

海湾扇贝毛刷辊与高压气喷组合式清洗机试验

Experimental study on washing machine combined brush-roller and high-pressure gas spraying for the bay scallop

杨淑华¹ 滕桂君¹ 李娜¹ 弋景刚¹ 王颀²

YANG Shu-hua¹ TENG Gui-jun¹ LI Na¹ YI Jing-gang¹ WANG Jie²

(1. 河北农业大学机电工程学院, 河北 保定 071001; 2. 河北农业大学食品科技学院, 河北 保定 071001)

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China;

2. College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

摘要:针对人工清洗海湾扇贝劳动强度大、工作效率低,卫生条件差,以及扇贝清洗要适应机械化与产业化生产的问题,设计一种双层毛刷辊刷洗和高压气喷洗相结合的海湾扇贝清洗机,以解决高压水清洗扇贝存活率低的问题。通过样机试制,正交试验和验证实验,确定了在满足扇贝清洗效果与清洗效率的前提下,当上下两排相邻毛刷辊的辊芯距为 111 mm,下排两边毛刷辊的转速 v_1 为 120 r/min,下排中间毛刷辊的转速 v_2 为 360 r/min,上排毛刷辊的转速 v_3 为 200 r/min 时,清洗除杂程度最高可达 3.848%,扇贝存活率为 98%。为扇贝清洗机清洗效果关键部件主要参数的确定提供了参考。

关键词: 海湾扇贝;清洗;样机制作;毛刷辊

Abstract: Facing with the problem that manual cleaning for bay scallop is Labor-intensive, low efficiency, poor health conditions and the demands of industrialization and mechanization production. A kind of double-brush-roller and high-pressure gas spraying combined washing machine was designed, which was efficient and energy saving. It solved the problem that the survival rate of scallops cleaned by high-pressure water. It has been determined that on the premise of scallops cleaning effect and the efficiency, the highest cleaning degree of removing impurity could reach 3.848% and the survival rate could reach 98% under the parameter combination, that the roll core distance of the upper and lower roller brush of two adjacent rows is 111 mm, the speed v_1 of the brush rollers on both sides of the next row is 120 r/min, the speed v_2 of the brush roller under the middle

row is 360 r/min, the speed v_3 of the upper brush roller is 200 r/min. It provides the reference value and a great significance in guiding production for the determination of the main parameters of the key parts which determine the scallop cleaning effect.

Keywords: Bay scallops; cleaning; prototyping; brush roller

2013 扇贝年产量已达到 97 万 t,其中海湾扇贝产量为 71 万 t^[1],占扇贝总产量的 73%。海湾扇贝壳表面具有扇形条纹,容易附着泥沙、杂草、寄生虫和其他寄生物,严重影响扇贝后续加工中的贝柱、裙边、内脏和贝壳的产品质量。扇贝清洗是海湾扇贝加工过程中的第一工序,海湾扇贝清洗要清除海湾扇贝表面的杂质、泥沙、寄生虫卵,为后续的加工提供干净的扇贝源。目前,国内外海湾扇贝清洗工作以手工劳动为主,劳动强度大、效率低、耗水量大、清洗分散,无法保证食品加工安全卫生条件,且手工清洗不能满足海湾扇贝加工产业化的需要。

目前,国内外市场上常见的清洗机主要有气泡式、沉浸式、超声波式、毛刷式、喷淋式、蒸发脱脂式、负压吸干、滚筒式等,这些清洗机清洗物料主要以水果、蔬菜为主,不适用于清洗海湾扇贝,且价格较昂贵。市场上尚未见专门用于海湾扇贝清洗的清洗机。滕桂君等^[2]曾设计了一种毛刷辊和高压水组合的海湾扇贝清洗装置,该装置由机架、空心螺旋毛刷辊和布置在毛刷辊上方的高压喷水装置等组成,采用边刷洗边运输的方式,且扇贝随着毛刷辊的转动作低速运动,对物料本身的机械损伤小,可保证较低的破损率。但在高压水清洗后,绝大多数扇贝较短时间内会失去活性,对后续的分级、开壳、取贝柱工序不利。课题组试验发现:扇贝在淡水中存活时间仅 3 h 左右,而在空气中可存活 60 h 左右。为了保证扇贝在后续加工中的鲜活品质,本研究拟在文献^[2]的基础上重新设计,采用高压气喷替代高压水洗的方案,并对毛刷辊进行重新布置,设计成上下交错的形式,有利于扇贝在

基金项目: 国家海洋公益性行业科技专项(编号:201205031);国家海洋公益性行业科技专项河北省配套经费项目(编号:201205031)

作者简介: 杨淑华,女,河北农业大学讲师,硕士。

通讯作者: 弋景刚(1961—),男,河北农业大学教授,硕导。

E-mail: yjg@hebau.edu.cn.

收稿日期: 2015-12-01

毛刷辊间的输送,对扇贝上下表面进行同时清洗,旨在研制一种毛刷辊刷洗与高压气喷洗相结合的高效、节能的海湾扇贝清洗机。

1 扇贝清洗机结构及工作过程

扇贝清洗机结构见图 1,主要由机架、上下交错布置的毛刷辊、喷气装置、驱动电机等组成^[2-3]。由机架 1 支撑,上排毛刷辊 12 和下排毛刷辊 7 分别安装在上辊架和下辊架上。下辊驱动电机 1 通过链条 1 带动下毛刷辊 1 顺时针转动,下辊驱动电机 2 通过链条 2 带动下毛刷辊 2 顺时针转动,下毛刷辊 1 和下毛刷辊 2 的转速可分别通过下辊驱动电机 1、2 调节,使之转速不同。链条 1 上布置张紧轮 1,链条 2 上布置张紧轮 2,以保证传动平稳可靠。上辊驱动电机使上毛刷辊逆时针转动,转速与下毛刷辊不同。扇贝通过左侧进料口进入到双层毛刷辊之间的间隙中,随着毛刷辊的差速转动,边刷洗边运输,最后从右侧出料。上辊架通过 4 根螺柱固定在支架上,可调节上辊架在 4 根螺柱上的位置,以此达到改变上下辊架间距离的目的。上辊架由内辊架和外辊架组成,内辊架通过右侧的上辊架角度调节轴和左侧的上辊固定架固定在一起。内辊架的角度也可以调节,调节上辊架高度调节杆时,与之铰接的上辊架角度调节轴也会转动,使内辊架与水平位置产生一定角度,由此达到调节上辊架与下辊架之间角度的目的。扇贝在上、下两排清洗毛刷辊之间的间隙中通过并得到清洗,而且双面均得到清洗,扇贝清洗间隙与扇贝喂入间隙的大小可调,以获得最佳清洗效果^[3]。在上层两毛刷辊间的间隙上方布置有高压气喷嘴 13,扇贝随着毛刷辊边刷洗边传动的过程中,对整个装置进行高压气喷射清洗,既可以除去扇贝上已松动的泥沙等杂质,也可以除去毛刷辊刷丝上的杂质。

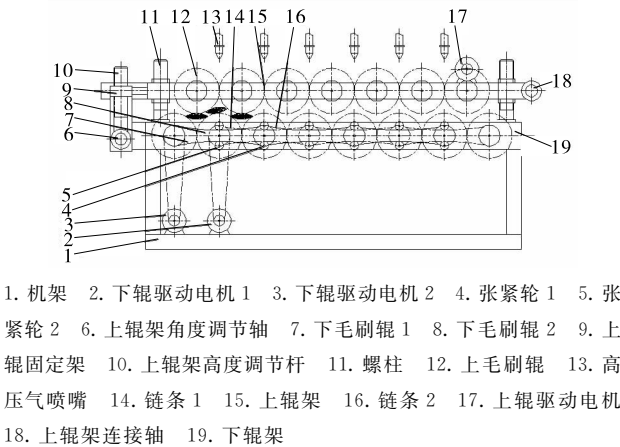


图 1 双排辊式扇贝清洗机
Figure 1 Double-row roller washing machine of scallops

2 试验样机设计制作

2.1 试验样机结构方案

在上述扇贝清洗机结构图的基础上,去掉高压喷气装置部分,简化毛刷辊数量,用活动的高压泵喷气嘴代替,在河北农业大学机电实习厂制作了如图 2 所示试验样机。

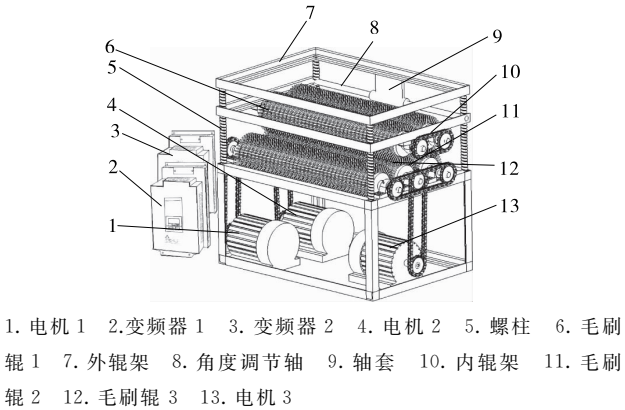


图 2 海湾扇贝清洗试验样机
Figure 2 Washing test machine of scallops

该样机下排毛刷辊安装在支架上,上排毛刷辊安装在内辊架上,内辊架一侧与角度调节轴焊接在一起,角度调节轴套在轴套内部,另一侧用螺母固定在螺柱上,可通过调节螺母来调节上下排毛刷辊的角度。当保持内辊架水平放置时,调节与外辊架接触的螺母可以调节上下辊架之间的垂直距离。在毛刷辊安装的支架角铁上都铣有通槽,水平相邻两辊间的距离可调节。上、下排毛刷辊分别布置在两个相互平行的水平面上,每一根上排毛刷辊与相邻的两根下排毛刷辊成等腰三角形排列^[4],即每一根上排毛刷辊都在与其相邻的两根下排毛刷辊的中垂线上。

2.2 驱动电机的选择

试验的目的是确定扇贝在不同毛刷辊转速和不同毛刷辊距离情况下的运动效果和撵搓清洗效果。选择无级变速的电机对扇贝清洗效果进行试验,找出 3 种毛刷辊的最佳转速。试验时,驱动下层毛刷辊 3 的电机选用由上海长江机电有限公司生产的 YCT112-4B 型,额定功率为 0.75 kW,调速范围为 1 250~125 r/min 的电磁调速异步电机(又称滑差电机),它是一种由直流电磁滑差恒转矩控制的交流无级变速电动机^[5]。电磁调速电机的额定转速仅为同步电机转速的 80%~85%,交流无级调速范围大,用于恒转矩负载时,一般可达 10:1,有特殊要求时亦可达 50:1,转速变化率在 2%左右;转矩可调,调节电机的转矩即可保持拉力不变。

其他毛刷辊驱动电机采用普通的 Y802-4 型,额定功率为 0.75 kW,转速为 1 500 r/min 的三相异步电机^[6-8](威海泰富西玛电机有限公司)连接 EV510 型,单相 220 V 变频器(浙江艾德森电气有限公司),通过改变变频器的频率来改变电机的转速,从而改变毛刷辊的转速。如图 2 所示,上层毛刷辊由一条链带动传动,其中上层毛刷辊 2 的另一头由链条与电机 2 连接,电机 2 与变频器 2 连接。下层毛刷辊 1 的另一头由链条与电机 1 连接,电机 1 与变频器 1 连接。实现两层辊间差速和无级调速。

2.3 毛刷辊的选择

海湾扇贝 11、12 月份收获,扇贝清洗工作于低温状态进行,刷丝材料 PA1010 常温和低温下具有较好的冲击性能,表面硬度较大,耐疲劳强度高,比重轻,易于安装和搬运,劳

动强度小。海湾扇贝主要用途是食用,但贝壳上带有霉菌和石灰虫,PA1010 无毒,耐菌和虫蛀,是较理想的刷丝材料。

通过对随机抽取的 200 只海湾扇贝的壳高、壳长、壳宽进行测定,绘制扇贝外观图如见 3,平均壳长为 55.847 0 mm,平均壳高为 52.464 7 mm,壳宽为 12~30 mm^[9]。试验中选用直径为 100 mm 的毛刷辊,两辊间距为 10 mm,上下两层辊间距为 12~30 mm 可调。

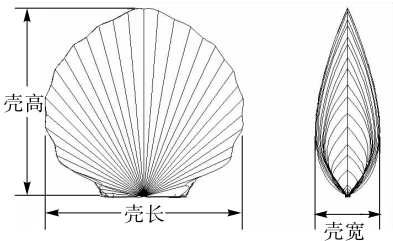


图 3 海湾扇贝形态性状

Figure 3 The morphological characters of argopecten irradians

3 试验设计与数据分析

3.1 试验目的

本试验的目的在于寻找最佳清洗效果的各个参数,在保证清洗效果的前提下,达到设计所要求的工作效率。为了对清洗效果进行定量的分析与研究,从捕捞不久的扇贝中选取长度大于 55 mm,并且不带有大型寄生生物的扇贝 160 只。确定清洗试验结果的指标为除杂程度、损伤率,除杂程度按式(1)计算。所以每个扇贝在清洗前后要测量其质量^[2]。调节毛刷辊距离,确定链条长度,安装链条,进行试验。

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%,$$

(1)

式中:

- c ——除杂程度,%;
- m_1 ——清洗前扇贝质量,g;
- m_2 ——清洗后扇贝质量,g。

3.2 试验因素及水平的确定

通过对毛刷辊式清洗设备的清洗原理分析以及对上述影响因素的比较得出,试验中影响试验结果的因素有上下两层辊的距离以及各辊转速。通过分析对比正交试验表并考虑试验实际情况,试验为 4 因素 4 水平试验,选 L₁₆(4⁴) 正交表^[10-11]。试验参数见表 1。

表 1 试验参数

Table 1 Parameters of the test

水平	A 上下两排相 邻毛刷辊的 芯距/mm	B 下排两边毛 刷辊的 $v_1/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	C 下排中间毛 刷辊的 $v_2/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	D 上排毛刷 辊的 $v_3/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$
	芯距/mm	$v_1/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	$v_2/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	$v_3/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$
1	101	80	240	100
2	106	100	300	150
3	111	120	360	200
4	116	140	420	250

3.3 试验数据分析及验证

把已选好扇贝随机分为 16 组,每组 20 只,调整好试验设备后,对每组扇贝进行清洗试验,结果见表 2。

表 2 正交试验数据表
Table 2 Orthogonal data table

试验号	A	B	C	D	除杂程度/%
1	1	1	1	1	3.024
2	1	2	2	2	3.212
3	1	3	3	3	3.840
4	1	4	4	4	3.192
5	2	1	2	3	3.612
6	2	2	1	4	3.180
7	2	3	4	1	3.648
8	2	4	3	2	3.564
9	3	1	3	4	3.672
10	3	2	4	3	3.708
11	3	3	1	2	3.784
12	3	4	2	1	3.372
13	4	1	4	2	3.248
14	4	2	3	1	3.552
15	4	3	2	4	3.612
16	4	4	1	3	3.668
T_1	3.317	3.389	3.414	3.399	
T_2	3.501	3.413	3.452	3.452	
T_3	3.634	3.721	3.657	3.707	
T_4	3.520	3.449	3.449	3.415	
R	0.317	0.332	0.243	0.308	

由表 2 可知,因素影响大小顺序为 B>A>D>C,最优工艺组合为 A₃B₃C₃D₃,即上下两排相邻毛刷辊的辊芯距为 111 mm,下排两边毛刷辊的转速 v_1 为 120 r/min,下排中间毛刷辊的转速 v_2 为 360 r/min,上排毛刷辊的转速 v_3 为 200 r/min。为了验证该工艺参数的科学性与合理性,选取最优工艺组合及表 2 中分级效果比较好的试验 3、10、11 进行验证实验,结果见表 3。

由表 3 可知:当上下两排相邻毛刷辊的辊芯距为 111 mm,下排两边毛刷辊的转速 v_1 为 120 r/min,下排中间毛刷辊的转速 v_2 为 360 r/min,上排毛刷辊的转速 v_3 为 200 r/min 时,清洗除杂程度最高,可达 3.848%;且该组扇贝的

表 3 验证实验数据表

Table 3 Validation test data table

A 上下两排相 邻毛刷辊的 芯距/mm	B 下排两边毛 刷辊的 $v_1/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	C 下排中间毛 刷辊的 $v_2/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	D 上排毛刷 辊的 $v_3/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	除杂程 度/%
101	120	360	200	3.832
111	100	420	200	3.720
111	120	240	150	3.804
111	120	360	200	3.848

贝壳有破损率仅为 1%，满足损伤率低于 2%的设计要求，2 h 后扇贝存活率为 98%。试验证明无论是除杂程度，还是损伤率均满足要求，而且能够保持海湾扇贝的活性。

4 结论

本试验针对国内外扇贝清洗现状及海湾扇贝生物特点，设计一种上下层毛刷辊交错布置，结合高压喷气装置的扇贝清洗机。通过正交试验对影响清洗效果的主要参数进行了优化，得到了上下两层相邻毛刷辊的辊芯距为 111 mm，下排两边毛刷辊的转速 v_1 为 120 r/min，下排中间毛刷辊的转速 v_2 为 360 r/min，上排毛刷辊的转速 v_3 为 200 r/min 的最优参数组合。该机采用双层毛刷辊和高压喷气，解决了采用高压水清洗扇贝存活率降低的问题，充分保证了扇贝在后续加工中的鲜活性，符合节能、节水的设计要求。对扇贝清洗设备的研制具有现实意义。

参考文献

[1] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京：中国农业出版社，2010：630-632.

[8] Slaughter D C. Nondestructive determination of internal quality in peaches and nectarines[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(2): 617-623.

[9] 陈香维. 猕猴桃近红外光谱无损检测技术研究[D]. 陕西：西北农林科技大学，2009：119-129.

[10] Schmilovitch Z, Mizrach A, Hollmun A, et al. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectrometry [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 5(19): 245-252.

[11] 李东华, 纪淑娟, 重腾和明. 南国梨糖、酸度近红外光谱模型适用的贮藏研究[J]. 农业工程学, 2009, 25(4): 270-275.

[12] 李建平, 傅霞萍, 周莹, 等. 近红外光谱定量分析技术在枇杷可溶性固形物无损检测中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(9): 1 605-1 609.

[13] Fu Xia-ping, Li Jian-ping, Zhou Ying, et al. Determination of soluble solid content and acidity of loquats based on FT-NIR spectroscopy[J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2009, 10(2): 120-125.

(上接第 85 页)

[10] 管小清, 吕志强. 工业码垛机器人动力学仿真分析与研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 149-151, 176.

[11] 李峰, 张雪松, 程敏, 等. 一种 3R1P 机器人的关节驱动方程及其运动状态研究[J]. 机械工程师, 2015(9): 10-13.

[12] 李宏, 花勇. 机械装甄布料控制系统 PLC 设计[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 114-118.

[13] 杨伯金, 张跃明, 牟宏明, 等. 基于 PLC 刀库控制系统研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2015(2): 107-109.

[14] 杨志成, 朱永林, 耿瑞芳, 等. 运用 PLC 的电气控制系统在真空封口机中的应用[J]. 现代制造工程, 2015(2): 131-135.

[15] 李胜多, 尚书旗, 王东伟. 基于 PLC 的种禽料量调节系统的设计[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(3): 141-144, 159.

[2] 滕桂君, 弋景刚, 刘江涛, 等. 毛刷辊式扇贝清洗机[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 168-170.

[3] 弋景刚, 尹欣玲, 孔德刚, 等. 一种扇贝清洗机：中国, CN204104660U[P]. 2015-01-21.

[4] 满桂富, 邓海钦, 熊东生, 等. 一种芒果核清洗机：中国, CN103504451A[P]. 2014-01-15.

[5] 陈培欣, 宋曙光. 一种电磁调速电动机控制装置：中国, CN200953540[P]. 2007-09-26.

[6] 陆玉, 冯立艳. 机械设计课程设计[M]. 4 版. 北京：机械工业出版社, 2011：10-14.

[7] 蔡春园. 新编机械设计手册[M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1993：368.

[8] 三浦宏文. 机电一体化实用手册[M]. 北京：科学出版社，2007：222-232.

[9] 滕桂君, 弋景刚, 李娜, 等. 一种清洗海湾扇贝装置的设计[J]. 农机化研究, 2015(4): 91-94.

[10] 王万中, 崑诗松. 试验的设计与分析[M]. 上海：华东师范大学出版社，1997：37-46.

[11] 汪仁官, 陈荣昭. 试验设计与分析[M]. 北京：中国统计出版社，1998：136-145.

2009, 10(2): 120-125.

[14] Fu Xia-ping, Ying Yi-bin, Zhou Ying, et al. Application of probabilistic neural networks in qualitative analysis of near infrared spectra: Determination of producing area and variety of loquats[J]. Analytica Chimica Acta, 2007, 598(1): 27-33.

[15] 王元秀, 庄海燕. 微量滴定法测定猕猴桃中维生素 C 的含量[J]. 济南大学学报：自然科学版, 2001, 15(4): 374-375.

[16] 闵顺耕, 李宁, 张明祥. 近红外光谱分析中异常值的判别与定量模型优化[J]. 光谱学与光谱分析, 2004, 24(10): 1 205-1 209.

[17] Bedrick E. Graphical modelling and the mahalanobis distance [J]. Journal of Applied Statistics, 2005, 32(9): 959-967.

[18] 牛智有, 韩鲁佳, 苏晓鸥, 等. 鱼粉中肉骨粉含量的近红外反射光谱分析[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 126-129.

[19] Malley DF, Rönicke H, Findlay D, et al. Feasibility of using near-infrared reflectance spectroscopy for the analysis of C, N, P and diatoms in lake sediments[J]. Journal of Paleolimnology, 1999, 21(3): 295-306.

(上接第 85 页)

[16] 余梅, 刘国巍. 基于 PLC 矿用喷涂机械手控制系统设计[J]. 煤炭工程, 2015, 47(1): 130-132.

[17] 韩慧, 倪荣军, 孙计赞. 基于 PLC 食品检测实验室自动加液装置的设计与实现[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 130-132.

[18] 张浩栋, 张燕, 曾小英, 等. 基于 PLC 的香蕉秸秆自动打包机的设计和控制研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 115-118.

[19] S7-200 系列 PLCSTL(语句表)语言[EB/OL]. (2015-01-28) [2016-2-24]. http://www.aitmy.com/news/201501/28/news_78732.html.

[20] 韩浩定, 张燕, 闫二乐. 香蕉秸秆切片装置及其控制系统设计[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 106-108.

[21] 廖育武. 基于 PT/PLC 的瓜果去皮生产线智能控制系统设计[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 161-164.