

盐渍海蜇皮中铝脱除的研究

田明洁¹, 苏昊鹏¹, 袁颖¹, 杨美竹¹, 李颖畅^{1*}, 石雪², 陶国锋², 励建荣¹

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013;
2. 营口辰光水产有限公司, 营口 115000)

摘要: **目的** 研究盐渍海蜇皮中的铝脱除方法。**方法** 将盐渍海蜇皮分别浸泡在超纯水、pH为3.75的弱酸性电解水、0.5%乳酸钙溶液以及0.5%弱酸性电解水+乳酸钙复合溶液4种不同脱铝液中, 设置不同浸泡时间, 对浸泡后海蜇皮的质构、感官、溶胀率、粗蛋白含量以及铝含量进行测定。**结果** 弱酸性电解水能够有效降低盐渍海蜇中的铝含量, 乳酸钙溶液则可以明显缓和脱铝后海蜇硬度、弹性以及溶胀率的降低, 使海蜇维持良好的感官和组织形态。得到盐渍海蜇的最佳脱铝液为0.5%弱酸性电解水+乳酸钙复合溶液, 最佳浸泡时间为3 h。**结论** 0.5%弱酸性电解水+乳酸钙复合溶液可有效降低盐渍海蜇皮中铝的含量, 同时使海蜇保持良好的品质。

关键词: 盐渍海蜇皮; 脱铝; 弱酸性电解水; 乳酸钙; 复合脱铝液

Studying on removing Aluminum from salted jellyfish skin

TIAN Ming-Jie¹, SU Hao-Peng¹, YUAN Ying¹, YANG Mei-Zhu¹, LI Ying-Chang^{1*}, SHI Xue²,
TAO Guo-Feng², LI Jian-Rong¹

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China; 2. Yingkou Chengguang Aquatic Products Co., Ltd., Yingkou 115000, China)

ABSTRACT: Objective To study the method of aluminum removal from salted jellyfish skin. **Methods** Salted jellyfish were soaked in 4 kinds of different dealuminizing solution including ultrapure water, weak acid electrolytic water with pH 3.75, 0.5% calcium lactate solution and 0.5% weak acid electrolytic water+calcium lactate, the texture, sensory, swelling rates, crude protein content and the aluminum content of jellyfish under different soaking time were measured. **Results** Weak acid electrolytic water could effectively reduce the aluminum content in salted jellyfish, calcium lactate solution could obviously ease the hardness, elasticity and swelling rates of jellyfish after dealumination, so as to maintain good sensory and organizational morphology of jellyfish. The best dealumination solution was 0.5% weak acid electrolytic water+calcium lactate solution, and the best soaking time was 3 h. **Conclusion** 0.5% weak acid electrolytic water+calcium lactate solution can effectively reduce the content of aluminum in salted jellyfish skin and keep the jellyfish good quality.

KEY WORDS: salted jellyfish skin; dealumination; weakly acidic electrolytic water; calciumlactate; composite dealuminizing solution

基金项目: 辽宁省区域创新联合基金项目(2020-YKLH-25)

Fund: Supported by the Regional Innovation Joint Fund of Liaoning Province (2020-YKLH-25)

*通信作者: 李颖畅, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品加工与贮藏。E-mail: liyingchangsy@126.com

*Corresponding author: LI Ying-Chang, Ph.D, Professor, College of Food Science and Technology, Bohai University, No.19, Keji Road, Songshan New District, Jinzhou 121013, China. E-mail: liyingchangsy@126.com

0 引言

海蜇中含有大量的胶原蛋白、丰富的矿物质、维生素和糖胺聚糖等物质^[1],脂肪和胆固醇的含量极少,热量低,是一种纯天然的健康食品^[2],且海蜇中的生物活性成分具有极大的药用价值^[3]。在我国沿海地区,特别是辽宁省有大量海蜇养殖企业,资源十分丰富^[4]。目前,我国海蜇产品已经出口到日本、韩国、泰国、马来西亚、东亚和东南亚等国家^[5],海蜇及其加工品对我国沿海经济发展具有很大的意义。海蜇中大量的水分容易导致海蜇腐败变质,目前通常采用“三矾二盐”的加工工艺对海蜇进行处理,从而保持海蜇品质^[6]。经过“三矾二盐”方式处理后得到的盐渍海蜇虽然品质得到提升,延长了贮存期,但是易导致大量铝(Al)残留在海蜇中,使其铝含量超出 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中的限定值(500 mg/kg,以即食海蜇中 Al 计)。铝元素易在人体蓄积会损害神经系统,干扰人的思维、意识和记忆功能,严重时可能会导致老年痴呆等疾病^[7]。为了保证海蜇及其产品的安全性,必须对盐矾加工处理后的海蜇进行脱铝。

目前,已有部分学者对降低盐渍海蜇铝残留进行了研究,如陈建文等^[8]在海蜇生产加工中使用柠檬酸脱铝,虽得到较好的脱铝效果,但脱铝后海蜇样品韧性变差,品质下降;赵玉庭等^[9]发现冰醋酸和食用醋的脱铝效果较柠檬酸更好,建议消费者在食用盐渍海蜇时进行食用醋浸泡,但此操作降低了食用便捷性;沈旭东等^[10]采用草酸与丙酸钠混合溶液浸泡和热水苏打水漂烫的方法,过程中需要浸泡多次,步骤烦琐。综上可知,酸溶液可脱铝,酸性电解水有潜力作为一种便捷有效的脱铝液。酸性电解水由电解质溶液在电解装置中电解制备而成,制备过程仅需消耗微量电能,成本十分低廉^[11]。近年来,酸性电解水已经被广泛应用于食品杀菌^[12]以及食品保鲜^[13]中。乳酸钙被证实具有保护食品中蛋白质的作用,还可以较好地维持食品感官、色泽、硬度等品质^[14]。基于此,本研究对弱酸性电解水结合乳酸钙对盐渍海蜇皮的脱铝效果进行研究,并对脱铝后海蜇的铝含量、质构及感官指标进行测定,从而为盐渍海蜇的脱铝提供新的方式。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验材料:盐渍海蜇皮,购于锦州市林西路水产市场。

主要试剂:硫酸铜、硫酸钾、乙酸钠、37%甲醛、乙酰丙酮、氢氧化钠、对硝基苯酚(分析纯,上海金穗生物科技有限公司);硫酸(分析纯,锦州古城化学试剂有限公司);乙酸[优级纯,生工生物工程(上海)股份有限公司];乳酸钙

(食品级,郑州凯之裕食品添加剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

UV-2550 紫外-可见分光光度计(日本岛津公司); Milli-Q 超纯水系统(美国 Millipore 公司); FX-QS-P60 方心型强酸性电解水生成器(烟台方心水处理设备有限公司); DK-8D 电热恒温水浴槽(上海一恒科技有限公司); TA.XT-plus 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司); CR-400 色差仪(日本 Konica-Minolta 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

将盐渍海蜇皮用自来水冲洗,再用超纯水冲洗,用滤纸擦去海蜇皮表面水分,切成 10 cm×10 cm×0.6 cm 的方块,为下一步浸泡脱铝做准备。

1.3.2 实验分组

实验分超纯水组(对照组)、弱酸性电解水组、乳酸钙溶液组、弱酸性电解水+乳酸钙溶液组(复合脱铝液)。其中,弱酸性电解水:将 pH 为 3.03 的弱酸性电解水分别稀释 5 倍,得到 pH 为 3.75 的弱酸性电解水;乳酸钙溶液:取乳酸钙粉末溶解于超纯水中,得到质量分数为 0.5%乳酸钙溶液;复合脱铝液:取乳酸钙粉末溶解于 pH 为 3.75 的弱酸性电解水中,得到 0.5%复合脱铝液。

将海蜇皮分别浸泡在脱铝液中,分别于浸泡 1、2、3、4、5 h 时取样,对样品中的铝含量、粗蛋白含量、溶胀率、样品质构及感官特性进行测定,并对样品组织形态进行观察。

1.3.3 铝含量的测定

采用 GB 5009.182—2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》中分光光度法测定海蜇中的铝含量。

1.3.4 质构的测定

海蜇皮质构的测定参考张琳娜^[6]的方法,并稍作改动,将浸泡后样品切成 2.5 cm×2.5 cm×0.6 cm 的小块,使用 TA.XT-plus 质构仪对海蜇进行质构分析(texture profile analysis, TPA)测定,探头型号为 P50。参数设置:测试前后下压速度 5.0 mm/s,压缩速度 1.0 mm/s,样品形变量为 50%,触发力 5.0 N,压缩时间间隔为 5.0 s,每个浸泡样品做 3 次平行,结果取平均值。

1.3.5 溶胀率的测定

海蜇皮溶胀率的测定参考郭睿等^[15]的方法,海蜇皮的初始体积为 100 cm³,测定海蜇皮在不同脱铝液中浸泡不同时间的体积。溶胀率的计算按照公式(1)如下:

$$\text{溶胀率}(\%) = \frac{\text{浸泡后海蜇皮体积}}{\text{初始海蜇皮体积}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.6 粗蛋白含量的测定

粗蛋白含量的测定参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的分光光度法进行测定。

1.3.7 感官评定

海蜇皮的感官评定参考黄卉等^[16]的方法,并稍作改动。以 10 名成员组成感官评价小组,采用赋分法,对不

同浸泡液浸泡后的海蜇皮色泽、气味、质地及组织状态进行评分。其中总分=0.25×色泽+0.25×气味+0.25×质地+0.25×组织状态, 总分满分为 10 分。感官评分的标准如表 1 所示。

1.3.8 组织形态的观察

海蜇皮组织形态的观察参照孟飞等^[17]的方法并略有改动, 将在 4 种浸泡液中浸泡 5 h 的海蜇皮用 OCT (opti-mumcutting temperature compound)包埋剂进行包埋, 在-20 °C下冻藏 30 min, 用冷冻切片切 10 μm 的薄片, 置于载玻片上, 采用 Masson 染色法^[18]进行染色, 并用光学显微镜放大 100 倍进行观察。

1.3.9 数据分析

对实验数据用 Origin 8.5 绘图和 SPSS 25.0 进行数据统计及显著性分析, 处理结果以平均值±标准偏差来表示。

2 结果与分析

2.1 不同脱铝液对海蜇皮脱铝效果的影响

铝的残留量是衡量海蜇的脱铝效果以及海蜇产品是否安全的重要指标之一。由表 2 可知, 随着浸泡时间

的延长, 经过 4 种脱铝液浸泡后, 盐渍海蜇皮中的铝含量显著下降($P<0.05$)。弱酸性电解水和复合脱铝液浸泡后海蜇皮中的铝含量在第 1 h 已达到 GB 2760—2014 中的限量值 500 mg/kg 以下, 相比而言, 超纯水和乳酸钙溶液的脱铝效果较差, 浸泡 5 h 才达到脱铝要求。浸泡 5 h 后, 4 种处理方法均能使盐渍海蜇皮中铝的含量降到 500 mg/kg 以下。对比之下, 弱酸性电解水和复合脱铝液的脱铝效果较强, 这是因为在酸性条件下海蜇皮中与蛋白质等物质结合的铝容易转变为离子形式, 从海蜇皮中析出达到脱铝目的, 并且在 pH 小于 4 时的酸性环境下脱铝效果较好^[19]。

2.2 不同脱铝液对海蜇皮质的影响

硬度及弹性值减小, 海蜇皮脆弹口感降低, 品质下降。不同脱铝液浸泡后海蜇皮硬度的变化如表 3 所示, 随着浸泡时间的延长, 不同脱铝液浸泡后的海蜇皮硬度均显著降低($P<0.05$), 海蜇皮的品质不断下降。在 5 h 时, 4 种脱铝液浸泡后的海蜇皮硬度从大到小依次为乳酸钙溶液>超纯水>复合脱铝液>弱酸性电解水, 说明在浸泡液中添加乳酸钙可以有效缓解脱铝海蜇皮硬度降低情况。

表 1 浸泡后海蜇皮的感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation standard of jellyfish skin after soaking

项目	分值		
	8~10	5~7	1~4
色泽	乳白色, 有光泽	颜色较暗	颜色有明显黄色
气味	具有海蜇固有气味	有略微异味	有腐败的气味
质地	韧性足, 弹性好	韧性有所下降, 弹性一般	韧性较差, 弹性较差
组织状态	厚实, 汁液保持好	稍微变软, 汁液保持一般	组织松软, 汁液流失大

表 2 不同脱铝液浸泡后海蜇皮中铝的残留量($n=3$, mg/kg)
Table 2 Residual aluminum content in jellyfish skin after soaking in different dealumination solutions ($n=3$, mg/kg)

浸泡时间/h	超纯水	弱酸性电解水	乳酸钙溶液	复合脱铝液
0	710.01±1.14 ^{Aa}	710.01±1.14 ^{Aa}	710.01±1.14 ^{Aa}	710.01±1.14 ^{Aa}
1	634.19±2.05 ^{Ba}	450.91±1.26 ^{Bc}	619.59±1.34 ^{Bb}	460.53±1.32 ^{Bc}
2	590.11±0.92 ^{Ca}	349.52±1.21 ^{Cd}	579.41±0.40 ^{Cb}	351.43±1.43 ^{Cc}
3	538.47±1.14 ^{Da}	289.36±0.58 ^{Dc}	534.90±1.70 ^{Db}	276.42±0.91 ^{Dd}
4	505.87±0.64 ^{Ea}	262.87±0.87 ^{Ed}	504.15±1.18 ^{Eb}	268.45±0.62 ^{Ec}
5	487.49±1.19 ^{Fa}	250.68±1.18 ^{Fc}	455.61±1.68 ^{Fb}	251.51±0.93 ^{Fc}

注: a~d: 不同小写字母表示同一行数据之间差异显著($P<0.05$); A~F: 不同大写字母表示同一列数据之间差异显著($P<0.05$), 下同。

由表 4 可知,随着浸泡时间的延长,经过 4 种脱铝液浸泡的海蜇皮弹性均出现先上升后下降的趋势,出现这种趋势的原因可能是海蜇皮具有复水性^[20]。经过弱酸性电解水处理的海蜇皮弹性在 1 h 时就较为明显($P<0.05$)地低于其他 3 组,1 h 之后呈显著下降趋势,且均显著低于其他 3

组($P<0.05$),说明弱酸性电解水对海蜇皮的弹性具有一定的破坏作用。相比于其他 3 种脱铝液,经过乳酸钙溶液处理的海蜇皮弹性在 2 h 之前上升最快,且复合脱铝液处理的海蜇皮弹性始终高于弱酸性电解水处理组,说明乳酸钙对海蜇皮的弹性具有一定的保护作用。

表 3 不同脱铝液浸泡后海蜇皮硬度的变化($n=3, g$)
Table 3 Hardness changes of jellyfish skin after soaking in different dealumination solutions ($n=3, g$)

浸泡时间/h	超纯水	弱酸性电解水	乳酸钙溶液	复合脱铝液
0	16923.34±1345.23 ^{Aa}	16923.34±1345.23 ^{Aa}	16923.34±1345.23 ^{Aa}	16923.34±1345.23 ^{Aa}
1	15421.36±770.71 ^{Bb}	13778.94±518.47 ^{Bd}	16590.79±1518.26 ^{Ba}	14099.82±377.01 ^{Bc}
2	14686.27±360.98 ^{Cb}	12099.81±377.01 ^{Cd}	15466.56±902.80 ^{Ca}	13145.22±501.11 ^{Cc}
3	13933.56±1362.27 ^{Db}	11599.07±213.15 ^{Dd}	14929.60±1375.85 ^{Da}	11718.59±251.27 ^{Dc}
4	12923.49±1245.14 ^{Eb}	10043.67±282.36 ^{Ed}	14137.43±702.35 ^{Ea}	10540.40±336.28 ^{Ec}
5	10952.65±775.52 ^{Fb}	9531.33±261.78 ^{Fd}	12171.99±560.12 ^{Fa}	10035.86±119.55 ^{Fc}

表 4 不同脱铝液浸泡后对海蜇皮弹性的影响($n=3$)
Table 4 Effects of soaking in different dealumination solutions on the elasticity of jellyfish skin ($n=3$)

浸泡时间/h	超纯水	弱酸性电解水	乳酸钙溶液	复合脱铝液
0	1.07±0.65 ^{Ca}	1.07±0.65 ^{Aa}	1.07±0.65 ^{Ca}	1.07±0.65 ^{Ba}
1	1.14±0.35 ^{Aa}	1.08±0.43 ^{Ac}	1.16±0.31 ^{Aa}	1.11±0.41 ^{Ab}
2	1.10±0.23 ^{Ba}	1.01±0.51 ^{Bb}	1.12±0.62 ^{Ba}	1.08±0.32 ^{ABa}
3	1.02±0.14 ^{Da}	0.86±0.49 ^{Cd}	0.98±0.21 ^{Db}	0.94±0.53 ^{Cc}
4	0.91±0.21 ^{Eb}	0.82±0.47 ^{Dc}	0.96±0.23 ^{Da}	0.88±0.37 ^{Db}
5	0.79±0.13 ^{Fb}	0.70±0.23 ^{Ed}	0.92±0.64 ^{Ea}	0.73±0.42 ^{Ec}

2.3 不同脱铝液对海蜇皮溶胀率的影响

溶胀率是膨胀体积与初始体积的比值^[21],可以反应胶原蛋白与水分子的结合情况。不同脱铝液浸泡对海蜇皮溶胀率的影响如图 1 所示,随着浸泡时间的延长,4 种脱铝液浸泡后海蜇皮的溶胀率均出现先升高后降低的趋势,溶胀率的升高是因为海蜇皮中的胶原蛋白与水分子发生亲和作用而溶胀,而降低是因为过量的水分子与海蜇皮中胶原蛋白结合,导致海蜇内部组织受到破坏,与水的结合能力减弱^[22]。经过乳酸钙溶液浸泡的海蜇皮在 3 h 时达到溶胀率最高值,这说明了乳酸钙处理适当的时间对海蜇中的蛋白质具有保护作用。

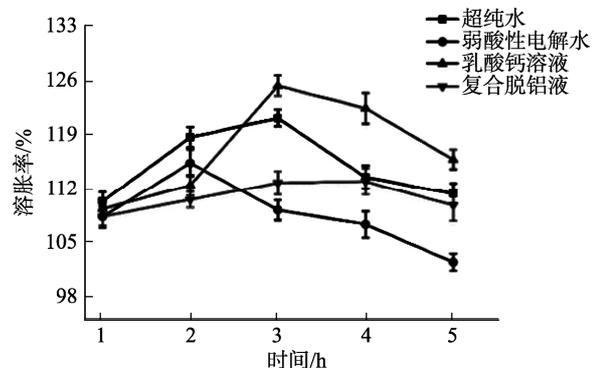


图 1 不同脱铝液对海蜇皮溶胀率的影响($n=3$)
Fig.1 Effects of different dealumination solutions on swelling rates of jellyfish skin ($n=3$)

2.4 不同脱铝液对海蜇皮粗蛋白含量的影响

由表 5 可知, 随着浸泡时间的延长, 海蜇皮中的粗蛋白含量总体呈下降趋势。浸泡结束时, 超纯水、弱酸性电解水和复合脱铝液浸泡的盐渍海蜇皮粗蛋白含量没有显著差异($P>0.05$)。值得注意的是, 乳酸钙溶液处理的盐渍海蜇皮中粗蛋白含量下降比较慢且最终含量最高, 在 3 h 后各组粗蛋白降低速度放缓, 但乳酸钙溶液组粗蛋白含量一直显著高于弱酸性电解水处理组($P<0.05$)。综上可知, 乳酸钙可以减缓粗蛋白的降解。

2.5 不同脱铝液对海蜇皮感官的影响

感官分析是评价食品品质的最直观的指标之一,

评价人员从海蜇的形态、颜色、气味等方面给出评价, 反映海蜇皮的新鲜程度。不同脱铝液浸泡后对海蜇皮感官得分的影响如图 2 所示, 浸泡时间越长, 脱铝海蜇皮的感官评分越低; 在最初的 2 h 内, 感官评分显著降低($P<0.05$), 海蜇皮变软, 弹性降低, 4 h 后, 感官无显著变化($P>0.05$)。经过 4 种脱铝液浸泡后的感官评分从高到低的依次为: 乳酸钙溶液>超纯水>复合脱铝液>弱酸性电解水。出现这样的趋势是因为随着浸泡时间的延长, 海蜇皮的内部结构逐渐发生改变, 其主要成分蛋白质、水分等物质流失, 导致海蜇皮的形态、色泽等感官品质的下降。

表 5 不同脱铝液浸泡后对海蜇皮粗蛋白含量的影响($n=3$, g/100 g)

Table 5 Effects of soaking in different dealumination solutions on crude protein content of jellyfish skin ($n=3$, g/100 g)

浸泡时间/h	脱铝液			
	超纯水	弱酸性电解水	乳酸钙溶液	复合脱铝液
0	10.83±0.31 ^{Aa}	10.83±0.31 ^{Aa}	10.83±0.31 ^{Aa}	10.83±0.31 ^{Aa}
1	10.06±0.26 ^{Bb}	9.11±0.09 ^{Bd}	10.34±0.06 ^{Ba}	9.59±0.08 ^{Bc}
2	9.55±0.12 ^{Cab}	8.90±0.14 ^{BCc}	9.72±0.05 ^{Ca}	9.42±0.05 ^{Bb}
3	8.81±0.09 ^{Db}	8.71±0.10 ^{CDb}	9.30±0.04 ^{Da}	8.77±0.04 ^{Cb}
4	8.53±0.07 ^{DEc}	8.50±0.09 ^{DEc}	8.89±0.03 ^{Ea}	8.68±0.02 ^{Cb}
5	8.44±0.07 ^{Eb}	8.41±0.03 ^{Eb}	8.55±0.06 ^{Fa}	8.48±0.03 ^{Db}

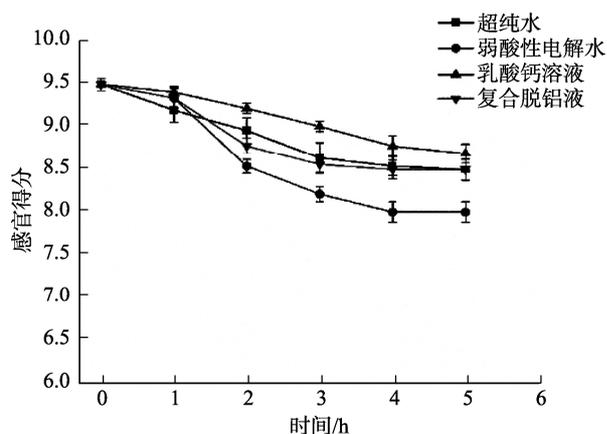


图 2 不同脱铝液浸泡后对海蜇皮感官得分的影响($n=10$)

Fig.2 Effects of soaking in different dealumination solutions on sensory scores of jellyfish ($n=10$)

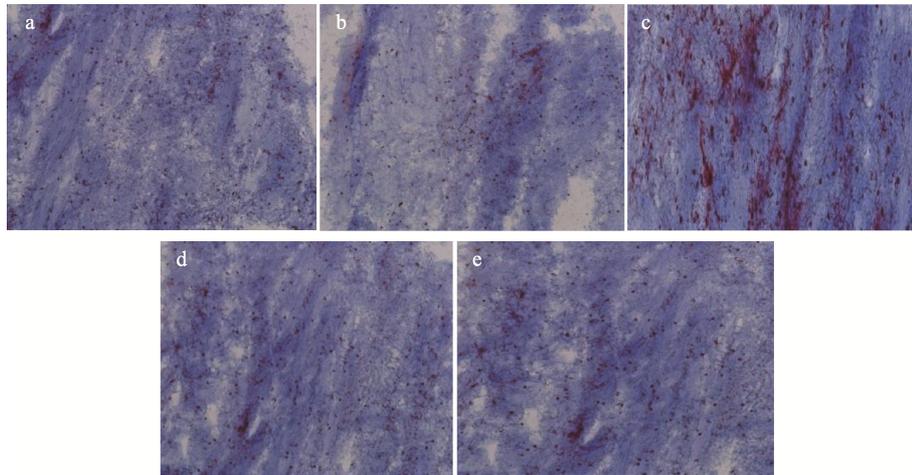
2.6 不同脱铝液对海蜇皮组织形态的影响

本研究采用 Masson 染色法对在 4 种脱铝液中浸泡 5 h 后的海蜇皮进行染色, 胶原纤维呈蓝色, 肌肉纤维呈红色。光学显微镜放大 100 倍观察(图 3), 未浸泡和经过 4 种脱铝液浸泡后的海蜇皮组织在染色后均出现大面积蓝色, 说明海蜇皮组织中胶原纤维含量较多。经过超纯水以及乳酸钙浸泡后的海蜇皮与未浸泡的海蜇皮相比差异不明显,

3 者都含有少量的肌原纤维, 并且分布比较均匀; 相比而言, 经过弱酸性电解水出现大面积红色, 复合脱铝液浸泡后的海蜇皮出现少量红色。说明经过弱酸性电解水处理海蜇皮的组织结构在酸性条件下被破坏, 出现肌原纤维聚集^[18]、组织松散的现象; 而经过复合脱铝液浸泡的海蜇皮肌原纤维的聚集程度和组织的松散程度有所缓解, 进一步验证了乳酸钙对海蜇蛋白结构的保护作用, 这也与海蜇皮的溶胀率、质构、蛋白质的最终测定结果一致。

3 结论

本研究结果表明: 盐渍海蜇皮在超纯水、pH 为 3.75 的弱酸性电解水、0.5%乳酸钙溶液和弱酸性电解水-乳酸钙复合脱铝液中分别以 1:5 的料液比浸泡后, 弱酸性电解水和弱酸性电解水-乳酸钙复合脱铝液脱铝效果较好, 弱酸性电解水处理后的海蜇皮品质相对较差, 而弱酸性电解水-乳酸钙复合脱铝液在有效地脱除海蜇皮中铝离子的同时, 其中的乳酸钙对海蜇皮的质构、溶胀率、蛋白质以及组织状态具有一定的保护作用, 可以有效改善弱酸性电解水对海蜇品质造成的损害, 维持良好的感官。且复合脱铝液的铝脱出率随着浸泡时间的延长而增大, 浸泡时间为 3 h 时, 复合脱铝液的脱铝效果较好, 并且能使海蜇皮维持较好的品质, 达到最佳脱铝条件。



注: a: 未浸泡; b: 超纯水浸泡; c: pH 为 3.75 的弱酸性电解水浸泡; d: 0.5% 的乳酸钙溶液浸泡; e: 0.5% 的乳酸钙-电解水复合脱铝液浸泡。

图 3 不同脱铝液浸泡后对海蜇皮组织形态的影响($\times 100$)

Fig.3 Effects of different dealuminizing solutions on tissue morphology of jellyfish skin ($\times 100$)

参考文献

- [1] 刘洋, 赵玲, 刘淇, 等. 盐渍海蜇加工过程中铝的变化规律研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(5): 2042-2045.
LIU Y, ZHAO L, LIU Q, *et al.* Aluminum change regularity in the salted jellyfish processing [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(5): 2042-2045.
- [2] DING JF, LI YY, XU JJ, *et al.* Study on effect of jellyfish collagen hydrolysate on anti-fatigue and anti-oxidation [J]. Food Hydrocoll, 2011, 25(5): 42-48.
- [3] 冯慧敏. 基于稳定同位素技术和脂肪酸组成对海蜇的营养和食性探究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
FENG HM. Study on nutrition and diet of *Rhopilema esculentum* based on stable isotope technology and fatty acid composition [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [4] 马良骁. 辽宁东港地区海蜇圈近阶段养殖问题分析[J]. 当代水产, 2021, 439(7): 70-71.
MA LX. Analysis of jellyfish breeding in Donggang area of Liaoning province [J]. Curr Fish, 2021, 439(7): 70-71.
- [5] OMORI M, NAKANO E. Jellyfish fisheries in southeast Asia [J]. Hydrobiologia, 2001, 451(1-3): 19-25.
- [6] 张琳娜. 海蜇处理新工艺的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
ZHANG LN. The study of new processing method on jellyfish [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [7] SCHAFER U, SEIFERT M. Oral intake of aluminum from foodstuff, food additives, food packaging, cookware and pharmaceutical preparations with respect to dietary regulations [J]. Trace Elem Electroly, 2006, 23(3): 150-161.
- [8] 陈建文, 李学渊, 秦鹏, 等. 海蜇生产加工中脱铝技术的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(4): 1681-1685.
CHEN JW, LI XY, QIN P, *et al.* Removal technology of aluminum in production processes of jellyfish [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(4): 1681-1685.
- [9] 赵玉庭, 李佳蕙, 靳洋, 等. 盐渍海蜇脱铝研究及安全食用建议[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(10): 4003-4010.
ZHAO YT, LI JH, JIN Y, *et al.* Research of salted jellyfish products dealumination and safety guidelines [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(10): 4003-4010.
- [10] 沈旭东, 林冬玲. 一种盐渍海蜇皮中残留铝的脱除方法: 中国, CN103829289A[P]. 2013-12-18.
SHEN XD, LIN DL. A method for removing residual aluminum from salted jellyfish skin: China, CN103829289A [P]. 2013-12-18.
- [11] 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 CH, HUANG ZB, *et al.* Recent progress in the preservation mechanism of acidic electrolyzed water and its application in the preservation of aquatic products [J]. Food Sci, 2021, 42(5): 288-295.
- [12] 敖菲菲, 方祥, 梁钻好, 等. 酸性电解水对罗非鱼片的杀菌工艺研究[J]. 食品科技, 2021, 46(3): 105-111.
AO FF, FANG X, LIANG ZH, *et al.* Study on the sterilization process of tilapia fillets with acidic electrolyzed water [J]. Food Sci Technol, 2021, 46(3): 105-111.
- [13] 戚铭, 罗自生, 王蕾, 等. 微酸性电解水在食品保鲜消毒领域的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(12): 3795-3802.
QI M, LUO ZS, WANG L, *et al.* Application of slightly acidic electrolyzed water in food preservation and disinfection [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(12): 3795-3802.
- [14] 张雨, 贡建民, 毕阳, 等. 乳酸钙处理结合纳米包装提升金针菇贮藏品质[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 201-208.
ZHANG Y, YUN JM, BI Y, *et al.* Effects of calcium lactate treatment combined with nano-packaging on storage quality of *Flammulina velutipes* [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(9): 201-208.
- [15] 郭睿, 郑明静, 林瑜, 等. 盐渍海蜇脱铝工艺的优化及其对海蜇品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 273-276.
GUO R, ZHENG MJ, LIN Y, *et al.* Optimization of extraction technology of reducing the concentration of aluminum in salted jellyfish and effects on its quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(5): 273-276.
- [16] 黄卉, 魏涯, 郝淑贤, 等. 即食海蜇 pH 对其贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 319-321.
HUANG H, WEI Y, HAO SX, *et al.* Effect of pH on storage quality of desalted jellyfish [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(5): 319-321.

- [17] 孟飞, 张朝辉, 赵雪, 等. 加热条件下沙蜚组织构造和流变学特性的变化[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1605-1609.
MENG F, ZHANG CH, ZHAO X, *et al.* Changes of microstructure and rheological properties of sand insects under heating conditions [J]. *J fish China*, 2010, 34(10): 1605-1609.
- [18] 王逸聪, 李鑫宇, 郑雨潇, 等. 胶原纤维 Masson 染色中亮绿 SF 和灿烂绿的应用比较[J]. 诊断病理学杂志, 2020, 27(7): 519-520.
WANGYC, LIXY, ZHENG YX, *et al.* Comparison of the application of bright green SF and brilliant green in Masson staining of collagen fiber [J]. *Chin J Diag Pathol*, 2020, 27(7): 519-520.
- [19] 赵玲, 刘淇, 曹荣, 等. 盐渍海蜇中铝的去除与质构变化[J]. 湖南农业科学, 2016, 44(10): 77-79.
ZHAO L, LIU Q, CAO R, *et al.* Removal of aluminum and texture change in salted jellyfish [J]. *Hunan Agric Sci*, 2016, 44(10): 77-79.
- [20] 高立娟. 海蜇最佳复水条件的探讨[J]. 水产养殖, 2015, 36(6): 29-31.
GAO LJ. Study on optimum rehydration condition of jellyfish [J]. *J Aquacult*, 2015, 36(6): 29-31.
- [21] ZHU JQ, R BALIEU, WANG HP. The use of solubility parameters and free energy theory for phase behaviour of polymer-modified bitumen: A review [J]. *Road Mater Pavement*, 2021, 22(4) : 757-778.
- [22] 郭恩慧, 许子桐, 梁贻泽, 等. 一种新型光交联鱼胶原蛋白肽-透明质酸水凝胶的性能表征[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(28): 4518-4525.
GUO ENH, XU ZT, LIANG YZ, *et al.* Properties of a novel photo cross linked fish collagen peptide-hyaluronic acid hydrogel [J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2020, 24(28): 4518-4525.

(责任编辑: 郑丽于梦娇)

作者简介



田明洁, 主要研究方向为水产品贮藏与加工。

E-mail: tianmj13@163.com



李颖畅, 博士, 教授, 主要研究方向为水产品贮藏与加工。

E-mail: liyingchangsy@sina.com