

2-噻吩乙酸在3种树脂上的吸附行为研究*

魏瑞霞 陈金龙** 陈连龙 费正皓 李爱民 张全兴

(污染控制与资源化国家重点实验室 南京大学环境工程系 南京 210093)

摘 要 通过静态吸附实验,研究了 XAD-4、NDA-100 和 ND-90 吸附树脂对水溶液中 2-噻吩乙酸的吸附热力学及动力学特性,结果表明,2-噻吩乙酸在 XAD-4 树脂上是单层吸附,符合 Langmuir 等温吸附方程,吸附过程符合准一级动力学吸附方程.2-噻吩乙酸在 NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附也能用 Langmuir 等温吸附方程表示,但并不只是单层吸附而主要是由毛细管凝聚和微孔填充作用造成的,吸附过程可分为大孔和中孔区的吸附以及微孔区的吸附两个阶段,两个阶段都符合准一级动力学吸附方程.

关键词 2-噻吩乙酸, 吸附, 树脂, 热力学, 动力学

2-噻吩乙酸是抗菌类药物先锋霉素Ⅰ和先锋霉素Ⅱ的中间体,生产过程中排放出大量的有毒有机废水,国内外文献报道的有毒有机废水处理方法有湿式氧化法、催化氧化法、焚烧法、浓缩法、萃取法、电渗析和反渗透法、混凝沉淀法以及稀释放生化法等,但由于技术或经济上的原因,这些方法适用面较窄、运行成本高、推广面较小.用吸附法处理有毒有机废水也有报道^[1],采用的吸附剂有活性炭、改性纤维素、粘土、硅胶、树脂等,其中活性炭是良好的吸附剂,但其再生困难,机械强度差,使用寿命短,运行成本高,因而影响了它在工业上的推广应用^[2].吸附树脂是内部呈交联网状结构的高分子球状体,具有可选择的孔结构和表面化学结构,通过分子间的非共价键力,它可以从水溶液中吸附有机溶质,并可方便地洗脱再生,从而实现废水中有机物的富集、分离和回收^[3-5],因此,用树脂法处理化工废水受到企业和科学工作者的广泛关注.本文研究了 XAD-4、NDA-100 和 ND-90 3 种不同类型的树脂对水溶液中 2-噻吩乙

酸的吸附热力学和动力学规律,为树脂在 2-噻吩乙酸生产废水处理中的应用进行了相关理论探索.

1 实验部分

1.1 实验材料及仪器

THZ-C 恒温振荡器(太仓市光明实验分析仪器厂);高效液相色谱仪(HPLC)(Waters Assoc., Milford, MA, USA); XAD-4 树脂(Rohm-Haas Company, Philadelphia, USA), NDA-100 和 ND-90 树脂(南京大学环境学院);3 种树脂的理化性质参数如表 1;2-噻吩乙酸(分析纯, New Jersey, USA),其物理性质参数如表 2.

1.2 实验方法

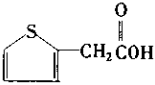
1.2.1 树脂的预处理 3 种树脂均用乙醇抽提 8 h,以除去树脂大孔内残留的溶剂及其它杂质,然后在 333K 下真空干燥 2 h,以下统称为干树脂; XAD-4 树脂使用前首先用 0.5 mL 甲醇润湿,然后用去离子水洗涤 3 次.

Table 1 Characteristic properties of XAD-4、NDA-100 and ND-90 resin

Property	XAD-4	NDA-100	ND-90
Structure	Polystyrene	Polystyrene	Amido group modified polystyrene
Polarity	Non polar	Low polar	Moderate polar
BET surface area (m ² /g)	780	934.0	819.1
Average diameter (nm)	5.83	1.7	1.5
Average particle size (nm) (mm)	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6	0.4 ~ 0.6
Surface area of micropore (m ² /g)	3.1	561.3	463.3
Color	White	Brown	Light brown
Contents of oxygen (mmol/g)	0	2.9	1.5
Contents of nitrogen (mmol/g)	0	0	1.51

* 2003-06-11 收稿,2003-08-04 修稿;国家自然科学基金资助项目(基金号 20274017);** 通讯联系人

Table 2 Physical properties of 2-thiopheneacetic acid

Adsorbate	Structure	pKa [*]	Solubility in water [*] (mg/L)		
			288 K	303 K	318 K
2-Thiopheneacetic acid		3.85	1540	7580	8560

^{*} Measured according to the Ref.[6]

1.2.2 pH 值对吸附平衡的影响 在 9 个 250 mL 磨口烧瓶内,分别加入 100 mL 浓度为 800 mg/L 不同 pH 值(用 0.01 mol/L 的氢氧化钠溶液和 0.01 mol/L 的 HCl 溶液调节 pH 值)的 2-噻吩乙酸水溶液和 0.1 g 同种干树脂,然后一同置于恒温振荡器中,在 15℃ 下以振荡速度为 200 r/min 振荡至吸附平衡,测定各自的平衡吸附浓度,计算对应的平衡吸附量。

1.2.3 温度对吸附的影响 在 5 个 250 mL 磨口烧瓶内,分别投入盛有 100 mL pH 值均为 4(用 0.01 mol/L 的氢氧化钠溶液调节 pH 值)和不同浓度的 2-噻吩乙酸水溶液以及 0.1 g 同种干树脂,然后一同置于恒温振荡器中,依次在 15℃、30℃、45℃ 下,以振荡速度为 200 r/min 振荡至吸附平衡,测定各自的平衡吸附浓度,计算对应的平衡吸附量。

1.2.4 2-噻吩乙酸在树脂上的吸附动力学研究 在两个 250 mL 磨口烧瓶内,投入盛有 100 mL 浓度为 800 mg/L 2-噻吩乙酸水溶液和 0.1 g 同种干树脂,分别在 15℃、30℃ 下,以振荡速度为 200 r/min 振荡,在不同时刻测定溶液的浓度,计算对应的吸附量。

1.2.5 分析方法 2-噻吩乙酸浓度用高效液相色谱仪(HPLC)测定,流动相为乙腈:磷酸溶液=44:56(体积比),流速 1 mL/min,检测波长为 225 nm.2-噻吩乙酸在树脂上的吸附量根据 $q_e = (c_0 - c_e) V / W$ 计算,其中 c_0 、 c_e 分别为 2-噻吩乙酸水溶液的初始质量浓度和吸附平衡后 2-噻吩乙酸水溶液的质量浓度(mg/L), V 为溶液体积(L), W 为树脂重量(g)。

2 结果与讨论

固体-液体的吸附是十分复杂的,除了和气体-固体吸附同样受温度、浓度因素的影响外,吸附作用还与吸附剂的物理与化学性质,如树脂的比表面积、极性、孔结构等,及溶质的如溶解度、极性,以及溶液 pH 值等因素有关^[7],同时还取决于

溶质、溶剂与吸附剂的相互作用及溶液中和表面区溶质、溶剂与吸附剂的相互作用等^[8]。

2.1 溶液的 pH 值对吸附的影响

溶液的 pH 值对吸附质在水中存在的状态(分子、离子、络合物)及溶解度有影响,从而对吸附效果有影响,2-噻吩乙酸溶液 pH 值对吸附的影响见图 1.由图 1 可以看出,2-噻吩乙酸在 XAD-4、NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附都是随着溶液 pH 值的增大而减小,溶液 pH 值越小越有利于 2-噻吩乙酸以分子态存在,这样有利于树脂对它的吸附,当 pH 值增大到 4.0 后,pH 值对吸附的影响就更大,根据酸碱离解平衡理论 2-噻吩乙酸离子态物质(α_{ions})所占的比例 $\alpha_{ions} = 1 / (1 + 10^{(pKa - pH)})$,随着 pH 值的增大逐渐增加,降低了树脂对 2-噻吩乙酸的吸附亲和力,因而吸附量随之下降。

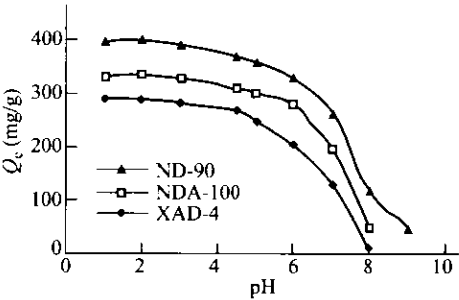


Fig. 1 The adsorption capacities of 2-thiopheneacetic acid on three types of resin at different pH

2.2 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上不同温度的吸附平衡

吸附等温线是在恒温条件下平衡吸附量与溶液平衡浓度的关系,图 2 是 3 种不同温度下 2-噻吩乙酸在 3 种不同树脂上的吸附等温线,同时我们用 Langmuir ($c_e / Q_e = c_e / q_m + 1 / K_L q_m$) 和 Freundlich ($\ln q_e = \ln K_f + 1/n \ln c_e$) 等温方程对图 2 数据拟合,结果见表 3。

由图 2 可以看出 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附量随着吸附温度的升高而降低,因为温度升

高 2-噻吩乙酸的溶解度增大,也就是疏水性下降,与树脂的亲合力减小,另外因为此吸附过程是放热过程(详见 2.3 节的解释),温度的升高不利于吸附的进行,表明 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附作用力随着温度的升高而减小。

由图 2 和表 3 知,相同条件下 2-噻吩乙酸在 XAD-4、NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附量依次增大,而且增大的幅度大于 15%,从 3 种树脂的比表面积来看相差并不大,所以造成吸附量差别的主要原因并不是比表面积的大小,而是 3 种树脂的结构、极性的不同决定的。首先由表 1 可知 XAD-4 树脂主要是大孔,NDA-100 和 ND-90 树脂微孔占了很大一部分,而微孔除了有效的比表面积吸附外,还有微孔填充和毛细管凝聚作用对吸

附的贡献,另外 2-噻吩乙酸由它的 pKa 值可以看出是极性较大的羧酸,XAD-4 树脂没有极性,它吸附 2-噻吩乙酸的作用力主要是 π - π 作用和范德华力,而 NDA-100 和 ND-90 树脂都含有羰基,羰基与 2-噻吩乙酸的羧基可以形成弱的氢键,这样就加大了它们对 2-噻吩乙酸的吸附作用力,所以 2-噻吩乙酸在 NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附量比在 XAD-4 树脂上要大很多。2-噻吩乙酸在 NDA-100 树脂上吸附量低于 ND-90 树脂,是因为 ND-90 树脂分子中除含有羰基外还含有酰胺基,结合相关的文献报道^[9,10],可以认为它吸附 2-噻吩乙酸时,2-噻吩乙酸与 ND-90 树脂的酰胺基发生氢键作用并形成络合化合物。

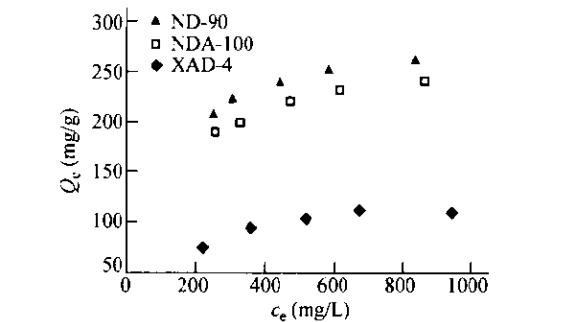
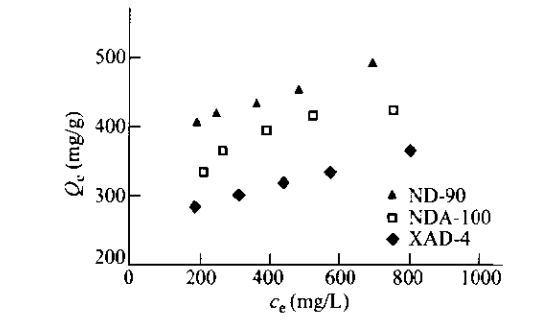


Fig. 2a Equilibrium adsorption isotherms at 288 K for 2-thiopheneacetic acid on the three resins

Fig. 2b Equilibrium adsorption isotherms at 303 K for 2-thiopheneacetic acid on the three resins

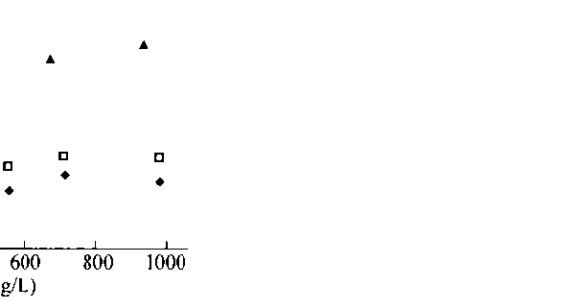
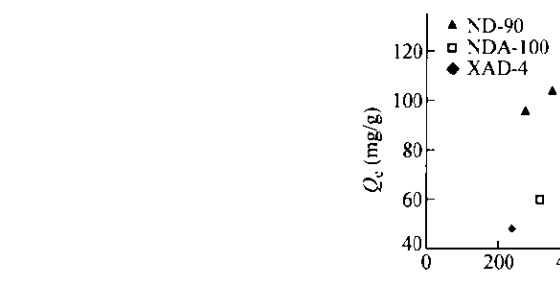


Fig. 2c Equilibrium adsorption isotherms at 318 K for 2-thiopheneacetic acid on the three resins

Table 3 The regression equations for Langmuir and Freundlich isotherms							
Adsorbents	T (K)	Langmuir isotherm		q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	Freundlich isotherm	R^2
		$c_e/Q_e = c_e/q_m + 1/K_L q_m$	R^2			$\ln Q_e = 1/n \ln c_e + \ln K_F$	
XAD-4	288	$c_e/Q_e = 0.0025c_e + 0.2408$	0.9939	400.00	0.0103	$\ln Q_e = 0.1678 \ln c_e + 4.7594$	0.9672
	303	$c_e/Q_e = 0.0078c_e + 1.0254$	0.9921	128.21	0.0076	$\ln Q_e = 0.2668 \ln c_e + 2.9374$	0.8866
	318	$c_e/Q_e = 0.0125c_e + 1.9059$	0.9859	80.00	0.0065	$\ln Q_e = 0.2699 \ln c_e + 2.411$	0.8662
NDA-100	288	$c_e/Q_e = 0.0021c_e + 0.166$	0.9991	476.19	0.0126	$\ln Q_e = 0.1815 \ln c_e - 4.873$	0.9244
	303	$c_e/Q_e = 0.0037c_e + 0.4255$	0.9999	270.27	0.0087	$\ln Q_e = 0.2028 \ln c_e + 4.1272$	0.9827
	318	$c_e/Q_e = 0.0111c_e + 1.5857$	0.9931	90.09	0.0070	$\ln Q_e = 0.2345 \ln c_e + 2.774$	0.8781
ND-90	288	$c_e/Q_e = 0.0019c_e + 0.1357$	0.9959	526.32	0.0140	$\ln Q_e = 0.147 \ln c_e + 5.2271$	0.9673
	303	$c_e/Q_e = 0.0034c_e + 0.3298$	0.9998	294.12	0.0103	$\ln Q_e = 0.187 \ln c_e + 4.3295$	0.9581
	318	$c_e/Q_e = 0.0072c_e + 0.8544$	0.9999	138.89	0.0084	$\ln Q_e = 0.1972 \ln c_e + 3.478$	0.9679

由图 2 可看出,2-噻吩乙酸在 XAD-4、NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附量并不都是随着浓度的增大而增加.这主要取决于溶质、溶剂与吸附剂的相互作用.由表 2 可知 2-噻吩乙酸在 288 K 时溶解度较小,所以溶剂对吸附的影响很小,吸附量随着浓度的增大而增加.303 K 和 318 K 时的溶解度很大,当溶液浓度低时,2-噻吩乙酸在树脂上的吸附虽然受到溶剂在树脂上吸附的影响,但是树脂对 2-噻吩乙酸的有效吸附位点还足够用,所以在低浓度范围内吸附量随着浓度的增大而增加,而当浓度增大到没有足够的有效吸附位点时,溶剂在树脂上的吸附就占了优势,它夺取了 2-噻吩乙酸的吸附位点,相当于混合组份的吸附,从而导致吸附量随着浓度的增大而减小^[11].3 种树脂中 XAD-4 树脂对 2-噻吩乙酸的吸附作用力最小,所以 303 K、318 K,吸附量随着浓度的增大而减小,NDA-100 和 ND-90 树脂对 2-噻吩乙酸的吸附作用力比 XAD-4 树脂大很多,所以 303 K 时吸附量仍然随着浓度的增大而增加,但是 ND-90 树脂与 2-噻吩乙酸之间有较强的氢键作用,所以 318 K 时 NDA-100 树脂的吸附量随着浓度的增大而减小,ND-90 树脂的吸附量仍然随着浓度的增大而增大,但是增大的趋势也已经减缓了很多.

表 3 的结果表明 Langmuir 等温方程能很好地描述 XAD-4、NDA-100 和 ND-90 树脂对 2-噻吩乙酸的吸附(R^2 都大于 0.98),Langmuir 等温方程的 q_m (即最大吸附量)和 K_L 随着温度的升高而减小,这也说明温度升高树脂对 2-噻吩乙酸的吸附能力减小.在实验浓度范围内 特征分离系数 [$R_L = 1/(1 + K_L c_0)$], $0 < R_L < 1$,说明 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附为优惠吸附^[12].对于 XAD-4 树脂,因为其微孔很少,没有极性基团,所以 XAD-4

树脂吸附 2-噻吩乙酸主要是靠分子间作用力和 π - π 作用力,比表面积是决定其吸附能力的决定性因素.2-噻吩乙酸在它上的吸附是单层吸附,但是对于 NDA-100 和 ND-90 树脂来说,树脂的微孔占相当大的比例,所以微孔区对吸附起了很大的作用,而微孔对物质的吸附并不只是简单的单层吸附,更重要的是毛细管凝聚和微孔填充作用^[13].

2.3 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上吸附的热力学研究

Langmuir 等温方程中的吸附系数 K_L 随温度和吸附热而变.其关系式为 $\ln(K_L) = \ln(K_0) + (-\Delta H/R_T)$,吸附焓变可由此方程得出, ΔH 是等量吸附焓变, R 是理想气体常数(8.314 kJ/mol·K), T 是绝对温度(K), ΔH 通过 $\ln(K_L)$ 对 $1/T$ 作图的斜率推出.2-噻吩乙酸与 XAD-4、NDA-100 和 ND-9 树脂的 $\ln(K_L)$ 对 $1/T$ 的关系图见图 3.由吉布斯方程得吸附自由能变为 $\Delta G = -RT\ln K$,式中 K 代表平衡吸附系数,在本实验中为 Langmuir 等温方程中的吸附系数 K_L ,与吸附相关的熵的变化可以通过 Gibbs-Helmholtz 方程计算得到^[14-15] $\Delta S = (\Delta H - \Delta G)/T$.计算的等量吸附焓变、自由能变及熵变列于表 4.

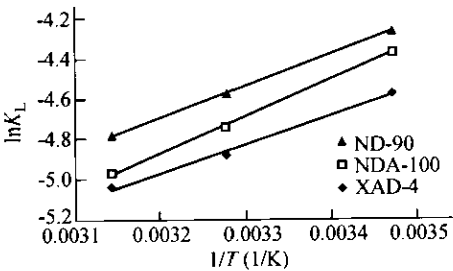


Fig. 3 Determination of isosteric enthalpy changes of the adsorption of 2-thiopheneacetic acid on the three resins

Table 4 Isosteric enthalpy changes, Gibbs free energy changes and entropy changes of adsorption

Adsorbents	ΔH (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)			ΔS (J/mol·K)		
		288 K	303 K	318 K	283 K	303 K	318 K
XAD-4	- 11. 78	- 17. 45	- 17. 94	- 18. 19	- 19. 70	- 10. 23	- 18. 09
NDA-100	- 14. 99	- 17. 71	- 18. 06	- 18. 48	- 19. 45	- 10. 05	- 18. 05
ND-90	- 12. 98	- 18. 05	- 18. 25	- 18. 73	- 19. 73	- 10. 25	- 18. 09

所有的焓变都是负值,表明是一个放热过程,并且它的最大值 < 40 kJ/mol,表明是一个物理吸附.吸附自由能的变化是吸附优惠性的体现.从表 4 可看出,自由能的变化随温度变化是比较小的,这体现了在吸附容量较低时熵的补偿作用,负的

自由能体现了吸附质倾向于从溶液中吸附到吸附剂的表面.XAD-4、NDA-100、ND-90 树脂吸附 2-噻吩乙酸的自由能变化的绝对值依次增大,表明 XAD-4、NDA-100、ND-90 树脂对 2-噻吩乙酸的亲和力依次增强.负的熵变与 2-噻吩乙酸吸附到树

脂表面相比溶液中运动有较大的限制的行为是一致的。

2.4 2-噻吩乙酸在树脂上的吸附动力学研究

对 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附动力学拟用准一级动力学^[16] (Lagergren 方程 $\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - K_1 t$, K_1 为准一级动力学方程速率常数)和准二级动力学模式^[17] ($1/(q_e - q_t) = 1/q_e + K_2 t$, K_2 为准二级动力学方程速率常数)进行描述。

由图 4 可以看出,XAD-4 树脂吸附 2-噻吩乙酸的 $q-t$ 曲线图只有一个平台,但是 NDA-100 和 ND-90 树脂吸附 2-噻吩乙酸的 $q-t$ 曲线图有两个很明显的平台,我们认为这是由树脂孔径大小不同造成的,由表 1 知 XAD-4 树脂的微孔区很少几乎可以忽略,树脂的孔主要是大孔和中孔,平均孔径较大,所以传质阻力相对较小,吸附速率也就相对较大,而 NDA-100 和 ND-90 树脂的微孔区的比表面积占到总面积的 50% 以上,可见 NDA-100 和 ND-90 树脂的孔除了大孔和中孔外有相当一部分是微孔,树脂吸附物质时先经过大孔和中孔区,大孔和中孔是进入微孔的通道,在大孔和中孔区传质阻力相对较小,吸附速率也就相对较大,微孔区传质阻力较大,吸附速率也就较小,所以 2-噻吩乙酸在 NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附会产生两个平台,第一个平台主要是树脂大孔和中孔区的吸附,第二个平台主要是微孔区的吸附.我们分别对两部分的吸附行为进行了动力学研究,对第一个平台 q_e 取平台拐点对应的值,拟合的动力学参数见表 5。

由表 5 看出,2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附动力学符合准一级动力学 ($R^2 > 0.98$),吸附速率常数 K_1 随着温度升高而增大,说明温度升高吸附速率增大,由图 4 也可以看出温度升高达到吸附平衡的时间大大缩短.由 Arrhenius 公式 $K = K_0 \exp(-E/RT)$ [K 为速率常数 (1/min), K_0 为与温度有关的参数 (1/min), E 为吸附表观活化能 (kJ/mol), R 是理想气体常数 (8.314 kJ/mol·K), T 是绝对温度 (K)] 计算得到 3 种树脂吸附 2-噻吩乙酸的表观活化能和 K_0 .从而得到吸附速率常数与温度的关系式(列于表 5).由表 5 可知 XAD-4 树脂吸附 2-噻吩乙酸的过程所需的表观活化能最

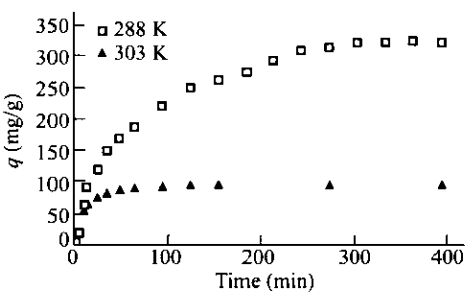


Fig. 4a The graph of adsorption rate of 2-thiopheneacetic acid on XAD-4 resin

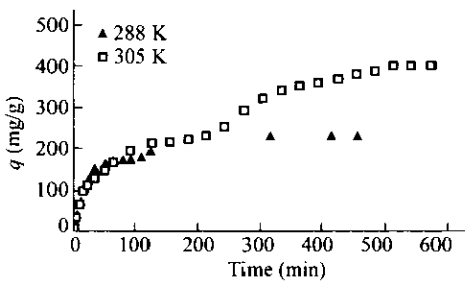


Fig. 4b The graph of adsorption rate of 2-thiopheneacetic acid on NDA-100 resin

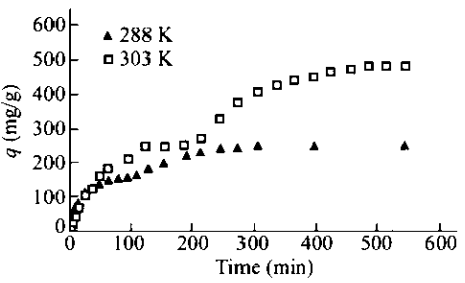


Fig. 4c The graph of adsorption rate of 2-thiopheneacetic acid on ND-90 resin

小,NDA-100 树脂所需的表观活化能最大.我们认为这是因为 XAD-4 树脂吸附 2-噻吩乙酸是纯粹的物理过程,所需的能量较小,而 NDA-100 和 ND-90 树脂因吸附过程中有氢键形成,所以吸附过程趋向于化学过程,所以所需的能量较大,至于 NDA-100 树脂所需的表观活化能比 ND-90 树脂大,是因为 ND-90 树脂分子中含有酰胺基,2-噻吩乙酸的羧基与 ND-90 树脂的胺基发生氢键作用并形成络合化合物,这种作用力比 2-噻吩乙酸的羧基与羰基形成的氢键的作用力大,所以发生作用时所需的能量较小。

Table 5 The parameters of adsorption kinetics for 2-thiopheneacetic acid on the three resins

Adsorbents	Temperature (K)		$\ln(q_e - q_i) = \ln q_e - K_1 t$		$1/(q_e - q_i) = 1/q_e + K_2 t$		$K_1 = K_0 \exp(-E/RT)$
			$K_1 (1/\text{min}) \times 10^2$	R^2	$K_2 (\text{g}/\text{mg} \cdot \text{min}) \times 10^4$	R^2	
XAD-4	288		1.25	0.9801	5	0.6185	$K_1 = 1.57 \times 10^9 \exp(-61.2/RT)$
	303		4.43	0.9491	136	0.5063	
NDA-100	288	The first flat	2.44	0.9813	8	0.7728	$K_1 = 1.39 \times 10^5 \exp(-37.2/RT)$
	303	The first flat	5.27	0.9889	53	0.5883	
	288	The second flat	0.48	0.9358	0.4	0.5921	$K_1 = 1.54 \times 10^8 \exp(-57.9/RT)$
	303	The second flat	1.59	0.9381	9	0.5941	
ND-90	288	The first flat	1.85	0.9818	3	0.8202	$K_1 = 1.38 \times 10^5 \exp(-37.9/RT)$
	303	The first flat	4.05	0.9824	21	0.6099	
	288	The second flat	0.48	0.9394	0.3	0.6837	$K_1 = 6.24 \times 10^4 \exp(-39.2/RT)$
	303	The second flat	1.08	0.9749	2	0.614	

综上所述,2-噻吩乙酸在 XAD-4 树脂上的吸附等温线符合 Langmuir 等温吸附方程,是单层吸附,吸附过程符合一级动力学吸附方程.2-噻吩乙酸在 XAD-4 树脂上是单层吸附,符合 Langmuir 等温吸附方程,吸附过程符合准一级动力学吸附方程.2-噻吩乙酸在 NDA-100 和 ND-90 树脂上的吸附也能用 Langmuir 等温吸附方程表示,但并不只是单层吸附而主要是由毛细管凝聚和微孔填充

作用造成的.吸附过程可分为大孔和中孔区的吸附以及微孔区的吸附两个阶段,两个阶段都符合一级动力学吸附方程.2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附量都随着温度的升高而减小,表现为放热的物理吸附过程,吸附并不都是随着浓度的升高而增大,这主要取决于溶质、溶剂与吸附剂的相互作用.

REFERENCES

1 Payne G F, Shuler M L. Biotechnol Bioeng, 1988, 31: 922 ~ 928

2 Zhang Quanxing (张全兴), Liu Tianhua (刘天华). Chemical Engineering Environmental Protect (化工环保), 1994, 14(6): 344 ~ 347; 1995, 15(1): 17 ~ 20

3 Xu Z Y, Zhang Q X, Wu C L, Wang L S. Chemosphere, 1997, 35(10): 2269 ~ 2276

4 Xu Z Y, Zhang Q X, Chen J L, Wang L S, Anderson G K. Chemosphere, 1999, 38(9): 2003 ~ 2011

5 Chen Jinlong (陈金龙), Shen Chunyin (沈春银), Liu Ding lun (刘定伦). Acta Polymerica Sinica (高分子学报), 1994, (2): 168 ~ 174

6 Lyman W J. Handbook of Chemical Property Estimation Methods-Environmental Behavior of Organic Compounds. New York: McGraw-Hill Book Company, 1982. 106 ~ 112; 164 ~ 170

7 David O. Cooney Adsorption Design for Wastewater Treatment. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, c1999. 29 ~ 37

8 Liu Jiaqi (刘家棋). Separational Process and Technology (分离过程与技术). Tianjin (天津): Tianjin University Press (天津大学出版社), 2001. 20 ~ 25

9 Anasthas H M, Gaikar V G. React Funct Polym, 2001, 47(1): 23 ~ 35

10 Hiroyuki Yoshida, Nonboru Kishimoto. Chem Engr Sci, 1995, 50(14): 2203 ~ 2210

11 Giles C H, Macewan T H, Nakhwa S N, Smith D. J Chem Soc, 1960, 3973 ~ 3993

12 Magady Y H, Daifullah A A. Waste Management, 1988, 18: 219 ~ 226

13 Zhang Yanhao (章燕豪). Adsorption (吸附作用). Shanghai (上海): Shanghai Science and Technology Reference Press (上海科学技术文献出版社), 1989. 125 ~ 135

14 Garcla-Delgado R A, Cotouelo-Minguez L M, Rodfiguez J J. Sep Sci and Technol, 1992, 27(7): 975 ~ 987

15 Bell John P, Tsezos Marios. J Water Pollut Control Fed, 1987, 59: 191 ~ 198

16 Lagergren S. Handlingar, 1898, 24(4): 1 ~ 39

17 Weber Jr W J, Morris J C. Sanit Eng Div Am Soc Civ Eng, 1963, 89: 31 ~ 60

STUDY OF ADSORPTION OF 2-THIOPHENEACETIC ACID ON THREE ADSORBENT RESINS

WEI Ruixia, CHEN Jinlong, CHEN Lianlong, FEI Zhenghao, LI Aimin, ZHANG Quanxing

(*State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Department of Environmental Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract Studies on the adsorption thermodynamics and kinetics of 2-thiopheneacetic acid by XAD-4, NDA-100 and ND-90 resins were carried out through static experiments. The results showed that the adsorption of 2-thiopheneacetic acid on XAD-4 resin was a Langmuir monolayer type one, and the adsorption rate implied a first order kinetics. The adsorption data of 2-thiopheneacetic acid on NDA-100 and ND-90 resins were also described well by the Langmuir isotherm, which was caused by the capillary condensation and the volume filling of micropores besides the monolayer adsorption. The adsorption of 2-thiopheneacetic acid on NDA-100 and ND-90 resins is carried out in two regions the macropore/mesopore region and the micropore one. The adsorption rates in the two regions both fulfill the first order kinetics.

Key words 2-Thiopheneacetic acid, Adsorption, Resin, Thermodynamics, Kinetics