

## 竹笋原液电渗析脱盐工艺的研究

黄 伟,刘东红

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院,浙江杭州,310029)

**摘 要** 电渗析(ED)是一种新型高效的膜分离技术,已经被广泛地应用于水处理、化工、食品和医药等行业,具有高效、清洁及经济的特点。文中探讨了利用离子交换膜电渗析(ED)进行竹笋原液脱盐的可行性及其工艺的正交优化选择,分析结果表明利用 ED 脱盐是可行的且效果显著。

**关键词** 电渗析(ED),膜分离,脱盐,离子交换膜,工艺优化

传统竹笋加工过程伴随着大量废弃物的产生,以毛竹笋为例,可食部分仅 30% 左右,而笋壳约占 30%,笋头 40%,此外,加工竹笋也会产生大量废弃的笋煮水。竹笋原液(笋煮水)中含丰富的甾醇、多糖、氨基酸、维生素、黄酮、皂甙等天然活性成分及盐,这些盐的存在一方面不利于从原液中分级和提纯出氨基酸等成分,影响竹笋原液的营养价值<sup>[1]</sup>;另一方面,若不经处理就直接排放,会造成土壤板结,植物烧伤,污染水源。另外,竹笋提取液中还含有镉、铅( $< 0.5 \text{ mg/kg}$ )、砷( $< 0.3 \text{ mg/L}$ )等重金属离子,直接加工成食品方面的产物,会对人体产生不利的影响<sup>[2]</sup>,通过脱盐能够有效去除重金属离子,从而达到国家规定的标准要求。因此,竹笋原液脱盐研究具有社会和经济效益,能够实现竹笋加工废弃物的深度转化和综合利用,开发高附加值的产品,提高企业经济效益和行业经营水平,实现传统产业的升级换代。

电渗析(ED)作为一种新兴的膜分离技术,在天然水淡化,海水浓缩制盐,废水处理等<sup>[3]</sup>方面起着重要的作用,已成为一种较为成熟的水处理方法。在食品工业中也有成功的应用,如乳品工业中的脱盐<sup>[4]</sup>,澄清西番莲果汁的电去酸化<sup>[5]</sup>,氨基酸溶液的电渗析脱盐<sup>[6]</sup>,还有大豆分离蛋白的沉淀<sup>[7]</sup>等。本文就是在实验的基础上探讨用离子交换膜电渗析法进行竹笋原液脱盐的可行性及工艺优化。

## 1 实验部分

### 1.1 实验设备

一体化小电渗析器(自制), $300 \text{ mm} \times 130 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ ,单张膜的有效面积为  $10 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ ,30 对膜组成的一级一段膜堆,采用钛板涂二氧化钨电极,

离子交换膜采用上海化工厂生产的磺酸型苯乙烯系异相阳离子交换膜和季胺型苯乙烯系异相阴离子交换膜;641C-3 电子交流稳压器(浙江海宁市整流器厂);DDS-11A 型电导率仪(上海雷磁仪器厂);DELTA 320 酸度计(梅特勒—托利多仪器上海有限公司);78HW-1 型恒温磁力搅拌器(杭州仪表电机厂);FA1004 型上皿电子天平(上海天平仪器厂);R201BL 型旋转蒸发仪(上海申生科技有限公司)。

### 1.2 实验方法

浓水、淡水和极水各自独立循环,用转子流量计计量流量,采用批量循环式脱盐的方式<sup>[8,9]</sup>。本研究的电渗析器为三室式即浓室、淡室(脱盐室)和极室,将通过浓室、淡室和极室的水流分别称为浓水、淡水和极水。

#### 1.2.1 工艺流程

工艺参数的单因素摸索→工艺参数的正交优化实验→方案优化选择→以最佳工艺参数生产竹笋原液的脱盐样品→送检→结果分析

#### 1.2.2 操作要点

在本实验研究的操作中要注意几个方面的问题:(1)取样要均匀一致,尽量避免取样造成的实验误差;(2)正交实验水平选择;(3)电导率仪和电位滴定法的操作方法要正确;(4)电渗析器的清洗要认真对待。

## 2 结果和讨论

### 2.1 工艺参数的单因素摸索

本研究选取竹笋原液的稀释液流量、操作电压、竹笋原液 pH 值和稀释液的固形物含量为影响因素。衡量工艺条件的优劣以经一定时间脱盐前后竹笋原液脱盐率和氨基酸损耗率 2 个参数作为依据。根据单因素摸索结果,竹笋原液 pH 值对脱盐率和氨基酸损耗影响不大,可以不予考虑。

### 2.2 正交实验设计

第一作者:硕士研究生(刘东红为通讯作者)。

收稿日期:2006-12-30,改回日期:2007-03-02

为进一步探索竹笋原液电渗析器脱盐处理的最佳工艺条件,此正交实验部分采用 3 因素 3 水平进行探索以期获得较佳的工艺条件。正交实验因素水平表如表 1 所示。

表 1 正交实验因素水平表

编号	(A)电压/V	(B)流量/L·h <sup>-1</sup>	(C)固形物含量/%
1	24	50	2.677 8
2	26	70	2.142 2
3	28	90	1.785 2

竹笋原液脱盐所得脱盐率的结果分析如表 2 和表 3 所示。

表 2 竹笋原液电渗析脱盐所得脱盐率实验结果极差分析表

编号	A	B	C	脱盐率/%
1	1	1	1	36.81
2	1	2	2	40.54
3	1	3	3	43.89
4	2	1	2	44.05
5	2	2	3	45.00
6	2	3	1	36.96
7	3	1	3	45.00
8	3	2	1	41.99
9	3	3	2	44.45
K1	121.24	125.86	115.76	
K2	126.01	127.53	129.04	
K3	131.44	125.30	133.89	
k1	40.41	41.95	38.59	
k2	42.00	42.51	43.01	
k3	43.81	41.77	44.63	
级差 R	3.40	0.74	6.04	
较好水平	A <sub>3</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	
因素主次顺序	2	3	1	

由表 2、表 3 可知,单从各因素组合的脱盐效果看,实验方案最佳组合为 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,即操作电压 28V,稀释液流量 70L/h,稀释液固形物含量1.785 2%。3 个影响因素中最显著因素是 C,其次是 A,B 最差,即固形物含量对脱盐效果影响最大,其次是电压,再次是稀释液流量。

竹笋原液脱盐处理氨基酸损耗率的结果分析如表 4 和表 5 所示。

表 3 竹笋原液电渗析脱盐所得脱盐率实验结果方差分析表<sup>1)</sup>

方差来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	F <sub>α</sub>	显著性
A	17.37	2	8.685	3.44	F <sub>0.05</sub> (2,4)=6.94	
BΔ	0.9	2	0.45			
C	58.73	2	29.365	11.63	F <sub>0.01</sub> (2,4)=18.0	*
误差 e	9.2	2	4.60			
误差 eΔ	10.1	4	2.525			
总和	96.3	8				

注:1)F<sub>C</sub>=11.63>F<sub>0.05</sub>(2,4)=6.94,\*表示因素 C 对脱盐效果影响显著。

表 4 竹笋原液电渗析脱盐氨基酸损耗率实验

结果极差分析表

编号	A	B	C	氨基酸损耗率/%
1	1	1	1	13.97
2	1	2	2	8.15
3	1	3	3	15.52
4	2	1	2	20.57
5	2	2	3	16.98
6	2	3	1	8.96
7	3	1	3	13.72
8	3	2	1	12.88
9	3	3	2	15.21
K <sub>1</sub>	37.64	48.26	35.81	
K <sub>2</sub>	46.51	38.01	43.93	
K <sub>3</sub>	41.81	39.69	46.22	
k <sub>1</sub>	12.55	16.09	11.94	
k <sub>2</sub>	15.50	12.67	14.64	
k <sub>3</sub>	13.94	13.23	15.41	
级差 R	2.95	3.42	3.47	
较好水平	A <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	
因素主次顺序	3	2	1	

表 5 竹笋原液电渗析脱盐氨基酸损耗率

实验结果方差分析表

方差来源	偏差平方和	自由度	方差	F 值	F <sub>α</sub>	显著性
A	13.13	2	6.565	4.26	F <sub>0.05</sub> (2,2)=19.0	
B	20.15	2	10.075	6.54		
C	21.38	2	10.69	6.95	F <sub>0.01</sub> (2,2)=99.0	
误差 e	3.08	2	1.54			
总和	57.74	8				

由表 4、表 5 可知,单从各因素组合的氨基酸损耗率大小看,力求使氨基酸损耗最少,则实验方案最佳组合为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>,即操作电压 24V,稀释液流量 70L/h,稀释液固形物含量2.677 8%。

2.3 方案优化

根据以上分析,需对 2 个方案进一步考察方案 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub> 和方案 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>,另加做组合 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> (电压 26V,流量 70 L/h,固形物含量2.142 2%)实验,因该组合中三因素的数值均为单因子摸索较优值,正交部分未予考察。这 3 次优化实验的数据处理如表 6 所示。

表 6 优化实验数据处理结果

	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>
脱盐率/%	39.35	51.06	47.50
氨基酸损耗率/%	3.65	14.23	6.52

由表 6 知,组合 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 脱盐率(47.5%)较组合 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub> (51.06%)略低,而其氨基酸损失率(6.52%)较组合 A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub> (14.23%)低的多,权衡可知组合

A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub> 较优。

## 2.4 检测结果

表 7 检测报告(以干基计) %

	脱盐前	脱盐后	含量下降百分比
固体物含量	21.42	18.63	13.03
灰分	21.01	10.73	49.10
钾	9.30	4.30	53.76
钠	9.34e-2	2.31e-2	75.27
钙	1.49e-1	0.45e-1	69.80
镁	2.80e-1	1.18e-1	57.86
铁	5.79e-1	1.93e-1	66.67
磷	4.72e-1	4.51e-1	22.17
铜	9.34e-4	2.15e-4	76.98
铬	2.05e-3	2.31e-3	/
汞	未检出	未检出	/
铅	4.67e-5	4.73e-5	/
镉	9.34e-6	5.37e-6	42.51
砷	未检出	未检出	/
氨基酸总量	8.22	8.37	/

由表 7 可知,经 90 min 脱盐后,竹笋原液灰分下降 49.10%;主要元素含量变化:钾下降 53.76%,钠下降 75.27%,钙下降 69.80%,镁下降 57.86%,铁下降 66.67%,铜下降 76.98%,镉下降 42.51%;而一些重金属离子含量普遍较低,均在国家标准范围内,如汞和砷均未检出,故电渗析技术对竹笋原液脱盐效果较好。

竹笋原液脱盐前后的氨基酸含量基本持平:脱盐前氨基酸含量为 8.22%(以干基计),脱盐后的氨基酸含量为 8.37%(以干基计),且据氨基酸检测报告知,脱盐前后竹笋原液中氨基酸种类及各种类间比例近似相同,因此电渗析技术对竹笋原液脱盐对其功能成分——氨基酸的影响较小。

## 2.5 讨论

本研究中还探讨了实验过程中浓室是否流加自来水的问题,从实验数据看,流加对脱盐效果有一定的提高,但需考虑水的成本问题,由于实验条件和时间等方面问题暂未对此作进一步探讨。另外,就能耗问题即电流效率问题而言,竹笋原液所含盐类较复杂,盐类平均相对分子质量不得而知,因此实验中不便对脱盐过程的电流效率进行计算,此问题还需进一步探讨。

## 参 考 文 献

- 1 马玉梅. 低盐酱油在日本的研究利用状况[J]. 中国调味品, 1997(10): 11~12
- 2 赵 霖, 鲍善芬. 21 世纪中国食品安全问题[J]. 中国食物与营养, 2001(2): 5~7
- 3 汪建芳, 汤建华. 电渗析浓缩回收硫酸钠溶液的实验研究[J]. 水处理技术, 2002, 28(5): 288~289
- 4 孙兰萍. 膜分离技术食品工业领域的新型分离手段[J]. 食品研究与开发, 2001, 22(4): 22
- 5 Calle E V, Rusles J, Dornierb M, et al. Deacidification of the clarified passion fruit juice[J]. Desalination, 2002, 149: 357~361
- 6 赵 靖, 冯 磊. 氨基酸溶液电渗析脱盐过程的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(8): 57~60
- 7 Bazinet L, Lamarche F, Ippersiel D. Bipolar-membrane electrodialysis: Applications of electrodialysis in the food industry[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9: 107~113
- 8 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
- 9 大连轻工业学院, 华南理工大学合编. 食品分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004. 234~235

# The Study of Electrodialysis for Treatment of the Extracts from Bamboo Shoots

Huang Wei, Liu Donghong

(College of Biosystem Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**ABSTRACT** Electrodialysis, a broadly used in water treatment, chemical engineering, foods and medicine was applied in desalination of the extracts from bamboo shoots with ion exchange membrane. The optimizing process was determined and results showed that desalination was feasible and the effect was prominent.

**Key words** electrodialysis, membrane separation, desalination, ion exchange membrane, process optimization