DOI:10.13652/j.issn.1003－5788.2015.03.027

一种连续式对虾剥壳装置的设计与试验研究

Design and test on continuous peeling device for shrimp

张泽明　王泽河　张秀花　王　伟　杨淑华

ZHANG Ze-ming　WANG Ze-he　ZHANG Xiu-hua　WANG Wei　YANG Shu-hua

（河北农业大学机电工程学院，河北 保定　071001）

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

摘要：提出一种连续式对虾剥壳方案，确定对辊啮角是影响对虾剥壳效果的主要因素，研制相应的连续式对虾剥壳装置，对其结构参数进行优化，并进行相关试验研究。结果表明，随着对虾厚度的减小，虾仁损失率逐渐增加，而代表剥壳成功率和剥壳难易程度的感官评分逐渐增大，因此确定了剥壳对虾的分级级别为 82～100 只/kg，以充分保证剥壳成功率；随着旋转速度的增大，虾仁损失率和感官评分都是先逐渐降低后又有所增长，因此确定辊组旋转速度 45 r/min；随着旋转角度的增大，虾仁损失率也随之增大，旋转角度太小，虾肉与虾皮粘连严重，剥壳失败，因此确定辊组旋转角度 270 °/234 °，保证对虾剥壳成功的前提下，虾仁损失率最低。连续式对虾剥壳装置提高了对虾剥壳的效率，同时为后续样机的研制提供了依据。

关键词：对虾；剥壳装置；对辊啮角；结构

Abstract: It proposed a program of continuous peeling for shrimp, and determined that the roller's nip angle was the major impact factor for shrimp peeling effecienby. The equipment was designed for continuous shrimp peeling, and tests were carried out to optimize structural parameters. Tests showed that with the decreases of the thickness of shrimp, the loss of shrimp gradually increased, while the sensory score represented by success rate and the difficulty of peeling increased, thus determining the classification level of peel shrimp 82～100 kg^{-1}, fully guarantee the success rate of peeling; with the increase of the rotational speed, the shrimp's loss and sensory scores are firstly increased and then decreased, and therefore determine the rotational speed of the roller group 45 r/min; with the increasing of rotation angle, the shrimp's loss increases, the too small rotation angle leads to severe adhesion of shrimp and shrimp skins and failure of peeling, thus determining the angle of rotation of rollers 270 °/234 °, making the loss of shrimp lowest under the premise of successful peeling of shrim. The continuous peeling device for shrimp will improve the efficiency of shrimp peeling and provide theoretical basis and foundation for subsequent development of the prototype.

Keywords: shrimp; peeling device; roller's nip angle; structure

中国对虾（fleshy prawn），又称东方对虾，拉丁学名为 *Penaeus chinensis* 或 *Penaeus orientalis Kishinouye*，隶属节肢动物门，甲壳纲，十足目，对虾科，对虾属。对虾属个体大，通称大虾。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，中国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、碳水化合物和纤维素等营养成分[1]。

对虾剥壳是对虾加工过程中最重要的环节之一，目前，中国仍以手工剥壳为主。研制自动化虾剥壳装备，为虾类生产企业提供实用的、性能可靠的虾类剥壳设备，对解决虾剥壳的瓶颈问题，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[2]。美国 Jonsson 公司设计的虾剥壳机需人工把去头虾体整齐定向地排放到一系列的托盘中，之后虾体自动进行校正、压平、夹紧、开背和剥壳，自动化程度高，但剥壳过程不连续，剥壳效率比较低；美国 Prawnto 公司的虾加工设备主要用于虾的开背工作，需要人工对去头虾定向上料，不利于对虾的批量化加工。对于虾去头方面的研究国外未见报道。王泽河等[3,4]曾对对虾定向、排序去头、开背以及剥壳工艺进行了深入的研究，确定了对虾加工的工艺流程，并进行了对虾定向和开背方面的试验研究，初步确定了对虾定向、开背的方案。本研究采用辊组往复正反转的形式实现对虾剥壳，旨在解决对虾剥壳不连续，剥壳效率低的问题，为最终对虾加工自动化设备的研制提供依据。

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

作者简介：张泽明（1989—），男，河北农业大学在读硕士研究生。E-mail：814125997@qq.com

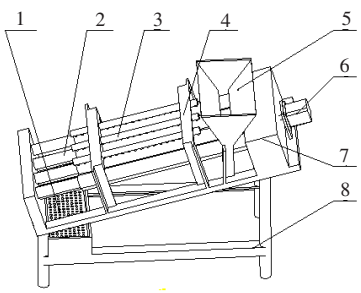
通讯作者：王泽河

收稿日期：2015－03－21

1 整体结构与辊组布置方案

1.1 整体结构设计

对虾剥壳装置如图 1 所示，主要由虾仁收集箱、剥壳辊组、喷淋装置、喷淋装置支架、上料箱、步进电机、辊组传动箱和机架组成。对虾经去头、开背处理后送入上料箱，之后由步进电机驱动剥壳辊组往复正反旋转，对虾沿辊组往下滑动的同时将虾壳剥离，虾仁落入虾仁收集箱中；喷淋装置一方面有利于对虾往下滑动，另一方面有利于辊组的清洁；同时辊子与辊子之间的传动由辊组传动装置实现。



1. 虾肉收集箱 2. 剥壳辊组 3. 喷淋装置 4. 喷淋装置支架 5. 上料箱 6. 步进电机 7. 辊组传动箱 8. 机架

图 1 对虾剥壳装置整体结构示意图

Figure 1 The schematic diagram of whole structure for the shrimp peeling device

1.2 辊组布置方案

前期试验[5,6]得到当对辊直径较大(Φ100 mm/Φ80 mm)时，对辊啮角较小，两辊之间区域等同于 V 型槽，两辊在对挤过程中虾体始终处于进给挤压状态；转动角度过大，虾肉被挤烂；转动角度太小，虾体尾节处，虾肉与虾皮出现粘连，增大了后续虾皮、虾肉分离的难度。而且对于同一分级级别的虾体，虾的几何形状，外形尺寸又有所区别，旋转角度确定后，会导致有的虾体尾节处被挤烂，虾肉损失严重；有的虾体尾节处，虾肉与虾皮出现粘连。同时上料前需对虾体定向排序，不利于对虾剥壳过程的连续进行；当对辊直径较小(Φ15 mm/Φ10 mm)时，对辊啮角较大，无法夹持虾腿，导致剥壳失败；同时当辊径不变时，对辊摩擦系数越大，对辊啮角越小，虾仁损失越严重，对虾剥壳越容易；当对虾厚度越大，对辊啮角越大，对虾剥壳越难，虾仁损失越小。

总之，随着对辊啮角变小，剥壳越容易，但虾仁损失也越严重。为了能顺利将对虾剥壳同时又不造成虾仁损失，必须对辊径组合以及辊子的布置形式加以优化，以实现连续对虾剥壳。

根据式(1)可得，为了得到尽可能大的啮角，辊径组合应有两种方案，方案一如图 2 所示，大辊与小辊直径相差较大且之间无间隙，对辊啮角如图 3 所示，为了便于小辊的布置，辊组布置采用此种布置形式；方案二如图 4 所示，大辊小辊直径都较小，但两辊之间有间隙，以保证合适的啮角，对辊啮角如图 5 所示。辊组旋转时保持连续的正转反转，辊组的旋转方向见图 2、4，为了保证虾皮能从两辊之间落下要求正转角度大于反转角度。

$$\cos\alpha=\frac{\left(D+d+2\xi-\frac{2l}{k}\right)^2-d^2-D^2}{2Dd} \tag{1}$$

式中：

α——对辊啮角，°；

D——大辊直径，mm；

d——小辊直径，mm；

K——对辊的摩擦系数；

l——对虾厚度参数；

ξ——对辊间隙(方案一中 ξ=0)，mm。

2 材料与方法

2.1 材料

本试验所用的原料为盛产于沧州黄骅地区秋季捕捞的形态完整、发育正常、不同级别的南美白对虾，用冰水混合物处理 24 h。对虾的分级级别为 42～50，52～60，62～70，72～80，82～100 只/kg[7,8]。

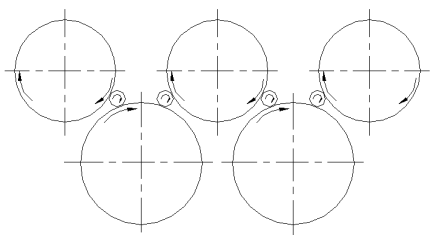


图 2 方案一辊组布置形式

Figure 2 The roller group's layout of the first scheme

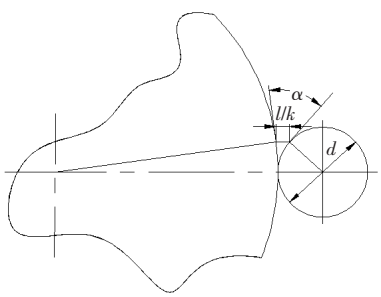


图 3 方案一对辊啮角

Figure 3 The roller's nip angle of the first scheme

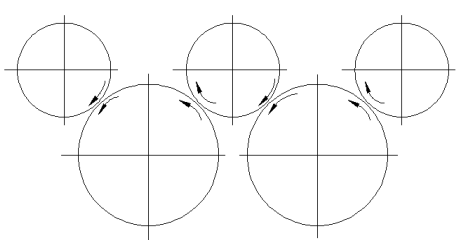


图 4 方案二辊组布置形式

Figure 4 The roller group's layout of the second scheme

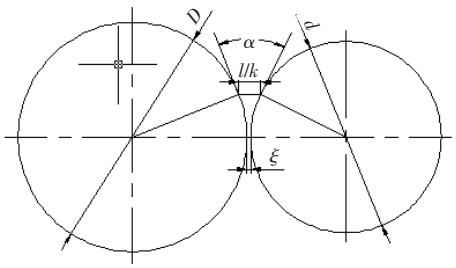
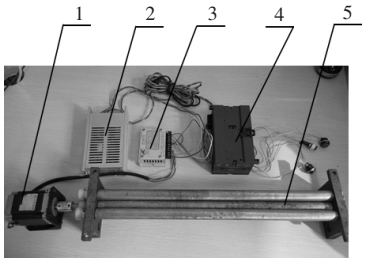


图 5　方案二对辊啮角

Figure 5　The roller's nip angle of the second scheme

2.2　仪器与设备

对虾剥壳试验设备由河北农业大学"海洋公益性行业科研专项"课题组研制,辊径组合 25 mm/20 mm,间隙 0.5 mm,辊组表面经辊花处理,游标卡尺,钢直尺,电子天平秤,西门子 S7-200CPU 为 224XP 的 PLC,时代超群公司生产的型号为 ZD-6560-V3 的步进电机驱动器和型号为 57BYGH652-03 的步进电机。



1. 步进电机　2. 24 V 直流电源　3. 步进电机驱动器
4. PLC　5. 剥壳装置

图 6　对虾剥壳装置示意图

Figure 6　The schematic diagram of the peeling device for shrimp

2.3　试验设计

剥壳前将对虾去头开背,开背长度 6 节,并称得其质量,连续旋转 5 个循环,记录剥壳成功时所旋转的圈数并再次称得虾皮与虾肉的质量和,虾仁损失率通过式(2)算得。剥壳效果通过表 1 的感官评分评定。剥壳效果感官评分为虾皮与虾肉粘连程度感官评分与剥壳成功时的旋转圈数感官评分的平均值。虾皮与虾肉粘连程度感官评分代表着剥壳成功率,剥壳成功时的旋转圈数感官评分代表着剥壳的难易程度。

$$P=\left(1-\frac{M_s}{M_o}\right)\times 100\% \tag{2}$$

式中:

P——虾仁损失率,%;

M_s——剥壳完成后虾皮与虾仁的质量和,g;

M_0——剥壳前去头开背对虾的质量,g。

为保证虾皮能从两辊之间的间隙掉下,设定正转角度比反转角度多 36 °。将选取的对虾分别以对虾厚度、旋转速度、旋转角度 3 个参数为影响因子逐一进行单因素试验,观察各指标的变化趋势。

(1) 对虾厚度试验:辊径组合 25 mm/20 mm,间隙 0.5 mm,旋转速度 30 r/min,旋转角度为正转 360 °反转 324 °,采用不同分级级别的对虾依次为 42～50,52～60,62～70,72～80,82～100 只/kg 对应不同的对虾厚度。

(2) 旋转速度试验:对虾分级级别 82～100 只/kg,辊径组合 25 mm/20 mm,对辊间隙 0.5 mm,旋转角度为正转 360 °反转 324 °,旋转速度依次选为 15,30,45,60 r/min,取对虾 10 只/组,共 4 组。

(3) 旋转角度试验:对虾分级级别 82～100 只/kg,辊径组合 25 mm/20 mm,对辊间隙 0.5 mm,旋转速度 30 r/min,正反转角度依次为 90 °/54 °,180 °/144 °,270 °/234 °,360 °/324 °,450 °/414 °,取对虾 10 只/组,共 5 组。

3　结果与分析

3.1　对虾厚度单因素试验结果与分析

对虾厚度单因素试验结果见表 2。试验表明随着对虾厚度的减小,虾仁损失率逐渐增加,而代表剥壳成功率和剥壳难易程度的感官评分逐渐增大。因此选择对虾分级级别为 82～100 只/kg,充分保证剥壳成功率。

3.2　旋转速度单因素试验结果与分析

辊组旋转速度单因素试验结果见表 3。试验表明随着旋转速度的增大,虾仁损失率和感官评分都是先逐渐降低后又有所增长,因此确定最佳转速为 45 r/min。

表 1　对虾剥壳效果评定

Table 1　The standard of sensory evaluation for shrimp's peeling

评分	虾皮与虾肉粘连程度	剥壳成功时的旋转圈数
5	虾皮与虾肉彻底分离	0～1
4	虾皮与虾肉分离	1～2
3	虾皮与虾肉轻微粘连	2～3
2	虾皮与虾肉粘连	3～4
1	虾皮与虾肉粘连严重	4～5

表 2　对虾厚度单因素试验结果

Table 2　The single factor test results of shrimp's thickness

对虾级别/kg^{-1}	感官评分	虾仁损失率/%
42～50	2.0	3.0
52～60	2.5	3.2
62～70	4.5	4.0
72～80	4.8	4.5
82～100	5.0	5.9

表 3 旋转速度单因素试验结果

Table 3 The single factor test results of rotating speed

转速/(r·min^{-1})	感官评分	虾仁损失率/%
15	4.57	7.5
30	4.50	7.9
45	4.88	4.3
60	4.78	5.7

3.3 旋转角度单因素试验结果与分析

辊组旋转角度单因素试验结果见表 4。试验表明随着旋转角度的增大,虾仁损失率也随之增大;旋转角度太小,虾肉与虾皮粘连严重,剥壳失败。因此确定旋转角度 270 °/234 °,使对虾剥壳成功的前提下,虾仁损失率最低。

表 4 旋转角度单因素试验结果

Table 4 The single factor test results of rotating angle

正转/反转	感官评分	虾仁损失率/%
90 °/ 54 °	1.00	1.5
180 °/144 °	2.00	2.0
270 °/234 °	4.88	3.4
360 °/324 °	4.78	5.7
450 °/414 °	4.50	7.1

4 结论

(1) 连续式对虾剥壳方案,避免了对虾剥壳前需定向、排序的难题,为今后对虾剥壳装置的研制提供了新的思路。

(2) 通过前期大量试验得到了辊式对虾剥壳的理论公式。试验表明对于同一分级级别的对虾,对辊啮角越小虾肉损失越严重;对辊啮角太大,对虾剥壳难度加大;对于不同厚度的对虾,当辊径组合和对辊间隙一定时,其对应不同的啮角,啮角不同直接影响剥壳的效果。

(3) 试验表明随着对虾厚度的减小,虾仁损失率逐渐增加,而代表剥壳成功率和剥壳难易程度的感官评分逐渐增大,因此选择对虾分级级别为 82～100 只/kg,充分保证剥壳成功率;随着旋转速度的增大,虾仁损失率和感官评分都是先逐渐降低后又有所增长,因此确定最佳转速为 45 r/min;随着旋转角度的增大,虾仁损失率也随之增大,旋转角度太小,虾肉与虾皮粘连严重,剥壳失败,因此确定旋转角度 270 °/234 °,使对虾剥壳成功的前提下,虾仁损失率最低。将经去头开背分级级别 82～100 只/kg 的对虾送入辊径组合 25 mm/20 mm,对辊间隙 0.5 mm,旋转角度 270 °/234 °,旋转速度 45 r/min 的辊组,得到虾仁损失率为 2.6%,感官评分 4.9 分。

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.

2 张进疆,张林泉,赵锡和,等.虾剥壳装备研究与设计[J].现代农业装备,2011(7):50～52.

3 王泽河,张丽丽,张秀花,等.双辊式对虾粗定向方法的试验与研究[J].食品与机械,2013,29(6):99～101.

4 张丽丽,王泽河,张秀花,等.对虾开背工艺方案的设计与研究[J].食品与机械,2013,29(5):138～140.

5 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.

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.

7 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.

8 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.

(上接第 61 页)

14 顾海锋,张世庆,孙力,等. 黄酒识别的电子鼻系统设计[J].食品科技,2014,39(4):248～251.

15 尹猛猛.基于可视化阵列传感器的白酒鉴别系统设计及应用研究[D].重庆:重庆大学,2010.

16 闫李慧,王金水,渠琛玲,等. 仿生电子鼻及其在食品工业中的应用研究[J].食品与机械,2010,26(6):156～159.

17 王宠,梁琪,甘伯中,等. 电子鼻在干酪风味检测中的应用[J].食品与机械,2012,28(2):250～253.

18 张燕燕,蔡静平,蒋澎. 储粮微生物危害检测技术研究进展[J].食品与机械,2013,29(6):267～270,272.

19 张瑶,丁武. 利用电子鼻区分羊奶中不同浓度抗生素[J].食品与机械,2011,27(6):144～146,156.

20 秦蓝,李凤华,田怀香,等. 鸡精调味料人工感官评价与电子鼻感官分析的相关性研究[J].食品与机械,2014,30(4):11～13,42.

21 Li Zhen-feng, Wang Ning, Vigneault C. Electronic nose and electronic tongue in food production and processing[J]. Stewart Postharvest Review,2006(4):1～6.

22 曾金红,江涛,郑云峰,等. 基于仿生嗅觉特征的黄酒产地判别研究[J].酿酒科技,2012(2):23～26.

23 江涛,李博斌,郑云峰,等. 电子鼻对绍兴黄酒酒龄的定量判别研究[J].酿酒科技,2012(1):39～41,46.

24 Zhang Qin-yi, Xie Chang-sheng, Zhang Shun-ping, et al. Identification and pattern recognition analysis of Chinese liquors doped nano ZnO gas sensor array[J]. Sensors Actuators B, 2005,2(110):370～376.

25 Jeroen Lammertyn, Els A Veraverbeke, Joseph Irudayaraj. zNose technology for the classification of honey based on rapid aroma profiling[J]. Sensors Actuators B, 2004(98):54～62.

26 Li Chang-ying, Paul Heinemann, Richard Sherry. Neural network and Bayesian network fusion models to fuse electronic nose and surface acoustic wave sensor data for apple defect detection[J]. Sensors and Actuators. B, Chemical, 2007(125):301～310.

27 H L Gan, Y B Che Man, C P Tan, et al. Characterization of vegetable oils by surface acoustic wave sensing electronic nose [J]. Food Chemistry, 2004(89):507～518.