

猕猴桃果汁超滤过程的传质特性研究

李元瑞 程江峰 师俊玲 李忠宏

(西北农业大学食品科学系,陕西杨凌 712100)

摘 要 采用较先进的超滤技术进行猕猴桃果汁的澄清处理,用已选择的适宜膜,包括膜材质、截留分子量等构成膜组件。在工作温度为 25°C 时,就工作压力对膜通量的影响进行了研究分析。根据其过程特征,提出了猕猴桃果汁体系超滤过程三段传质模型。

关键词 猕猴桃果汁,超滤,传质模型

分类号 TS255.44

膜分离技术是20世纪60年代初发展起来的新兴物质分离技术^[1,2]。膜分离技术主要包括反渗透、超滤、微滤、透析和电渗析等,前3种均以压力差为动力^[3],其中超滤所需的操作压力通常为 $0\sim 1\text{ MPa}$,适用于大分子物质(蛋白质、胶体、多糖等)与小分子溶液的分离。本研究是针对我国目前猕猴桃果汁生产中化学澄清技术不稳定的现状,采用较先进的超滤技术进行猕猴桃果汁的澄清,在优化工艺参数的基础上,探讨并建立了猕猴桃果汁体系超滤过程传质模型,以期为该技术应用的工艺过程分析提供理论依据。

1 操作压力与膜通量之间的关系

超滤以压力差为推动力^[3],操作压力是超滤操作的主要工艺条件,优化超滤澄清猕猴桃果汁的操作压力具有重要的意义^[4,5]。

1.1 工作条件

以经过板框式过滤机过滤的新鲜秦美猕猴桃果汁为原液,使用截留分子质量为40 000的聚砜中空纤维超滤组件,在稳定的操作温度(25°C)条件下,压力为 $0\sim 175\text{ kPa}$ 时选择几个不同的压力水平,进行试验研究。在每个操作压力 p 下,均需工作一段时间,待膜通量 J 稳定后,记录其值。

1.2 工作特性

依上述工作记录的数据,以稳定的膜通量 J 对超滤膜两侧的压力差 Δp 作图(图1)。图中曲线表明,随着滤膜两侧压力差的增大,初期膜通量 J 迅速提高, J 与 Δp 成直线关系,而后膜通量 J 不再随 Δp 线性递增,而是缓慢增加,表现为膜通量对压差增加的敏感性降低,形成曲线段,当操作压力超过 125 kPa 后,膜通量趋于稳定,不再随操作压力的增大而提高,在图中表现为曲线最终近乎水平线。

本研究的原液为猕猴桃果汁,属于天然高分子溶液,含有蛋白质、色素等大分子溶质,成分复杂,粘度较高,其滤前混浊汁主要理化指标见表1。在操作压力不是很高的条件下,

收稿日期 1998-05-04

课题来源 陕西省“九五”攻关课题,97K05-G5

作者简介 李元瑞,男,1942年生,教授,博士生导师

超滤膜通量 J 与滤膜两侧的压力差 Δp 之间的线性关系,以及在操作压力较高时, J 对 Δp 的增加表现不敏感的现象,可用大分子溶液超滤过程的浓差极化理论加以解释^[1,3,4].

表 1 猕猴桃混浊汁的主要理化指标

粘度 / (mPa·s)	蛋白质 %	果胶 %	总糖 %	总酸 %	固形物 (Brix)	pH
1.7133	1.03	0.86	2.6	1.43	12.2	3.12

根据浓差极化理论中所指出的质量转移数学模型

$$J = K \cdot \ln(C_w / C_1)$$
 (1)

式中, K 为质量转移系数, $K = D/W$; D 为溶质在溶剂中的扩散系数; W 为浓差极化边界层厚度; C_w 为滤膜表面的溶质浓度; C_1 为原料中溶质的浓度

随压力差 Δp 的增大,膜通量 J 随之迅速提高,则溶质被大量截留,造成膜表面的溶质浓度 C_w 值增大,同时也使浓差极化边界层的厚度 W 值增大,即增大了浓差极化层的阻力,因此膜通量 J 提高的幅度逐渐减少.当 C_w 增大到大分子溶质的凝胶浓度 C_g 时(即 $C_g = C_w$),式(1)变为:

$$J = K \cdot \ln(C_g / C_1)$$
 (2)

当超滤过程出现凝胶层后,浓差极化理论认为,在一定工作条件下, C_g 可以视为定值,则由式(2)可知,膜通量 J 将为一恒定值.

2 猕猴桃果汁超滤过程的传质特性

根据图 1 描述的操作压力与膜通量的关系曲线所反映的超滤过程特征,可以将猕猴桃果汁的超滤澄清过程分为 3 个区段,其模式如图 2 所示.

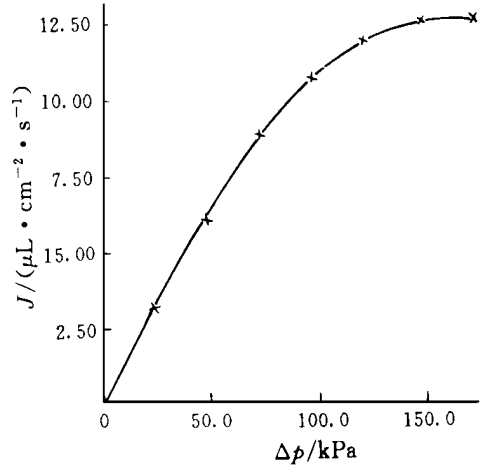


图 1 超滤操作压力与膜通量的关系

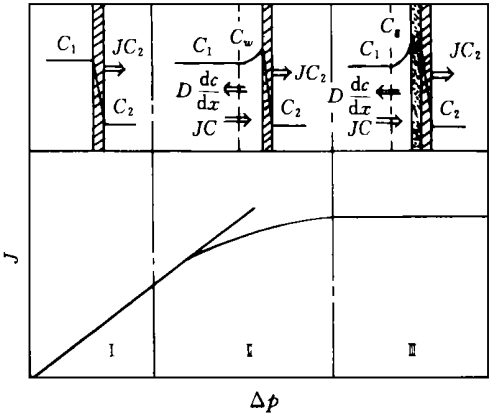


图 2 超滤三段模型

2.1 第 I 段,直线段

由于此阶段超滤操作压力低,膜通量小,溶质在滤膜表面被截留,累积的量也小,所以浓差极化现象可以忽略,此时膜通量 J 与膜两侧的压力差 Δp 成正比,其传质特性可用

Darcy's 定律描述:

$$J = (K_m / \eta) \Delta p \quad (3)$$

式中 η 为料液粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$); J 为膜通量 ($\text{mL} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); Δp 为膜两侧压力差 MPa ; K_m 为传质系数 (浓度极化) ($\text{mL} \cdot \text{cm}^{-2}$)

K_m / η 为 $J \sim \Delta p$ 直线斜率, 计算得其值为 $1.184 \times 10^{-7} \text{ mL} / (\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{cm}^2)$, 在 25°C 操作条件下猕猴桃累计的粘度值为 $\eta = 1.3098 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, 故得:

$$K_m = 1.35 \times 10^{-10} \text{ mL} \cdot \text{cm}^{-2}$$

2.2 第 II 段, 曲线段

随着超滤压差的增大, 膜通量增大, 膜表面溶质浓度 C_w 急剧增加, 浓度极化的影响比较严重, 此时传质模型为

$$J = K \ln (C_w / C_1)$$

由浓度极化理论可知, 随着 Δp 的增加, C_w 也随之增大, 因此, 可以认为 $C_w \propto \Delta p$, 则上式变为:

$$J = K \ln (a \Delta p / C_1) \quad (4)$$

C 对 $J \sim \Delta p$ 曲线段进行非线性回归, 可得:

$$K = 5.99532 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

2.3 第 III 段, 水平段

当操作压力进一步增大, C_w 增大到被截留分子溶质的凝胶浓度时, 膜通量不再随压力变化而改变, 曲线进入水平段, 此时, 传质模型为:

$$J = K \ln (C_g / C_1)$$

式中 J 为 $J \sim \Delta p$ 水平段膜通量, 其值为 $1.26 \times 10^{-2} \text{ mL} / (\text{cm}^2 \cdot \text{s})$, K 值在第 II 段已求得, C_1 在膜筛选试验中已测得, 其值为 0.53% . 故可计算得 $C_g = 4.34\%$.

由于猕猴桃果汁中所含大分子主要是蛋白质和果胶, 其他大分子物质如淀粉, 色素等含量极低, 经预处理, 果胶几乎已全部分解或去除, 故本研究中超滤澄清的主要对象是蛋白质这一大分子物质, 所以用蛋白质的含量来表示溶质浓度是合理的.

3 讨 论

在研究对猕猴桃果汁进行超滤处理时工作压力和膜通量之间关系的基础上, 对其过程的传质特性进行了分析研究, 提出了超滤过程三段式传质模型, 并获得了各段的特征常数. 可以预见, 对于固形物含量差异较大的料液, 其特征常数尚需要加以修正, 有待进一步深入研究.

参 考 文 献

- 1 朱长乐. 膜科学技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1992
- 2 袁 权. 膜与膜分离. 化工进展, 1992(6): 35~ 61
- 3 (美) 克莱德·奥尔编. 过滤理论与实践. 殷琦等译. 北京: 国际工业出版社, 1982
- 4 MCGregor W C. Membrane Separation in Biotechnology. New York and Basel Marcel Dekker Inc, 1986
- 5 Porter M C. Handbook of Industrial Membrane Technology. New Jersey Noyes Publications Park Ridge, 1990

Study on the Transferring Substance Characteristic of Kiwifruit Juice in Ultrafiltration Process

Li Yuanrui Cheng Jiangfeng Shi Junling Li Zhonghong

(Department of Food Science, North western Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract The operating procedure of producing clarified kiwifruit juice was studied with selected membrane. The effects of operating pressure on the flux were mainly investigated. Under the condition of processing temperature 25°C , the three-step model of transferring substance in kiwifruit juice ultrafiltration was put forward.

Key words ultrafiltration, kiwifruit juice, transferring substance model

“行走式节水灌溉机具示范推广”项目通过鉴定

西北农业大学机械与电子工程学院杨青教授和薛少平高级工程师主持研究的“行走式节水灌溉机具示范推广”项目中的“2M BL-2/6型小麦起垄覆膜沟播机研制”和“8PJ50-100型绞盘卷管式喷灌机研究”两项成果已同时通过了鉴定。

“2M BL-2/6型小麦起垄覆膜沟播机研制”是以小四轮拖拉机为动力,配置有起垄、覆膜、播种、覆土、镇压等工作部件,用于深耕后并经过精细整地的田块,一次可完成开沟、起垄、垄上覆膜、沟内播种、覆土镇压多项作用。可保证全生育期起垄、覆膜、沟播栽培模式的机械化播种要求,适用于旱地小麦的机械化作业。

“8PJ50-100型绞盘卷管式喷灌机研制”是以小型拖拉机为动力,由水泵、绞盘、输水软管、喷头车组成,可根据不同的灌水量要求,对作物进行喷水灌溉,从而实现节水、节能、保肥、保土、增产、增效之目的。该机适用于干旱半干旱地区作物灌溉,有良好的应用前景。

(罗永娟 供稿)