

微酸性电解水对盐渍海蜇脱铝的效果研究

孙万青^{1,2}, 岑剑伟¹, 陈胜军^{1,3*}, 李春生^{1,3}, 邓建朝¹, 潘创¹, 杨少玲¹, 冯阳¹

(¹ 中国水产科学研究院南海水产研究所 农业农村部水产品加工重点实验室

国家水产品加工技术研发中心 广州 510300

² 广东海洋大学食品科技学院 广东湛江 524088

³ 三亚热带水产研究院 海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室 海南三亚 572018)

摘要 以盐渍海蜇为原料,探究微酸性电解水对盐渍海蜇的浸泡脱铝效果。经单因素实验筛选浸泡时间、料液比、有效氯质量浓度参数,采用响应面模型对浸泡条件进行优化,从色差、质构及显微分析角度评价脱铝处理对海蜇品质的影响。结果显示,最佳脱铝条件为有效氯质量浓度 37 mg/L,浸泡时间 27 min,料液比 1:4。在此条件下,铝脱除量为 120.17 mg/kg,脱除率为 30.41%。各因素对脱铝效果的排序为有效氯质量浓度>时间>料液比。随着浸泡时间、料液比和有效氯质量浓度的增大,试验组及对照组产品的硬度、咀嚼性逐渐降低,弹性的变化呈先上升后下降的趋势。处理后盐渍海蜇色泽的亮度(L^*)与白度(W)均显著增加。用扫描电镜观察发现,处理后海蜇的微观结构无孔隙出现,结构仍较为致密。

关键词 盐渍海蜇; 微酸性电解水; 脱铝; 品质变化

文章编号 1009-7848(2023)01-0160-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.01.016

海蜇(*Rhopilema esculentum*),广泛分布于我国东海、黄海和渤海地区,其胶原蛋白丰富,脂肪和胆固醇含量较低,是典型的低脂肪、低热量、高蛋白的食品^[1-3]。海蜇具有重要的食用和药用价值^[4],近年来,研究表明,海蜇具有降压、降脂、预防高血压、慢性支气管炎的作用^[5],深受世界各国消费者的喜欢。中国食用海蜇已有一千多年的历史^[6-7],主要以盐渍品和凉拌食用为主,有时也被制成海蜇纯粉,海蜇膏、海蜇丝软罐头^[8]。海蜇水分含量很高,易分解,易自溶^[9],鲜海蜇一般要用明矾和盐混合腌渍的传统方法制成盐渍海蜇^[10-11],该工艺具有抑制微生物生长,改善水母质地等优点。盐矾处理的缺点是加工后的海蜇中铝的残留量明显增加^[12]。铝具有慢性毒性^[13-14],很难由肾脏排出,可对人体肾脏和神经系统造成损害^[15]。有研究表明铝的神经毒性可导致阿尔兹海默症和帕金森氏症^[16]。

微酸性电解水(Slightly acidic electrolyzed water, SAEW),一种由日本开发的新型非热杀菌

技术^[17],又名微酸性次氯酸水、微酸性氧化电位水。其 pH 值在 5.0~6.5 的范围,制取设备操作简单,生产成本低^[18-19],安全性更高,与有机物接触且用自来水稀释后,就会变成普通自来水,对环境和使用人员不会造成任何危害^[20]。SAEW 的杀菌机制主要与 pH 值、有效氯质量浓度、氧化还原电位等参数有关^[21],现已广泛应用于果蔬^[22-23]和动物源食品的保鲜贮藏^[24-25],食品生产环境、物品、人员的消毒^[26]等方面。SAEW 在杀菌方面应用较为广泛,而用其脱除盐渍海蜇中的铝,以及 SAEW 处理的盐渍海蜇在浸泡过程中理化性质的变化研究较少。本研究中,选择盐渍海蜇为试验对象,首次研究 SAEW 对盐渍海蜇脱铝效果的影响。同时研究 SAEW 处理对盐渍海蜇质构、微观结构和色差的影响,为 SAEW 的推广应用奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

盐渍海蜇,广东江门;浓盐酸、浓硫酸、无水乙醇、氨水(分析纯),广州化学试剂厂;铝标准溶液(1 000 g/mL),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;抗坏血酸(分析纯),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;硝酸(分析纯),上海世世化学技术有限公司;乙二胺(分析纯),广州试剂科技有限公司;

收稿日期: 2022-01-16

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项(2023KJ151);中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD69,2020TD73)

第一作者: 孙万青,女,硕士生

通信作者: 陈胜军 E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

铬天青 S(生物技术级),北京依珊汇通科技有限公司;对硝基苯酚(分析纯),北京依珊汇通科技有限公司;TritonX-100(分析纯),北京普利莱基因技术有限公司;碘化钾、可溶性淀粉、硫代硫酸钠、溴代十六烷基吡啶(分析纯),上海麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

微酸性电解水实验机,烟台方心;pH计,上海仪迈仪器科技有限公司;JJ324BF型电子天平,常熟市双杰测试仪器厂;SUNRISE吸光酶标仪,美国伯爵仪器有限公司;QTS-25质构仪,英国CNS FARNELL;CR-400型色差仪,日本柯尼卡美能达公司;Phenom XL G2台式扫描电子显微镜,美国thermo公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理 将盐渍海蜇用清水将表面杂质冲洗干净,沥干,手工对其进行切丝,要求切丝长和宽为2 cm×1 cm,备用。所用盐渍海蜇样品的铝初始含量为395.22 mg/kg。

1.3.2 SAEW的制备 根据所需电解水指标调节SAEW设备的电压和电流,电解质为浓度1.2 mol/L的稀盐酸溶液,制备不同有效氯质量浓度的SAEW,备用。制备后1 h内使用。本研究中,SAEW的有效氯质量浓度采用碘量法测定,SAEW的氧化还原电位、pH值采用pH计测定^[27]。对水样各指标重复测定3次。SAEW的pH值、有效氯质量浓度和氧化还原电位值如表1所示。

表 1 微酸性电解水理化指标

Table 1 Physical and chemical parameters of SAEW solutions

pH 值	有效氯质量浓度/ mg·L ⁻¹	氧化还原电位值/ mV
5.49 ± 0.03	40.47 ± 1.02	948.73 ± 0.32
5.80 ± 0.01	34.56 ± 0.89	932.40 ± 4.52
6.01 ± 0.03	29.25 ± 0.89	916.10 ± 2.30
6.25 ± 0.02	24.52 ± 0.51	907.70 ± 1.01
6.38 ± 0.01	18.61 ± 0.89	889.07 ± 3.35
6.44 ± 0.02	11.23 ± 1.02	877.67 ± 3.67

1.3.3 SAEW脱铝效果研究 以有效氯质量浓度、浸泡时间、料液比为单因素,考察不同条件下

SAEW对盐渍海蜇脱铝的效果。分别以有效氯质量浓度为10,20,30,40,50 mg/L,浸泡时间为5,10,15,20,25,30,35 min,海蜇样品与SAEW的料液比为1:1,1:2,1:3,1:4,1:5,1:6,对某一单因素进行考察时,其它因素均取固定水平值,以自来水浸泡的盐渍海蜇丝为对照组。每组试验重复3次。

1.3.4 铝脱除量的测定 取盐渍海蜇浸泡液,制样步骤按照GB 5009.182-2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》中的分光光度法进行^[28],检测仪器为酶标仪。取7支25 mL的具塞比色管,分别加入0,0.5,1,2,3,4,5 mL的Al标准溶液,加入1.0 mL硫酸溶液定容10 mL。准确吸取0.2 mL空白溶液、试样消化液、试样加标消化液,置于25 mL具塞比色管中,将静置40 min的待测样品加入96孔酶标板中,使用酶标仪在波长620 nm处检测,用标准曲线法定量。

1.3.5 响应面试验设计 在单因素实验基础上,利用软件Design-Expert10.0中的Box-Behnken进行响应面设计优化。以SAEW的浸泡时间、料液比、有效氯质量浓度为因变量,响应值为铝脱除量。

1.3.6 质构的测定 SAEW试验组和对照组盐渍海蜇样品的质构特性(包括硬度、弹性、咀嚼性)采用CT3型质构仪测量,选用TA19圆柱形探头。试验前速度为1 mm/s,试验速度为1 mm/s,试验后速度为1 mm/s,试验中的形变率设定为50%,间隔停止时间5 s,触发力5.0 g。

1.3.7 色差的测定 利用吸水纸将海蜇表面多余的水分去除,采用CR-400型色差计中的LAB表色系统测定样品的L*、a*和b*值。测定时,将白板的L*、a*和b*值作为标准,即L*₀、a*₀和b*₀,利用测得的L*、a*和b*值计算色泽偏差,计算公式如下,每组试验重复3次。

$$W=100-\sqrt{(100-L)^2+a^2+b^2} \quad (1)$$

式中,L——亮度;a——红绿值;b——黄蓝值;W——白度。

1.3.8 扫描电镜 对最佳工艺条件处理的SAEW试验组和对照组盐渍海蜇样品进行镜检。先用3%戊二醛溶液固定24 h,后用0.1 mol/L磷酸缓冲液漂洗3次,然后用30%,50%,70%,90%和100%的

乙醇溶液梯度脱水,最后,样品脱除水分、镀金,用电子显微镜在 5 000 倍的条件观察。

1.4 数据处理

所得到的数据采用 Excel 及 JMP Pro 14 软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 Tukey HSD 法多重比较,设置 $P < 0.05$ 为显著性水平。用 Origin 2018 64Bit 绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 浸泡时间对 SAEW 铝脱除量的影响 以水浸泡组为对照组,以 SAEW 浸泡组为试验组,盐渍海蜇浸泡液中铝的变化规律如图 1 所示。检测浸泡液中铝含量,评价浸泡脱铝效果,如此可以免去海蜇样品检测的大量前处理工作。试验组和对照组均可降低盐渍海蜇中明矾的残留量。随着时间的推移,浸泡液中铝含量增多,盐渍海蜇中明矾含量逐渐降低,试验组的铝脱除效果整体优于对照组。5~25 min 时,两组浸泡液中的铝含量快速上升,此时,试验组和对照组的脱除率分别达 28.55%和 23.86%。25 min 后随着时间的延长浸泡液中铝含量逐渐趋于平缓。35 min 时,试验组和对照组的脱除率分别为 27.84%和 23.55%,较 25 min 时的脱除率无差异。综合脱铝效果以及海蜇品质等因素,选择最佳脱铝时间为 25 min。

2.1.2 料液比对 SAEW 铝脱除量的影响 料液比对盐渍海蜇 SAEW 和水浸泡脱铝的效果如图 2 所示。随着料液比的提高,浸泡液中铝含量不断上升,试验组和对照组均可降低盐渍海蜇中明矾的含量,在料液比为 1:1 和 1:2 时,两组对铝的脱除效果差别不大,脱除率分别为 19.39%和 18.82%。在料液比大于 1:2 后两组区别逐渐明显。在料液比为 1:4 时脱铝效果最佳,试验组和对照组的脱除率分别为 26.01%和 20.34%。之后脱除效果逐渐平缓,两组脱除率间无显著性差异。选择最佳料液比为 1:4。

2.1.3 有效氯质量浓度对 SAEW 铝脱除量的影响 有效氯质量浓度是衡量 SAEW 的一个重要的指标,通过控制该浓度可有效杀灭微生物,从而延长样品的保藏期。于福田等^[29]研究了 SAEW 对罗非鱼片的杀菌工艺并进行响应面的优化。周智宇等^[30]

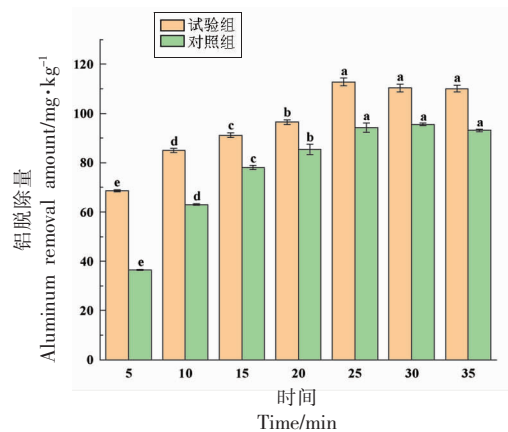


图 1 浸泡时间对铝脱除量的影响

Fig.1 The effect of soaking time on the amount of aluminum removal

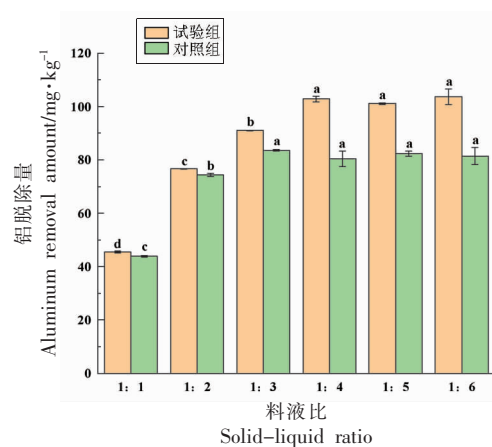


图 2 料液比对铝脱除量的影响

Fig. 2 The effect of solid-liquid ratios on the amount of aluminum removed

优化了 SAEW 对云南鲜米线的杀菌工艺并对其贮藏品质进行研究。然而,SAEW 脱铝的文章目前未见报道。图 3 显示不同有效氯质量浓度的 SAEW 对盐渍海蜇铝脱除量的影响。SAEW 可脱除盐渍海蜇中的部分铝含量,且随着 SAEW 中有效氯质量浓度增加,浸泡液中铝含量明显升高,说明对盐渍海蜇中铝的脱除效果好,脱除率由 20.02%增加到 31.71%。在有效氯质量浓度为 10~30 mg/L 时,浸泡液中的铝含量上升速度较快,在有效氯质量浓度超过 30 mg/L 后,铝脱除曲线上升较为平缓,这可能是由于随着 SAEW 中有效氯质量浓度的增加,酸度不断增大,有更多的 H^+ 进入海蜇内部,与氢氧根胶体发生反应,使 Al^{3+} 从海蜇体内析出,从而降低铝含量^[31]。考虑到海蜇的硬度、咀嚼性随着

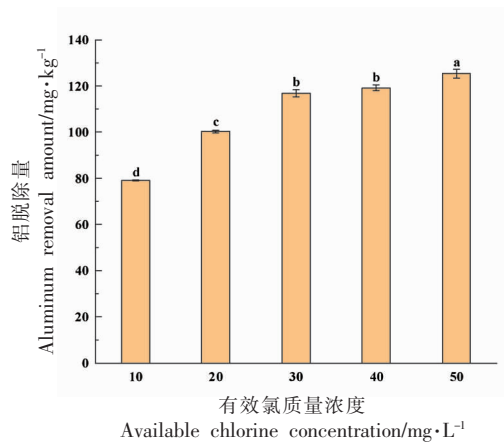


图 3 有效氯质量浓度对铝脱除量的影响

Fig.3 The effect of available chlorine concentration on the amount of aluminum removal

有效氯质量浓度的增大逐渐降低, 选择 30 mg/L 为最佳有效氯质量浓度。

2.2 响应面试验分析

2.2.1 试验设计与结果 由单因素实验分析可知, SAEW 浸泡盐渍海蜇脱铝的初步条件为: 浸泡时间 25 min, 料液比 1:4, 有效氯质量浓度 30 mg/L, 具体的响应面优化方案及结果见表 2。

2.2.2 响应面优化模型的建立及方差分析 利用 Box-Bohnken 软件对表 2 数据进行回归拟合, 建立 SAEW 浸泡盐渍海蜇的工艺参数回归模型。二次回归方程模型为 $Y=123.91+3.60A-0.78B+$

表 2 响应面优化方案及结果

Table 2 Box-Behnken design and results

实验号	浸泡时间/ min	料液比	有效氯质 量浓度/ mg·L ⁻¹	铝脱除量/ mg·kg ⁻¹
1	30	1:3	30	122.52
2	30	1:4	40	124.25
3	25	1:5	40	122.85
4	25	1:3	20	105.52
5	20	1:4	40	122.89
6	20	1:4	20	94.68
7	25	1:4	30	122.24
8	30	1:5	30	125.90
9	25	1:4	30	121.80
10	25	1:3	40	113.94
11	30	1:4	20	103.31
12	20	1:5	30	114.11
13	20	1:3	30	115.47
14	25	1:4	30	127.64
15	25	1:5	20	88.35
16	25	1:4	30	123.66
17	25	1:4	30	124.20

$11.51C+1.18AB-1.82AC+6.52BC-0.39A^2-4.01B^2-12.23C^2$ 。对拟合回归模型的各项进行方差分析, 结果见表 3。此回归模型的 $P<0.0001$, 模型极显著, 预测模型数据稳定的失拟项不显著 ($P=0.2966>0.05$), $R^2=0.9845$, 说明该模型可以较好的预测

表 3 回归方程各项的方差分析

Table 3 Analysis of variances for developed regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F	P	显著性
模型	2 085.42	9	231.71	32.98	<0.0001	**
A(时间)	103.75	1	103.75	14.77	0.0063	*
B(料液比)	4.87	1	4.87	0.69	0.4325	
C(有效氯质量浓度)	1 059.45	1	1 059.45	150.81	<0.0001	**
AB	5.62	1	5.62	0.80	0.4009	
AC	13.21	1	13.21	1.88	0.2127	
BC	170.11	1	170.11	24.21	0.0017	*
A ²	0.65	1	0.65	0.093	0.7693	
B ²	67.81	1	67.81	9.65	0.0172	*
C ²	629.74	1	629.74	89.64	<0.0001	**
残差	49.18	7	7.03			
失拟项	27.85	3	9.28	0.40	0.2966	
误差项	21.33	4	5.33			
总和	2 134.59	16				

注: *. $P<0.05$ 表示差异显著; **. $P<0.01$ 表示差异极显著。

SAEW对盐渍海蜇浸泡脱铝的效果。由表3可知,在A、B、C3项中,对盐渍海蜇中铝脱除量效果影响较显著的为C项,即有效氯质量浓度,A项时间和B项料液比对盐渍海蜇浸泡脱铝效果影响较小。各因素对SAEW浸泡盐渍海蜇脱铝效果的排序为有效氯质量浓度>时间>料液比。在交互项AB、AC和BC中,BC的 $P=0.0017<0.05$,说明对响应值的交互作用较显著。在二次项 A^2 、 B^2 和 C^2 中, C^2 对SAEW浸泡盐渍海蜇的脱铝效果影响极显著, A^2 和 B^2 的影响不显著。

2.2.3 响应面交互作用分析 根据响应面模型得到对脱铝影响的响应面分析图和等高线图,见图4~图6。等高线图越椭圆越显著,图6所示BC的等高线图较为椭圆,即有效氯质量浓度和料液比的交互作用对响应值的影响较为显著,AB与AC的交互作用不显著。响应面图的曲面越陡峭越显

著,图4~图6中,响应面图较陡峭的为BC,即有效氯质量浓度和料液比的交互作用,说明响应面分析结果和方差分析结果一致。

2.2.4 验证试验 综合响应面分析结果得出:SAEW浸泡盐渍海蜇脱铝的最佳条件为有效氯质量浓度37.09 mg/L,浸泡时间27.04 min,料液比1:4.52,此时盐渍海蜇中铝脱除量最大值为127.96 mg/kg。综合试验环境以及可操作性,将响应面得到的最佳脱铝工艺调整为:有效氯质量浓度37 mg/L,浸泡时间27 min,料液比1:4。在此优化条件下重复3次验证试验,最终得到铝脱除量为120.17 mg/kg,试验结果和预测结果相差较小,其原因可能为盐渍海蜇样品厚薄不均一,导致脱铝效果存在差异。

2.3 SAEW浸泡对盐渍海蜇质构特性的影响

由于盐渍海蜇丝的质构差异较大,软硬、厚薄

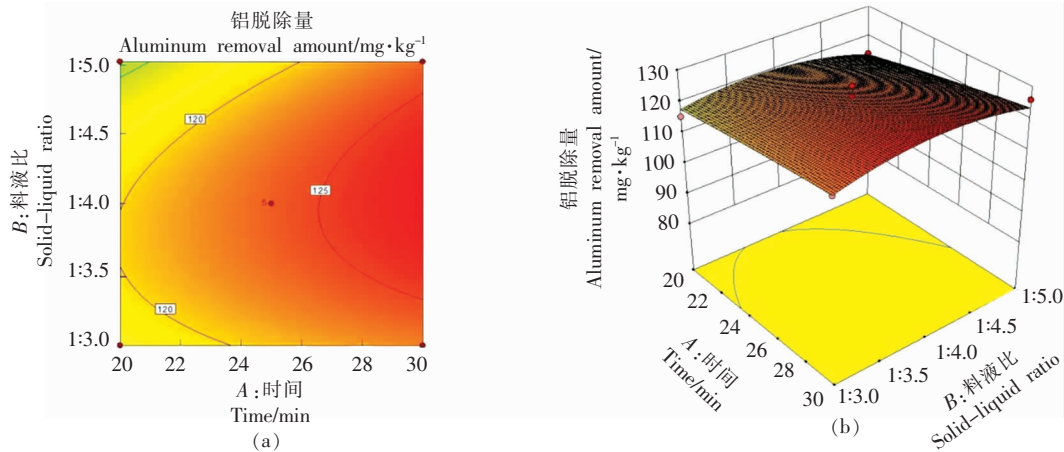


图4 Y=(A,B)的响应面与等高线

Fig.4 Response surface and contour plots under $Y=(A, B)$

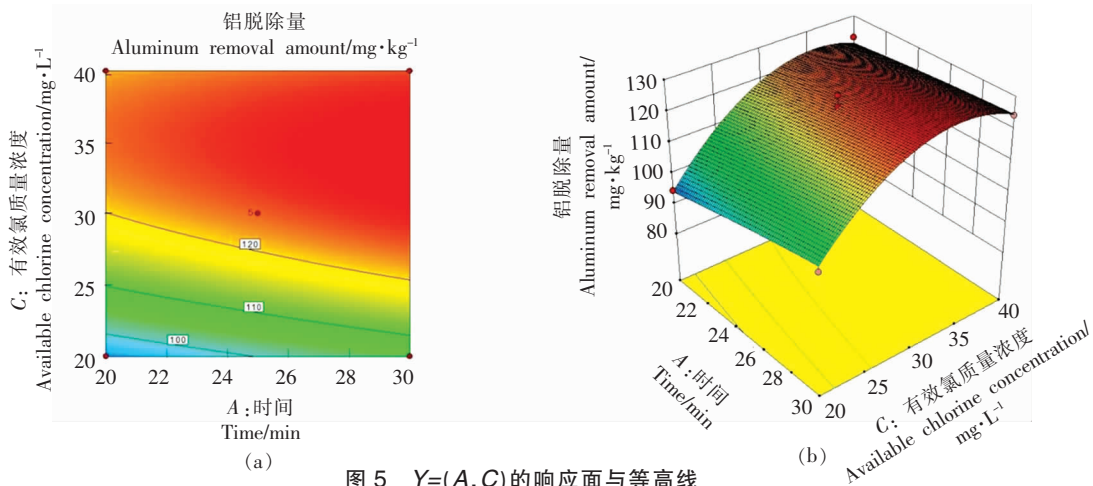


图5 Y=(A,C)的响应面与等高线

Fig.5 Response surface and contour plots under $Y=(A, C)$

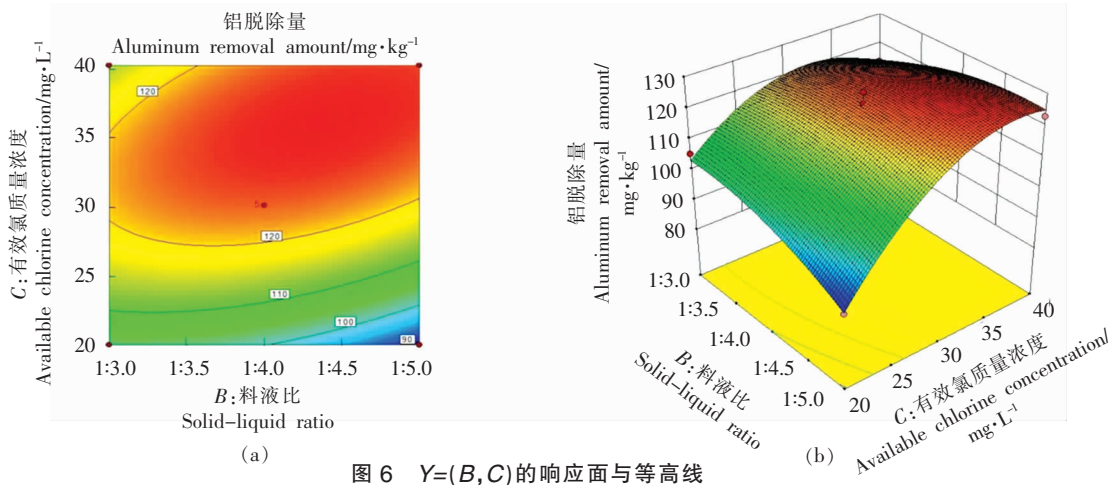


图 6 $Y=(B,C)$ 的响应面与等高线

Fig.6 Response surface and contour plots under $Y=(B, C)$

均不一致，导致最终数值误差较大。本文对质构（硬度、咀嚼性、弹性）重复测试 90 次，用箱线图来表示经 SAEW 处理后盐渍海蜇质构的变化趋势，以便对其品质变化进行分析。图 7~图 9 为盐渍海蜇经 SAEW 处理后其硬度、咀嚼性和弹性的变化。图 7 所示，盐渍海蜇未处理原样的硬度值大部分分布于 400~800 g 之间，试验组 SAEW 处理后质构均有所下降，且随浸泡时间、料液比和有效氯质

量浓度的增加，盐渍海蜇的硬度呈逐渐递减的趋势。同时与对照组盐渍海蜇的硬度值进行对比，对照组的盐渍海蜇硬度均有所下降，趋势与试验组大径相同。处理后的海蜇硬度维持在 300~600 g 之间，表明盐渍海蜇经微酸性电解水浸泡与水浸泡都能降低海蜇的硬度。图 8 为盐渍海蜇经不同单因素处理后其咀嚼性的变化。试验组与对照组相较于盐渍海蜇未处理原样，其咀嚼性均有所下

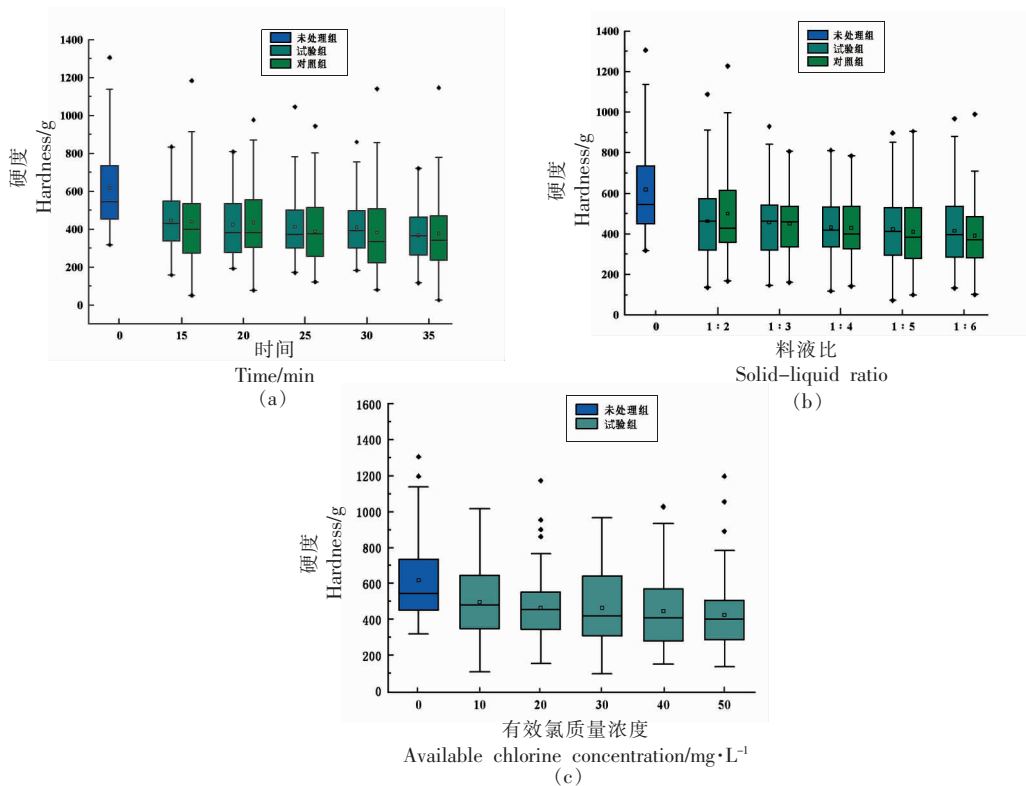


图 7 不同处理方式对盐渍海蜇硬度的影响

Fig.7 Effects of different treatment methods on the hardness of salted jellyfish

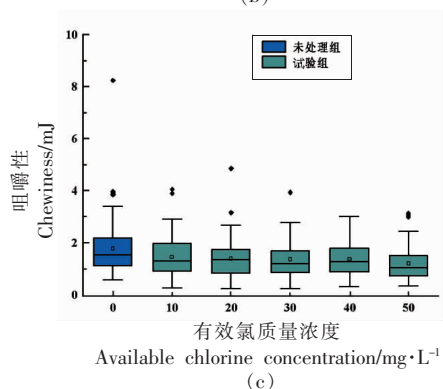
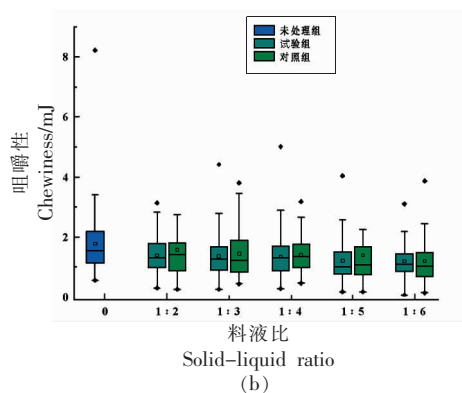
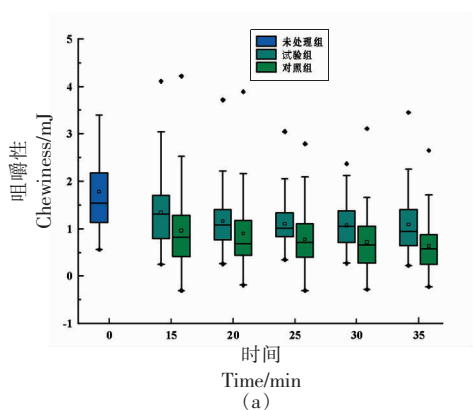


图8 不同处理方式对盐渍海蜇咀嚼性的影响

Fig.8 Effects of different treatments on the chewiness of salted jellyfish

降。在不同时间条件下处理时,试验组的咀嚼性优于对照组,其值在 1~2 mJ 之间,而对照组在 0.5~1.5 mJ 之间。不同料液比处理时,两组的咀嚼性相差较小,基本稳定在 1~2 mJ 之间。试验组和对照组盐渍海蜇硬度和咀嚼性下降的原因可能为随着铝含量的脱除,SAEW 和水进入组织内部,导致水分含量增加,进而组织变松散,最终导致其质构变差^[32]。图 9 显示盐渍海蜇经处理后其弹性的变化,可以看出,试验组与对照组盐渍海蜇的弹性呈先上升后下降的趋势。

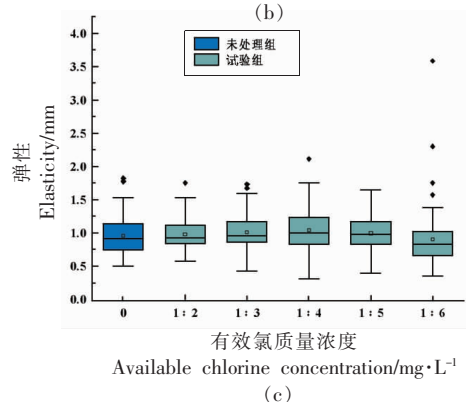
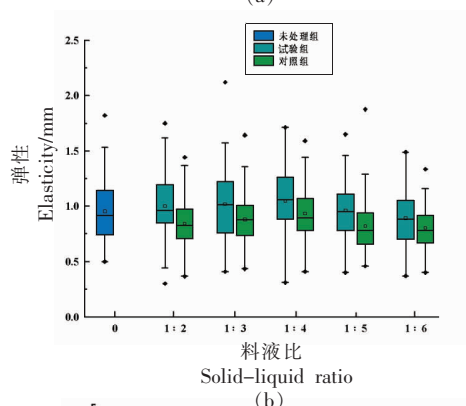
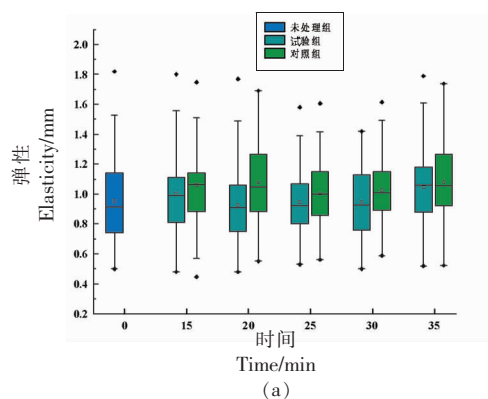


图9 不同处理方式对盐渍海蜇弹性的影响

Fig.9 Effects of different treatment methods on the elasticity of salted jellyfish

2.4 SAEW 浸泡对盐渍海蜇色泽的影响

色泽作为一项重要的感官指标^[33],直接影响消费者对产品的可接受程度,盐渍海蜇经 SAEW 和水处理后色差的变化如图 10 所示。未经处理的盐渍海蜇原样的 L^* 值为 67.64, a^* 值为 1.72, b^* 值为 25.36, W 值为 58.97,未经处理的海蜇原样亮度和白度较低,整体偏红黄。试验组与对照组的亮度从原来的 67.64 最大增加到 80.11,亮度值显著增加, a^* 值和 b^* 值均降低, W 值增加到 70~80 之间,相较于盐渍海蜇原样, W 值显著增加。不同处理的

盐渍海蜇色差的变化不存在显著性差异。而较未处理前的盐渍海蜇原样的 L^* 、 a^* 、 b^* 和 W 值的变化

存在显著性差异。处理后的海蜇亮度明显,整体呈白色。



注: L^*-1 、 b^*-1 、 $W-1$ 为试验组, L^*-2 、 a^*-2 、 b^*-2 、 $W-2$ 为对照组。

图 10 不同处理方式对盐渍海蜇色泽的影响

Fig.10 The effect of different treatment methods on the color of salted jellyfish

2.5 SAEW 处理对盐渍海蜇组织结构的影响

用上述最佳处理条件处理盐渍海蜇后,采用扫描电镜在 5 000 倍数下观察其组织结构。图 11a 为未经处理的盐渍海蜇原样电镜图,可以看出,盐渍海蜇的结构致密,无空隙。经电镜元素分析发现,在表面附着的小颗粒为海蜇经盐矾处理后残

余的盐分,对照组的结构图为图 11b,试验组的结构图为图 11c。对比发现,海蜇的结构组织仍较为紧密,无较大孔隙出现,质构无明显变化,表明盐渍海蜇经 SAEW 和水处理后其微观结构未受到严重的破坏,较好地保持了原有的质构特性。

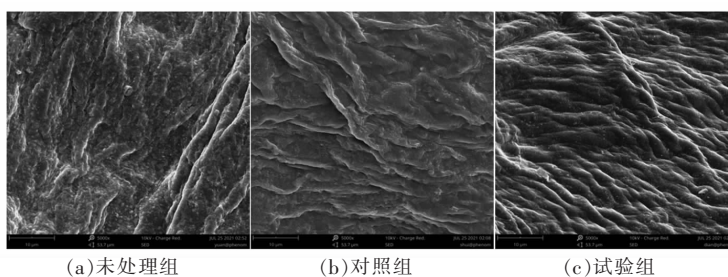


图 11 不同处理方式对盐渍海蜇组织结构的影响

Fig.11 Effects of different treatment methods on the tissue structure of salted jellyfish

3 讨论与结论

本文利用 SAEW 对盐渍海蜇进行浸泡脱铝处理,在一定程度上降低了盐渍海蜇中的铝含量,脱铝效果较自来水浸泡脱铝效果好。SAEW 在食品杀菌和保鲜方面的应用较为广泛,在对盐渍海蜇脱铝的同时,进行杀菌,简化了即食海蜇的加工程

序。

在浸泡时间、料液比、有效氯质量浓度 3 个单因素实验的基础上,利用响应面模型,以铝脱除量为响应值,对其单因素条件进行优化,最终得到最佳处理条件为浸泡时间 27 min,料液比 1:4,有效氯质量浓度 37 mg/L。在该条件下,SAEW 对盐渍

海蜇中铝的脱除量为 120.17 mg/kg, 脱除率为 30.41%。而叶湖等^[34]将 20 g 海蜇用 500 mL 1% 的醋酸溶液浸泡 6 h, 可将海蜇中的铝含量降至 57 mg/kg。陈瑜等^[35]用饮用水浸泡海蜇头和海蜇皮, 24 h 后其明矾含量可降至 0.10% 和 0.11%。与其相比, 本方案大大缩短了浸泡时间, 降低了对品质的影响。通过质构、色差和扫描电镜发现, 经 SAEW 处理后的海蜇较原样品的硬度、咀嚼性有所下降, 而颜色更有光泽, 微观结构紧密, 无空隙, 整体优于对照组。

为有效控制即食海蜇产品的铝含量, 保障消费者的食用安全, 在工厂实践中, 可采用 SAEW 结合超声波或结合振荡、搅拌等手段来加速盐渍海蜇中铝的脱除。然而, 铝脱除过程中可能使即食海蜇的食用品质下降, 可补充其它有益离子, 如钙离子和锌离子, 修复海蜇品质, 尚有待研究。

参 考 文 献

- [1] DONG Z J, LIU D Y, KESSING J K. Jellyfish blooms in China: Dominant species, causes and consequences[J]. Marine Pollution Bulletin, 2010, 60(7): 954-963.
- [2] ZHANG H L, CUI S H, ZHA X Q, et al. Jellyfish skin polysaccharides: Extraction and inhibitory activity on macrophage-derived foam cell formation[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 106: 393-402.
- [3] HSIEH Y H P, LEONG F M, RUDLOE J. Jellyfish as food[J]. Hydrobiologia, 2001, 451(1/2/3): 11-17.
- [4] 吴晓雅, 龚先宇, 谭树亮, 等. 低温诱导海蜇鳃状体横裂生殖的分子信号调控机制初探[J]. 海洋环境科学, 2021, 40(1): 66-72.
- WU X Y, GONG X Y, TAN S L, et al. Preliminary study on the molecular signaling regulation mechanism in *Rhopilema esculentum* polyps strobilation induced by low temperature[J]. Marine Environmental Science, 2021, 40(1): 66-72.
- [5] 刘玉明, 何颖, 沈先荣. 海蜇化学成分及其药理活性研究进展[J]. 中国海洋药物, 2017, 36(5): 93-98.
- LIU Y M, HE Y, SHEN X R. Research progress on chemical compositions and pharmacological activities of jellyfish[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2017, 36(5): 93-98.
- [6] OMORI M, NAKANO E. Jellyfish fisheries in southeast Asia[J]. Hydrobiologia, 2001, 451(1): 19-26.
- [7] HUANG Q, QIU J Q, QIU J H, et al. The effect of dealuminated jellyfish in mitigating toxicity on mice exposed to aluminum[J]. Food and Chemical Toxicology, 2020, 138: 111181.
- [8] 李志皓. 半干即食海蜇的研制[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- LI Z H. Study on processing technology of semi-dry instant jellyfish food[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.
- [9] YANG X Q, WU Z Y, CEN J W, et al. Research on detecting aluminum in jellyfish by flame atomic absorption method[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1033: 732-737.
- [10] JIANG X Y, WANG F L, ZHAO C C, et al. Identification of two jellyfish species (*Rhopilema esculentum kishinouye* and *Stomolophus meleagris*) in Liaoning province of China by a rapid, simple PCR-RFLP method[J]. Food Control, 2019, 105: 52-57.
- [11] SHI Y F, ZHAN Q Y, TIAN L L, et al. Risk analysis and determination of aluminum concentration in jellyfish (*Rhopilema esculentum*)[C]. The International Conference on Biological Sciences and Technology, 2016.
- [12] HU J M, ZHOU F, LIN Y, et al. The effects of photodynamically activated curcumin on the preservation of low alum treated ready-to-eat jellyfish[J]. LWT, 2019, 115: 108443.
- [13] 李彩云. 铝的危害与防治方法研究 [J]. 广东化工, 2017, 44(6): 90-91.
- LI C Y. Study on the harm and prevention of aluminum[J]. Guangdong Chemical Industry, 2017, 44(6): 90-91.
- [14] AGUILAR F, AUTRUP H, BARLOW S, et al. Safety of aluminium from dietary intake - scientific opinion of the panel on food additives, flavourings, processing aids and food contact materials (AFC)[J]. EFSA Journal, 2008, 754: 1-34.
- [15] QIAO N. Overview of the relationship between aluminum exposure and health of human being[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 2018, 1091: 1-31.
- [16] COLOMINA M T, PERIS-SAMPEDRO F. Aluminum

- and Alzheimer's Disease[J]. *Adv Neurobiol*, 2017, 18: 183-197.
- [17] LIN T, WANG J J, LI J B, et al. Use of acidic electrolyzed water ice for preserving the quality of shrimp[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(36): 8695-8702.
- [18] 吴怡, 蓝蔚青, 刘嘉莉, 等. 微酸性电解水结合迷迭香提取物对冷藏鲈鱼片品质变化影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(4): 47-55.
- WU Y, LAN W Q, LIU J L, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water combined rosemary extract on the quality change of sea bass fillets (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(4): 47-55.
- [19] YANG G J, SHI Y Q, ZHAO Z Y, et al. Comparison of inactivation effect of slightly acidic electrolyzed water and sodium hypochlorite on *Bacillus cereus* spores[J]. *Foodborne pathogens and disease*, 2020, 18(3): 192-201.
- [20] XING J J, JIANG D H, GUO X N, et al. Effect of dough mixing with slightly acidic electrolyzed water on the shelf-life and quality characteristics of fresh wet noodles[J]. *Food Control*, 2021, 124(3): 107891.
- [21] 钟强, 董春晖, 黄志博, 等. 酸性电解水保鲜机理及其在水产品中应用效果的研究进展[J]. *食品科学*, 2021, 42(5): 288-295.
- ZHONG Q, DONG C H, HUANG Z B, et al. Recent progress in the preservation mechanism of acidic electrolyzed water and its application in the preservation of aquatic products[J]. *Food Science*, 2021, 42(5): 288-295.
- [22] 乌云达来, 郝建雄, 刘海杰. 酸性电解水对苹果表面毒死蜱降解效果及降解途径分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(17): 85-93.
- WU Y D L, HAO J X, LIU H J. Study of the removal chlorpyrifos in apples and the degradation pathway[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(17): 85-93.
- [23] SONG H Y, LEE J Y, LEE H W, et al. Inactivation of bacteria causing soft rot disease in fresh cut cabbage using slightly acidic electrolyzed water[J]. *Food Control*, 2021, 128: 108217.
- [24] Al-HOLY M A, RASCO B A. The bactericidal activity of acidic electrolyzed oxidizing water against *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on raw fish, chicken and beef surfaces[J]. *Food Control*, 2015, 54: 317-321.
- [25] YAN W, ZHANG Y Q, YANG R J, et al. Combined effect of slightly acidic electrolyzed water and ascorbic acid to improve quality of whole chilled freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) [J]. *Food Control*, 2020, 108: 106820.
- [26] 黄镇, 张卓毅, 吴迪梅, 等. 微酸性电解水对蛋鸡舍空气消毒效果研究及使用成本分析[J]. *畜牧与兽医*, 2021, 53(7): 36-39.
- HUANG Z, ZHANG Z Y, WU D M, et al. Effect of slightly acidic electrolyzed water on air disinfection in laying hen houses and analysis of related cost[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2021, 53(7): 36-39.
- [27] 岑剑伟, 于福田, 杨贤庆, 等. 微酸性电解水冰对罗非鱼片的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2019, 40(19): 288-293.
- CEN J W, YU F T, YANG X Q, et al. Quality preservation of tilapia fillets using slightly acidic electrolyzed water ice[J]. *Food Science*, 2019, 40(19): 288-293.
- [28] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中铝的测定: GB 5009.182-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-3.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National food safety standard determination of aluminium in food: GB 5009.182-2017[S]. Beijing: National Standards Press of the People's Republic of China, 2017: 1-3.
- [29] 于福田, 岑剑伟, 李来好, 等. 罗非鱼片微酸性电解水杀菌工艺响应面法优化研究[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(1): 77-84.
- YU F T, CEN J W, LI L H, et al. Response surface methodology for optimization of sterilization effect on tilapia fillet with slightly acidic electrolyzed water[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(1): 77-84.
- [30] 周智宇, 罗正娅, 高晴, 等. 微酸性电解水杀菌工艺优化及对云南鲜米线贮藏品质影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(1): 204-210.
- ZHOU Z Y, LUO Z Y, GAO Q, et al. Optimiza-

- tion of the sterilization process of slightly acidic electrolyzed water and its effect on the storage quality of Yunnan fresh rice noodles [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(1): 204–210.
- [31] 岑剑伟, 孙万青, 陈胜军, 等. 即食海蜇中铝检测、脱除与杀菌新技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(8): 268–275.
- CEN J W, SUN W Q, CHEN S J, et al. New technology of aluminum detection, removal and sterilization for ready-to-eat jellyfish [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(8): 268–275.
- [32] 梁爽. 不同处理方式对海蜇即食产品品质影响的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- LIANG S. Influence of different treatment on the quality of ready-to-eat jellyfish products [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [33] 王冀宁, 涂怡青, 王雯熠. 食用色素供应链的全过程风险管理研究[J]. *中国调味品*, 2021, 46(7): 171–175.
- WANG J N, TU Y Q, WANG W Y. Study on the whole process risk management of edible pigment supply chain [J]. *China Condiment*, 2021, 46(7): 171–175.
- [34] 叶湖, 陈英, 赵晓峰, 等. 海蜇中铝限量标准探讨及安全食用建议[J]. *中国食品卫生杂志*, 2013, 25(3): 268–271.
- YE H, CHEN Y, ZHAO X F, et al. Discussion of standard limit of aluminium for jellyfish products and safety guidelines [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2013, 25(3): 268–271.
- [35] 陈瑜, 朱敬萍, 金雷, 等. 浸泡对市售盐渍海蜇皮及海蜇头影响分析[J]. *广州化工*, 2016, 44(8): 115–116, 145.
- CHEN Y, ZHU J P, JIN L, et al. Analysis of soaking for commercial salted jellyfish and jellyfish head [J]. *Guangzhou Chemical Industry*, 2016, 44(8): 115–116, 145.

Studies on Effect of Slightly Acidic Electrolyzed Water on Dealumination of Salted Jellyfish

Sun Wanqing^{1,2}, Cen Jianwei¹, Chen Shengjun^{1,3*}, Li Chunsheng^{1,3}, Deng Jianchao¹,
Pan Chuang¹, Yang Shaoling¹, Feng Yang¹

(¹Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Research and Development Center for Aquatic Product Processing, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300

²College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong

³Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province, Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572018, Hainan)

Abstract Using salted jellyfish as raw material, the dealumination effect of slightly acidic electrolytic water (SAEW) on salted jellyfish by soaking was studied in this article. After screening the parameters of soak time, material-to-liquid ratio, and available chlorine concentration by single factor experiments, the response surface model was used to optimize the soaking conditions, and the influence of dealumination treatment on quality changes was evaluated from the perspectives of color difference, texture and microscopic analysis. The results showed that the best dealumination conditions were the available chlorine concentration of 37 mg/L, the soak time of 27 min, and the solid-liquid ratio of 1:4. Under the conditions, the amount of aluminum removed from jellyfish was 120.17 mg/kg, and the removal rate was 30.41%. The order of the intensity of each factor on dealumination effect was available chlorine concentration > soak time > material-to-liquid ratio. With the increase of soaking time, material-to-liquid ratio and available chlorine concentration, the hardness and chewiness of all the products of test group gradually decreased, the change of elasticity showed a trend of rise first and then decline. After treatment, the L^* value and W value of the salted jellyfish were significantly increased. In addition, the results in microstructure images showed that the microstructure of the experimental group and the control group were uniform, and no obvious destruction were observed.

Keywords salted jellyfish; slightly acidic electrolyzed water; dealumination; quality change