

小杂鱼去脏工艺参数的优化

胡晓亮, 陈庆余, 沈建

(农业部渔业装备与工程重点开放实验室, 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 国家水产品加工装备研发中心, 上海 200092)

摘要: 为了降低去脏过程中鱼肉损伤, 增加内脏去除率, 优化去脏机剖切及去脏机构的技术参数, 利用自制的小杂鱼去脏试验平台, 以竹筴鱼和深水红娘鱼为试验对象, 应用二次回归通用旋转组合试验设计, 研究了传送带线速度、剖切刀转速和去脏轮转速与小杂鱼去脏后可接受性评分之间的关系, 建立了去脏后可接受性评分同剖切及去脏机构技术参数间的数学模型。通过对拟合方程求极值, 得出适合竹筴鱼去脏最佳参数组合为: 传送带线速度为1.92 m/s、剖切刀转速为1154.0 r/min、去脏轮转速为60.0 r/min; 适合深水红娘鱼去脏最佳参数组合为: 传送带线速度1.39 m/s、剖切刀转速1280.0 r/min、去脏轮转速为95.0 r/min; 在此条件下可达到可接受性评分的预测最大值, 同时也能满足去脏加工的工艺要求。

关键词: 去脏; 小杂鱼; 剖切; 优化; 可接受性评分

文章编号: 1673-9078(2013)11-2728-2734

Optimization of the Gutting Process of Trash Fish

HU Xiao-liang, CHEN Qing-yu, SHEN Jian

(Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, National R & D Branch Center For Aquatic Product Processing Equipment, Shanghai 200092, China)

Abstract: A self-developed gutted mechanism were employed for cutting *Trachurus japonicus* and *Lepidotrigla abyssalis* to avoid fish damage and increase gut removal rate in gutted process. The relationships of acceptability evaluation with transmission speed, cut knife rotation speed and gutted wheel rotation speed were studied by quadratic regression rotational combination design, and the mathematical model between the acceptability evaluation and operating parameters was established. The best parameters of gutted process of *Trachurus japonicus* were: transmission speed 1.92 m/s, cut knife rotation speed 1154.0 r/min, and gutted wheel rotation speed 60.0 r/min. And the optimized parameters for *Lepidotrigla abyssalis* were: transmission speed 1.39 m/s, cut knife rotation speed 1280.0 r/min, and gutted wheel rotation speed 95.0 r/min. Under these conditions the maximum value for acceptability evaluation of gutted effect was achieved.

Key words: gut; trash fish; cut; optimization; acceptability evaluation

小杂鱼通常指体型较小的低值海捕鱼类, 其特点是: 品种多、体形特征差异大、产量高和市价低廉^[1]。2011年全国鱼类总产量达到3390.7万t, 其中海洋低值鱼类产量604.36万t, 随着捕捞强度的增大, 海洋渔业资源逐年衰减, 海洋捕捞的中低值鱼产量占比将呈现逐年上升趋势^[2]。但受水产品加工技术和装备等诸多因素的影响, 我国水产品加工业发展滞后, 加工基本以手工为主, 鲜见专业和全套的前处理机械设备

收稿日期: 2013-05-31

基金项目: 国家863科技计划项目(2011AA100803); 农业部渔业装备与工程技术重点实验室开放课题(2012009)

作者简介: 胡晓亮(1987-), 男, 硕士, 研究实习员, 主要从事水产品加工工艺的研究

通讯作者: 陈庆余, 男, 高级工程师, 主要从事渔业装备与水产品加工机械方面的研究

及生产线, 导致渔业生产效益低下^[3]。而在国外发达国家, 鱼类加工企业和远洋拖网加工渔船装备的前处理设备都已实现了自动化和成套化, 通常将清洗、去鱼鳞、剖切、去内脏工序整合在一起形成生产线^[4]。近年来, 国内有几家水产企业相继研制了一些鱼类前处理加工设备, 如上海阿仁科机械有限公司设计生产了全国第一条鲢鱼加工流水线, 加工能力1300~1400 kg/h^[5]; 华中农业大学宗力等^[6]已研究设计了大型淡水鱼的加工装备, 实现了大型淡水鱼的机械化去头及去内脏。但以上均是针对大体型鱼类, 而且加工效率不高和质量效果欠佳。因此研制和开发一种符合我国国情、生产操作简便、生产效率高、适应性强的低值小杂鱼去脏加工设备是我国渔业现代化发展的客观要求^[7]。

本文针对国内海洋低值小杂鱼的前处理加工机械化“短板”问题及加工设备短缺的现状, 设计了一种

适合小型鱼类去脏加工要求的剖腹及去脏机构,通过对竹筴鱼 (*Trachurus japonicus*) 和深水红娘鱼 (*Lepidotrigla abyssalis*) 去脏效果的试验研究,确定传送带线速度、剖腹刀转速和去脏轮转速等去脏试验装置关键零部件技术参数对去脏加工性能的影响,并通过响应面分析法,建立了以去脏后的小杂鱼可接受性评分为目标函数的数学模型,为优化设计小杂鱼剖切及去脏机构提供理论依据。

1 去脏试验台结构与工作原理

1.1 基本结构

小杂鱼去脏试验台主要由传送机构、装夹机构、剖切机构及去脏机构组成,如图1所示。

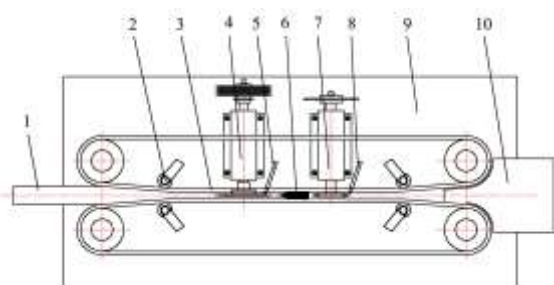


图1 小杂鱼机械去脏试验台结构示意图

Fig.1 Structural diagram of trash fish mechanical gutted test platform

注: 1: 喂料装置, 2: 夹送带调距装置, 3: 鱼体夹送带, 4: 鱼体剖切装置, 5: 喷淋水装置, 6: (去头) 鱼体, 7: 鱼体去脏装置, 8: 喷淋水装置, 9: 作业平台, 10: 卸料器。

1.2 工作原理

小杂鱼去脏试验台工作时, 剖腹刀和去脏轮分别安装独立的传动装置并由变频器控制电动机实现调速, 两者的转向与鱼体传送方向设置为逆向, 经去头后的鱼体由传送带从喂料机构中送入剖腹和去脏机构, 通过绕传动辊轮的夹紧皮带夹送鱼体, 保证鱼体在剖切和去脏时不发生相对滑动, 剖切完成后, 鱼体通过去脏机构实现去脏加工, 剖切去脏后的鱼体在重力和惯性力作用下脱离夹具, 滑入卸料器^[8-9]。

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验原料鱼选择盛产于浙闽海区春季捕捞的具有典型形体特征的小杂鱼: 竹筴鱼 (平均体长: 18.66±1.23 cm、体厚: 1.99±0.35 cm、体高: 5.16±0.55 cm、体重: 87.05±7.24 g); 深水红娘鱼 (平均体长:

15.83±2.34 cm、体厚: 1.81±0.37 cm、体高: 1.85±0.23 cm、体重: 33.05±6.29 g)^[10]。

鱼体新鲜度: 鱼体色泽鲜亮, 鱼腮鲜红, 鱼眼珠亮且微有凸起, 鱼肚完整无破损。

2.2 试验方法

2.2.1 小杂鱼剖切、去脏后可接受性评分的测定

可接受性评分^[11]: 5人组成评定小组, 根据鱼体剖切面的质量、鱼体剖切去脏后的损伤程度及内脏去除程度综合打分后取平均值。可接受性评分标准: 10分: 鱼体完全剖开, 剖面光滑而平整, 鱼体无损伤, 内脏去除完全; 9分: 鱼体完全剖开, 剖面光滑而平整, 鱼体有轻微损伤或尚有些许内脏残留; 8分: 鱼体完全剖开, 剖面较光滑, 无剖切条纹突起, 鱼体有轻微损伤, 仍有少部分内脏残留; 7分: 鱼体完全剖开, 剖切面较粗糙, 有些许剖切的条纹突起, 鱼体有明显损伤, 内脏去除程度较差; 6分及以下: 鱼体未完全剖开, 剖切面粗糙, 剖切的条纹突起较多, 鱼体损伤严重, 内脏去除程度差。

2.2.2 小杂鱼剖切、去脏后得率的测定

采用称质量法^[12]。分别测定每批次剖切、去脏前后鱼体的总质量, 每批次做10尾鱼, 试验重复3次, 取其平均值。

小杂鱼得率=(∑剖切去脏后鱼体的质量/∑原料鱼的质量)×100%

2.2.3 小杂鱼去脏效果的单因素和二次通用旋转组合试验

以鱼体剖切后的质量损失及内脏去除程度作为鱼体可接受性评分的标准, 对传送带线速度、剖切刀转速和去脏轮转速等因素进行单因素试验。试验重复3次, 取其平均值。在单因素试验的基础上, 采用3因素3水平的二次通用旋转组合试验设计, 以鱼体去脏后的可接受性评分作为评价指标, 确定最优去脏方案和去脏装置关键零部件技术参数^[13]。

2.2.4 统计分析

用Excel 2003软件对试验数据进行制图; 用统计分析软件SPSS 11.5对试验数据进行显著性分析; 使用Design-Expert 7.1软件进行二次通用旋转组合试验设计及结果分析。

3 结果与讨论

3.1 传送带线速度对去脏效果的影响

研究不同的传送带线速度 (0.60 m/s、1.30 m/s、

2.00 m/s、2.70 m/s、3.40 m/s) 对小杂鱼去脏效果的影响: 试验过程中, 将剖腹机构和去脏机构固定, 选择小齿圆盘刀作为剖腹刀盘, 剖腹刀转速设为 1100.0 r/min, 去脏轮转速设为 50.0 r/min, 剖切刀和去脏轮转向与鱼体传送方向设置为逆向, 调节传送带线速度大小, 每种线速度分别各剖切 10 尾鱼并记录去脏后可接受性评分及鱼体得率, 不同线速度对两种小杂鱼去脏效果的影响如图 2、3。

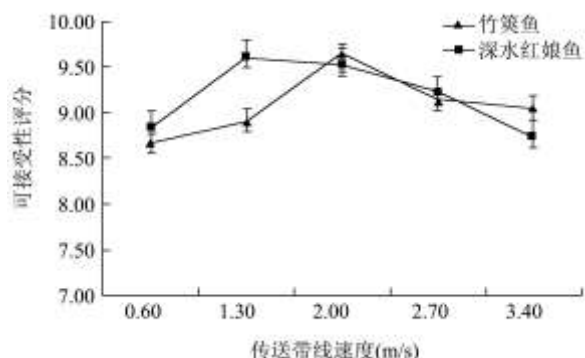


图2 不同传送带线速度对小杂鱼可接受性评分的影响

Fig.2 Effect of different transmission speed on acceptability evaluation of trash fish

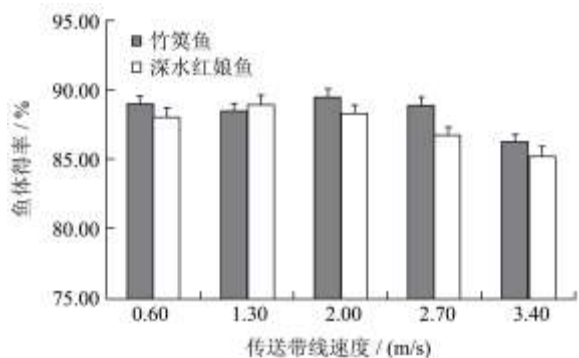


图3 不同传送带线速度对小杂鱼得率的影响

Fig.3 Effect of different transmission speed on yield of trash fish

不同的传送带线速度对小杂鱼去脏后的可接受性评分和鱼体得率有着显著影响 ($P < 0.05$)。传送带线速度越快, 越能实现较高的生产率, 但是它必须与剖切刀转速和去脏轮转速适当地组合与匹配, 传送速度为 1.30 m/s 时对深水红娘鱼去脏效果最佳, 可接受性评分最好, 鱼体腹部完全剖开, 剖面光滑而平整, 内脏能去除完全, 鱼体几乎没有损伤, 去脏后鱼体得率可达 89.0%; 传送速度为 2.00 m/s 时对竹筴鱼去脏效果最佳, 可接受性评分最好, 去脏后鱼体得率可达 89.6%。传送速度过快导致鱼体在剖切及去脏过程中鱼肉飞溅, 损失率增大, 剖切面粗糙, 影响美观。

3.2 不同剖切刀转速对剖切效果的试验研究

研究不同的剖切刀转速 (500.0 r/min、700.0 r/min、900.0 r/min、1100.0 r/min、1300.0 r/min) 对小杂鱼剖切效果的影响: 试验过程中, 将剖腹机构固定, 选择小齿圆盘刀作为剖切刀盘, 传送线速度设为 2.00 m/s, 去脏轮转速设为 50.0 r/min, 剖切刀和去脏轮转向与鱼体传送方向设置为逆向, 调节剖切刀盘转速大小, 每种转速分别各剖切 10 尾鱼并记录去脏后可接受性评分及鱼体得率, 不同剖切刀转速对两种小杂鱼去脏效果的影响如图 4、5。

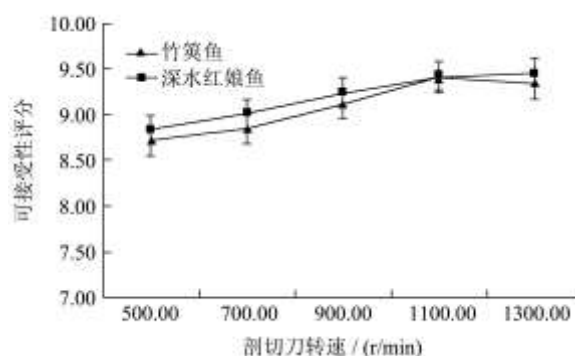


图4 不同剖切刀转速对小杂鱼可接受性评分的影响

Fig.4 Effect of different cut knife rotation speed on acceptability evaluation of trash fish

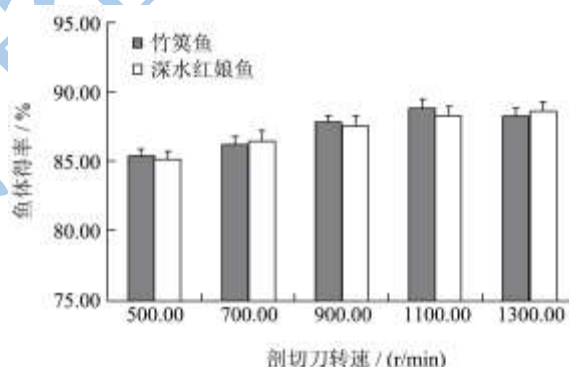


图5 不同剖切刀转速对小杂鱼得率的影响

Fig.5 Effect of different cut knife rotation speed on yield of trash fish

不同的剖切刀转速对小杂鱼去脏后的可接受性评分有着显著影响 ($P < 0.05$)。同等转速条件下深水红娘鱼去脏后的可接受性评分值高于竹筴鱼, 随着剖切刀转速的提高, 小杂鱼去脏后可接受性评分值先增大后减小, 剖切刀转速为 1100.0 r/min 时对竹筴鱼剖切效果最佳, 可接受性评分最好, 鱼体腹部完全剖开, 剖面光滑而平整, 鱼体几乎没有损伤, 鱼体得率可达 88.9%; 当剖切刀转速为 1300.0 r/min 时对深水红娘鱼去脏效果较理想, 鱼体损伤程度较小。当剖切刀转速较大时, 鱼体的前后平衡性及其夹送稳定性和对中性都较好; 当剖切刀转速低于 700 r/min 易发生鱼体被牵拉撕断的现象, 甚至产生鱼体掉出夹送带的不良后果,

影响鱼体去脏效果和感官质量, 当剖切刀转速为 500 r/min 时, 深水红娘鱼去脏后的得率仅有 85.1%。

致鱼体质量的损失, 鱼体在剖切去脏过程中鱼肉飞溅, 造成鱼原料的浪费。

3.3 不同去脏轮转速对去脏效果的试验研究

研究不同的去脏轮转速 (50.0 r/min、200.0 r/min、350.0 r/min、500.0 r/min、650.0 r/min) 对小杂鱼去脏效果的影响: 试验过程中, 将剖腹、去脏机构固定, 选择小齿圆盘刀作为剖切刀盘, 传送线速度设为 2.00 m/s, 剖切刀转速设为 1100 r/min, 剖切刀和去脏轮转向与鱼体传送方向设置为逆向, 调节去脏轮转速大小, 每种转速分别各剖切 10 尾鱼并记录去脏后可接受性评分及鱼体得率, 不同去脏轮转速对两种小杂鱼去脏效果的影响如图 6、7。

3.4 二次通用旋转组合试验设计

根据单因素试验结果, 以小杂鱼去脏效果影响较大的去脏机传送带线速度、剖切刀转速、去脏轮转速为试验因素, 以小杂鱼去脏后的可接受性评分作为去脏效果的评定指标, 设计 3 因素 3 水平的二次通用旋转组合试验, 建立去脏效果与试验因素间的数学模型, 确定适合小杂鱼去脏加工的最优技术参数^[14]。试验因素水平见表 1。

表1 因素水平编码表

Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

编码	A [传送线速度/(m/s)]	B [剖切刀转速/(r/min)]	C [去脏轮转速/(r/min)]
-1	1.3	900	50
0	2	1100	150
1	2.7	1300	250

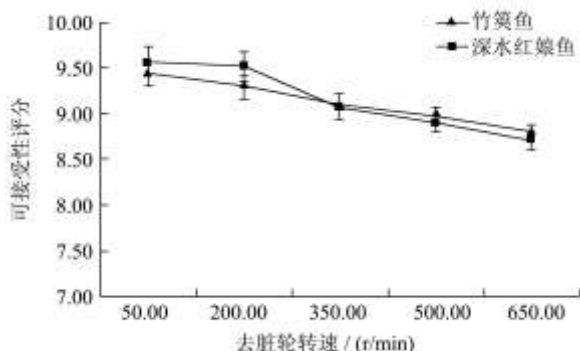


图6 不同去脏轮转速对小杂鱼可接受性评分的影响

Fig.6 Effect of different gutted wheel rotation speed on acceptability evaluation of trash fish

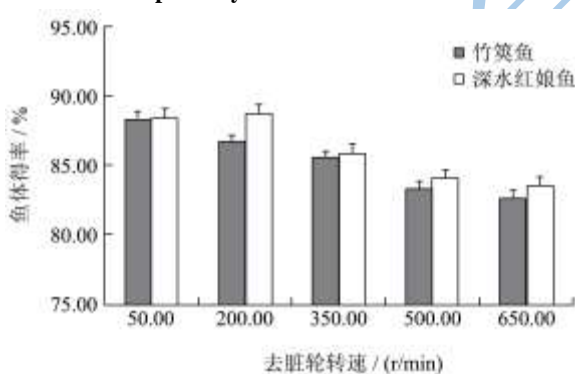


图7 不同去脏轮转速对小杂鱼得率的影响

Fig.7 Effect of different gutted wheel rotation speed on yield of trash fish

不同的去脏轮转速对小杂鱼去脏后可接受性评分及鱼体得率有着显著影响 ($P < 0.05$)。同等转速条件下深水红娘鱼去脏后的得率要优于竹筴鱼, 去脏轮低转速运行时, 可实现较高的鱼体得率和较小的鱼体损伤程度, 综合去脏效果比较理想。当去脏轮转速为 50.0 r/min 时对竹筴鱼和深水红娘鱼去脏效果最佳, 可接受性评分最高, 内脏去除完全, 鱼体几乎没有损伤, 鱼体得率分别为 88.6% 和 88.5%。去脏轮转速过高会导

3.4.1 试验结果回归分析

表2 可接受性评分的响应面实验方案及结果

Table 2 Test plans and results of RSM for acceptability evaluation

试验号	A	B	C	Y	
				Y ₁ 竹筴鱼	Y ₂ 深水红娘鱼
1	1	0	1	7.04	7.12
2	0	1	1	8.41	8.45
3	0	0	0	9.42	9.61
4	-1	0	1	8.78	8.74
5	-1	0	-1	9.32	9.47
6	0	0	0	9.62	9.01
7	-1	-1	0	8.03	8.01
8	0	0	0	9.49	9.12
9	1	-1	0	7.55	7.81
10	1	1	0	8.46	8.41
11	0	0	0	9.87	9.29
12	0	0	0	9.66	9.16
13	0	-1	1	8.48	8.51
14	0	1	-1	9.76	9.7
15	-1	1	0	8.39	9.9
16	0	-1	-1	8.42	8.96
17	1	0	-1	8.72	8.91

不同因素水平下的小杂鱼去脏可接受性评分结果如表2所示, 采用 Design-Expert 7.1 软件对试验结果进行方差分析, 剔除数学模型中显著性大于 0.05 的系数项, 如表 3、4 所示。

表3 影响因素的方差分析 (竹筴鱼)

Table 3 ANOVA for response surface quadratic model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F
Model	9.86	9	1.10	11.04	0.0023 S.
A (传送线速度)	0.95	1	0.95	9.53	0.0176
B (剖切刀转速)	0.81	1	0.81	8.13	0.0246
C (去脏轮转速)	1.54	1	1.54	15.52	0.0056
AB	0.076	1	0.076	0.76	0.4115
AC	0.32	1	0.32	3.28	0.1133
BC	0.50	1	0.50	5.01	0.0602
A ²	3.44	1	3.44	34.65	0.0006
B ²	1.52	1	1.52	15.33	0.0058
C ²	0.25	1	0.25	2.52	0.1567
Residual	0.69	7	0.099		
Lack of Fit	0.57	3	0.19	6.34	0.0532 NS.
Pure Error	0.12	4	0.030		
Cor Total	10.55	16			

表4 影响因素的方差分析 (深水红娘鱼)

Table 4 ANOVA for response surface quadratic model

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob>F
Model	7.71	9	0.86	8.14	0.0057 S.
A (传送线速度)	1.87	1	1.87	17.79	0.0039
B (剖切刀转速)	1.26	1	1.26	11.94	0.0106
C (去脏轮转速)	2.23	1	2.23	21.15	0.0025
AB	0.42	1	0.42	3.95	0.0871
AC	0.28	1	0.28	2.67	0.1463
BC	0.16	1	0.16	1.52	0.2574
A ²	1.16	1	1.16	11.04	0.0127
B ²	0.14	1	0.14	1.30	0.2917
C ²	0.098	1	0.098	0.93	0.3661
Residual	0.74	7	0.11		
Lack of Fit	0.52	3	0.17	3.28	0.1408 NS.
Pure Error	0.21	4	0.053		
Cor Total	8.45	16			

得到竹筴鱼、深水红娘鱼去脏后的可接受性评分响应值同各编码值之间的多元二次回归模型： $Y_1=9.61-0.34A+0.32B-0.44C-0.90A^2-0.60B^2$ ($R^2=0.94$)； $Y_2=9.24-0.48A+0.40B-0.53C-0.53A^2$ ($R^2=0.92$)。回归模型的显著性水平小于0.01失拟性不显著且各影响因素的交互作用也不显著，说明未知因素对试验结果干扰很小，该模型与实际测量值的拟合情况良好。

3.4.2 各因素对竹筴鱼去脏可接受性评分的影响

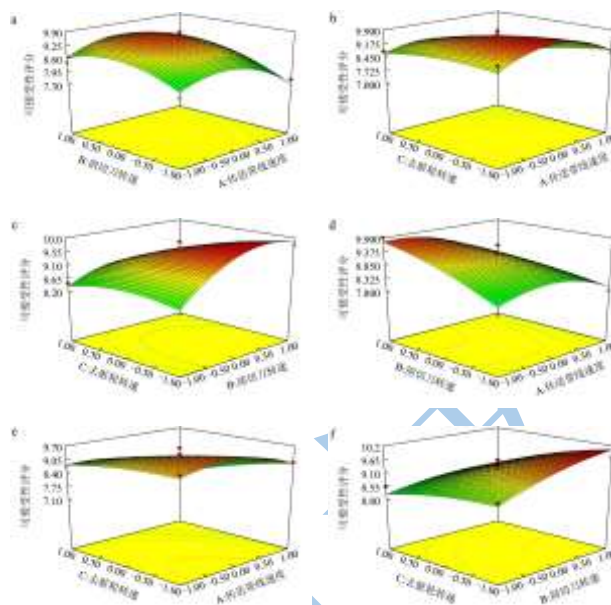


图8 各因素对小杂鱼可接受性评分交互作用的响应曲面
Fig.8 Response surfaces of effects of all factors on acceptability evaluation of trash fish

注：图a、b、c为竹筴鱼；图d、e、f为深水红娘鱼。

根据小杂鱼去脏后的可接受性评分回归方程作出响应曲面如图8所示。各因素对竹筴鱼去脏后的可接受性评分影响大小依次为：去脏轮转速 (C) > 传送带线速度 (A) > 剖切刀转速 (B)。当剖切刀转速 1100.0 r/min 时，随着传送带线速度和去脏轮转速的增加，小杂鱼去脏可接受性评分先增大后减小；当传送带线速度较大时 (高于 2.00 m/s)，传送带线速度对小杂鱼去脏后的可接受性评分影响较大。(图 8a)

在去脏轮转速为 150.0 r/min 时，随着剖切刀转速和传送带线速度的增加，小杂鱼去脏后的可接受性评分先增大后减小。当切刀转速和去脏轮转速过大时，易发生鱼体被牵拉撕断和鱼内脏挂齿现象，甚至产生鱼体掉出夹送带的不良后果，不仅影响鱼体去脏效果和感官质量，而且有可能发生安全事故。(图 8b)

在传送带线速度为 2.00 m/s 时，随着剖切刀转速和去脏轮转速的增加，小杂鱼去脏后的可接受性评分先增大后减小，去脏轮转速的变化对去脏后可接受性评分的影响大于剖切刀转速的影响，当去脏轮转速较大时 (高于 150.0 r/min) 对去脏可接受性评分影响较大，轮齿会牵拉鱼体，容易使之变形且造成破损，甚至将鱼体撕断，发生挂齿现象，严重影响鱼体的去脏效果，此外剖切刀转速较低和鱼体夹持较松的情况下，在刀力作用下鱼体较容易发生下落现象。(图 8c)

3.4.3 各因素对深水红娘鱼去脏可接受性评分的影响

各因素对深水红娘鱼去脏后的可接受性评分影响

大小依次为: 去脏轮转速 (C) > 传送带线速度 (A) > 剖切刀转速 (B)。当剖切刀转速 1100.0 r/min 时, 随着传送带线速度和去脏轮转速的增加, 小杂鱼去脏可接受性评分先增大后减小; 当去脏轮转速较大时 (高于 150.0 r/min) 对小杂鱼去脏后的可接受性评分影响较大。(图 8d)

在去脏轮转速为 150.0 r/min 时, 随着剖切刀转速和传送带线速度的增加, 小杂鱼去脏后的可接受性评分先增大后减小。当剖切刀转速较大时 (高于 1100.0 r/min) 鱼体的前后平衡性及其夹送稳定性和对中性都较好, 鱼体去脏后质量损失较小, 综合可接受性评分较高, 此外剖切刀转速较低和鱼体夹持较松的情况下, 在刀力作用下鱼体较容易发生下落现象。(图 8e)

在传送带线速度为 2.00 m/s 时, 随着剖切刀转速和去脏轮转速的增加, 小杂鱼去脏后的可接受性评分先增大后减小, 去脏轮低转速运行时, 容易造成鱼体翘尾和摆动现象发生, 明显降低夹送鱼体的稳定性和对中性, 严重影响鱼体的去脏效果。此外, 试验发现鱼体内脏去除效果还同原料鱼的新鲜程度有关。原料鱼新鲜度越高和肌肉组织硬度越大, 鱼体内脏的去除效果越好, 鱼体损伤也相对越小。(图 8f)

3.4.4 剖切与去脏机构参数的优化

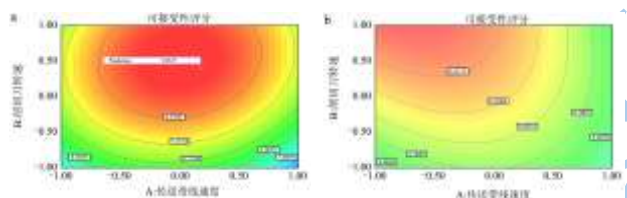


图9 优化结果

Fig.9 Results of optimization

注: a 图为竹筴鱼; b 图为深水红娘鱼。

当传送带线速度为 1.30~2.70 m/s、剖切刀转速 900.0~1300.0 r/min 和去脏轮转速 50.0~250.0 r/min 时, 应用 Design-Expert 7.1 软件中的多目标优化方法, 以去脏后的可接受性评分满足一定的范围要求 (即 $9.0 < Y < 10.0$), 在因素编码区间内优化结果如图 9 所示。当传送带线速度为 1.92 m/s、剖切刀转速为 1154.0 r/min 和去脏轮转速为 60.0 r/min 时, 竹筴鱼去脏后的可接受性评分可达预测最大值 9.93 (图 9a); 当传送带线速度为 1.39 m/s、剖切刀转速为 1280.0 r/min 和去脏轮转速为 95.0 r/min 时, 深水红娘鱼去脏后的可接受性评分可达预测最大值 9.98 (图 9b)。用此最优技术参数对其进行验证, 取竹筴鱼和深水红娘鱼样本各 30 尾, 分 3 组进行试验。结果表明: 各组试验鱼腹部完全剖开, 剖面光滑而平整, 鱼体几乎没有损伤, 内脏去除完全, 鱼体去脏后可接受性评分值均高于 9.50,

鱼体得率超过 88.0%。验证试验结果与优化预期结果基本相符, 表明本实验得出的拟合多元回归方程可以较好的应用于小杂鱼去脏效果的评价。

4 结论

4.1 设计了一种小型鱼类去脏加工试验装置, 该装置可实现小型鱼体的剖切及去脏加工。

4.2 各因素对竹筴鱼去脏后的可接受性评分影响大小依次为: 去脏轮转速 (C) > 传送带线速度 (A) > 剖切刀转速 (B)。各影响因素同竹筴鱼去脏后可接受性评分之间的多元二次回归模型: $Y_1 = 9.61 - 0.34A + 0.32B - 0.44C - 0.90A^2 - 0.60B^2$ ($R^2 = 0.94$)。对数学模型进行优化可知, 当传送线速度为 1.92 m/s、剖切刀转速为 1154.0 r/min 和去脏轮转速为 60.0 r/min 时, 竹筴鱼去脏后的可接受性评分可达预测最大值 9.93。

4.3 各因素对深水红娘鱼去脏后的可接受性评分影响大小依次为: 去脏轮转速 (C) > 传送带线速度 (A) > 剖切刀转速 (B)。各影响因素同深水红娘鱼去脏后可接受性评分之间的多元二次回归模型: $Y_2 = 9.24 - 0.48A + 0.40B - 0.53C - 0.53A^2$ ($R^2 = 0.92$)。对数学模型进行优化可知, 当传送线速度为 1.39 m/s、剖切刀转速为 1280.0 r/min 和去脏轮转速为 95.0 r/min 时, 深水红娘鱼去脏后的可接受性评分可达预测最大值 9.98。

4.4 验证试验表明, 鱼体腹部完全剖开, 剖面光滑而平整, 内脏去除完全, 鱼体几乎没有损伤, 与优化预期结果相符。本实验得出的拟合多元回归方程可以较好的应用于小杂鱼去脏效果的评价。

参考文献

- [1] 段蕊, 张俊杰. 海洋低值小杂鱼的加工方向和现状[J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(6): 53-56
Duan R, Zhang J J. The Present Status and Development Trend of Sea Low-value Little Fish Processing [J]. Food and Fermentation Industries, 2000, 26(6): 53-56
- [2] 徐皓, 张建华, 丁建乐, 等. 国内外渔业装备与工程技术研究进展综述[J]. 渔业现代化, 2010, 37(3): 1-5
Xu H, Zhang J H, Ding J L, et al. The review of the research progress of fishery equipment and engineering technology at home and abroad [J]. Fishery Modernization, 2010, 37(3): 1-5
- [3] Kari Babski-Reeves, Lesia Crumpton-Young. Interaction effects of wrist and forearm posture on the prediction of carpal tunnel syndrome cases within a fish-processing facility [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2003,

- 9(4): 1011-1022
- [4] E OMAR C W, DE SILVA. The application of portion control optimization in an automated can-filling process [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2000, 23: 101-125
- [5] Wasswa Joseph, Tang Jian, Gu Xiaohong. Utilization of fish processing by products in the gelatin industry [J]. *Food Reviews International*, 2007, 23(2): 159-174
- [6] 徐文其,沈建,蔡淑君,等.刺参机械去脏工艺的试验研究[J]. *渔业现代化*,2009,36(2):52-54
Xu W Q, Shen J, Cai S J, et al. Study on mechanical evisceration technique of sea cucumber [J]. *Fishery Modernization*, 2009, 36(2): 52-54
- [7] 沈建,章超桦,秦小明.牡蛎清洗试验研究与清洗设备设计[J].*渔业现代化*,2011,38(4):45-48
Shen J, Zhang C H, Qin X M. The study of oyster cleaning and the design of cleaning machine [J]. *Fishery Modernization*, 2011, 38(4): 45-48
- [8] Alok Satapathy, Amar Patnaik, Manoj Kumar Pradhan. A study on processing, characterization and erosion behavior of fish (Labeo-rohita) scale filled epoxy matrix composites [J]. *Materials and Design*, 2009, 30(7): 2359-2371
- [9] 朱国,谭鹤群.鱼体在剖鱼机夹片中受力有限元分析[J]. *农业工程学报*,2008,24(4):44-48
Zhu G, Tan H Q. Finite element analysis of loaded silver carp in fish shearing machine clips [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(4): 44-48
- [10] 胡晓亮,陈庆余.竹筴鱼形态特征参数的比较分析[J].*现代食品科技*,2013,29(1):34-37
Hu X L, Chen Q Y. Comparative Study on Morphological Characteristics of *Trachurus japonicus* [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(1): 34-37
- [11] 高星星,谭鹤群.淡水鱼头尾与腹背定向装置的设计与试验[J].*农业工程学报*,2011,27(5):342-347
Gao X X, Tan H Q. Design and experiment of directional transport device of freshwater fish bodies [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(5): 342-347
- [12] 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 Q Y, Shen J, Fu R Z. Method study on mechanized head cutting for marine small fish [J]. *Fishery Modernization*, 2012, 39(5): 38-42
- [13] Andrzej Dowgiallo, Daniel Dutkiewicz. Possibilities of utilizing the differences of fish tissues stiffness in the mechanization of cyprinid deheading [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 88: 111-111
- [14] 谭鹤群,高星星.链式剖鱼机工艺参数优化试验[J].*农业工程学报*,2011,27(6):332-336
Tan H Q, Gao X X. Experiment on optimizing technical parameters of fish shearing machine [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(6): 332-336