

# 模拟橙汁的渗透蒸馏浓缩研究

王丽玲<sup>1</sup>, 焦必宁<sup>2</sup>

(1. 塔里木大学农业工程学院新疆·阿拉尔 843300; 2. 中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400717)

**摘要:** 在室温下, 葡萄糖溶液的水分活度与果汁的水分活度相当, 本研究以葡萄糖溶液为果汁模拟液进行了 OD 浓缩的试验研究, 分析了盐溶液的浓度、进料液的浓度、流速等条件对 OD 膜通量的影响, 并在此基础上进行了 OD 浓缩澄清橙汁的可行性研究, 证明 OD 可在室温下将 8.8 Brix 的澄清橙汁浓缩至 63 Brix。

**关键词:** 渗透蒸馏; 葡萄糖; 橙汁; 浓缩

中图分类号: TQ28.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-8265(2008)02-0030-04

渗透蒸馏(osmotic distillation, OD)是基于渗透和蒸馏概念而开发的一种新型膜分离技术, 也称为等温膜蒸馏、膜蒸发(membrane evaporation)或气体膜萃取(gas membrane extraction)<sup>[1,2]</sup>。很多研究表明, OD 能在较低的温度条件下将葡萄汁、胡萝卜汁、苹果汁、梨汁、西瓜汁等浓缩至较高浓度<sup>[3,4,6]</sup>, 却很少涉及溶液的水分活度、流速等条件对 OD 浓缩效率影响的研究, 而这对提高 OD 浓缩效率及 OD 推广应用具有很现实的意义。

大多数水果中含有的主要糖分是果糖<sup>[7]</sup>, 而葡萄糖溶液的水分活度和果糖、甘露糖、半乳糖等相当<sup>[8,9]</sup>, 在室温下, 与果汁的水分活度最接近, 固本研究以不受季节限制并容易获得的葡萄糖溶液为橙汁模拟液, 进行了以聚乙烯为材料的中空纤维 OD 膜组件浓缩过程的可行性研究, 分析了盐溶液的浓度、进料液的浓度、流速等条件对 OD 膜通量的影响, 并在此基础上进行了 OD 浓缩澄清橙汁的试验, 证明 OD 可将 8.8 Brix 的澄清橙汁浓缩至 63 Brix。

## 1 材料与仪器

### 1.1 主要实验原料

北碚 447 锦橙: 购于重庆市北碚区歇马镇农贸市场。

### 1.2 主要试剂

无水  $\text{CaCl}_2$ , 葡萄糖等化学试剂均为分析纯。

### 1.3 主要仪器和设备

OD 膜组件: 试验所用膜组件是由 Hoechst-

Celanese(Wiesbaden, Germany) 公司生产的 Liqui-Cell 膜接触器, 膜材料为聚乙烯; 膜组件形式为中空纤维; 膜组件的总体积为 0.6 L、表面积 1.4  $\text{m}^2$ 。

## 2 工艺流程

OD 浓缩试验流程如图 1 所示, 盐溶液置于组件的左侧(管程), 果汁或葡萄糖溶液置于右侧(壳程)。试验过程中, 左侧水泵把盐溶液泵入膜组件管程的左端, 沿中空纤维膜外壁流动, 再由右端流回贮液槽, 右侧水泵把贮液瓶中的果汁或葡萄糖溶液泵入组件壳层的右端, 沿中空纤维管程流入左端, 再流回贮液槽, 如此的全循环浓缩方式可减少果汁侧微生物和氧化作用的发生<sup>[10]</sup>。每隔一定时间, 果汁贮瓶的质量由电子天平监测。可根据果汁侧贮瓶中质量的减少来计算膜通量。

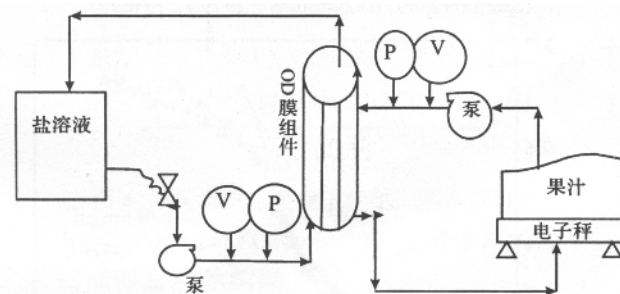


图 1 OD 膜浓缩试验流程图

## 3 试验结果与讨论

### 3.1 盐种类、浓度的确定

本试验采用工业中较为广泛应用的  $\text{CaCl}_2$  作为提取质(盐溶液), 以  $\text{CaCl}_2$  溶液-蒸馏水为试验体系, 探讨

了不同浓度  $\text{CaCl}_2$  溶液对纯水 OD 膜通量( $J_p$ )的影响, 其中  $\text{CaCl}_2$  的浓度范围在 35%- 55%(W/W), 试验结果如图 2。

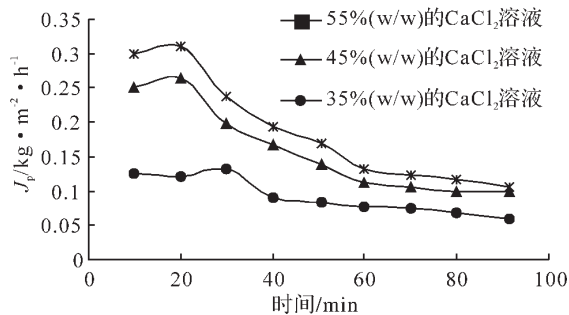


图 2 盐浓度对渗透通量的影响

由图 2 可见, 盐浓度越高, 纯水渗透膜通量越大。这主要是因盐浓度的增加, 增大了传质推动力, 使膜通量增大, 所以试验应选择尽可能高的  $\text{CaCl}_2$  浓度, 限于  $\text{CaCl}_2$  在水中的溶解度, 本试验选用了在常温下 55%(W/W)的  $\text{CaCl}_2$  溶液作为试验的提取相。

### 3.2 料液浓度、粘度随浓缩过程变化

OD 浓缩葡萄糖溶液过程中, 浓度和通量随时间的变化如图 3 所示, 以 10 Brix 的葡萄糖溶液作为进料液, 初始状态时, 葡萄糖溶液浓度(TSS)较低, 此时可将料液视为纯水溶液, OD 膜通量( $J_p$ )较大, 随着料液不断被浓缩, 溶液浓缩度( Brix)由 10 Brix 增加到 63 Brix, 达到真空蒸发浓缩所达到的浓缩度, 而 OD 膜通量从  $0.35 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$  降到  $0.087 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 。这是由于葡萄糖溶液的粘度随着浓缩过程的进行不断增加(如图 4), 水分活度不断的降低, 而提取相( $\text{CaCl}_2$  溶液)的浓度、水分活度保持几乎不变的趋势, 导致膜两侧溶液的蒸汽压梯度减小, 传质推动力下降, 因此膜通量下降, 这与 Bui<sup>[10]</sup>等报道的 OD 浓缩葡萄糖溶液过程中, 随着溶液水分活度差减小 OD 膜通量降低相符。

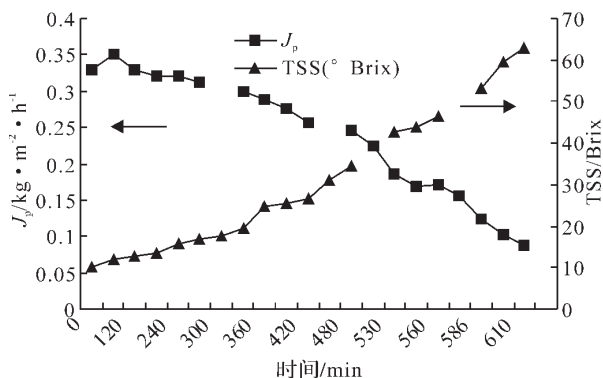


图 3 OD 浓缩过程, 浓度、通量随时间的变化

随着 OD 浓缩过程的进行, 葡萄糖溶液的壳层压力也不断增加(如图 4), 当葡萄糖溶液浓缩至 42.5° Brix 时, 壳层压力开始有较明显的升高, 当浓度达到 63 Brix, 压力几乎增加到 0.14 MPa, 而管层由于提取相浓度的不断稀释, 压力逐步降低, 这时可通过控制流速阀, 始终保持管层压力略小于壳层压力, 对于防止盐溶液进入料液侧十分重要。

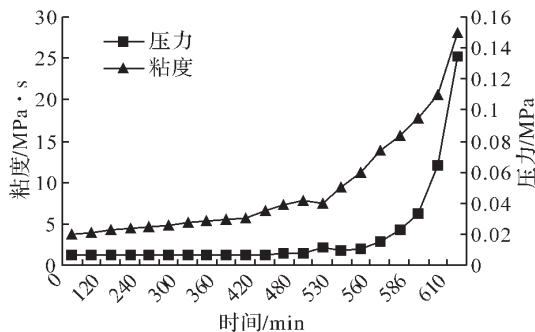


图 4 OD 浓缩过程, 葡萄糖溶液的粘度、壳层压力随时间的变化

### 3.3 进料速率对 OD 膜通量的影响

由图 5 可见, OD 膜通量( $J_p$ )随葡萄糖溶液流速( $V_0$ )的增加而增加, 只是不同浓度的葡萄糖溶液增加的幅度不同。溶液浓度为 40 Brix 时, 粘度较高, 膜表面产生的浓差极化现象较严重, 增加进料液的流速, 可减小膜表面浓差极化现象, 膜水通量增加, 因此, 进料速率由 45 L/h 增加到 70 L/h, 膜水通量由  $0.14 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$  提高至  $0.32 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ , 增加了 1 倍多; 当溶液浓度达到 50 Brix 时, 由于粘度的显著提高, 进料液流速的增加已不能显著减小膜表面浓差极化现象, 而且粘度的增加, 进一步加重了膜的污染, 因此随进料速率的增加膜水通量仅增加了  $0.07 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ ; 在低浓度时, 溶液粘度较低, 高的进料液流速保持了料液侧膜表面较高的水蒸气压, 增大了传质推动力, 所以, 膜水通量随进料速率的增加而增加。

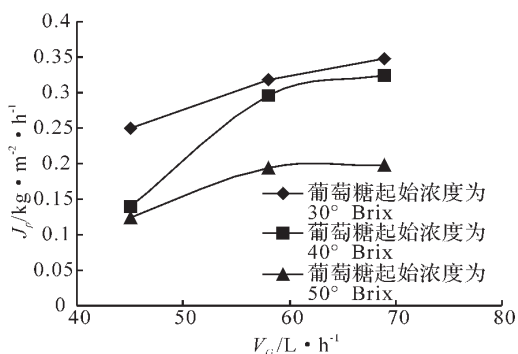


图 5 不同浓度葡萄糖溶液在不同的进料速率下对 OD 膜通量的影响( $T=30 \pm 2$ ,  $V_0=30 \text{ l/h}$ )

### 3.4 起始浓度不同的进料液对 OD 膜通量的影响

由图 6 可见，试验采用起始浓度不同的葡萄糖溶液检测 OD 膜通量随时间的变化，浓度越低，膜的初始水通量就越大，20 Brix 时为 0.35 kg/m<sup>2</sup>·h，30 Brix 时为 0.33 kg/m<sup>2</sup>·h，40 Brix 时为 0.25 kg/m<sup>2</sup>·h，随着浓缩的进行，膜的水通量逐渐降低，起始浓度越高，浓缩至所要求浓度 (63 Brix) 的时间就越短。因此，对于较高浓度的进料液，OD 可在较短的时间内将其浓缩至所要求的浓度。可以设想，对于果汁等物料，可以经预澄清，预浓缩至 30 Brix 后经 OD 浓缩达到较高浓度，不仅可以大大缩短浓缩时间，还弥补了 OD 浓缩过程时间长的缺点。

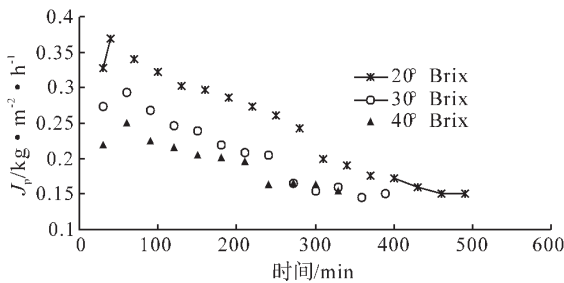


图6 不同起始浓度的葡萄糖溶液对膜通量的影响

### 3.5 OD 浓缩澄清橙汁的试验

起始浓度均为 8.8 Brix 的葡萄糖溶液和澄清橙汁经 OD 浓缩的过程如图 7 所示。在较低的温度下，OD 可将 8.8 Brix 的澄清橙汁浓缩至较高的浓度(63 Brix)。膜水通量随着时间的延长逐渐减小。果汁 OD 膜浓缩的初始水通量与葡萄糖溶液 OD 膜浓缩的初始水通量相当，均为 0.35 kg/m<sup>2</sup>·h，随着浓缩的进行，尽管橙汁的浓度还很低(如: 15 Brix)，但膜水通量却下降的较快，这主要是由于浓缩橙汁的 OD 膜组件壳层物质传质阻力增加所致。虽然橙汁中的主要成分是糖(大约 45%)，但其它成分如少量的纤维素、果胶等物质的存在，对水蒸气的传质产生了影响，从而增大了膜的传质阻力，减小了 OD 膜浓缩橙汁的水通量。

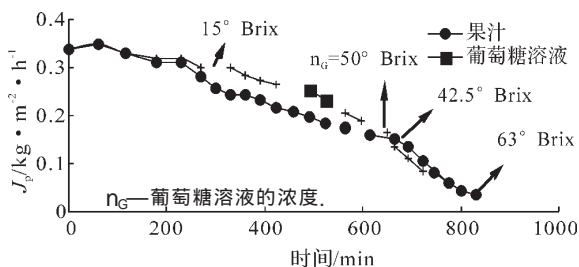


图7 OD 浓缩葡萄糖溶液和橙汁过程水通量随时间的变化

## 4 结论

OD 膜浓缩过程的水通量虽很小，最大时仅为 0.35 kg/m<sup>2</sup>·h 左右，但相对于 RO 等膜浓缩过程而言，由于渗透压的限制最大只能将物料浓缩至 30 Brix，OD 膜浓缩过程就显现出其潜在的优势。本试验获得的 OD 膜通量低于已报道的实验结果，仅为报道值 0.7 ~1.0 kg/m<sup>2</sup>·h 的 50%左右<sup>[12,13]</sup>，这可能与果汁原料特性有关外，还与提取剂的特性、膜种类及膜组件以及操作条件有关。试验证明，OD 膜浓缩过程可在较低的温度 (室温) 条件下将 8.8 Brix 澄清橙汁浓缩至 63 Brix。

OD 膜通量随进料液的浓度、粘度的增加而减小，随进料液流速及盐溶液浓度的增加而增加。随着 OD 膜浓缩过程的进行，膜通量由葡萄糖溶液初始浓度 10° Brix 的 0.35 kg/m<sup>2</sup>·h 降低至最终浓度 63 Brix 时的 0.087 kg/m<sup>2</sup>·h，这主要与溶液的水分活度差以及溶液的浓差极化现象有关，因此，要提高 OD 浓缩效率，应综合考虑增大溶液的水分活度差和减小溶液的浓差极化现象，这也是 OD 浓缩技术推广应用有待解决的问题。

### 参考文献:

- [1] Hogan, P. A., Canning, R. P., Peterson, P. A., et al. A new option:osmotic distillation. ChemEng Progress, 1998, 94 (7): 49- 57.
- [2] 潘仲巍, 陈兴国, 胡之德. 膜分离新法- 渗透蒸馏. 兰州大学学报(自然科学版), 2002, 38 (1): 62- 71.
- [3] 朱圣东, 吴迎. 渗透蒸馏及其在食品工业中的应用. 食品工业科技, 2000, 21 (2): 83- 84.
- [4] Cassano, A., Jiao, B., Dridi, E.. Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. Food Research International, 2004 (37): 139- 148.
- [5] Barbe, A. M., Bartley, J. P., Jacobs, A. L., et al. Retention of volatile organic avour/fragrance components in the concentration of liquid foods by osmotic distillation. Journal of Membrane Science, 1998, (145): 67- 75.
- [6] Shaw, P. E., Lebrun, M., Dornier, M., et al. Evaluation of Concentrated Orange and Passionfruit Juices Prepared by Osmotic Evaporation. Lebensm.- Wiss u.- Technol., 2001, (34): 60- 65.
- [7] Bui, A. V., Nguyen, H. M., Joachim, M. A.. Prediction of water activity of glucose and calcium chloride solutions. Journal of Food Engineering, 2003, 57: 243- 248.
- [8] Chirife, J., Favetto, G., Fontan, C. F.. The water activity of fructose solution in the intermediate moisture range. Lebensmittel Wissenschaft Technologie, 1982, (15): 159- 160.
- [9] Hogan, P. A., Canning, R. P., Peterson, P. A., et al. A new option:osmotic distillation. ChemEng Progress, 1998, 94 (7): 49- 57.
- [10] Alves, V. D., Koroknai, B., Coelho, L. M., et al. Using

- membrane contactors for fruit juice concentration. Desalination. 2004, 162: 263- 270.
- [11] Bui, A. V., Nguyen, H. M., Joachim M.A laboratory study on glucose concentration by osmotic distillation in hollow fibre module. Journal of Food Engineering, 2004, 63: 237- 245.
- [12] Vaillant, F., Jeanton, E., Dormer, M., et al. Concentration of passion fruit-juice on an industrial pilot scale using osmotic evaporation. Journal of Food Engineering, 2001, 47 (3): 195- 202.
- [13] 苏学素. 膜技术在血橙汁加工和手性蛋氨酸分离中的应用研究: 博士学位论文. 中国重庆: 西南农业大学, 2005, 5.

## The Study on Simulating Orange Juice Concentration by Osmotic Distillation

WANG Li-ling<sup>1</sup>, JIAO Bi-ning<sup>2</sup>

(1. College of Agriculture Engineering, Tarim University, Xinjiang 843300, China;

2. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400716, China)

Abstract: The water activity of glucose is very similar to that of many fruit juices at room temperature. Glucose solution used as model juice was concentrated by osmotic distillation. The effect of brine concentration, feed concentration and feed cross flow velocity on vapor flux is studied. On this basis, the concentration of clarified orange juice by osmotic distillation was carried out. It could be concluded that the clarified orange juice can be concentrated from 8.8 Brix to 63 Brix by osmotic distillation.

Key words: osmotic distillation; dextrose; orange juice; concentration

(上接第 29 页)

参考文献:

- [1] Chase H.A, Draeger N.M., Expanded-bed adsorption of proteins using ion exchangers [J]. Separation Science and Technology, 1992, 27(14):2021- 2039
- [2] Chase H.A., Purification of proteins by adsorption chromatography in expanded beds[J]. Trends in Biotechnology, 1994, 12(8):296- 303
- [3] 刘坐镇, 陈士安, 邬行彦. 扩张床吸附技术[J]. 离子交换与吸附, 1999, 15(3): 279- 288
- [4] 梅乐和 姚善泾 林东强等 生物分离过程研究的新趋势 - 高效集成化[J]. 化学工程, 1999, 27 (5): 38- 41
- [5] 雷引林, 姚善泾, 刘坐镇等 扩张床吸附基质研究进展[J]. 功能高分子学报, 2002, 15(2): 219- 224
- [6] 朱炳辰, 化学反应工程[M], 化学工业出版社, 北京, 2001
- [7] Expanded bed adsorption- principles and methods[M]. Pharmacia Biotech, 18- 1124- 26, Edition AA. 1998

## The Properties of a New Ion- exchange Resin in Expanded Bed

XU Qi<sup>1</sup>, ZHAO Hong-wei<sup>1</sup>, XIONG Ying<sup>1</sup>, QIU Jia-shang<sup>1</sup>, HE Qi<sup>2</sup>, FANG Wei-mao<sup>1</sup>

(1. College of Chemical Engineering Schuan University, Chengdu 610065, China;

2. Zhonglan Chenguang Research Institute of Chemical Industry Star Co, Chengdu 610041, China)

Abstract: A new ion-exchange resin, CG-6 is Experimented in a expanded bed. The ratio of expanding and column efficiency is determined at different flow velocity, viscosity and sediment bed height using water or glycerol solution as the fluid medium. The break through curves of Bovine Serum Albumin in expanded bed are also described. CG-6 shows very great column efficiency, the magnitude of axial mixing coefficient can reach 10-6. CG-6 has very great adsorption capability and rather fine break through property in appropriate conditions. The results demonstrate that CG-6 is suitable for the adsorption of protein in expanded bed. This article will provide important basis for the application of CG-6 in purification of protein.

Key words: expanded bed; adsorption; ion- exchange resin.