

大孔吸附树脂吸附乳酸及乳酸与谷氨酸的分离

杨鹏波^{1,2}, 张晓燕¹, 丛威¹, 王芳², 邓利²

(1. 中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室, 北京 100080;

2. 北京化工大学生命科学与技术学院, 北京市生物加工过程重点实验室, 北京 100029)

摘要: 通过筛选, 得到大孔吸附树脂 NKA-II, 并用其对乳酸进行分离. 测定了该树脂对乳酸与谷氨酸的吸附选择系数, 得到了乳酸在 NKA-II 上的吸附等温线, 并对其吸附动力学和动态吸附进行了研究. 结果表明, NKA-II 对乳酸和谷氨酸的吸附选择系数 $K_G^L=16.19$. 该树脂对乳酸的吸附等温线符合 Freundlich 方程, 在 26 和 48 °C 下的相关系数 R^2 均大于 0.99, 方程的特征参数 $n>1$, 属“优惠吸附”. 吸附动力学研究表明, 粒内扩散是吸附过程的主要控制步骤, 符合 Kannan-Sundaram 粒内扩散模型, 相关系数 $R^2=0.9906$, 粒内扩散速率常数 $k_p=6.0129 \text{ mg}\cdot\text{min}^{0.5}/\text{g}$. 动态吸附实验结果表明, 乳酸的穿透体积比谷氨酸大 110.6 mL, 故该树脂可以成功地应用于乳酸与谷氨酸的分离.

关键词: 大孔吸附树脂; 乳酸; 吸附; 谷氨酸

中图分类号: O647.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-606X(2007)04-0767-06

1 前言

谷氨酸等氨基酸发酵过程中会产生抑制性副产物乳酸, 而乳酸等有机酸发酵生产中也可能副产氨基酸. 这些发酵体系的提取残液是低浓度乳酸和某些氨基酸的混合物, 组成复杂. 如果在下一步处理前不对这些提取残液中的乳酸进行分离, 不仅会提高发酵生产废水中的化学需氧量, 增加环境负担, 还会造成很大的浪费, 因此对其中的乳酸进行分离是必要的.

乳酸的分离方法^[1]主要有钙盐法、溶剂萃取法、液膜法、电渗析法、酯化法等, 这些是针对乳酸浓度相对较高的分离方法. 而发酵提取残液中乳酸的浓度很低, 一般在 5 g/L 以下, 钙盐法、溶剂萃取法^[2]和酯化法难以奏效. 由于有大量与乳酸结构和性质类似的组分存在, 液膜法和电渗析法^[3]可能存在分离效率不高或难以分离的问题. 用吸附法可以通过选择特定的吸附剂对体系中某一物质进行选择性的吸附, 从而回避以上问题.

目前, 应用吸附法从乳酸发酵液中分离乳酸的研究较多. 薛正莲等^[4]通过胺化反应得到热再生树脂 DR1 和 DR2, 对乳酸的静态吸附量分别为 352 和 411 mg/g, 热洗脱率分别达到 61% 和 73%. Davison 等^[5]利用活性炭吸附乳酸发酵液中的乳酸, 当吸附剂加入量达到 300 g/L 时, 上清液中乳酸含量未检出(<0.01 g/L), 此时乳酸的吸附量为 30 mg/g. Chen 等^[6]和 Lee 等^[7]用 Polyvinylpyridine 树脂回收乳酸发酵液中的乳酸, 达到较好的效果. Aljundi 等^[8]用硅藻土分子筛吸附发酵液中的乳酸, 但吸附量不高. 以上研究的都是高浓度乳酸的分

离问题, 对吸附的选择性不作考察. 而对低浓度乳酸分离的研究未见报道. 本工作探索发酵提取残液中低浓度乳酸的分离方法, 以谷氨酸和乳酸混合液中乳酸的分离为研究对象, 为发酵行业低浓度乳酸的资源化提供依据.

2 实验

2.1 材料与仪器

苯乙烯系大孔吸附树脂(南开大学化工厂), 部分特性见表 1. 乳酸(分析纯, 北京化学试剂公司), L-乳酸(河南金丹乳酸有限公司), 谷氨酸(生化试剂, 北京化学试剂公司).

表 1 部分大孔吸附树脂的部分性能参数
Table 1 Partial properties of some macroporous resins

Name	Polarity	Specific surface area (m ² /g)	Average pore diameter (nm)	Porosity (%)
D3520	None	480~520	8.5~9.0	65~70
D4006	None	400~440	6.5~7.5	43~48
D4020	None	540~580	10.0~10.5	74~78
X-5	None	500~600	29.0~30.0	50~60
AB-8	Weak	480~520	13.0~14.0	42~46
NKA	None	570~590	20.0~22.0	-
NKA-II	Strong	160~200	14.5~15.5	-
NKA-9	Strong	250~290	15.5~16.5	46~50

生物传感分析仪 SBA-40C(山东省科学院生物研究所), 恒温振荡器(哈尔滨东联电子技术开发有限公司, HZQ-QG), BSZ-100 自动部分收集器(上海沪西分析仪器厂).

2.2 分析方法

乳酸总量的测定参照国家标准 GB2023-2003 中乳酸含量的测定方法^[9], 乳酸含量按下式计算:

收稿日期: 2006-11-02, 修回日期: 2007-01-15

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向基金资助项目(编号: KSCXZ-YW-G-020)

作者简介: 杨鹏波(1981-), 男, 河北省邢台市人, 硕士研究生, 发酵工程专业; 丛威, 通讯联系人, Tel: 010-82627060, E-mail: weicong@home.ipe.ac.cn.

$$X=90.08(V_2-V_1)C/V_s, \quad (1)$$

其中, X 为乳酸含量(g/L), 90.08 为乳酸分子量, V_2 为滴定空白耗用硫酸标准溶液体积(mL), V_1 为滴定样品耗用硫酸标准溶液体积(mL), C 为硫酸标准溶液的浓度(mol/L), V_s 为所加被测样品的体积(mL).

L-乳酸和谷氨酸的测量使用 SBA-40C 生物传感分析仪, 该分析仪利用固定化的乳酸氧化酶和谷氨酸氧化酶的酶促反应来定量测量.

2.3 实验方法

2.3.1 树脂的筛选

准确称取经预处理且除去表面水的各型号湿树脂 2.000 g 于 100 mL 的锥形瓶中, 然后加入浓度为 9.1 g/L 的乳酸溶液 20.0 mL, 于室温(26 °C)下振荡直至吸附平衡, 用滴定法测量上清液中乳酸浓度 C_e (g/L), 按下式计算平衡吸附量:

$$Q_e=(C_0-C_e)V/W, \quad (2)$$

其中, Q_e 为平衡吸附量(mg/g), C_0 为吸附体系中所加乳酸溶液的初始质量浓度(g/L), C_e 为吸附体系中吸附平衡后上清液中乳酸质量浓度(g/L), V 为吸附体系中所加乳酸溶液体积(mL), W 为吸附体系中所加吸附剂质量(g).

2.3.2 NKA-II 对 L-乳酸和谷氨酸的吸附选择性

准确称量 1.000 g 预处理且除去表面水的 NKA-II 树脂于 50 mL 锥形瓶中, 加入 L-乳酸和谷氨酸混合溶液 10 mL, 于室温(26 °C)下振荡平衡, 用生物传感分析仪测量 L-乳酸和谷氨酸吸附前后的浓度变化, 根据式(2)计算各物质的平衡吸附量, 进而计算各物质的分配系数及相应的选择系数.

2.3.3 吸附等温线

准确称取 10 份经预处理且除去表面水的 NKA-II 树脂 6.000 g 于 200 mL 的锥形瓶中, 然后加入 60.0 mL 浓度分别为 1.10, 4.55, 8.85, 17.51, 34.19, 50.01, 67.09, 82.69, 99.45, 116.92 g/L 的乳酸溶液, 分别在 26 和 48 °C 下振荡平衡, 滴定法测量上清液中乳酸浓度, 根据式(2)计算平衡吸附量 Q_e (mg/g).

2.3.4 吸附动力学

准确称取经预处理且除去表面水的 NKA-II 树脂 2.000 g 于若干个 100 mL 的锥形瓶中, 分别加入 20.0 mL 浓度为 9.51 g/L 的乳酸溶液, 在 26 °C 下恒温振荡, 于 t 时刻取出其中 1 瓶, 立即用滤布滤出树脂, 保留上清液, 测量各时刻上清液的乳酸浓度, 直至吸附平衡, 根据下式计算 t 时刻的吸附量 Q_t (mg/g):

$$Q_t=(C_0-C_t)V/W, \quad (3)$$

其中, Q_t 为 t 时刻的吸附量(mg/g), C_t 为吸附体系中 t

时刻上清液的溶质浓度(g/L), t 为吸附时间(min).

2.3.5 动态吸附

动态吸附实验所用的色谱柱内径 1.1 cm, 柱长 70.0 cm.

取已预处理用水浸泡的 NKA-II 装入已标好刻度的玻璃色谱柱中, 湿法装柱, 准确至 60 mL. 使 L-乳酸溶液以不同流量通过吸附柱, 用分部收集器定时收集柱底流出液, 测定每份收集液的乳酸浓度, 绘制穿透曲线, 以确定最佳流量.

在最佳流量下, 用乳酸和谷氨酸混合溶液上柱, 以测定两种物质的分离效果.

乳酸的动态吸附量 Q 按下式计算:

$$Q=(C_0V_0-\sum C_iV_i)/W, \quad (4)$$

其中, Q 为吸附柱的动态吸附量(mg/g), V_0 为动态吸附的上柱液体积(mL), V_i 为动态吸附第 i 收集液的体积(mL), C_i 为动态吸附第 i 收集液的浓度(g/L).

3 结果与讨论

3.1 吸附乳酸的树脂的筛选

室温(26 °C)下各型号大孔吸附树脂对乳酸的吸附数据见表 2. 综合表 1 和 2 可以看出, 极性吸附树脂吸附乳酸的能力一般高于非极性吸附树脂, 其中吸附量最高的是 NKA-II, 达到 36.03 mg/g, 是其他型号树脂的 2 倍以上, 故初步选 NKA-II 作为吸附乳酸的介质.

表 2 吸附树脂对乳酸的吸附量
Table 2 Equilibrium adsorption quantity of lactic acid

Name	Q_e (mg/g)
D3520	14.95
D4006	14.86
D4020	12.16
AB-8	14.86
X-5	14.41
NKA	15.31
NKA-II	36.03
NKA-9	16.21

3.2 NKA-II 对 L-乳酸和谷氨酸的吸附选择性

NKA-II 在 L-乳酸和谷氨酸混合溶液中的静态吸附数据见表 3, C_r 表示树脂相中溶质的浓度(mg/mL). L-乳酸和谷氨酸在吸附体系中的分配系数 m_L , m_G ^[10] 和 NKA-II 对 L-乳酸和谷氨酸的选择系数 K_G^L ^[11] 分别用下式计算:

$$m_L=\text{树脂相中乳酸浓度 } C_{r,L}/\text{液相中乳酸浓度 } C_{e,L}, \quad (5)$$

$$m_G=\text{树脂相中谷氨酸浓度 } C_{r,G}/\text{液相中谷氨酸浓度 } C_{e,G}, \quad (6)$$

$$K_G^L=m_L/m_G. \quad (7)$$

表 3 NKA-II 对 L-乳酸和谷氨酸的吸附选择性
 Table 3 The adsorbent selectivity of L-lactic acid and glutamic acid on NKA-II

Solute	C_0 (mg/mL)	C_e (mg/mL)	C_r (mg/mL)	m	K_G^L
L-lactic acid	4.6	3.2	11.2	3.500	16.19
Gutamic acid	7.6	7.4	1.6	0.216	

由表 3 可知, NKA-II 对 L-乳酸和谷氨酸的选择性系数 K_G^L 为 16.19, 远大于 1, 表明该树脂对乳酸的吸附亲和力远大于对谷氨酸的亲和力, 可以用作其混合体系的分离介质. 原因可能是溶液中的吸附质在固体上的吸附过程与溶解过程中“相似相溶”的道理类似, 在发生吸附作用时可通俗地称为“相似相吸”, 即吸附剂与溶质的性质越接近, 则后者越易被吸附^[12]. NKA-II 的表面含有一定密度的酚羟基, 能与乳酸分子结构中含有的 α -羟基形成氢键, 再者 NKA-II 也有一定的疏水性, 有利于乳酸的吸附, 而谷氨酸的结构中没有羟基结构.

3.3 NKA-II 对乳酸的静态吸附等温线

在 26 和 48℃ 下 NKA-II 对乳酸的吸附等温曲线见图 1. 由图可以看出, 随着乳酸浓度的增加, NKA-II 对乳酸的吸附量也逐渐增加, 并且随温度的增加, 其吸附量有所减少.

据此采用经典的 Freundlich 吸附经验方程式^[13]对上述实验数据进行拟合:

表 4 Freundlich 方程对乳酸在 NKA-II 上的吸附等温线的拟合结果

Table 4 Simulated result between isothermal adsorption curve of L-lactic acid and Freundlich equation					
Sorbent	Temperature (°C)	Simulation equation	k	n	R^2
NKA-II	26	$\ln Q_e = 0.7199 \ln C_e + 2.1589$	8.6616	1.3891	0.9936
	48	$\ln Q_e = 0.7078 \ln C_e + 2.1063$	8.2178	1.4128	0.9927

3.4 NKA-II 对乳酸的静态吸附动力学

图 2 是在 26℃ 下, 乳酸在 NKA-II 上的吸附量 Q_t 随吸附时间 t 的变化曲线. 从图可以看出, NKA-II 对乳酸的吸附速率较慢, 60 min 时的吸附量为平衡吸附量的 90%, 达到平衡吸附的时间为 140 min.

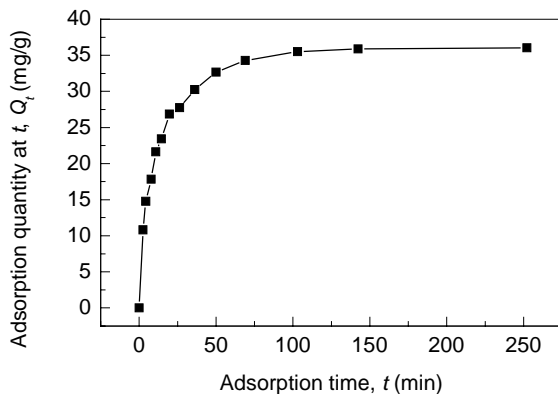


图 2 温度为 26℃ 时乳酸在 NKA-II 上的吸附曲线
 Fig.2 Adsorption curve of L-lactic acid on NKA-II at 26°C

$$\ln Q_e = \ln k + \frac{1}{n} \ln C_e, \quad (8)$$

式中, k 为平衡吸附常数, n 为特征常数.

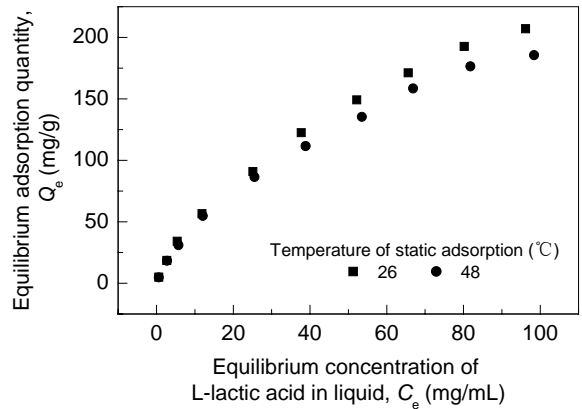


图 1 26 和 48℃ 条件下 NKA-II 对乳酸的吸附等温线
 Fig.1 Curves of isothermal adsorption of L-lactic acid on NKA-II at 26 and 48°C

表 4 列出了通过线性拟合得到的 k , n 和相关系数 R^2 . 可以看到, 拟合方程与实验实测数据之间的相关系数 R^2 均大于 0.99, 表明 NKA-II 对乳酸的吸附等温线符合 Freundlich 方程. 方程的特征参数 $n > 1$, 表明是优惠吸附^[14]. 从 k 值可以看出, 低温有利于吸附.

液相吸附由 3 个基本过程组成: 吸附质在吸附剂粒子表面液膜内扩散、粒子内的细孔扩散和表面扩散、在细孔表面的吸附, 其中慢者为吸附速率的控制步骤. 此处取初期吸附速率较快的部分分别采用 Boyd 液膜扩散方程^[15]和 Kannan-Sundaram 粒内扩散模型^[16]来讨论 NKA-II 对乳酸的吸附:

Boyd 液膜扩散方程:

$$-\ln(1-F) = k't, \quad (9)$$

Kannan-Sundaram 粒内扩散模型:

$$Q_t = k_p t^{0.5} + C', \quad (10)$$

其中, $F = Q_t/Q_e$, 表示吸附剂的吸附交换率, k' 表示膜扩散速率常数, k_p 为粒内扩散速率常数, C' 表示方程的截距.

把图 2 中的实验数据分别以 $-\ln(1-F)$ 对 t 作图和以 Q_t 对 $t^{0.5}$ 作图, 对应关系见图 3 和 4, 其拟合得到的方程及相关系数见表 5. 可以看出, Q_t 对 $t^{0.5}$ 拟合方程的相

关系数($R^2=0.9906$)大于 $-\ln(1-F)$ 对 t 拟合方程的相关系数($R^2=0.964$), 前者的线性关系相关性好于后者, 说明 NKA-II 对乳酸吸附的主要控制步骤是粒内扩散, 其吸附动力学符合 Kannan-Sundaram 粒内扩散模型. 由表 5

的拟合方程可以得知粒内扩散速率常数 $k_p=6.0129 \text{ mg}\cdot\text{min}^{0.5}/\text{g}$, 扩散速率不高. 另外, 图 4 的直线不经过原点, 表明颗粒内扩散过程对乳酸在 NKA-II 上的吸附虽有较大的影响, 但不是该过程的唯一控制步骤.

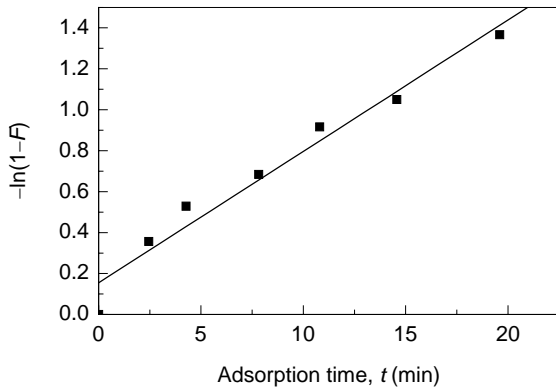


图3 26 °C时 NKA-II 吸附乳酸的 $-\ln(1-F)$ - t 曲线
Fig.3 Curve of $-\ln(1-F)$ vs. t of NKA-II adsorbed L-lactic acid at 26 °C

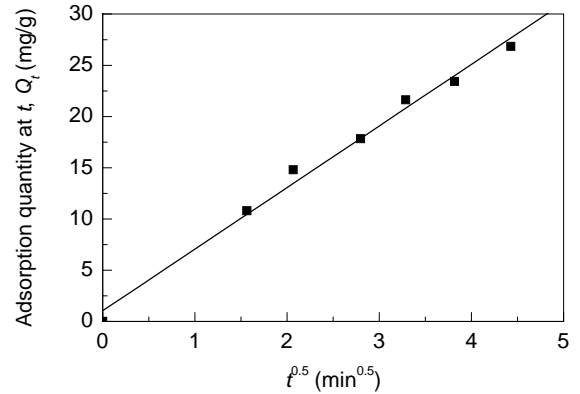


图4 26 °C时 NKA-II 吸附乳酸的 $Q_t-t^{0.5}$ 曲线
Fig.4 Curve of Q_t vs. $t^{0.5}$ of NKA-II adsorbed L-lactic acid at 26 °C

表 5 NKA-II 对乳酸的静态吸附动力学拟合结果

Table 5 Simulated result of adsorption curve of L-lactic acid on NKA-II

Function or model	Simulation equation	R^2
Boyd function of membrane pervasion	$-\ln(1-F)=0.0642t+0.1543$	0.964
Kannan-Sundaram model of pervasion	$Q_t=6.0129t^{0.5}+1.0482$	0.9906

3.5 动态吸附

NKA-II 的静态吸附结果较好. 为了提高分离效率和可操作性, 对其在 26 °C时的动态吸附进行了初步研究.

当吸附质溶液以一定流量通过吸附柱时, 溶液中的吸附质将被柱中的吸附剂吸附, 上端的吸附剂先达到吸附平衡, “吸附带”逐渐下移. 当柱底流出液中含有吸附质时, 说明“吸附带”已移到柱底部, 此时吸附柱已穿透. 当流出液中吸附质浓度达到进样液浓度的 3%~5%时(本实验取 5%), 可认为吸附柱已穿透, 该点即为穿透点, 对应的流出体积可称为穿透体积, 吸附量为穿透容量. 流出液中吸附质浓度达到进样液浓度的 95%~97%时(本实验取 95%), 柱中吸附剂饱和, 对应的吸附量为饱和和吸附容量.

3.5.1 最佳流量的确定

图 5 给出了不同流量下 NKA-II 吸附乳酸的穿透曲线, 相应的穿透参量列于表 6. 由图 5 和表 6 可知, 流量加大, 穿透时间缩短, 穿透体积和穿透容量减少. 例如, 乳酸的穿透体积由 0.40 mL/min 条件下的 193.8 mL 降至 2.1 mL/min 条件下的 139.4 mL, 减少了 28%, 其料液的处理能力有较大幅度的降低. 因此为了有效地进行吸附, 操作时必须保证液固两相有充分的接触时间,

这样才能提高吸附柱的利用率和吸附量. 但流量也不宜过小, 否则操作周期加长. 故在乳酸和谷氨酸混合溶液的动态吸附实验中选择 0.80~0.90 mL/min 的流量.

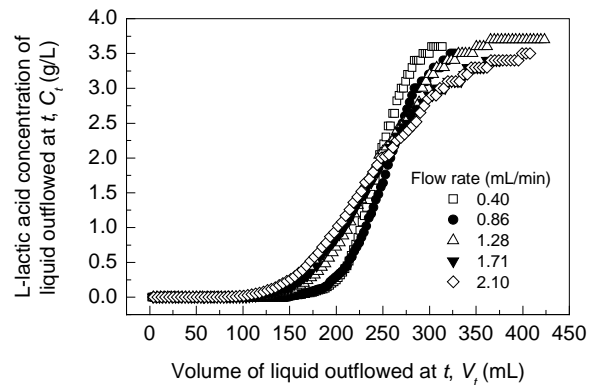


图5 26 °C时流量对穿透曲线的影响
Fig.5 Effect of flow rate on adsorption breakthrough curve at 26 °C

表 6 在 26 °C时不同流量下的穿透参量

Table 6 Parameters under different flow rates at 26 °C

Flow rate (mL/min)	Breakthrough volume (mL)	Breakthrough capacity (mg/g)	Saturated capacity (mg/g)	Efficiency of adsorption column (%)
0.40	193.8	14.43	18.06	79.9
0.86	191.2	13.87	18.16	76.4
1.28	163.4	12.52	18.78	66.7
1.71	154.0	10.84	16.88	64.2
2.10	139.4	10.09	17.45	57.7

3.5.2 最佳流量下乳酸和谷氨酸的混合液的动态吸附

乳酸和谷氨酸的混合液中谷氨酸浓度为 14.2 g/L, 乳酸浓度为 3.6 g/L.

图 6 是 26 °C 时乳酸和谷氨酸的混合液在最佳流量 (0.9 mL/min) 下的动态吸附穿透曲线, 为了统一表示, 采用 C_t/C_0-V_t 图. 26 °C 时乳酸和谷氨酸混合液中乳酸的穿透体积为 140.6 mL, 谷氨酸的穿透体积为 30.0 mL, 两者之间有 110.6 mL 的明显差距, 所以通过 NKA-II 吸附柱的动态吸附能够将谷氨酸与乳酸分离, 把混合液中的乳酸提取出来, 将其资源化是可能的.

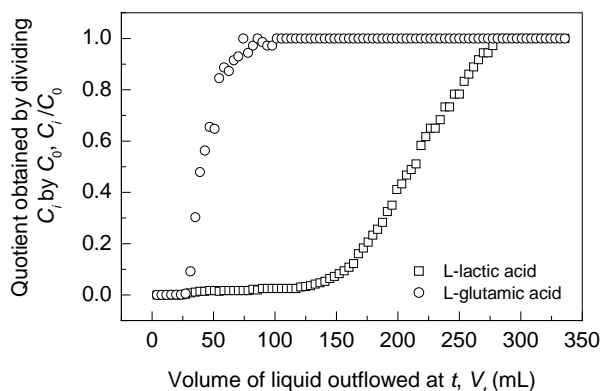


图 6 26 °C 时乳酸和谷氨酸混合液的穿透曲线
Fig.6 Adsorption breakthrough curve of simulated solution at 26 °C

4 结论

本实验筛选的大孔吸附树脂 NKA-II 对乳酸具有较好的吸附作用, 且有良好的选择性, 能够作为从谷氨酸和乳酸混合液中把乳酸分离出来的介质. 实验得出以下结论:

(1) 大孔吸附树脂 NKA-II 在乳酸和谷氨酸混合液中对乳酸的吸附选择性较好, 其选择性系数 K_G^L 为 16.19, 远大于 1, 可以作为其混合体系的分离介质.

(2) 由不同温度下的吸附等温方程可知, 温度升高, 大孔吸附树脂 NKA-II 对乳酸的吸附量减少, 吸附过程为放热过程.

(3) 大孔吸附树脂 NKA-II 对乳酸的吸附过程符合 Freundlich 吸附等温方程, 方程的特征参数 $n > 1$, 是一种“优惠吸附”.

(4) 大孔吸附树脂 NKA-II 对乳酸的吸附过程以粒内扩散为主要控制步骤, 符合 Kannan-Sundaram 粒内扩

散模型, 粒内扩散速率常数 $k_p = 6.0129 \text{ mg} \cdot \text{min}^{0.5} / \text{g}$, 扩散速率不高. 同时, 粒内扩散不是该过程唯一的控制步骤.

(5) 26 °C 时的动态实验表明, 流量对穿透曲线有影响, 随着流量的增大, 穿透体积减小, 料液的处理量亦减少, 吸附柱的利用率降低, 其最佳流量为 0.8~0.9 mL/min. 从乳酸和谷氨酸的混合液的动态实验可以看出, NKA-II 能够将乳酸和谷氨酸的混合液液中的乳酸分离出来.

参考文献:

- [1] 吴宇琼, 李定或, 吴元欣. 发酵法生产乳酸的提取与精制研究进展 [J]. 食品工业科技, 2003, 24(1): 106-108.
- [2] Frieling P von, Schügerl K. Recovery of Lactic Acid from Aqueous Model Solutions and Fermentation Broths [J]. Process Biochem., 1999, 34: 685-696.
- [3] Thang V H, Koschuh W, Kulbe K D. Detailed Investigation of an Electrolytic Process during the Separation of Lactic Acid from a Complex Mixture [J]. J. Membr. Sci., 2005, 249: 173-182.
- [4] 薛正莲, 叶生梅, 张继民. 热再生树脂对乳酸吸附解吸性能的初探 [J]. 四川食品与发酵, 2002, 38(4): 24-26.
- [5] Davison B H, Scott C D. A Proposed Biparticle Fluidized-bed for Lactic Acid Fermentation and Simultaneous Adsorption [J]. Biotechnol. Bioeng., 1992, 39(3): 365-368.
- [6] Chen C C, Ju L K. Adsorption Characteristics of Polyvinylpyridine and Activated Carbon for Lactic Acid Recovery from Fermentation of *Lactobacillus delbrueckii* [J]. Sep. Sci. Technol., 1998, 33(10): 1423-1437.
- [7] Lee H J, Xie Y, Koo Y M. Separation of Lactic Acid and Acetic Acid Using a Four-zone SMB [J]. Biotechnol. Prog., 2004, 20(1): 179-192.
- [8] Aljundi I H, Belovich J M, Talu O. Adsorption of Lactic Acid from Fermentation Broth and Aqueous Solutions on Zeolite Molecular Sieves [J]. Chem. Eng. Sci., 2005, 60: 5004-5009.
- [9] GB2023-2003. 食品添加剂-乳酸 [S].
- [10] 孙彦. 生物分离工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 137-138.
- [11] 姜志新, 谌竟清, 宋正孝. 离子交换分离工程 [M]. 天津: 天津大学出版社, 1992. 55-56.
- [12] 赵振国. 吸附作用应用原理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 200.
- [13] 李鑫, 曾庆轩, 冯长根. 离子交换纤维对偏二甲肼的吸附性能 [J]. 过程工程学报, 2006, 6(1): 23-27.
- [14] 何炳林, 黄文强. 离子交换与吸附树脂 [M]. 上海: 上海科学教育出版社, 1995. 174.
- [15] 李明愉, 曾庆轩, 冯长根. 离子交换纤维对阿魏酸的吸附和解吸研究 [J]. 中国药学杂志, 2005, 40(1): 40-43.
- [16] 王学江, 张全兴, 李爱民. NDA-100 大孔树脂对水溶液中水杨酸的吸附行为研究 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(5): 658-660.

Adsorption and Separation of Lactic Acid and Glutamic Acid by Macroporous Resin Adsorbents

YANG Peng-bo^{1,2}, ZHANG Xiao-yan¹, CONG Wei¹, WANG Fang², DENG Li²

(1. State Key Lab. Biochem. Eng., Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;
2. Key Lab. Bioprocess of Beijing, Col. Life Sci. & Technol., Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: The macroporous resin adsorbent NKA-II was selected to separate lactic acid from the residual solution of fermentation. Adsorption behavior and selectivity of NKA-II were studied by using static and dynamic adsorption methods, including the static equilibrium adsorption and adsorption thermodynamic properties. The results showed that the adsorbent selectivity coefficient (K_G^I) of lactic acid and glutamic acid equaled to 16.19. The adsorption data were correlated with Freundlich isotherm equation, and the correlative coefficients (R^2) all exceeded 0.99 at 26 and 48 °C. Characteristic parameter of this equation $n > 1$. Besides, the kinetics of adsorption of NKA-II was mainly controlled by intra-particle diffusion, and it fit well into the Kannan–Sundaram intra-particle diffusion model. The intra-particle diffusion rate coefficient k_p was 6.0129 mg·min^{0.5}/g. Dynamic adsorption results showed that the breakthrough volume of L-lactic acid was 140.6 mL, being 110.6 mL over the breakthrough volume of glutamic acid. So macroporous adsorbent NKA-II could be employed as the sorbent to separate lactic acid and glutamic acid.

Key words: macroporous adsorbent; lactic acid; adsorption behavior; glutamic acid