

# 对虾去头方法试验与研究

王泽河, 张泽明, 张秀花, 王伟

(河北农业大学机电工程学院, 河北保定 071001)

**摘要:** 针对人工去虾头劳动强度大、工作效率低, 虾肉易受细菌污染和机械一刀切式对虾去头方法对虾肉浪费严重的问题, 提出了一种双弹性圆柱对挤式对虾去头方法, 对其进行理论分析的同时进行了挤压试验。实验表明双弹性圆柱对挤式对虾去头过程分为两个阶段, 第一阶段动弹性圆柱自动导正到虾头与虾体连接的薄弱部位并初步压紧; 第二阶段动弹性圆柱沿着定弹性圆柱一侧曲面搓擦, 使虾头与虾体进一步分离, 虾头与虾身分离完全彻底, 虾肉缺损几乎为零。并通过优化试验, 确定了当动弹性圆柱下移速度  $v=10$  mm/s、偏离距离  $e=1.29$  mm 和预留距离  $H=0$  mm 时去头效果最好, 由一刀切式对虾去头与双弹性圆柱对挤式去头对比试验结果可得双弹性圆柱对挤式对虾去头比一刀切式对虾去头虾身得率提高 11.13%。双弹性圆柱对挤式对虾去头方法为今后对虾去头装置的研制提供了新的思路 and 依据。

**关键字:** 对虾; 机械去头; 双弹性圆柱体; 理论分析; 挤压试验

文章编号: 1673-9078(2015)2-151-156

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.2.026

## Experimental Study of a Method for Mechanical Shrimp Heading

WANG Ze-he, ZHANG Ze-ming, ZHANG Xiu-hua, WANG Wei

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

**Abstract:** Manual shrimp heading is labor intensive, has low efficiency, and results in a susceptibility of shrimp meat to bacterial contamination. On the other hand, mechanical heading of a shrimp using a guillotine results in a significant waste of shrimp meat. Therefore, this study developed an approach for shrimp heading by double elastic cylinder extrusion. A theoretical analysis and an extrusion experiment were carried out simultaneously. The extrusion process for removing shrimp head can be divided into two phases. In the first phase, a movable elastic cylinder is automatically guided to the weak parts connecting the head and body of the shrimp and is extruded preliminarily. In the second phase, the movable elastic cylinder moves along the side surfaces of a fixed cylinder, further separating the head and body. In this way, the shrimp head is completely separated from the body with negligible loss of the shrimp meat. In the experiment, optimal shrimp heading was achieved at a downward speed ( $v$ ) of 10 mm/s, an offset distance ( $e$ ) of 1.29 mm, and a reserve distance ( $H$ ) of 0 mm for the movable elastic cylinder. Compared with using a guillotine, the double elastic cylinder extrusion for shrimp heading improved the yield of shrimp meat by 11.13%. Therefore, double elastic cylinder extrusion can serve as a basis for the development of shrimp heading devices.

**Key words:** shrimp; mechanical heading; double elastic cylinder; theoretical analysis; extrusion experiment

中国对虾 (fleshy prawn), 又称东方对虾, 拉丁学名为 *Penaeus chinensis* 或 *Penaeus orientalis* Kishinouye, 与墨西哥棕虾、圭亚那白虾并称为“世界三大名虾”。中国是世界上最大的对虾产品生产国, 也是世界上对虾产品的主要贸易国。对虾营养丰富, 且肉质松软、易消化、蛋白质含量高、脂肪含量低, 并富含多种矿物质, 深受人们的喜爱, 随着生活水平的提高, 国内对对虾的需求量也逐年上升。对虾副产品如虾头、虾壳等含有丰富的蛋白质、类胡萝卜素、碳

收稿日期: 2014-07-14

基金项目: 国家海洋公益性行业科技专项 (201205031); 河北省科技支撑项目 (12227169)

作者简介: 王泽河 (1969-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向: 机电液一体化

水化合物和纤维素等营养成分<sup>[1]</sup>。

冷藏对虾和食品加工, 因防腐要求, 需去除虾头, 特别是一到虾汛期, 虾货大量集中, 必须迅速加工, 否则易于变质, 造成损失, 而且去除虾头为下一步对虾剥壳做准备, 对虾去头是对虾加工过程中最重要的环节之一。目前, 国内工厂往往依靠熟练工人的手工操作, 手工去头劳动强度大、工作效率低, 加上对虾头部的粘液、虾刺, 对手有腐蚀和损伤作用, 而且易使产品受细菌污染, 影响产品鲜度和品质; 同时随着劳动力逐渐紧张, 劳动力成本将成为企业难以承受的重大成本支出。而中国具有自主知识产权的对虾去头机械却未见报道, 日本研制的一种对虾摘头装置利用曲柄连杆机构的连杆末端进行复杂曲线运动, 并配备间歇自动输送装置和自动压紧虾体装置实现对虾摘头, 机构

复杂而且要求对虾定位精度和机构配合精度高，市场上并未见相关产品。因此研制自动化对虾去头装备，为虾类生产企业提供实用的、性能可靠的虾类去头设备，对解决对虾去头的瓶颈问题，提升对虾加工产业的技术水平，增强水产品的国际竞争力，促进渔业可持续发展具有重大战略意义<sup>[2-7]</sup>。

因同一分级级别的对虾形体特征仍各不相同，机械一刀切式对虾去头或是造成虾肉浪费太大或是虾头去除不彻底，使虾肉的污染严重。采用专门的机械手去虾头，要求定位精度高，而且需对虾体定位、夹持，结构复杂、成本高，不适合对虾去头的批量加工。

### 1 双弹性圆柱体挤压理论分析

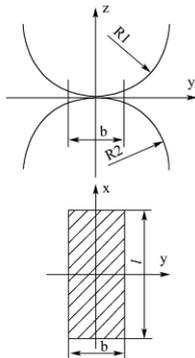


图1 双弹性圆柱挤压模型

Fig.1 Extrusion model of double elastic cylinder

两个轴线平行的弹性圆柱体相互挤压，接触面具有矩形周界如图 1。根据半空间体受半椭球状载荷，接触面具有椭圆周界，a 为长轴，b 为短轴，e 为椭圆之离心率，其中  $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$ 。双弹性圆柱体挤压只是其中的一种特殊情况，其接触面周界长轴  $a = \infty$ ，b 为一常数。所以

$$e = \sqrt{1 - (b/a)^2} = 1$$

辅助角  $\theta = \arcsin e = \pi/2$ ，查椭圆积分表得

$K_1 = \infty$ ,  $L_1 = 1$ ,  $D_1 = \infty$ ，所以

$$b = \sqrt{\frac{4P'R_1R_2}{R_1+R_2} \left( \frac{1-\mu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{\pi E_2} \right)} \quad (1)$$

$$q_0 = \sqrt{\frac{P'(R_1+R_2)}{\pi^2 R_1 R_2 \left( \frac{1-\mu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{\pi E_2} \right)}} \quad (2)$$

注：p-圆柱单位长度上的总压力，b-接触面半宽， $q_0$ -接触区域中心压强， $R_1$ 、 $R_2$ -两弹性圆柱的半径， $E_1$ 、 $E_2$ -两弹性圆柱的弹性模量， $\mu_1$ 、 $\mu_2$ -两弹性圆柱的泊松比。

若取  $E_1 = E_2 = E$ ,  $\mu_1 = \mu_2 = 0.3$ ，则得

$$b = 1.522 \sqrt{\frac{P'R_1R_2}{E(R_1+R_2)}} \quad (3)$$

$$q_0 = 0.418 \sqrt{\frac{P'E(R_1+R_2)}{R_1R_2}} \quad (4)$$

$$\varpi = \frac{1-\mu^2}{E} \frac{q_0}{a} \left[ abK_e - \frac{b}{a} D_e x_1^2 - \frac{a}{b} (K_e - D_e) y_1^2 \right] \quad (5)$$

$$\varpi_1 = \frac{1-\mu^2}{E} q_0 b \left[ K_1 - \frac{1}{a^2} D_1 x_1^2 - \frac{1}{b^2} (K_1 - D_1) y_1^2 \right] \quad (6)$$

$$= \frac{1-\mu^2}{E} q_0 b \left[ K_1 - \left( \frac{y_1}{b} \right)^2 L_1 \right]$$

令  $y_1=0$ ，得

$$\varpi_0 = \frac{1-\mu^2}{E} q_0 b \left[ K_1 - \left( \frac{y_1}{b} \right)^2 L_1 \right] \quad (7)$$

注： $\varpi$ -半空间体受半椭球状载荷时任意一点的下沉， $\varpi_1$ -圆柱体受圆柱状载荷时任意一点的下沉， $\varpi_0$ -圆柱体受圆柱状载荷时中心下沉， $q_0$ -接触区域中心压强。

$K_e$ -第一类椭圆积分，

$$K_e = \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$L_e$ -第二类椭圆积分

$$L_e = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi} d\varphi$$

$D_e$ -综合椭圆积分，

$$D_e = \frac{1}{e^2} (K_e - L_e)$$

而科瓦斯基给出了关于每一个圆柱下沉的公式计算

$$\varpi_0 = \frac{4(1-\mu^2)}{\pi E} P' \left( \ln \frac{2R}{b} + 0.407 \right) \quad (8)$$

## 2 材料与方法

### 2.1 试验设备与试验原料

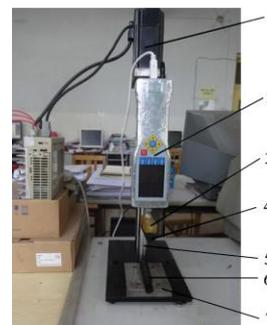


图2 对虾去头试验平台

Fig.2 Test platform for shrimp heading

注：1.伺服电机；2.推拉力计；3.弹性连接部件；4.动弹性圆柱；5.旋转机架；6.定弹性圆柱；7.定位块。

试验设备包括对虾去头试验台如图 2, 其中包括温州山度 SP-200 图显推拉力计、伺服电机、变频器、双弹性圆柱对挤装置、旋转机架, 游标卡尺, 钢直尺, 电子天平秤。双弹性圆柱半径相同  $R_1=R_2=15\text{ mm}$ 。

试验原料的对虾选择盛产于沧州黄骅地区秋季捕捞的形态完整, 发育正常, 同一分级级别的南美白对虾 30 只, 带回实验室首先进行测量、统计分析然后进行挤压试验。选取对虾的分级级别 36~40 只/500 g。

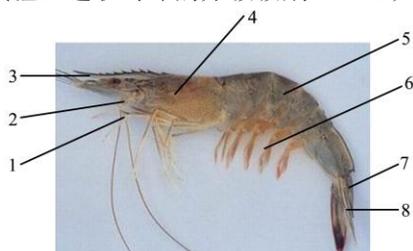


图 3 对虾结构图

Fig.3 External anatomy of a shrimp

注: 1.步足; 2.触角; 3.额角; 4.头胸部; 5.腹部体节; 6.附肢; 7.尾节; 8.尾肢。

## 2.2 试验方法

从同一分级级别的对虾当中, 根据同一品种南美白对虾形体特征参数相似原则, 挑选对虾 30 只, 并对其头长, 全长、重量、以及虾体厚度的测量和统计, 经过数据分析和处理得到相关数据和正态分布曲线。因对虾头部的额角比较坚硬, 适合对虾定位, 所以测量虾头长和全长时从对虾额角处测起, 从而确定对虾定位尺寸。

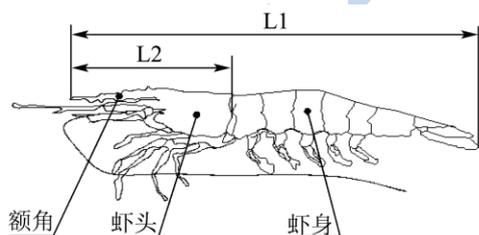


图 4 对虾测量尺寸简图

Fig.4 Schematic of shrimp measurements

对于经分级后的对虾, 分级时大多是按对虾的厚度进行分级的, 所以对于同一级别的对虾, 有必要测量虾头长, 分析虾头长是否在一定范围之内, 离散程度如何, 从而进一步确定对虾去头装置的定位的尺寸。因为对虾去头要优先保证去头后虾身的干净, 所以定位时, 定位尺寸应稍大于大于测量虾头的均值。

利用对虾去头试验台进行对虾去头试验, 虾身得率通过下式计算。

虾身得率 = (去头后的虾身质量 / 去头前的虾体总重) × 100%

组织 5 名试验人员成立感官评定小组, 对对虾去头效果进行感官质量评定 (表 1)。

表 1 感官评定标准

Table 1 Standards for sensory evaluation

评分	感官指标	
	虾头与虾身粘连程度	去虾头后虾身完整程度
5	彻底分离	虾身或虾头完整, 断面整洁
4	分离	虾身或虾头无明显缺损
3	轻微粘连	虾身或虾头轻微缺损
2	粘连	虾身或虾头有明显缺损
1	粘连严重	虾身或虾头严重缺损

首先对对虾去头试验台的结构参数包括偏离距离 e、预留距离 H 和下移速度 v 进行优化试验, 去头效果由感官评定标准确定, 感官评分 = (虾头与虾身粘连程度得分 + 去头后虾身完整程度得分) / 2; 最后利用优化后的试验台进行一刀切式对虾去头与双弹性圆柱对挤式去头对比试验。

## 3 结果与分析

### 3.1 对虾的形体特征参数测量结果统计与分析

表 2 对虾头长的测量

Table 2 Measurements of the head size of shrimp

序号	虾头长	序号	虾头长	序号	虾头长
1	42.36	11	42.56	21	44.12
2	40.8	12	41.72	22	44.56
3	43.04	13	41.84	23	45.1
4	45.7	14	41.82	24	44.28
5	44.9	15	44.22	25	46.14
6	42	16	42.56	26	44.94
7	41.88	17	43.2	27	43.06
8	46.74	18	45.8	28	43.84
9	45.16	19	45	29	44.66
10	41.48	20	43	30	43

表 3 对虾形体特征参数的分析

Table 3 Analysis of the physical characteristics of shrimp

	均值	标准差
虾头长/mm	43.65	1.57
虾全长/mm	127.42	4.89
虾体厚度/mm	14.88	1.18
虾重量/mm	14.66	1.77

对虾头长符合正态分布如图 5, 标准差 1.57 mm, 对虾头长分布集中, 有利于对虾去头; 确定定位尺寸

44 mm。

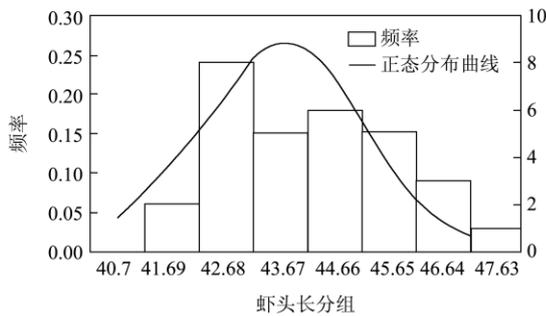


图 5 对虾头长正态分布

Fig.5 Normal distribution of the head size of shrimp

综上所述前期对南美白对虾进行分级处理是非常有必要的,对虾的虾头长、虾全长、虾体厚度等特征参数可作为设计机械对虾去头加工的重要依据。

### 3.2 双弹性圆柱对挤式对虾去头原理



图 6 两种对虾去头方法效果对比

Fig.6 Comparison of two methods for shrimp heading head for shrimp

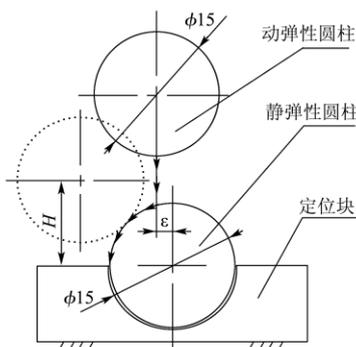


图 7 动弹性圆柱运动轨迹

Fig.7 Trajectory of the movement of elastic cylinder

一刀切式对虾去头依靠刀片的剪切力去除虾头,因定位尺寸一定而虾体外形不同,所以对虾肉的浪费严重,如图6所示。采用双弹性圆柱挤压的方法去除虾头,在挤压前只需对虾身进行简单的粗定位,虾身处于自由状态,避免了对虾身的夹持工作,因虾头与虾身的连接部位为薄弱环节,所以圆柱在挤压过程中分为两个阶段,第一阶段动弹性圆柱自动导正到虾头与虾身连接的薄弱部位并初步压紧;第二阶段动弹性圆

柱沿着定弹性圆柱一侧曲面搓擦,使虾头与虾体进一步分离,动弹性圆柱的运动轨迹如图7所示,虾头与虾身分离完全彻底,虾肉缺损几乎为零。

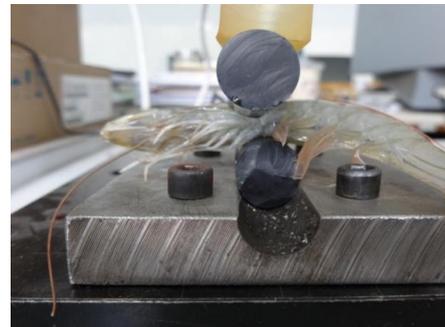


图 8 挤压试验

Fig.8 Photograph of extrusion experiment

### 3.3 不同偏离距离 e 下对虾去头效果比较

改变动弹性圆柱相对定弹性圆柱的偏离距离e,然后分别进行挤压试验,对虾去头效果由感官评定标准(表1)确定,对虾去头效果变化曲线如图8所示。

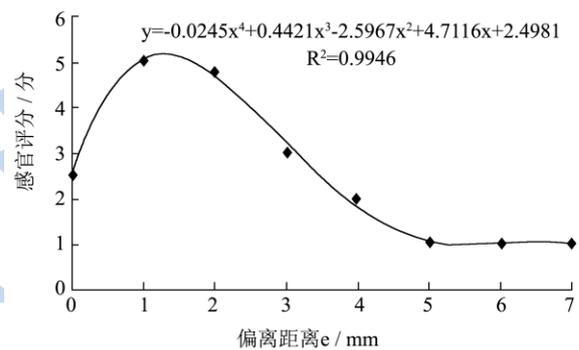


图 9 不同偏离距离 e 下对虾去头效果变化曲线

Fig.9 Variation in shrimp heading effectiveness with offset distance e

由拟合曲线得随着偏离距离的增大,去头效果先逐渐变好之后逐渐变差。因为当偏离距离很小几乎为零时,弹性圆柱挤压只有第一阶段自动导正并初步压紧的过程,虾头与虾身有轻微粘连的现象;当偏离距离合适时,动弹性圆柱沿着定弹性圆柱一侧曲面搓擦,使虾头与虾体进一步分离,去头效果最好;而当偏离距离进一步增大时,第一阶段自动导正的效果逐渐消失,致使虾头与虾身粘连的同时,虾身或虾头被挤压。根据拟合方程通过Matlab得到当e=1.29 mm时去头效果最好。

### 3.4 不同预留距离 H 下对虾去头效果比较

因为后续对虾去头装置的研制需已知动弹性圆柱的进给量,而动弹性圆柱的初始位置不确定,所以预留距离 H 作对测算动弹性圆柱的进给量具有重要意

义。对于不同的预留距离 H 进行挤压试验, 去头效果变化曲线如图 10 所示。

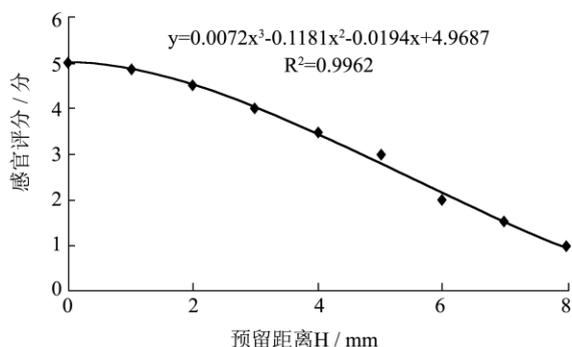


图 10 不同预留距离 H 下对虾去头效果变化曲线

Fig.10 Variation in shrimp heading effectiveness with reserve distance H

由拟合曲线可得随着预留距离 H 的增大, 去头效果逐渐变差。当预留距离 H=0 时, 去头效果最好, 虾头与虾身已彻底分离; 预测当 H 为负值去头效果不会有太大变化。因动弹性圆柱与定位块的干涉, 未做 H 为负值的试验。

### 3.5 动弹性圆柱不同下移速度 v 下对虾去头效果比较

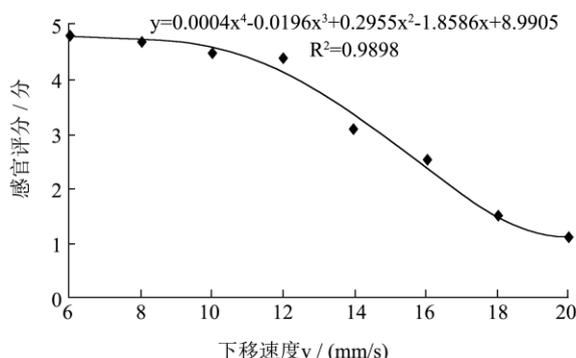


图 11 不同下移速度 v 下对虾去头效果变化曲线

Fig.11 Variation in shrimp heading effectiveness with downward speed v

螺旋机架螺距 3 mm/r, 伺服电机设定不同转速进行试验, 对虾去头效果由感官评定标准 (表 1) 确定, 对虾去头效果随不同的下移速度 v 的变化曲线如图 11 所示。

由拟合曲线可得随着动弹性圆柱下移速度的增大, 去头效果明显变坏。因为下移速度增大, 挤压过程过程的两个阶段, 界限不太分明, 导致第一阶段动弹性圆柱还未自动导正到虾头与虾身连接的薄弱环节, 就进入下个阶段动弹性圆柱沿着定弹性圆柱一侧曲面搓擦, 导致虾头与虾身粘连严重, 虾头和虾身被

挤压; 但是随着下移速度的进一步减小, 去头效果没有太大的变化, 考虑到工作效率的因素, 取下移速度 v=10 mm/s, 此时感官评分 4.5 分基本满足去头要求。

### 3.6 一刀切式对虾去头与双弹性圆柱对挤式对虾去头对比试验

设定动弹性圆柱下移速度 v=10 mm/s、偏离距离 e=1.29 mm 和预留距离 H=0 mm, 进行双弹性圆柱对挤式对虾去头试验; 然后将双弹性圆柱替换为刀片进行一刀切式对虾去头试验。实验结果如表 4 所示。

表 4 一刀切式对虾去头和双弹性圆柱挤压去头试验结果  
Table 4 Test results of shrimp heading with a guillotine and with double elastic cylinder extrusion

对虾去头方法	虾身得率/%	虾头与虾身粘连程度/分	去虾头后虾身完整程度/分
一刀切式对虾去头	58.60	4.8	1.5
双弹性圆柱挤压去头	65.12	4.9	4.8

由实验结果可得双弹性圆柱对挤式对虾去头比一刀切式对虾去头虾身得率提高 11.13%; 采用双弹性圆柱对挤式对虾去头, 去头后虾身完整程度得分是一刀切式对虾去头得分的三倍多; 两种方法基本都能完成虾头与虾身彻底分离。

## 4 结论

4.1 双弹性圆柱对挤式对虾去头解决了一刀切式对虾去头虾肉浪费严重的问题, 为今后对虾去头装置的研制提供了新的思路。

4.2 双弹性圆柱对挤式对虾去头过程分为两个阶段, 第一阶段动弹性圆柱自动导正到虾头与虾体连接的薄弱部位并初步压紧; 第二阶段动弹性圆柱沿着定弹性圆柱一侧曲面搓擦, 使虾头与虾体进一步分离, 虾头与虾身分离完全彻底, 虾肉缺损几乎为零。

4.3 实验表明对虾去头效果随预留距离 H 的增大而逐渐变坏, 为了避免装置的干涉, 取 H=0 mm; 随偏离距离 e 的增大先逐渐变好再逐渐变坏, 根据拟合曲线方程取 e=1.29 mm; 而随动弹性圆柱下移速度 v 的增大而逐渐变坏, 但是随着下移速度的进一步减小, 去头效果没有太大的变化, 考虑到工作效率的因素, 取下移速度 v=10 mm/s, 此时感官评分 4.5 分基本满足去头要求。

4.4 由一刀切式对虾去头与双弹性圆柱对挤式去头对比试验结果可得双弹性圆柱对挤式对虾去头比一刀切式对虾去头虾身得率提高 11.13%; 采用双弹性圆柱对挤式对虾去头, 去头后虾身完整程度得分是一刀切

式对虾去头得分的三倍多;两种方法基本都能完成虾头与虾身彻底分离。

### 参考文献

- [1] 郭南麟,陈雪忠,陈思行,等.发展我国南极磷虾渔业的探讨[J].海洋渔业,1996,18(2):58-66  
GUO Nan-lin, CHEN Xue-zhong, CHEN Si-xing, et al. On the development of antarctic krill fisheries in China [J]. Marine Fisheries, 1996, 18(2): 58-66
- [2] 李学英,迟海,杨宪时,等.南极磷虾冷藏过程中的品质变化[J].食品科学,2010,31(20):464-468  
LI Xue-ying, CHI Hai, YANG Xian-shi, et al. Quality change of antarctic krill during chilling storage [J]. Food Science, 2010, 31(20): 464-468
- [3] 常耀光,李兆杰,薛长湖,等.超高压处理对南美白对虾在冷藏过程中贮藏特性的影响[J].农业工程学报,2008,24(12):230-237  
CHANG Yao-guang, LI Zhao-jie, XUE Chang-hu, et al. Effects of ultra high pressure treatment on storage characteristics of white shrimp in cold storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 230-237
- [4] 郑晓伟,沈建,蔡淑君,等.南极磷虾等径滚轴挤压剥壳工艺优化[J].农业工程学报,2013,29(增刊1):286-293  
ZHENG Xiao-wei, SHEN Jian, CAI Shu-jun, et al. Process optimization of roller extruder with equal diameter of antarctic krill [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(Supp.1): 286-293
- [5] 陈庆余,沈建,傅润泽,等.典型海产小杂鱼机械去头方法研究[J].渔业现代化,2012,39(5),38-42  
CHEN Qing-yu, SHEN Jian, FU Run-ze, et al. Method study on mechanized head cutting for marine small fish [J]. Fishery Modernization, 2012, 39(5): 38-42
- [6] DOWGIALLO A. The effect of cutting and fish-orientation systems on the deheading yield of carp [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43(9): 1688-1692
- [7] 胡晓亮,陈庆余,谈佳玉.深水红娘鱼的形态特征参数及其相关性比较分析[J].现代食品科技,2012,28(12):1627-1631  
HU Xiao-liang, CHEN Qing-yu, TAN Jia-yu. Comparative study on biological characteristics and correlation analysis of morphological characteristics of *Lepidotrigla abyssalis* [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(12): 1627-1631
- [8] Kragh H. Fish processing machine with alignment devices and methods for realigning fish during processing [P]. USA, US7252584B2: 2007-08-07
- [9] Joseph C. Gigliotti, Matthew P. Davenport, Sarah K. Beamer, et al. Extraction and characterisation of lipids from antarctic krill [J]. Food Chemistry, 2011, 125(3): 1028-1036
- [10] Al-Dagal M M, Bazaraa W A. Extension of shelf life of whole and peeled shrimp with organic acid salts and bifidobacteria [J]. Journal of Food Protection, 1999, 62(1): 51-56
- [11] So Kawaguchi, Stephen Nicol. Learning about antarctic krill from the fishery [J]. Antarctic Science, 2007, 19(2): 219-230
- [12] Bunji Yoshitomi. Utilization of Antarctic Krill for Food and Feed[J]. Developments in Food Science,2004, 42(2): 45-54
- [13] Se-Jong Ju, H Rodger Harvey. Lipids as markers of nutritional condition and diet in the antarctic krill *euphausia superba* and *euphausia crystallorophias* during austral winter [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2004, 51(17): 2199-2214
- [14] Anita H Poulsen, So Kawaguchi, Jussi V K Kukkonen, et al. Aqueous uptake and sublethal toxicity of p,p'-DDE in non-feeding larval stages of antarctic krill [J]. Environmental Pollution, 2012, 160(1): 185-191