，经再次分拣后风淋，形成虾肉成品。虾壳输送与压缩打包是指来自壳肉分离设备的虾壳和海水混合物，经虾壳输送泵泵出或者虾壳分离海水后进行压缩打包(图 1)。

## 2.2 动态虾水配比的数学模型

南极磷虾脱壳加工中供料的动态虾水配比是影响得肉率、生产稳定的关键因素，动态虾水配比调控主要分为启动状态和运行状态两个阶段。原料南极磷虾的输送采用在线称重，可实时采集南极磷虾质量速率。海水供给采用恒压变流量，南极磷虾与海水的混合物(简称“虾水混合物”)供

给也采用恒压变流量，根据工艺设定虾水配比参数。虾水配比的调控机理：①启动状态下调控，实时精确测量进入供料系统的南极磷虾质量速率，海水流量和离开供料系统的虾水混合物流量，并实时监测液位。根据预设参数完成南极磷虾和海水的配比，完成后进入运行状态调控；②运行状态下调控，实时精确测量进入供料系统的南极磷虾的质量速率，海水流量和离开供料系统的虾水混合物流量，并实时监测液位，根据运行参数实现南极磷虾和海水的动态配比，并根据液位实现动态控制。虾水配比涉及的变量参数见表 1。

设定虾水配比初始值为  $KR_0$ ，启动状态下相关参数包括南极磷虾的调控质量速率、海水流量和调控时间等。在启动状态下，南极磷虾调控的初始质量速率和时间分别为  $KM_{ini}$ 、 $t_{i0}$ ，海水初始调控的流量和时间分别为  $F_{ini}$ 、 $t_{i0}$ ，虾水配比的控制方法采用前馈 PID 控制。启动状态下调控参数应满足如下关系：

$$\begin{cases} 60 \cdot KR_0 \cdot KM_{ini} = F_{ini} \\ t_{min} \leq t_{i0} \leq t_{max} \\ \frac{\alpha_1 \cdot FL_{max} \cdot S}{t_{i0}} \leq F_{ini} \leq \frac{\alpha_2 \cdot FL_{max} \cdot S}{t_{i0}} \end{cases}$$

式中， $t_{min}$  为调控时间下限， $t_{max}$  为调控时间上限， $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  为初始系数，一般  $\alpha_1$  值为 0.95， $\alpha_2$  值为 1.05。

启动状态的调控完成后，进入运行调控状态，



表 1 主要变量参数

Tab. 1 Main variables and parameters

代号 number	含义 meaning	单位 unit
$FL_{min}$	供料系统液位下限 the lower limit of the liquid level of the feeding system	m
$FL_{max}$	供料系统液位上限 the upper limit of the liquid level of the feeding system	m
$FL_p$	供料系统液位实测值 actual measurement of the level of the feeding system	m
$S$	供料系统底面积 bottom area of feeding system	$m^2$
$F_{ini}$	海水初始流量 initial flow value of seawater	$m^3/h$
$F_c$	海水调控流量 the regulation flow value of seawater	$m^3/h$
$KM_{ini}$	南极磷虾初始质量速率 the initial mass rate of <i>E. superba</i>	kg/min
$KM_c$	南极磷虾调控质量速率 the regulation mass rate of <i>E. superba</i>	kg/min
$KF_c$	虾水混合物调控流量 regulated flow values for <i>E. superba</i> and seawater mixtures	$m^3/h$
$KR_0$	虾水配比初始值 the initial value of the proportioning process of <i>E. superba</i> and seawater	1

在运行调控状态下, 虾水混合物的调控流量  $KF_c$  始终保持恒定, 不受液位触发信号干扰:

$$KF_c = \alpha_3 \cdot F_{ini}$$

式中,  $\alpha_3$  为调控系数, 一般  $\alpha_3$  值为 0.55。

运行状态下若触发液位下限, 则启动第  $i$  次运行调控, 按预设的虾水配比, 同步向供料系统输送南极磷虾和海水, 南极磷虾的调控质量速率为  $KM_c$ , 调控预估时间为  $t_i$ :

$$t_i = \frac{(FL_{max} - FL_{min}) \cdot S \cdot [KR_0 \cdot \rho_{kri} + (1 - KR_0) \cdot \rho_{sw}]}{(1 - \alpha_3) \cdot KM_c}$$

式中,  $\rho_{kri}$  为南极磷虾的密度,  $\rho_{sw}$  为海水的密度。

海水的调控时间同样为  $t_i$ , 海水的调控流量为  $F_c$ :

$$F_c = 60 \cdot KR_0 \cdot KM_c$$

在运行调控过程中, 若触发液位上限, 则第  $i$  次调控中止, 等待触发液位下限, 开始第  $i+1$  次调控, 所有调控变量参数的计算方法与第  $i$  次运行调控相同。

### 2.3 采集信号的数据处理方法

虾水配比过程中采集的传感器信号可能会受

到各种潜在因素的干扰, 使得数据不准确, 导致整个系统进入错误的执行环境, 因此需对传感器采集的数据进行预处理, 剔除具有显著差异的数据。本研究首先采用狄克松准则, 在采集数组中找出奇异值, 并将奇异值剔除, 将处理后的数据采用分批递推估计融合算法, 将传感器采集的数据进行时间序列存储, 不同时刻采集的数据作为一个数组 (数据数量固定), 将该数组中的数据分成不相接的两组, 然后根据分批估计理论计算数据的融合值作为这次的采样值<sup>[9-10]</sup>。

将采集信号获得数据列为一个数组  $X_i (i=1 \dots n)$  中的  $n$  个数据按时间排列, 新进入一个数据就将第 1 个数据请出, 使得数组中数据的数量始终为  $n$  个, 遵循先进先出的原则, 对数组中的数据进行分组处理, 将数组中数据分为两组:  $X_{11}, X_{12} \dots X_{1m}$  和  $X_{21}, X_{22} \dots X_{2k}$ 。其中  $m+k=n$ 。计算出两组数据的平均值  $\bar{X}_1, \bar{X}_2$  和标准差  $\sigma_1, \sigma_2$ 。

依据分批次理论, 可得:

$$\sigma^+ = [(\sigma^-)^{-1} + H^T R^{-1} H]^{-1}$$

式中,  $H$  是测量方差的系数矩阵,  $R$  是测量噪声的协方差。

$$R = E [vv^T] = \begin{bmatrix} E [v_{(1)}^2] & E [v_{(2)}v_{(1)}] \\ E [v_{(2)}v_{(1)}] & E [v_{(2)}^2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{(1)}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{(2)}^2 \end{bmatrix}$$

处理后可获得:

$$\sigma^+ = \frac{\sigma_{(1)}^2 \sigma_{(2)}^2}{\sigma_{(1)}^2 + \sigma_{(2)}^2}$$

故可获得:

$$X^+ = [\sigma^+ + (\sigma^-)^{-1}] X^- + [\sigma^+ + H^T R^{-1}] X$$

式中,

$$X = \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \end{bmatrix}$$

最终处理后的融合数据结果<sup>[11]</sup>:

式中,  $\sigma^-$  是上次数组的方差,  $\sigma^+$  是本次数组的方差,  $X^-$  是上次数据的融合值,  $X^+$  是本次数据的融合值。

$$X^+ = \frac{\sigma_{(2)}^2}{\sigma_{(1)}^2 + \sigma_{(2)}^2} \bar{X}_1 + \frac{\sigma_{(1)}^2}{\sigma_{(1)}^2 + \sigma_{(2)}^2} \bar{X}_2$$

最终计算获得的  $X^*$  即为数据融合后的最终值, 作为本次采样测量值, 然后继续进行数据采样, 并进行下一个采样数据计算, 遵循狄克松准则剔除奇异值并采用数据融合算法滤波, 获得处理后的采样数据, 可供虾水配比控制系统使用。

### 2.4 虾水配比控制模型及流程

**虾水配比的控制模型** 南极磷虾供料虾水配比的控制主要基于南极磷虾称重输送系统, 定量输送水泵等执行机构, 采集液位和启停等工作信号, 通过控制输出固定重量比值的南极磷虾和水的混合物, 实现虾水动态配比和虾水混合物输出。虾水配比的控制模型如图 2 所示。

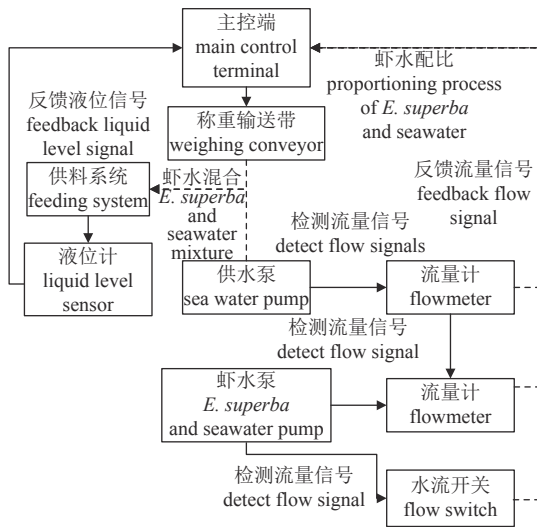


图 2 虾水配比的控制模型

Fig. 2 Control model of the proportioning process of *E. superba* and water

当系统进入工作状态后, 主控端接收供料系统的液位信号状态, 当供料系统的液位低于某一值时, 系统提示补充虾和水; 在系统运行中, 液位过低时系统进行紧急制动。当供料系统中的虾和水充足时, 系统检测供料系统的液位, 若供料系统液位过高, 系统暂停虾水补充, 控制系统提示虾和水不足。

**虾水配比的工作流程** 南极磷虾供料系统的虾水配比控制系统利用可编程控制器, 对变频器、伺服系统等采集信号并执行控制指令。控制器发出的控制信号经运算后, 转化为海水流量、液位、质量速率等信号, 将换算好的新控制信号输送到执行机构, 完成相应控制操作。虾水配比的工作流程见图 3。

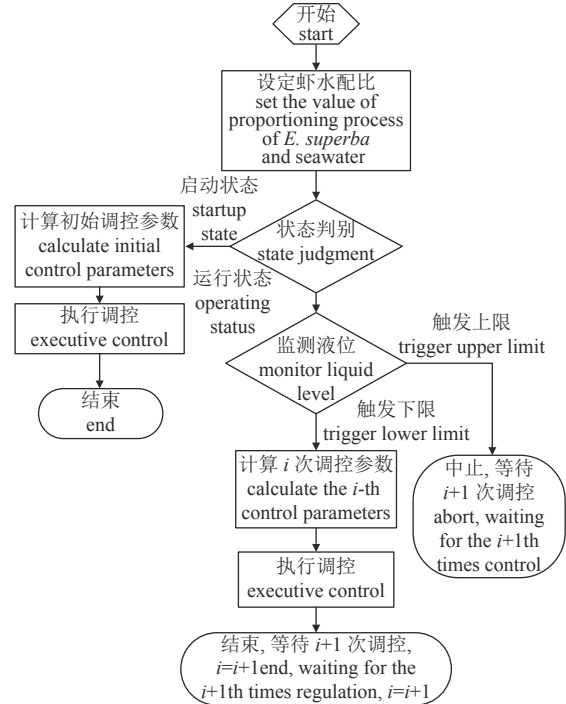


图 3 配比控制系统工作流程

Fig. 3 Control system workflow of proportioning process

开始工作时, 首先设定虾水配比, 判别启动状态或运行状态, 根据状态的不同执行相应的计算和控制, 并完成对应的虾水配比调控。在运行状态下, 根据液位控制进行重复性虾水配比调控, 实现生产过程中不间断的虾水配比动态控制。

### 2.5 虾水配比控制的实例

通过建立南极磷虾脱壳加工的标准化船载加工模式, 建立供料系统的动态虾水配比数学模型, 完成虾水配比的控制模型以及工作流程建模, 在国内某南极磷虾专业捕捞加工船上的南极磷虾脱壳加工生产线上开展了实验验证实验, 研究虾水配比关键技术在实际生产过程中的效果, 其中虾水配比调控过程中的液位变化、海水流量变化、虾水配比值变化如图 4~7 所示。

图 4 中供料系统的液位变化分为启动状态和运行状态两段, 启动状态时间约为 80 s, 液位从 0 m 上升到 1.1 m, 运行状态开始后, 供料系统的液位呈现稳定的周期性变化状态, 运行状态稳定, 变化周期约为 151 s。

图 5 是供料系统的海水流量的变化情况, 启动状态时, 海水流量设定为 60 m<sup>3</sup>/h, 运行稳定, 当达到液位上限时停止海水供应, 约 119 s 后, 海

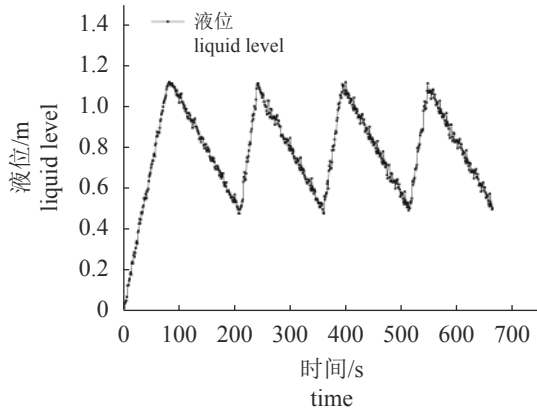


图 4 送料系统的液位测量值

Fig. 4 Measured value of the liquid level of the feeding system

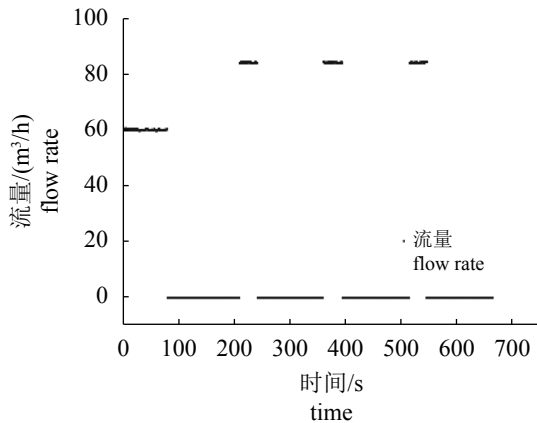


图 5 海水流量的测量值

Fig. 5 Measured value of seawater flow rate

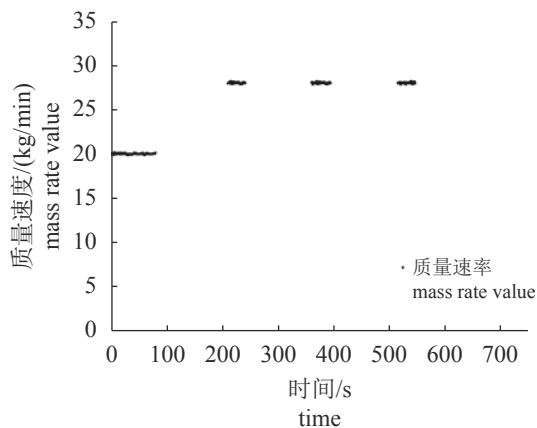


图 6 虾质量速率的测量值

Fig. 6 Measured value of *E. superba* mass rate

水流量设定为 84 m<sup>3</sup>/h, 速度稳定运行约 32 s, 随后伴随着液位变化而呈现周期性稳定变化, 海水流量的偏差控制在-0.48~0.42 m<sup>3</sup>/h。

图 6 中南极磷虾的虾质量速率跟随着启动状

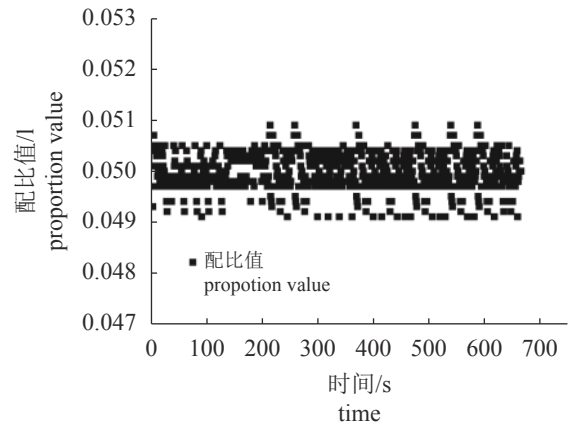


图 7 虾水配比的计算值

Fig. 7 Calculated value of the proportioning process of *E. superba* and seawater

态和运行状态变化, 启动状态时, 虾质量速率设定为 20 kg/min, 当达到液位上限时停止, 约 119 s 后虾质量速率设定为 28 kg/min, 运行约 32 s, 随后伴随着液位变化而呈现周期性稳定变化, 虾质量速率的偏差控制在-0.48~0.42 m<sup>3</sup>/h。

在应用效果验证实验中, 根据南极磷虾的规格和实验设施配置参数情况, 设置虾水配置的初始值为 0.05。依据海水和南极磷虾的动态输送情况, 根据质量守恒定律, 获得虾水配比的计算值如图 7。由图可见在验证实验运行中, 虾水配比围绕预设值 0.05 波动, 最大变化幅度控制在±2% 以内, 具有较高的稳定性和可靠性。在实际生产过程中, 南极磷虾存在多种大小规格, 一般根据南极磷虾的规格、生产线设计配置参数, 设置动态的虾水配比参数, 以保证稳定、高效的脱壳加工生产。

在应用效果验证实验中, 实验设备采用相同实验参数和实验样品, 改进前的南极磷虾脱壳的得肉率平均为 18.9%, 利用虾水配比关键技术改进后的得肉率为 19.6%, 采用本研究的南极磷虾脱壳加工的虾水配比关键技术, 保证了稳定的虾水配比, 确保了脱壳生产稳定、连续高效运行, 使得脱壳生产过程中原料供料可靠, 得肉率提高了 0.7%。

### 3 结论

研究表明, 本研究建立的标准化船载南极磷虾脱壳加工模式、南极磷虾脱壳加工的虾水配比关键数学模型、采集信号处理方法、控制模型及工作流程等, 能够解决南极磷虾产业缺乏的标准

应用模式和虾水配比等关键技术问题,设计的虾水配比系统能够实现精确的虾水配比控制,保证脱壳加工的稳定运行,控制偏差在2%以内,得肉率提高了0.7%。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 田晓清, 杨桥, 邵盛男, 等. 南极磷虾脂溶性成分的研究进展[J]. *海洋渔业*, 2011, 33(4): 462-466.  
Tian X Q, Yang Q, Shao S N, *et al.* The research progress of ester-soluble constituents of Antarctic krill[J]. *Marine Fisheries*, 2011, 33(4): 462-466 (in Chinese).
- [2] 刘丽, 刘承初, 赵勇, 等. 南极磷虾的营养保健功效以及食用安全性评价[J]. *食品科学*, 2010, 31(17): 443-447.  
Liu L, Liu C C, Zhao Y, *et al.* Recent advances in the healthcare function and food safety of Antarctic krill[J]. *Food Science*, 2010, 31(17): 443-447 (in Chinese).
- [3] 巴东县丰太农业专业合作社. 一种磷虾壳肉分离的方法: 中国, 201510961106.2[P]. 2017-06-27.  
Fengtai Agricultural Cooperative in Badong County. A method for separating Antarctic krill shell and meat: CN, 201510961106.2[P]. 2017-06-27 (in Chinese).
- [4] 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所. 一种南极磷虾脱壳设备: 中国, 201410674568.1[P]. 2017-02-01.  
Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. An Antarctic krill shelling equipment: CN, 201410674568.1[P]. 2017-02-01 (in Chinese).
- [5] 郑晓伟, 张军文, 周春生. 船舶摇摆和工艺参数对南极磷虾挤压脱壳效果的影响[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(1): 273-278.  
Zheng X W, Zhang J W, Zhou C S. Effect of ship swaying and process parameters on extrusion peeling of Antarctic krill[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(1): 273-278 (in Chinese).
- [6] 倪锦, 郑晓伟, 张军文, 等. 基于精确数学控制的南极磷虾均质槽智能运行研究[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(6): 200-204.  
Ni J, Zheng X W, Zhang J W, *et al.* Study on intelligent operation of Antarctic krill homogeneous tank based on precise math control[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(6): 200-204 (in Chinese).
- [7] 张军文, 郑晓伟. 国内外南极磷虾脱壳设备发展概况[J]. *安徽农学通报*, 2020, 26(20): 84-85,88.  
Zhang J W, Zheng X W. Development of Antarctic krill dehulling equipment at home and abroad[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2020, 26(20): 84-85,88 (in Chinese).
- [8] 黄剑彬. 罗非鱼初加工喂入量实时监测与运行参数在线控制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2020: 36-40.  
Huang J B. Study on real-time monitoring of feeding quantity and on-line control of operating parameters for tilapia primary processing[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020: 36-40 (in Chinese).
- [9] 范满红, 马胜前, 陈彦, 等. 基于多传感器数据融合的温湿度监测系统[J]. *压电与声光*, 2012, 34(3): 459-462,465.  
Fan M H, Ma S Q, Chen Y, *et al.* Temperature and humidity monitoring system based on multi-sensor data fusion[J]. *Piezoelectrics & Acoustooptics*, 2012, 34(3): 459-462,465 (in Chinese).
- [10] 王勇, 刘青. 一类递推估计数据融合算法研究[J]. *国外电子测量技术*, 2006, 25(3): 8-9.  
Wang Y, Liu Q. Research on the recursive estimation data fusion algorithm[J]. *Foreign Electronic Measurement Technology*, 2006, 25(3): 8-9 (in Chinese).
- [11] 蔡海龙. 智能型乳化液自动供配液系统的研究与实现[D]. 太原: 太原理工大学, 2015: 50-55.  
Cai H L. Research and implementation of intelligent automatic emulsion liquid matching and distribution system[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2015: 50-55 (in Chinese).

## Key technology of the proportioning process of *Euphausia superba* and seawater in *Euphausia superba* deshelling processing in a standardized shipborne processing mode

NI Jin<sup>1,2,3</sup>, TAN Jiayu<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Xiaowei<sup>1,2,3</sup>, SHEN Jian<sup>1,2,3\*</sup>

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

2. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

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

**Abstract:** In order to meet the needs of Antarctic resource development, in order to solve the problems of the disorderly development of the deshelling processing mode in the current shipborne processing of *Euphausia superba*, and the lack of key technology for proportioning process of *E. superba* and seawater, which results in poor operation stability of the deshelling processing equipment, in this study, according to industrial development needs of *E. superba* processing and *E. superba* deshelling production line on a domestic *E. superba* professional fishing and processing ship, a standardized processing mode has been established by using mechanism analysis method. Using mechanism analysis method, the law of conservation of mass, *Dixon's criterion* and data fusion filtering algorithm, etc., the data processing method of the acquisition signal of the feeding system in *E. superba* deshelling process, the mathematical model of the feeding system's dynamic proportioning process of *E. superba* and seawater, the control model and workflow of *E. superba* to seawater were established, and using the *E. superba* deshelling processing equipment on a domestic *E. superba* professional fishing and processing ship, the research on the application effect of the key technology of proportioning process of *E. superba* and seawater was carried out. The results showed that based on the process parameters set in the experiment, the value of proportioning process of *E. superba* and seawater fluctuated around the preset value, and the maximum change was controlled within  $\pm 2\%$ . Among them, in the starting state, the regulation time of seawater flow and *E. superba*'s mass rate was about 119 seconds, and both can operate stably according to the preset parameters. In the running state, the regulation time of seawater flow and *E. superba*'s mass rate was about 32 seconds, and then it showed periodic and stable changes with the change of liquid level. The deviation of seawater flow rate was  $-0.48$  to  $0.42$  m<sup>3</sup>/h, and the deviation of shrimp mass rate is  $-0.48$  to  $0.42$  m<sup>3</sup>/h., meat yield increased by 0.7%. The results indicated that the key technology of proportioning process of *E. superba* and seawater for *E. superba* deshelling processing in the standardized shipborne processing mode of this study can ensure the stable value of proportioning process of *E. superba* and seawater. The maximum change of the proportioning process of *E. superba* and seawater in this research was controlled within  $\pm 2\%$ , meat yield increased by 0.7%. This technology can ensure the stable operation of proportioning process of *E. superba* and seawater deshelling processing, and meet the needs of *E. superba* deshelling process development.

**Key words:** *Euphausia superba*; deshelling; proportioning process of *Euphausia superba* and seawater; processing model

**Corresponding author:** SHEN Jian. E-mail: shenjian@fmiri.ac.cn

**Funding projects:** National Key Research and Development Program (2019YFD0901501); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD70)