

# 电渗析脱盐对鱼露氨基酸和挥发性风味物质组成的影响

孙金玲<sup>1</sup>, 甘忠宏<sup>1</sup>, 陈瑜珠<sup>2</sup>, 高向阳<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 汕头鱼露厂有限公司, 广东汕头 515021)

**摘要:** 本文采用电渗析(ED)技术对传统鱼露发酵液进行脱盐处理, 结果表明, 在电压为9V, 流速4cm/s的条件下, 目标盐含量为22%、20%、15%、10%、5%和2%(m/m)的鱼露的氨基态氮、氨基酸以及挥发性风味物质含量随脱盐程度的升高而呈非线性降低趋势。当盐含量降低为20%时, 氨基态氮损失率为8%, 损失率相对较低; 游离氨基酸中几种苦味氨基酸如酪氨酸、精氨酸、组氨酸和赖氨酸损失的比例较大, 鱼露中所有氨基酸的质量随着脱盐程度增加而降低, 尤其是苦味氨基酸如酪氨酸、精氨酸、组氨酸和赖氨酸的损失率较大, 当电渗析脱盐至盐含量为2%时, 其质量损失率分别为51.60%、49.41%、42.41%和31.12%; 挥发性风味物质种类不变, 除2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和苯甲醛相对百分含量增加外, 酸类、酮类、含氮类和含硫类化合物的相对百分含量随着脱盐程度的增加而有所降低, 但未低于其呈味阈值; 感官评定结果显示当盐含量降低为20%时, 电渗析脱盐对鱼露整体风味影响不大, 同时利于鱼露的防腐保存, 可为低盐鱼露的生产提供参考。

**关键词:** 鱼露; 电渗析; 脱盐; 风味物质; 氨基酸

文章编号: 1673-9078(2017)10-133-141

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.10.020

## Effect of Electrodialysis Desalination on the Amino Acid Compositions and Volatile Flavor Compounds of Fish Sauce

SUN Jin-ling<sup>1</sup>, GAN Zhong-hong<sup>1</sup>, CHEN Yu-zhu<sup>2</sup>, GAO Xiang-yang<sup>1</sup>

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(2. Shantou Fish Sauce CO. LTD, Shantou 515021, China)

**Abstract:** Electrodialysis (ED) was utilized to desalinate the fermentation broth of traditional fish sauce. The results showed that the content of amino nitrogen, amino acids and volatile aroma compounds in the fish sauce at the target salt content of 22%, 20%, 15%, 10%, 5% and 2% (m/m), decreased nonlinearly with the increasing desalination degree when the voltage was 9 V and flow rate was 4 cm/s in electrodialysis. When the content of salt reduced to 20%, the loss rate of ammonia nitrogen was 8%, which was relatively low. While the loss rate of several bitter amino acids in free amino acids, such as tyrosine, arginine, histidine and lysine were high and the quality of all amino acids in fish sauce decreased when the degree of desalination increased, especially bitter amino acids such as amino acid, arginine, histidine and lysine. When the content of salt reduced to 2%, the loss rate was 51.60%, 49.41%, 42.41% and 31.12%, respectively, and the composition of flavor compounds was the same. The relative percentages of acids, ketones, nitrogen compounds and sulfur-containing compounds decreased while the content of 2-methyl butyraldehyde, 3-methyl butyraldehyde and benzaldehyde increased, with the increase of desalination, but were not below the taste threshold. The results of sensory evaluation showed that when the content of salt reduced to 20%, the electrodialysis desalination had little effect on the whole flavor of fish sauce, and it was beneficial to the preservation of fish sauce, which could provide guideline for the production of low-salt fish sauce.

**Key words:** fish sauce; electrodialysis; desalination; flavor compounds; amino acids

鱼露是我国和东南亚沿海国家的一种传统的有独特风味的调味品<sup>[1]</sup>。传统鱼露发酵工艺通常添加大量

收稿日期: 2017-04-07

基金项目: 广东省公益研究与能力建设项目(2016B020204004)

作者简介: 孙金玲(1991-), 女, 硕士研究生在读, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 高向阳(1966-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品生物化学

的食盐(25%~30%), 发酵过程中盐度越高, 海鱼盐渍时间越长, 鱼露风味越浓<sup>[2]</sup>。随着人们对食品安全、营养和健康意识的增强, 低盐食品已成为健康食品发展的主流方向。对传统鱼露发酵液进行脱盐处理, 得到盐度低且风味好的低盐鱼露, 才能满足消费者的需求。

电渗析是以电势差为推动力,利用离子交换膜的选择透过性,从水溶液中分离离子物质的一种分离技术。电渗析与反渗透、色谱、纳滤和超滤等膜分离技术的不同在于分离原理是基于电荷而不是粒径。早期电渗析主要被用于海水和苦咸水的淡化,工业废水的处理以及回收废水中有用的物质。电渗析适用于食品工业,因为其易于控制,具有高分离效率且可用于高盐含量的物料<sup>[3]</sup>。目前,已经有一些在食品工业中使用电渗析的研究,董华伟<sup>[4]</sup>等人应用电渗析技术对咸鸭蛋蛋清脱盐,对脱盐后的鸭蛋清理化性质影响不大。刘贤杰<sup>[5]</sup>和张建友<sup>[6]</sup>证明了电渗析对酱油脱盐的可行性。在发酵过程中采用低盐发酵,一定程度可降低产品盐度,但鱼露的风味与传统发酵鱼露差异较大,甚至会带来异味<sup>[7]</sup>。Chindapan 应用电渗析技术对发酵后泰国鱼露进行脱盐处理,研究了电渗析处理鱼露的理化指标的变化<sup>[8]</sup>以及风味和氨基酸的组成<sup>[9]</sup>,但未深入分析对鱼露风味的影响因素。目前国内尚未见电渗析技术应用于低盐鱼露的生产上。本文以中国传统发酵产品潮汕鱼露为材料,研究电渗析技术对鱼露脱盐过程中风味品质变化的影响,了解不同的盐度下鱼露的风味物质含量,探究电渗析技术对中国传统鱼露脱盐的可行性,为电渗析技术应用于低盐鱼露的生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

#### 1.1.1 原材料

以鲮鱼为原料,按传统工艺发酵 1.5 年鱼露发酵样品,由广东省汕头鱼露厂有限公司提供。

#### 1.1.2 试剂

硫酸钠、硫酸、盐酸,广州市东红化工厂;氯化钠,天津市福晨化学试剂厂;氢氧化钠天津市大茂化学试剂厂;甲醛,天津科盟化工工贸有限公司;硝酸银,上海申博化工有限公司;铬酸钾,天津砚桥化工有限公司。

### 1.2 仪器与设备

电渗析仪(HSLE-ED-1),华盛流体分离科技(厦门)有限公司;电导率仪,上海仪电科学仪器股份有限公司; pH 计(PHS-3C 型),上海仪电科学仪器股份有限公司;磁力加热搅拌器(C-MAG-HS7),德国 IKA 公司;固相微萃取专用采样瓶(25 mL),美国 Supelco 公司;手动固相微萃取装置、固相微萃取针(75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS),美国 Supelco 公司; 7890A-5975 气相色谱

谱-质谱联用分析仪(GC-MS),美国 Agilent 公司; HP-INNOWax TM 聚乙二醇毛细管柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ),美国 Agilent 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 电渗析设备及操作流程

该电渗析系统由膜堆、电极、电源和溶液泵组成。离子交换膜为均相膜,阴、阳膜交替共 15 对,单张膜的有效面积为 10 cm $\times$ 20 cm。电渗析仪的隔板、离子交换膜、电极框和上下压紧板为板状结构,电源为稳压稳流线性直流电源。

电渗析器分浓水室、淡水室和极水室,各自独立循环,电渗析系统以间歇-再循环模式操作。淡化室中加入 1 L 初始盐含量为 25% ( $m/m$ ) 的鱼露,浓缩室中加入 1% ( $m/m$ ) 氯化钠的去离子水,初始体积为 2 L,极水室中加入用  $\text{H}_2\text{SO}_4$  酸化至 pH 2.5 的 0.25 mol/L 硫酸钠,初始体积为 2 L。在 9 V 的恒定电压下处理,料液流速 4 cm/s。目标盐含量 22%、20%、15%、10%、5% 和 2% ( $m/m$ )。在电渗析脱盐过程中,控制料液温度不超过 40  $^\circ\text{C}$ 。电渗析处理所得样品立即存放在 -20  $^\circ\text{C}$  冰箱中。实验重复 3 次。

#### 1.3.2 理化指标测定

##### 1.3.2.1 无机盐的测定

电导率仪监测盐含量变化,以铬酸钾做指示剂,用硝酸银标准溶液进行滴定测定<sup>[10]</sup>。

##### 1.3.2.2 pH 值的测定

采用 pH 计进行测定,平行 3 次。

##### 1.3.2.3 氨基酸态氮(AAN)的测定

参照 GB/T 5009.39-2003 酱油卫生标准分析方法的甲醛法测定,单位为 g/100 mL。

##### 1.3.2.4 氨基酸含量的测定

参考 GB/T 5009.124-2003 的方法,准确量取 5 mL 鱼露,用去离子水定容 50 mL,4  $^\circ\text{C}$  静止保存 30 min 后,取 1 mL 加入 1 mL 50 g/L 磺基水杨酸静置 1 h,再加入 0.5 mL pH 2.2 的缓冲液和 0.5 mL 50 mg/mL EDTA,置于 2 mL 离心管中,12000 r/min 低温离心 15 min 后,用 0.22  $\mu\text{m}$  的水膜过滤得待测液。采用日立 L-8800 型氨基酸自动分析仪检测。色谱条件:色谱柱:日立 855-350 型;柱温:57  $^\circ\text{C}$ ;检测波长:570 nm 和 440 nm;流速:0.35 mL/min。

#### 1.3.3 挥发性风味物质的提取与分析

取 5 mL 鱼露样品,连同 2 cm 长的磁力搅拌子放入 25 mL 顶空瓶,加入 1.5 g 的 NaCl,然后内衬聚四氟乙烯密封垫螺旋盖盖紧;室温搅拌 20 min 溶解盐,45  $^\circ\text{C}$  下平衡 30 min;用 SPME 针管穿过样品瓶垫,已

活化好的 SPME 纤维头 (270 °C 活化 30 min) 暴露于样品上部空间 (顶空方式), 45 °C 顶空萃取挥发性化合物 30 min, 缩回纤维头, 抽出针头; 待气相色谱仪处于准备状态, 将 SPME 针管迅速穿过进样口硅胶隔垫, 伸出纤维头, 于 260 °C 解析 5 min 进样。

GC 条件: 色谱柱为 HP-INNOWax TM 聚乙二醇毛细管柱, 程序升温, 进样口温度为 260 °C, 柱初始温度 35 °C 保持 5 min, 以 6 °C/min 的速率上升到 225 °C 保持 10 min; 载气为高纯氦气, 流速为 1 mL/min; 分流比为 10:1。

MS 条件: 离子源为 EI 源, 温度为 230 °C, 电子能量 70 eV, MS 四级杆温度为 150 °C; 扫描范围: 50~550  $m/z$ , 质谱检索库为 NIST08.L。

化合物鉴定及定量定性分析: 对挥发性成分进行 GC-MS 分析, GC-MS 数据由计算机检索并与图谱库 (NIST08.L) 的标准质谱图对照分析, 再结合相关文献进行人工谱图解析, 确认物质化学结构和名称。化合物相对含量采用峰面积归一化法分析。

### 1.3.4 感官分析

参考 GB/T 16291.1-2012, 选择九名小组成员 (五名女性, 四名男性), 皆为富有感官评定经验的专业人士的感官评定员。先多次进行风味描述的一致认定和培训, 然后对每个样品的气味特征进行评定。评定过程在食品感官实验室内进行, 评定时间通常为上午 9 点或下午 2 点, 室温为 25 °C 左右。

进行差别类试验鉴别对照样品 (未处理的鱼露) 和电渗析处理的鱼露的风味 (气味和滋味) 的差异程度。电渗析处理的鱼露 (6 个样品) 和对照样品用 2 位数随机顺序编码。所有标记的样品随机呈递给感官评定小组成员, 在每个样品与样品鉴别之间, 小组成员使用饮用水进行漱口。通过感官评定小组成员尝试, 采用评分法, 使用 0~10 分来比较对照 C 与每个标记的样品的气味差异, 其中“0”表示没有不同, 而“10”表示极不相同。平均值的比较通过显著性检验方法邓肯 (Duncan) 多重检验, 取 95% 置信度<sup>[11]</sup>。

进行排序测试鉴别鱼露中咸味强度的差异。通过感官评定小组成员尝试, 采用评分法, 使用 1~7 分并按照咸度的升序对标记的样品进行排序, 其中“1”表示非常弱, 而“7”表示非常强。使用 Basker 检验分析排序数据, 取 95% 置信度<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 SPSS 12.0 进行数据处理, 结果采取均值±标准差形式。采用差异性分析 (ANOVA) 检查结果的平均

值间的差异显著性, 取 95% 置信度 ( $p < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 电渗析脱盐过程中理化指标的变化

#### 2.1.1 电渗析过程中鱼露盐含量变化

电渗析过程中淡化室与浓缩室的盐含量变化如图 1 所示, 淡化室中鱼露的盐含量连续下降, 浓缩室中溶液盐含量逐渐增加。淡化室中鱼露初始具有高盐含量 (25%), 在浓度梯度效应和电压的驱动力的双重作用下, 淡化室中鱼露的盐含量在最初 120 min 内快速降低; 120 min~360 min 淡化室溶液的盐含量下降速率变慢, 可能是淡化室中电子载流子的耗尽和膜污染导致电阻增加, 造成通过膜的离子传输速率的降低<sup>[12,13]</sup>; 360 min 到脱盐过程结束, 淡化室中鱼露的盐含量达到平衡值, 同时, 浓缩室的盐含量呈现略微下降, 可能是离子从淡化室透过离子交换膜时携带水造成浓缩室中的水增加的结果。

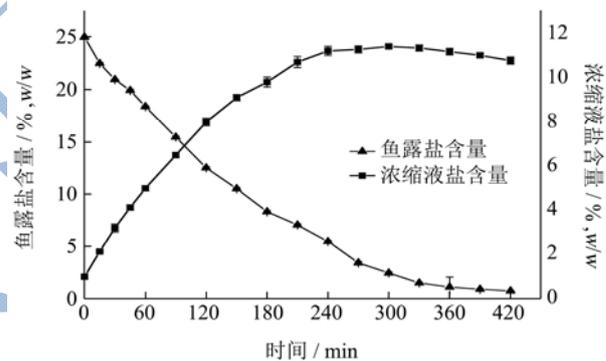


图 1 电渗析过程鱼露和浓缩液的盐含量

Fig.1 Concentration of salt in fish sauce and concentrate solution during ED

#### 2.1.2 电渗析过程中鱼露氨基态氮的变化

应用电渗析技术处理初始盐含量约为 25% (m/m) 鱼露, 依次脱盐, 目标盐含量为 22%、20%、15%、10%、5% 和 2% (m/m) 的鱼露所需的处理时间、体积的变化及氨基态氮的变化如表 1 所示。

随着脱盐程度的增加, 氨基酸态氮含量呈降低趋势, 同时氨基态氮的损失率逐渐增大。当盐含量从 25% 降到 20% 时, 氨基态氮损失率为 0~8%, 相对较低; 当盐含量降至 20% 以下时, 氨基态氮损失率较大, 尤其是降至 2% 时, 其损失率达到 29.85%。

由于浓缩梯度效应造成的水从浓缩室扩散到淡化室, 当盐含量降至 20% (m/m) 时, 体积略微增加; 当盐含量 15% 降至 2% (m/m) 时, 电运输的可用离子较少时, 水的电运输更显著, 渗析处理的鱼露体积显著下降<sup>[6]</sup>。

表 1 鱼露电渗析过程中氨基态氮的变化

Table 1 Changes of AAN of fish sauces during ED

目标盐含量 /(%, m/m)	实际盐含量 /(%, m/m)	电渗析时间 /min	体积 /mL	氨基态氮 /( $\times 10^{-2}$ g/mL)	氨基态氮损失率 /%
25(control)	25.15 $\pm$ 0.15	0	1000	0.933	0
22	21.89 $\pm$ 0.01	17	1015	0.892	3.00
20	19.64 $\pm$ 0.06	44	1035	0.829	8.00
15	15.25 $\pm$ 0.01	103	1030	0.805	11.11
10	10.30 $\pm$ 0.02	150	959	0.798	17.95
5	5.45 $\pm$ 0.02	224	894	0.855	18.05
2	2.68 $\pm$ 0.01	310	613	1.067	29.85

在电渗析过程中，既要尽量脱盐，同时又要降低鱼露的体积损失和氨基氮的损失<sup>[7]</sup>。当盐含量降至20%(m/m)时，氨基态氮的损失率为8%，相对较低，同时体积变化不显著，此脱盐点可作为低盐鱼露的生产参考。

### 2.1.3 电渗析过程中鱼露游离氨基酸组成的变化

游离氨基酸是鱼露中重要的呈滋味物质，包括呈鲜味、甜味和苦味的氨基酸等。天冬氨酸和谷氨酸呈鲜味；精氨酸，赖氨酸、组氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、缬氨酸和酪氨酸呈苦味；脯氨酸、苏氨酸、丙氨酸、甘氨酸和丝氨酸呈甜味<sup>[14]</sup>。

电渗析过程中不同盐含量脱盐鱼露中游离氨基酸组成的变化如表2所示，天冬氨酸，谷氨酸和赖氨酸

在未脱盐的鱼露中含量较高，为鱼露的主要氨基酸，其中谷氨酸最主要的鲜味氨基酸，占总游离氨基酸的18.45%。经电渗析技术脱盐后，鱼露中所有氨基酸的质量随着脱盐程度增加而降低，尤其是苦味氨基酸如酪氨酸、精氨酸、组氨酸和赖氨酸的损失率较大，当电渗析脱盐至盐含量为2%时，其质量损失率分别为51.60%、49.41%、42.41%和31.12%；谷氨酸因初始含量高，单位时间内跨膜迁移的离子量也相对较多，损失率也比较大，为22.39%。测得电渗析期间鱼露的pH保持在5.34~5.63的范围内，几乎所有的氨基酸都带正电荷，可能是由于它们通过离子交换膜的转移或由于氨基酸和带电的离子交换膜之间的静电相互作用造成它们在膜表面上的吸附<sup>[6,15]</sup>引起氨基酸的损失。

表 2 不同盐含量脱盐鱼露中游离氨基酸浓度和质量的组成

Table 2 Composition of concentration ( $\times 10^{-2}$ g/mL) and total mass (mg) of free amino acid in untreated and ED-treated fish sauces by various salt concentrations (% m/m) and

氨基酸种类	对照组鱼露 (25% m/m)	盐含量 (22% m/m)	盐含量 (20% m/m)	盐含量 (15% m/m)	盐含量 (10% m/m)	盐含量 (5% m/m)	盐含量 (2% m/m)
TAU	215.82	207.06	199.84	192.14	191.21	201.64	259.21
	2158.20	2101.62	2068.30	1979.02	1833.72	1802.71	1588.95
Asp	699.87	671.45	661.34	650.00	642.03	712.71	911.76
	6998.70	6815.23	6794.87	6695.00	6157.07	6121.63	5589.09
Glu	1371.99	1316.28	1291.71	1226.03	1240.63	1364.69	1736.88
	13719.90	13360.23	13319.20	13028.11	12297.64	12200.33	10647.07
Thr	468.76	449.73	440.08	413.14	405.19	429.03	548.21
	4687.60	4564.72	4554.83	4255.34	3885.77	3835.53	3360.50
Ser	373.79	358.61	345.46	339.81	328.48	340.81	430.42
	3737.90	3639.91	3625.51	3500.04	3150.12	3046.84	2638.47
Gly	404.92	388.48	363.08	340.65	334.22	366.36	494.91
	4049.20	3943.05	3857.88	3508.70	3205.17	3175.26	3033.80
Ala	531.45	509.87	499.82	480.84	474.51	499.83	620.03
	5314.50	5175.18	5073.14	4952.65	4550.55	4268.48	3800.78

转下页

接上页							
Pro	156.34	149.99	141.09	137.28	133.46	152.53	194.48
	1563.40	1522.42	1510.28	1413.98	1279.88	1243.62	1192.16
Val	532.52	510.90	493.93	470.78	493.93	524.80	671.44
	5325.20	5185.60	5112.18	4849.03	4736.79	4691.71	4115.93
Met	295.58	283.58	286.62	277.66	259.75	268.73	340.36
	2955.80	2878.31	2866.52	2659.90	2491.00	2402.45	2086.41
Ile	368.71	353.74	335.07	326.69	318.32	360.30	460.72
	3687.10	3590.44	3467.97	3364.91	3052.69	3021.08	2824.21
Leu	550.48	528.13	502.19	482.88	473.22	531.17	685.69
	5504.80	5360.49	5347.67	4973.66	4538.18	4448.66	4203.28
Tyr	66.31	63.62	56.85	47.38	57.97	66.33	76.83
	663.10	645.72	588.40	488.01	355.93	342.99	320.97
Phe	281.67	270.23	233.58	226.71	240.45	261.06	329.76
	2816.70	2742.86	2417.55	2335.11	2305.92	2283.88	2021.43
Lys	806.22	773.48	765.62	761.01	730.87	738.41	843.90
	8062.20	7850.85	7824.17	7638.40	7009.04	6951.39	5553.11
His	182.17	174.77	160.09	154.57	149.09	156.67	171.13
	1821.70	1773.94	1706.93	1592.07	1429.77	1400.63	1049.03
Arg	88.38	84.79	75.75	63.13	76.78	89.86	105.56
	883.80	860.63	784.01	650.24	586.32	553.35	447.08
Trp	36.79	35.30	34.39	33.59	35.99	39.19	51.18
	367.90	358.26	355.94	345.98	335.14	300.36	283.73
Cys	218.95	210.06	197.59	186.91	192.25	202.93	256.34
	2189.50	2132.10	2045.06	1925.17	1883.68	1814.19	1571.36
TAA	7434.90	7133.00	6884.26	6619.06	6587.14	7105.41	8929.60
	74349.00	72399.95	71252.09	68176.32	63170.67	62102.37	54738.45
鲜味	2071.86	1987.73	1953.05	1876.03	1882.66	2077.4	2648.64
氨基酸	20718.6	20175.46	20114.07	19723.11	18454.71	18321.9	16236.16
百分含量/%	27.87	27.96	28.23	28.93	29.21	29.50	29.66
甜味	1935.26	1856.68	1789.53	1711.72	1675.86	1788.56	2288.045
氨基酸	19352.6	18845.27	18621.64	17630.72	16071.49	15569.73	14025.72
百分含量/%	26.03	26.12	26.13	25.86	25.44	25.07	25.62
苦味	3208.83	3078.53	2944.09	2844.40	2836.37	3036.52	3736.57
氨基酸	32088.3	31247.10	30471.33	28897.32	26840.79	26396.49	22905.17
百分含量/%	43.16	42.96	42.90	42.39	42.49	42.50	41.84

注：同一组的两个数据，上面一个是指浓度( $\times 10^{-2}$ g/mL)，下面一个是指质量(mg)。

## 2.2 电渗析过程中挥发性风味物质的变化

利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪对电渗析前后的鱼露挥发性物质进行分析，共检测到 33 种主要风味物质，包括 4 种醇、5 种醛、4 种酮、8 种酸、2 种酯、3 种含氮类化合物、3 种含硫类化合物、2 种芳香化合物和 2 种其他类化合物。江津津<sup>[16]</sup>曾指出中国鲢制鱼露中的对挥发性风味有重要贡献的化合

物为二甲基二硫、二甲基三硫、丙酸、丁酸、3-甲基丙醛、2-甲基丁醛和一些含氮化合物；Katsuya Fukami<sup>[17]</sup>等以泰国鱼露为样本进行了检测分析，认为 2-甲基丙醛、2-甲基丁醛、2-乙基吡啶和二甲基三硫这 4 种化合物对鱼露特征风味的形成起到了重要的作用。其中 2-乙基吡啶和二甲基三硫是有助于鱼香味的形成，2-甲基丙醛、2-甲基丁醛、2-乙基吡啶和二甲基三硫是有助于酸臭味的形成。另外，2-乙基吡啶和二

甲基三硫对鱼露特殊臭味的形成是必需的,而腐臭味的形成则需 4 种成分的共同配合。2-乙基吡啶、2-戊酮以及挥发性酸是形成干酪风味的必需成分。2-乙基吡啶与二甲基三硫、2-甲基丁醛构成了肉类的风味。2-乙基吡啶和二甲基三硫,以及 2-甲基丙醛和 2-甲基丁醛是形成焦香味的主要成分。

在电渗析脱盐过程中,不同种类的物质相对百分含量有不同的变化趋势,结果如表 3,其中 2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、苯甲醛、丁酸、 $\gamma$ -己内酯、2,6-二甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、二甲基硫、二甲基二硫和二甲基三硫为鱼露的主要风味活性成分。2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和苯甲醛这三种风味活性物质的相对百分含量呈升高趋势。苯甲醛的增加可能是不饱和脂肪酸氧化的结果,该结果类似于当用脉冲电场处理牛奶时报道的其它醛的增加<sup>[18]</sup>;环己酮、1-甲基-2-吡咯烷酮和苯乙腈是在电渗析处理后新检测到的物质成分,但对鱼露的风味影响不大;鱼露整体气味不仅取决于风味活性物质的浓度,还与气味阈值有关<sup>[19]</sup>,醇类物质、酮类物质、酸类物质、酯类、含氮类和含硫类物质的相对百分含量在脱盐过程中呈降低趋

势,但未低于其呈味阈值,且物质种类不变,因此其风味会随着脱盐率的升高而变得稀薄,但不影响其独特的鱼露风味;在盐含量从 25%降低至 20%阶段,具有奶酪味的丁酸的相对百分含量从 33.67%减少至 31.25%,具有肉味的  $\gamma$ -己内酯的相对百分含量从 0.25%减少至 0.19%,具有炙烤味的 2,6-二甲基吡嗪的相对百分含量从 0.48%减少至 0.30%,2,3,5-三甲基吡嗪的相对百分含量从 0.44%减少至 0.29%,具有鱼香味的二甲基硫的相对百分含量从 0.17%减少至 0.14%、二甲基二硫的相对百分含量从 2.4%减少至 1.53%、二甲基三硫的相对百分含量从 0.89%减少至 0.76%,之后随着时间的延长,脱盐率的继续增加,风味物质的相对百分含量减少的速率加快。电渗析过程中风味物质的损失可能是离子的电迁移和扩散过程中部分风味物质损失,同时离子交换膜也会吸附一些气味物质,疏水性芳香化合物电渗析过程中可能会出现盐析沉积造成损失<sup>[2]</sup>;电渗析后期,随着淡化室里离子浓度的减少,膜表面离子浓度的急剧下降,可能会导致部分挥发性物质被电解造成损失<sup>[15]</sup>。

表 3 不同盐含量的脱盐鱼露中香气成分的相对百分含量

Table 3 Relative percentage of aroma substances in untreated and ED-treated fish sauces by various salt concentrations

RT/min	化合物名称	分子式	挥发性成分的相对百分含量/%			
			25% (对照)	22%	20%	15%
醇类						
11.057	3-甲基-1-丁醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	0.33±0.02 <sup>a</sup>	0.31±0.01 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>b</sup>	0.17±0.02 <sup>c</sup>
21.379	3-吡喃甲醇	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.48±0.02 <sup>a</sup>	0.45±0.01 <sup>a</sup>	0.4±0.01 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>c</sup>
22.415	3-甲硫基丙醇	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> OS	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.8±0.02 <sup>a</sup>	0.75±0.03 <sup>b</sup>	0.51±0.03 <sup>c</sup>
25.895	苯乙醇	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.37±0.03 <sup>a</sup>	0.26±0.01 <sup>b</sup>	0.24±0.01 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>c</sup>
醛类						
2.993	2-甲基丁醛	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	0.6±0.02 <sup>a</sup>	1.13±0.02 <sup>b</sup>	1.21±0.01 <sup>c</sup>	1.39±0.03 <sup>d</sup>
3.06	3-甲基丁醛	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0.82±0.02 <sup>a</sup>	1.99±0.01 <sup>b</sup>	2.2±0.02 <sup>c</sup>	2.39±0.01 <sup>d</sup>
7.572	(E)-2-甲基-2-丁烯醛	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	0.48±0.01 <sup>a</sup>	0.7±0.02 <sup>b</sup>	0.75±0.03 <sup>c</sup>	0.83±0.02 <sup>d</sup>
15.66	壬醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.42±0.01 <sup>a</sup>	0.41±0.01 <sup>a</sup>	0.38±0.01 <sup>b</sup>	0.36±0.01 <sup>c</sup>
18.554	苯甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	3.55±0.02 <sup>a</sup>	5.45±0.02 <sup>b</sup>	6.82±0.02 <sup>c</sup>	8.36±0.02 <sup>d</sup>
酮类						
2.857	2-丁酮	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	2.75±0.01 <sup>a</sup>	2.62±0.01 <sup>b</sup>	2.57±0.01 <sup>c</sup>	2.03±0.01 <sup>d</sup>
10.24	2-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0.52±0.01 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>b</sup>	0.4±0.01 <sup>c</sup>	0.2±0.01 <sup>d</sup>
12.98	环己酮	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	-	8.7±0.02 <sup>a</sup>	9.5±0.02 <sup>b</sup>	10.33±0.01 <sup>c</sup>
21.146	苯乙酮	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.86±0.01 <sup>a</sup>	0.8±0.01 <sup>b</sup>	0.75±0.01 <sup>c</sup>	0.4±0.01 <sup>d</sup>
酸类						
17.027	乙酸	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	10.24±0.01 <sup>a</sup>	10.04±0.01 <sup>b</sup>	9.85±0.01 <sup>c</sup>	7.17±0.01 <sup>d</sup>
18.88	丙酸	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	3.12±0.01 <sup>a</sup>	2.97±0.01 <sup>b</sup>	2.86±0.01 <sup>c</sup>	2.46±0.01 <sup>d</sup>
19.484	2-甲基丙酸	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.95±0.01 <sup>a</sup>	0.92±0.01 <sup>b</sup>	0.87±0.01 <sup>c</sup>	0.82±0.01 <sup>d</sup>

转下页

接上页						
RT/min	化合物名称	分子式	挥发性成分的相对百分含量/%			
			10%	5%	2%	
20.647	丁酸	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	33.67±0.05 <sup>a</sup>	32.7±0.03 <sup>b</sup>	31.25±0.03 <sup>c</sup>	27.74±0.03 <sup>d</sup>
21.489	2-甲基丁酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	8.67±0.03 <sup>a</sup>	8.01±0.02 <sup>b</sup>	7.83±0.02 <sup>c</sup>	7.36±0.02 <sup>d</sup>
22.778	正戊酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1.37±0.01 <sup>a</sup>	1.34±0.01 <sup>b</sup>	1.29±0.01 <sup>c</sup>	1.24±0.01 <sup>d</sup>
23.967	4-甲基戊酸	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	13.64±0.03 <sup>a</sup>	12.41±0.02 <sup>b</sup>	9.08±0.03 <sup>c</sup>	6.91±0.02 <sup>d</sup>
24.719	3-甲基戊酸	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.39±0.01 <sup>a</sup>	0.34±0.01 <sup>b</sup>	0.2±0.01 <sup>c</sup>	0.19±0.01 <sup>c</sup>
酯类						
2.705	乙酸乙酯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	3.14±0.02 <sup>a</sup>	2.96±0.01 <sup>b</sup>	2.9±0.01 <sup>c</sup>	2.85±0.01 <sup>d</sup>
22.152	己内酯	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.25±0.01 <sup>a</sup>	0.23±0.01 <sup>b</sup>	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.15±0.01 <sup>d</sup>
含氮类						
14.152	2,6-二甲基吡嗪	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	0.48±0.01 <sup>a</sup>	0.42±0.01 <sup>b</sup>	0.3±0.01 <sup>c</sup>	0.17±0.01 <sup>d</sup>
15.484	2-乙基-6-甲基吡嗪	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	0.44±0.01 <sup>a</sup>	0.39±0.01 <sup>b</sup>	0.29±0.01 <sup>c</sup>	0.12±0.01 <sup>d</sup>
15.962	2,3,5-三甲基吡嗪	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	0.29±0.01 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>	0.16±0.01 <sup>c</sup>	0.13±0.01 <sup>d</sup>
含硫类						
1.758	二甲基硫	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	0.17±0.01 <sup>a</sup>	0.16±0.01 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>b</sup>	0.12±0.01 <sup>c</sup>
6.79	二甲基二硫	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	2.41±0.01 <sup>a</sup>	1.64±0.01 <sup>b</sup>	1.53±0.01 <sup>c</sup>	1.08±0.01 <sup>d</sup>
15.179	二甲基三硫	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>3</sub>	0.89±0.01 <sup>a</sup>	0.84±0.01 <sup>b</sup>	0.76±0.01 <sup>c</sup>	0.55±0.01 <sup>d</sup>
芳香类						
26.174	苯乙腈	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	-	0.2±0.01 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>	0.28±0.01 <sup>c</sup>
27.476	苯酚	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	5.31±0.03 <sup>a</sup>	1.33±0.01 <sup>b</sup>	0.87±0.01 <sup>c</sup>	0.69±0.01 <sup>d</sup>
其他类						
3.656	2-乙基呋喃	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	0.71±0.01 <sup>a</sup>	0.68±0.01 <sup>b</sup>	0.55±0.01 <sup>c</sup>	0.47±0.01 <sup>d</sup>
29.612	1-甲基-2-吡咯烷酮	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO	-	0.2±0.01 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>
醇类						
11.057	3-甲基-1-丁醇	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O	0.15±0.01 <sup>c</sup>	0.13±0.01 <sup>c</sup>	0.1±0.01 <sup>d</sup>	
21.379	3-呋喃甲醇	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.17±0.01 <sup>d</sup>	0.15±0.02 <sup>d</sup>	
22.415	3-甲硫基丙醇	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> OS	0.42±0.01 <sup>d</sup>	0.4±0.01 <sup>d</sup>	0.39±0.01 <sup>d</sup>	
25.895	苯乙醇	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0.19±0.01 <sup>c</sup>	0.18±0.01 <sup>c</sup>	0.16±0.01 <sup>c</sup>	
醛类						
2.993	2-甲基丁醛	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	1.91±0.01 <sup>e</sup>	2.07±0.01 <sup>f</sup>	2.37±0.02 <sup>g</sup>	
3.06	3-甲基丁醛	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	3.33±0.03 <sup>e</sup>	3.51±0.02 <sup>f</sup>	3.87±0.02 <sup>g</sup>	
7.572	(E)-2-甲基-2-丁烯醛	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	0.87±0.01 <sup>e</sup>	0.92±0.01 <sup>f</sup>	0.94±0.01 <sup>f</sup>	
15.66	壬醛	C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O	0.17±0.02 <sup>d</sup>	0.16±0.01 <sup>d</sup>	0.14±0.01 <sup>e</sup>	
18.554	苯甲醛	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O	8.95±0.01 <sup>e</sup>	12.22±0.02 <sup>f</sup>	15.58±0.02 <sup>g</sup>	
酮类						
2.857	2-丁酮	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	1.58±0.01 <sup>e</sup>	1.5±0.01 <sup>f</sup>	1.4±0.01 <sup>g</sup>	
10.24	2-庚酮	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub> O	0.17±0.01 <sup>e</sup>	0.15±0.01 <sup>f</sup>	0.1±0.01 <sup>g</sup>	
12.98	环己酮	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	10.39±0.01 <sup>d</sup>	11.5±0.01 <sup>e</sup>	12.2±0.01 <sup>f</sup>	
21.146	苯乙酮	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O	0.34±0.01 <sup>e</sup>	0.33±0.01 <sup>e</sup>	0.33±0.01 <sup>e</sup>	
酸类						
17.027	乙酸	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	5.35±0.01 <sup>e</sup>	6.15±0.01 <sup>f</sup>	3.77±0.01 <sup>g</sup>	
18.88	丙酸	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	2.32±0.01 <sup>e</sup>	2.14±0.01 <sup>f</sup>	2.0±0.01 <sup>g</sup>	

转下页

接上页					
19.484	2-甲基丙酸	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.82±0.01 <sup>d</sup>	0.8±0.01 <sup>e</sup>	0.79±0.01 <sup>e</sup>
20.647	丁酸	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	24.38±0.03 <sup>e</sup>	23.11±0.03 <sup>f</sup>	23.92±0.03 <sup>g</sup>
21.489	2-甲基丁酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	6.55±0.02 <sup>e</sup>	6.12±0.02 <sup>f</sup>	6.01±0.02 <sup>g</sup>
22.778	正戊酸	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.98±0.01 <sup>e</sup>	0.68±0.01 <sup>f</sup>	0.5±0.01 <sup>g</sup>
23.967	4-甲基戊酸	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	6.44±0.02 <sup>e</sup>	6.11±0.02 <sup>f</sup>	5.46±0.01 <sup>g</sup>
24.719	3-甲基戊酸	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0.17±0.01 <sup>d</sup>	0.13±0.01 <sup>e</sup>	0.1±0.01 <sup>f</sup>
酯类					
2.705	乙酸乙酯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1.9±0.01 <sup>e</sup>	0.29±0.01 <sup>f</sup>	0.21±0.01 <sup>g</sup>
22.152	己内酯	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0.13±0.01 <sup>e</sup>	0.11±0.01 <sup>f</sup>	0.1±0.01 <sup>f</sup>
含氮类					
14.152	2,6-二甲基吡嗪	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub>	0.16±0.01 <sup>d</sup>	0.15±0.01 <sup>d</sup>	0.13±0.01 <sup>e</sup>
15.484	2-乙基-6-甲基吡嗪	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	0.1±0.01 <sup>e</sup>	0.08±0.01 <sup>f</sup>	0.06±0.01 <sup>g</sup>
15.962	2,3,5-三甲基吡嗪	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> N <sub>2</sub>	0.1±0.01 <sup>e</sup>	0.09±0.01 <sup>e</sup>	0.08±0.01 <sup>e</sup>
含硫类					
1.758	二甲基硫	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S	0.1±0.01 <sup>d</sup>	0.09±0.01 <sup>d</sup>	0.07±0.01 <sup>e</sup>
6.79	二甲基二硫	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	1.03±0.01 <sup>e</sup>	1.0±0.01 <sup>f</sup>	0.8±0.01 <sup>g</sup>
15.179	二甲基三硫	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>3</sub>	0.47±0.01 <sup>e</sup>	0.4±0.01 <sup>f</sup>	0.35±0.01 <sup>g</sup>
芳香类					
26.174	苯乙腈	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N	0.39±0.01 <sup>d</sup>	0.41±0.01 <sup>e</sup>	0.43±0.01 <sup>f</sup>
27.476	苯酚	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	0.51±0.01 <sup>e</sup>	0.43±0.01 <sup>f</sup>	0.38±0.01 <sup>g</sup>
其他类					
3.656	2-乙基咪喃	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	0.43±0.01 <sup>e</sup>	0.4±0.01 <sup>f</sup>	0.39±0.01 <sup>f</sup>
29.612	1-甲基-2-吡咯烷酮	C <sub>5</sub> H <sub>9</sub> NO	0.28±0.01 <sup>e</sup>	0.3±0.01 <sup>d</sup>	0.34±0.01 <sup>e</sup>

表 4 电渗析脱盐鱼露的感官评定结果

Table 4 Sensory results of ED-treated fish sauce

目标盐含量(% <i>m/m</i> )	实际盐含量(% <i>m/m</i> )	风味差异性评分	盐度评分
25(control)	25.15±0.15	1.43±0.04 <sup>a</sup>	210 <sup>a</sup>
22	21.89±0.01	1.50±0.07 <sup>a</sup>	200 <sup>a</sup>
20	19.64±0.06	1.53±0.04 <sup>a</sup>	189 <sup>a</sup>
15	15.25±0.01	4.67±0.02 <sup>b</sup>	129 <sup>b</sup>
10	10.30±0.02	6.00±0.04 <sup>c</sup>	100 <sup>c</sup>
5	5.45±0.02	7.67±0.03 <sup>d</sup>	60 <sup>d</sup>
2	2.68±0.01	8.00±0.07 <sup>d</sup>	42 <sup>e</sup>

注：同一列内不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。

### 2.3 电渗析脱盐对鱼露感官品质的影响

对电渗析脱盐鱼露进行感官评价,结果如 4 所示,盐含量为 25%的未处理的鱼露和盐含量为 22%和 20%(*m/m*)的电渗析处理的鱼露样品之间的咸味强度没有显著差异,这可能是因为人类受体神经对盐度的最大反应限度对应于约 18%(*m/m*)的盐含量<sup>[9]</sup>;当盐含量降至 15%(*m/m*)时,电渗析处理鱼露的咸味强度显著变化;当盐含量再进一步降低时,咸味强度显著降低。

差异对照试验表明未处理的鱼露和电渗析处理的

鱼露之间的风味差异随着脱盐程度的增加而增加。当盐含量从 25%降低至 20%(*m/m*)时,电渗析处理的鱼露样品与未处理的鱼露风味没有显著差异。当盐含量降至 15%(*m/m*)时,显著改变了电渗析处理鱼露的风味,这可能是电渗析处理的鱼露中含有的挥发性风味物质和氨基酸浓度差异的结果。

### 3 结论

3.1 电渗析技术可以成功用于鱼露脱盐。然而电渗析技术不仅从鱼露中去除盐,而且导致重要的风味物质

和氨基酸含量的损失。氨基酸态氮随着脱盐率的增加,损失率增加,当盐含量降低为20%时,氨基态氮损失率为8%,损失率相对较低之后氨基态氮损失率超过10%,且逐渐增大;鱼露中所有氨基酸的质量随着脱盐程度增加而降低,苦味氨基酸酪氨酸、精氨酸、组氨酸和赖氨酸在溶液中带正电,易受电场作用离开料液室,因而损失较大,当电渗析脱盐至盐含量为2%时,其质量损失率分别为51.60%、49.41%、42.41%和31.12%;谷氨酸因初始含量高,单位时间内跨膜迁移的离子量也相对较多,损失率也比较大,为22.39%。挥发性风味物质除2-甲基丁醛、3-甲基丁醛和苯甲醛相对百分含量增加外,酸类、酮类、含氮类和含硫类化合物的相对百分含量随着脱盐程度的增加而降低,如具有奶酪味的丁酸,具有肉味的 $\gamma$ -己内酯,具有炙烤味的2,6-二甲基吡嗪和2,3,5-三甲基吡嗪等含氮类物质,具有鱼香味的二甲基硫、二甲基二硫和二甲基三硫等含硫类物质,但未低于其呈味阈值,且物质种类不变,因此不影响其独特的鱼露风味。在盐含量从25%降低至20%阶段,具有奶酪味的丁酸的相对百分含量从33.67%减少至31.25%,具有肉味的 $\gamma$ -己内酯的相对百分含量从0.25%减少至0.19%,具有炙烤味的2,6-二甲基吡嗪的相对百分含量从0.48%减少至0.30%,2,3,5-三甲基吡嗪的相对百分含量从0.44%减少至0.29%,具有鱼香味的二甲基硫的相对百分含量从0.17%减少至0.14%、二甲基二硫的相对百分含量从2.4%减少至1.53%、二甲基三硫的相对百分含量从0.89%减少至0.76%,之后随着时间的延长,脱盐率的继续增加,风味物质的相对百分含量减少的速率加快。

3.2 为了尽量的保留传统发酵鱼露原有物质,保障鱼露在不外加防腐剂的情况下能够较长时间的保藏,且鱼露的风味又可以满足消费者的需求,将鱼露脱盐至盐含量20%左右比较适合,氨基态氮损失率为8%,损失率相对较低,同时鱼露的体积变化不显著,可以为低盐鱼露的生产提供参考。

3.3 本文采用电渗析技术成功鱼露脱盐,还需进一步优化试验参数,减低损失和消耗,进一步研究技术的工业放大化生产。在以后的电渗析脱盐研究中,可以通过选择选择性能优良的离子交换膜,调整电渗析参数,减小水的电迁移和氨基氮损失,从而减小鱼露的体积损失和物质成分的损失。电渗析技术不仅可以运用于鱼露、酱油和蚝油等高盐液体调味品的减盐,也可为肉类、海鲜和蔬果中提取的天然物质脱盐提供借鉴。

## 参考文献

- [1] 萧凤岐. 鱼露的春天[J]. 中国酿造, 2004, 23(6): 1-4, 7  
XIAO Feng-qi. Prosperity of fish sauce [J]. China Brewing, 2004, 23(6): 1-4, 7
- [2] 陶忠, 陈书霖, 翁武银. 低盐鱼露在保存中的性质变化[J]. 中国调味品, 2013, 38(1): 24-27, 40  
TAO Zhong, CHEN Shu-lin, WENG Wu-yin. Changes in the properties of low-salt fish sauce during storage [J]. China Condiment, 2013, 38(1): 24-27, 40
- [3] Strathmann H, Ho W S W, Sirkar K K. Electrodialysis. In: Membrane handbook [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992
- [4] 董华伟, 何慧, 陈伯雍, 等. 电渗析脱盐对咸鸭蛋蛋清理化性质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(7): 129-134  
DONG Hua-wei, HE Hui, CHEN Bo-yong, et al. Effect of electrodialysis desalination on physicochemical properties of salted duck egg white [J]. Food Science, 2013, 34(7): 129-134
- [5] 刘贤杰, 陈福明. 电渗析技术在酱油脱盐中的应用[J]. 中国调味品, 2004, 4: 17-21  
LIU Xian-jie, CHEN Fu-ming. Application of electrodialysis technology in desalination of soy sauce [J]. China Condiment, 2004, 4: 17-21
- [6] 张建友, 包玉刚, 林龙, 等. 鳊鱼蒸煮液电渗析脱盐技术[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(4): 125-130  
ZHANG Jian-you, BAO Yu-gang, LIN Long, et al. Study on desalination from *Engraulis japonicus* boiling liquids by electrodialysis [J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(4): 125-130
- [7] 吴帅, 杨锡洪, 解万翠, 等. 鱼露的发酵新技术及风味改良研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(10): 184-188  
WU Shuai, YANG Xi-hong, XIE Wan-cui, et al. Research progress in new fermentation technology and flavor improvement of fish sauce [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(10): 184-188
- [8] Chindapan N, Devahastin S, Chiewchan N, et al. Electrodialysis desalination of fish sauce: electrodialysis performance and product quality [J]. Journal of Food Science, 2009, 74(7): E363
- [9] Chindapan N, Devahastin S, Chiewchan N, et al. Desalination of fish sauce by electrodialysis: effect on selected aroma compounds and amino acid compositions [J]. Journal of Food Science, 2011, 76(7): S451-S457
- [10] 邹燕. 关于酱油中氯化钠的检测[J]. 计量与测试技术, 2010, 37(1): 69-70  
ZOU Yan. Detection of sodium chloride in the soy sauce [J].

- Metrology and Measurement Technology, 2010, 37(1): 69-70
- [11] Meilgaard M C, Civille G V, Carr B T. Sensory evaluation techniques [M]. Boca Raton, Fla: CRC Press, 1999
- [12] S Farrell, R P Hesketh, C S Slater. Exploring the potential of electro dialysis [J]. Chemical Engineering Education, 2003, 37(1): 52-59
- [13] Banasiak L J, Kruttschnitt T W, Schäfer A I. Desalination using electro dialysis as a function of voltage and salt concentration [J]. Desalination, 2007, 205(1-3): 38-46
- [14] 方忠兴. 蓝圆鲹低盐鱼露速酿工艺及理化性质的研究[D]. 厦门:集美大学,2010  
FANG Zhong-xing. Study on the accelerated fermentation technology and physicochemical properties of low salt fish sauce from decapterus maruadsi [D]. Amoy: Jimei University, 2010
- [15] S Cros, B Lignot, P Bourseau, et al. Desalination of mussel cooking juices by electro dialysis: effect on the aroma profile [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(4): 425-436
- [16] 江津津,曾庆孝,朱志伟,等. 潮汕鱼酱油中香气活性化合物的研究[J]. 食品科技,2010,8:294-296  
JIANG Jin-jin, ZENG Qing-xiao, ZHU Zhi-wei, et al. Characterization of odor-active compounds from Chaoshan fish sauce [J]. Food Science and Technology, 2010, 8: 294-296
- [17] Fukami Katsuya, Ishiyama Sachiyo, Yaguramaki Hitoshi, et al. Identification of distinctive volatile compounds in fish sauce [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(19): 5412-5416
- [18] Zhang S, Yang R, Zhao W, et al. Influence of pulsed electric field treatments on the volatile compounds of milk in comparison with pasteurized processing [J]. Journal of Food Science, 1900, 76(1): 127-32
- [19] 肖宏艳. 改善速酿潮汕鱼露风味的研究[D]. 广州:华南理工大学,2010  
XIAO Hong-yan. Study on improving flavor of rapid fermentating Chaoshan fish sauce [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2010