

改性竹炭对南极磷虾酶解液的除氟效果

杨晓丹, 张静茹, 李燕*

(上海海洋大学 食品学院, 上海 201603)

摘要: 利用竹炭为原料, 得到除氟效果较好的除氟剂, 用以去除南极磷虾酶解液中的氟。用 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 溶液作为竹炭的改性剂, 使得竹炭载铁, 对比竹炭改性前后的除氟效果, 并研究了竹炭颗粒度、pH 值、时间、温度及吸附剂投入量 5 个参数对吸附效果的影响, 得到最佳除氟条件。通过对吸附等温模型、热力学参数和吸附动力学模型的分析, 结合参数以及模型, 分析了改性竹炭的除氟原理。结果表明, 改性竹炭除氟效果远高于未改性的竹炭, 改性竹炭在南极磷虾酶解液中的最佳吸附条件为: 吸附剂投放量 0.01 g/mL, 吸附温度 40 °C, 吸附时间 1 h, 吸附剂颗粒度 40~60 目, 除氟率达到 73%, 酶解液氟离子质量浓度由 18.7 mg/L 降至 5.1 mg/L, 氟质量浓度在安全食用范围内。

关键词: 竹炭; 南极磷虾; 除氟; 载铁改性

中图分类号: TQ 424 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2018)07—0707—07

Defluoridation from Antarctic Krill Hydrolyzate Using Iron-Impregnated Bamboo Charcoal

YANG Xiaodan, ZHANG Jinru, LI Yan*

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201603, China)

Abstract: High-fluorine is the potential restriction factor in application of Antarctic Krill. The study explores the potential of iron-impregnated bamboo charcoal for the removal of fluoride from Antarctic Krill hydrolyzate. Batch experiments were conducted to establish the optimal conditions like particle size, pH, contact time, temperature and dose of the adsorbent. The optimal conditions were as follows: adsorbent additive dosage 0.01 g/mL, contact time 60 min, temperature 40 °C, particle size 40-60 mesh, initial pH. Fluoride level of hydrolyzate can be reduced to 5.1 mg/L under the optimum condition when initial fluoride concentration of 18.7 mg/L is employed. Removal efficiency was promoted to 73% using modified bamboo charcoal, which is better than unmodified one.

Keywords: bamboo charcoal, Antarctic Krill, defluoridation, iron-impregnation

收稿日期: 2016-03-30

基金项目: 国家 863 计划项目(2011AA090801)。

* 通信作者: 李燕(1965—), 女, 上海人, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事生物活性物质的分离纯化及应用研究。

E-mail: liyan@shou.edu.cn

引用本文: 杨晓丹, 张静茹, 李燕. 改性竹炭对南极磷虾酶解液的除氟效果[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(07): 707-713.

南极磷虾中含有丰富的营养物质,具有较高的利用价值,然而南极磷虾中较高的氟含量一直制约着其在食品领域的应用^[1-3],因此研究南极磷虾的除氟方法意义重大。

南极磷虾中的氟脱除方法一直是国内外探讨的热点问题^[4-7]。除氟方法有很多^[8],某些方法,如沉淀法、膜过滤法、电渗析法存在不完全吸附、操作复杂、高成本以及产生一些有毒物或需要处理的副产物等缺点^[9],而吸附法具有吸附材料多样性以及除氟率较高的优点,被广泛应用。为达到环保、低成本的目的,利用天然吸附剂包括一些工农业废弃物除氟也能得到较好的吸附效果。其中,竹炭属于农业副产物,是一种多孔性材料,作为天然的吸附剂,应用广泛^[9-12]。

1 材料与方法

1.1 材料

南极磷虾:捕于南极 FAO48.2 区, -80 °C 冷冻保存。市售竹炭:颗粒度分别为 3~6 目、6~14 目以及 40~50 目。

木瓜蛋白酶(实测比活力为 32 513 U/g):国药公司产品。

1.2 仪器

氟离子电极(PF-1-01):上海雷磁仪器公司产品;参比电极(232):上海雷磁仪器公司产品;高速冷冻离心机(Sorvall Lynx 4000):赛默飞世尔科技公司产品。

1.3 方法

1.3.1 南极磷虾酶解液的制备 将南极磷虾解冻后,放入组织搅碎机中充分绞碎混匀,然后将匀浆液进行冷冻干燥,粉碎后制得虾粉。参考吕传萍等的研究^[13],通过优化后得到的南极磷虾最佳酶解条件为:用木瓜蛋白酶(实测比活力为 32 513 U/g)酶解南极磷虾,酶解温度 50 °C, pH 值 7.5,酶解时间 6 h, 虾粉和 pH 缓冲液料液质量体积比为 1 g:10 mL,酶添加质量分数 0.53%。

1.3.2 氟含量测定

1)根据国标 GB/T5009.18-2003《食品中氟的检测方法》^[14],绘制氟离子标准曲线。

2)干物质氟含量测定:根据国标 GB/T5009.18-2003《食品中氟的检测方法》中氟离子选择电极法处理南极磷虾干物质,并测定其氟含量。

3)溶液氟含量测定:将 5 mL 待测液放于 50 mL 容量瓶中,加入 10 mL 离子强度缓冲液后,加去离子水至刻度,混匀后倒入 50 mL 的聚乙烯塑料杯进行氟离子含量测定。

1.3.3 改性竹炭对氟的吸附实验 对竹炭进行载铁改性,得到改性竹炭,通过控制竹炭颗粒大小、吸附时间、pH、吸附温度、吸附剂投入量 5 个因素,进行单因素分析,各个因素的控制范围分别为:竹炭颗粒大小(3~6 目、6~14 目以及 40~50 目)、吸附时间(15、30、60、90、120 min)、pH (4,5,6,7,8,9)、温度(25、30、35、40、45、50 °C)、吸附剂投入量(50、100、150、200、250、300、350 mg),待吸附的南极磷虾酶解液 10 mL,恒温振荡器振荡频率为 100 r/min,每组实验设 3 个平行,最终得到最佳吸附条件,并与未改性竹炭除氟效果作对比。

所有吸附平衡后的样品均要进行过滤,每组样品设定 3 个平行,并得到相应条件下的除氟率和吸附容量,计算公式如下:

$$\text{除氟率} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{吸附容量} = \frac{(C_0 - C_t)}{m} \times V \quad (2)$$

式中: C_0 为初始氟质量浓度; C_t 为平衡时氟质量浓度; m 为吸附剂的质量; V 为酶解液的体积。

1.3.4 吸附等温方程 通过作吸附等温方程,可以宏观地了解吸附过程中溶质分子在两相间的关系;通过分析方程中的各个常数,可以了解吸附材料的吸附能力,为材料的改性提供理论依据。

吸附等温方程表示在一定温度下,溶质分子在两相界面上进行吸附达到平衡时它们在两相中浓度之间的关系曲线。其中比较常用的是 Langmuir 和 Freundlich 等温方程。在 30、35 和 40 °C 温度下,绘出初始氟质量浓度分别为 46.8、37.4、26.7、18.7、9.4、6.2、4.7、3.1、2.3 mg/L 对应的 $C_e - C_e/q_e$ 图,根据方程式计算得到饱和吸附容量 q_m 及相对亲和系数 b_0 。并以 $\lg C_e$ 为横坐标, $\lg q_e$ 为纵坐标作图,通过线性回归,由曲线方程式的斜率和截距可以求出 Freundlich 吸附等温式常数 K_f 和 n 。通过比较在不同温度下两种等温式拟合曲线的线性相关系数以及相应参数,以得到最适合该吸附过程的吸附等温模型。

1.3.5 热力学参数分析 参考 Krishna Biswas^[15]和

张再利^[16]的研究,将改性竹炭在 30 ℃(303.15 K)、35 ℃(308.15 K)和 40 ℃(313.15 K) 3 种温度下对南极磷虾酶解液中氟离子进行吸附,并进行热力学特性的研究。计算热力学参数自由能的变化值 ΔG^0 (kJ/mol)、焓变 ΔH^0 (kJ/mol)及熵变 ΔS^0 (J/(mol·K))。

1.3.6 吸附动力学分析 通过动力学分析可以评价溶质的吸附速率,即可确定完成吸附需要的时间。通常采用拟一级吸附动力学模型、拟二级吸附动力学模型以及颗粒内扩散模型来进行研究。

2 结果与讨论

2.1 南极磷虾酶解液中氟含量的测定

称取鲜重为 4 g 南极磷虾,经过干燥处理并进行酶解,过滤得到酶解产物上清液和沉淀,经过冷冻干燥后分别测定酶解产物干物质的氟含量,测得上清液干物质的氟质量分数为 27.07%,而沉淀干物质的氟质量分数为 72.93%,可见大部分氟存在于沉淀中,与文献研究结果一致^[17]。这主要是因为沉淀中含有大量甲壳,并且甲壳是南极磷虾富氟的主要部位^[18]。经过过滤,可以去除南极磷虾酶解液中高达 70%以上的氟,然而从表 1 中可以看出,上清液中仍含有较高的氟含量,达到了 474.2 mg/kg。我国对摄氟安全限量标准为成人每日氟允许摄入量为 3.5 mg/d^[19]。根据酶解液干物质氟含量以及对成人每日的安全摄氟量,若将南极磷虾酶解液制成产品食用,该产品的每日食用量不得超过 7 g。虽然目前国际上没有统一南极磷虾的氟限量标准,但如果因为高氟量而限制南极磷虾产品的摄入量,则不能有效地发挥其营养功能,因此有必要对南极磷虾酶解液进行除氟处理。

2.2 改性竹炭对氟的吸附实验

2.2.1 竹炭颗粒大小对竹炭除氟效果的影响 由图 1 可知,吸附剂投放量 100 mg,投入初始氟浓度为 18.7 mg/L 的酶解液中,恒温振荡器振荡频率为 100 r/min,40 ℃条件下吸附 1 h,发现竹炭颗粒度越细,除氟率越高。说明当吸附材料颗粒度越小,与吸附质的接触面积就越大,发生配位结合和吸附作用的机会就增大,因此选择 40~50 目为竹炭最佳颗粒大小。

2.2.2 吸附时间对竹炭除氟效果的影响 从图中可以看出,选择颗粒度为 40~60 目竹炭,投放量为

100 mg,投入初始氟质量浓度为 18.7 mg/L 的酶解液中,恒温振荡器振荡频率为 100 r/min,在 40 ℃条件下进行吸附,发现随着吸附时间的增加,竹炭的除氟效果也随之增加,在 60 min 后达到吸附平衡。此时,改性竹炭的除氟率达到最大值 72%,同时未改性竹炭的除氟率也达到了最大值 36%,改性竹炭除氟效果明显高于未改性竹炭的除氟效果。在 1 h 前,除氟率随吸附时间增加而增加,这主要是由于竹炭的多孔结构使得吸附初期有充足的吸附位点^[21],有利于氟离子与竹炭的结合,故氟离子浓度减少得较快,并且竹炭的多孔结构使得吸附初期有充足的吸附位点^[20],改性竹炭上的铁离子也能在氟环境中较快地与氟离子配位结合;随着吸附的进行,竹炭吸附位点逐渐趋于饱和,并且浓度梯度的减小也使得吸附速率减慢。因此选择 60 min 作为最佳吸附时间。

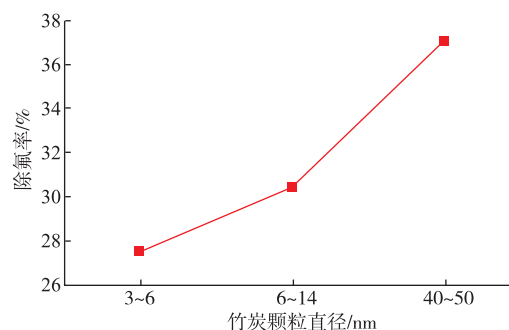


图 1 颗粒直径对除氟效果的影响

Fig. 1 Effect of particle size on the removal of F^-

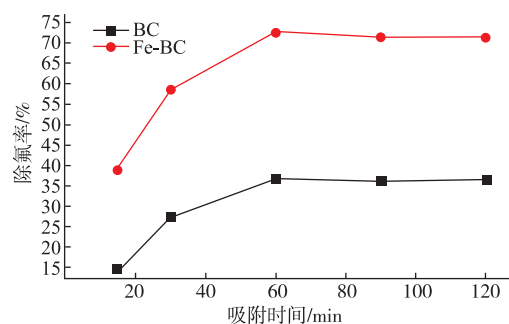


图 2 吸附时间对除氟效果的影响

Fig. 2 Effect of contact time on the removal of F^-

2.2.3 pH 对竹炭除氟效果的影响 从图中可以看出,选择颗粒度为 40~60 目竹炭,投放量为 100 mg,投入初始氟质量浓度为 18.7 mg/L 的酶解液中,恒温振荡器振荡频率为 100 r/min,在 40 ℃条件下进

行吸附,发现随着溶液 pH 值的增加,未改性竹炭的除氟率在减少,主要是因为当溶液 pH 较大时,由于溶液中大量存在的 OH^- 与 F^- 的竞争关系,抑制了竹炭对 F^- 的吸附;而在 pH 较小时, H^+ 浓度增加促进生成 HF ,增加了脱氟效果,所以在 pH 为 4 时,除氟率达到最大值,然而溶液中 HF 会被人体吸收,具有一定毒性,容易使骨骼、牙齿畸形^[20],故不宜选择较小的 pH 值。相比较,改性竹炭的除氟率变化趋势为先增加后减小,由于当 pH 较小时,溶液中大量存在的 H^+ 会与 Fe^{3+} 产生竞争, H^+ 阻止了具有较高结合率的 $(\text{FeF}_6)^{3-}$ 的生成,当 pH 较大时, OH^- 与 F^- 的竞争关系导致除氟率较低。由于 pH 在 7~8 范围内除氟率均变化不大,因此选择 pH 7~8 都可以作为最佳 pH 值范围,初始酶解液的 pH 值为 7.5,故吸附时不需要改变酶解液的 pH 值。

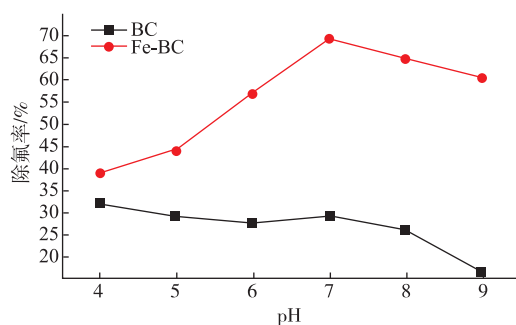


图 3 pH 对除氟效果的影响

Fig. 3 Effect of pH on the removal of F^-

2.2.4 温度对竹炭除氟效果的影响 由上图可以看出,选择颗粒度为 40~60 目竹炭,投放量为 100 mg,投入初始氟质量浓度为 18.7 mg/L 的酶解液中,恒温振荡器振荡频率为 100 r/min,吸附 1 h 后,发现除氟率随温度增加而增加,在 40 °C 时改性竹炭的除氟率达到最大值 73%,而未改性竹炭的最大除氟率为 34%,可见在相同温度条件下改性竹炭除氟效果高于未改性竹炭。之所以出现这种变化趋势,主要是因为当温度较低时,活化能较低,部分分子未被活化,反应不够充分,氟离子与竹炭的接触几率较小,导致溶液中仍存在大量未被吸附的氟离子;当到达一定温度后,达到了分子反应所需的活化能,活化分子增多,且分子热运动剧烈,反应速度加快,当吸附量达到了饱和吸附量时,除氟率趋于稳定,因此选择 40 °C 为最佳吸附温度。

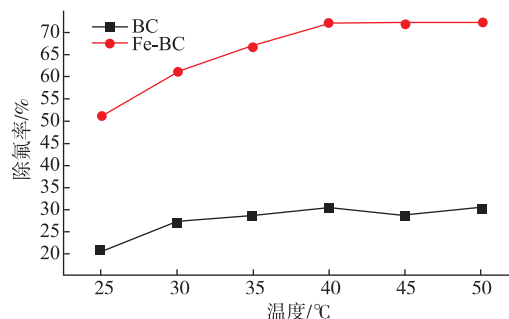


图 4 温度对除氟效果的影响

Fig. 4 Effect of temperature on the removal of F^-

2.2.5 吸附剂投入量对竹炭除氟效果的影响 由图可以看出,选择颗粒度为 40~60 目竹炭,用不同量的吸附剂,投入初始氟质量浓度为 18.7 mg/L 的酶解液中,恒温振荡器振荡频率为 100 r/min,在 40 °C 条件下进行吸附,吸附 1 h 后,发现随着竹炭投放量的增加,改性竹炭的除氟率和吸附容量均高于未改性竹炭,故改性竹炭的除氟效果明显得到了改良。随着吸附剂投入量的增加,吸附容量逐渐减少,而除氟率逐渐增加。主要是因为当吸附剂投放量较小时,单位质量吸附剂对氟离子吸附量较大,但吸附平衡后氟离子浓度仍然较大,因此吸附容量高而除氟率小,随着投放量的增加,竹炭吸附位点高于氟离子含量,单位质量吸附剂对氟离子的吸附量减小,但总吸附量增加,因此吸附容量小而除氟率较高,当吸附剂投放量高于 100 mg 时,吸附容量和除氟率变化程度较小,较为稳定,且当投放量为 100 mg 时,改性竹炭除氟率达到了 73%,综合考虑,选择 100 mg 为最佳吸附剂投放量。

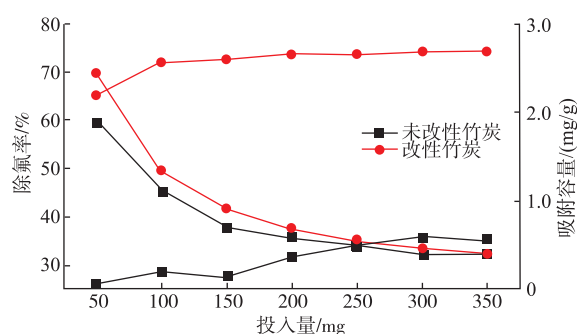


图 5 吸附剂投入量与吸附容量以及除氟率的关系

Fig. 5 Effect of adsorbent dose on adsorption capacity and the removal of F^-

综上所述,当竹炭颗粒度为 40~60 目,在 40 °C 条件下,溶液 pH 值保持原溶液 pH 不变,投入 100

mg 改性竹炭至 10 mL 酶解液中吸附 60 min 后,其除氟性能最佳,得到除氟率为 73%,吸附容量为 1.4 mg/g,酶解液通过除氟后氟离子质量浓度为 5.1 mg/L,实际测得冻干物质氟质量分数为 126.4 mg/kg,按照成人每日摄氟量标准,该产品的最高每日食用量可以提升至 16 g,高于南极磷虾每日摄入量(11 g),达到了可安全食用的目的。

2.3 吸附等温方程

通过拟合两种吸附等温方程式,得到相关参数如表 1 所示,由表中可以看出:3 个温度下 Langmuir 方程中的 $1 > RL > 0$,并且 Freundlich 方程中的 $n > 1$,均证明了该吸附过程为优惠吸附^[22]。通过 Langmuir 等温式可以得到改性竹炭的饱和吸附容量参数 q_m 为 1.2~1.4 mg/g,与试验结果比较接近;而 Freundlich 等温式得到的饱和吸附容量参数 K_f 为 0.6~0.8 mg/g,与实验结果相差较大。通过线性回归,Langmuir 等温方程拟合得到的曲线的相关系数 $R^2=0.999$,说明基本符合直线关系式;而通过 Freundlich 等温式得到的相关系数 $R^2=0.703-0.801$,综上所述,在该条件下用 Langmuir 等温式来描述改性竹炭的吸附平衡关系更为合适。说明该吸附过程属于单层吸附,并且吸附位点确定,吸附一旦产生,不会再进行多重吸附^[21-25]。

2.4 热力学参数

选择 25~40 °C 为温度范围,作出 $1/T$ 与 $\lg K_c$ 的关系曲线,通过计算斜率和截距计算 3 个温度下(30、35、40 °C)的热力学参数,结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出, ΔG_0 为负值,且随着温度的上升,自由能减小,说明该反应具有自发性。 ΔS_0 为正值,说明该吸附过程是吸热的,并且说明在吸附过

程中熵值增加,这可能是由于吸附过程中固液表面的随机性升高,吸附质/剂的结构以及吸附剂的亲和度都有所改变。 ΔH_0 为正值进一步证明该吸附过程是伴随着吸热反应进行的。

2.5 吸附动力学

改性竹炭在吸附初期实现了快速吸附,这主要是因为此时吸附剂的传质阻力较小,且由于溶液中较高的氟浓度,在浓度梯度的推动下, F^- 以较快速度向吸附剂表面移动实现配位吸附;随着表面吸附位点的减少, F^- 逐渐向内表面移动,吸附速率减小;当吸附到 60 min 时,吸附平衡建立。为进一步了解吸附动力学,通常采用拟一级吸附动力学模型、拟二级吸附动力学模型以及颗粒内扩散模型来进行研究和预测。

根据曲线的斜率和截距计算出各自的动力学参数,如表 3 所示。可以看出,准二级动力学方程曲线的相关系数较好,且平衡吸附容量与实验结果相近,因此用准二级动力学模型描述改性竹炭对南极磷虾酶解液的除氟过程较为合适。由准二级动力学的模型假设可推出吸附机理为化学吸附,这种化学吸附涉及吸附剂与吸附质间的电子共用或转移。颗粒内部扩散模型拟合得到直线的延长线没有经过原点,说明吸附过程的控速因子由多个步骤决定,不单由扩散决定,而受膜传质或与吸附位点结合影响。

综上所述,该吸附过程属于单层吸附,且是自发性进行的,属于化学吸附。当竹炭浸渍于溶液中, Fe^{3+} 与氧原子配位结合完成改性;另外,氟离子可与 Fe^{3+} 、 SiO_2 、V 等形成较强的配合物,因此当载铁竹炭吸附含氟溶液时, F^- 与 OH^- 发生配位体交换,形成 Fe^{3+} 与 F^- 的配合物。

表 1 Langmuir 以及 Freundlich 等温方程相关参数

Table 1 Isotherm constants for sorption of fluoride of F^- on modified bamboo charcoal in Antarctic Krill hydrolyzate at different temperature

温度/°C	Langmuir 参数				Freundlich 参数		
	$q_m/(mg/g)$	$b(L/mg)$	R_L	R^2	$K_f(mg/g)$	n	R^2
30	1.2	1.6	0.032	0.999	0.6	4.42	0.703
35	1.3	1.9	0.028	0.999	0.7	4.41	0.718
40	1.5	2.2	0.024	0.999	0.8	4.35	0.801

注: q_m 指每克吸附剂所吸附溶质的极限值,表示单分子层饱和吸附量(mg/g); b 指与活化温度、吸附过程焓变有关的常数(L/mg); R_L 指无因次量分离系数; K_f 表示最大吸附量(mg/g); n 表示吸附强度常数。

表 2 改性竹炭对南极磷虾酶解液中氟的吸附热力学参数

Table 2 Thermodynamic parameters for sorption of fluoride of F⁻ on modified bamboo charcoal in Antarctic Krill hydrolyzate

ΔH_0 (kJ/mol)	ΔS_0 (J/(mol·K))	R^2	ΔG_0 (kJ/mol)		
			30 °C(303.15 K)	35 °C(308.15 K)	40 °C(313.15 K)
10.87	37.55	0.993	-542.924	-689.103	-893.804

注: ΔG_0 (kJ/mol)表示自由能的变化值; ΔH_0 (kJ/mol)表示焓变值; ΔS_0 (J/(mol·K))表示熵变值。

表 3 改性竹炭吸附氟离子的动力学参数

Table 3 Kinetic parameters for adsorption of F⁻ on modified bamboo charcoal in Antarctic Krill hydrolyzate

准一级动力学方程			准二级动力学方程				颗粒内扩散模型	
K_1 (mg/g·min)	q_e (mg/g)	R^2	K_2 (mg/g·min)	q_e (mg/g)	h_0 (mg/g·min)	R^2	K_{it} (mg/g·min ^{0.5})	R^2
7.92×10^{-2}	1.34	0.938	6.15×10^{-2}	1.50	0.138	0.992	0.181	0.981

注: q_e 和 qt 分别表示吸附平衡时与某特定时间 t 对应的吸附容量(mg/g); K_1 表示准一级吸附反应的速率常数(mg/(g·min)); K_2 为准二级动力学模型的吸附速率常数(mg/(g·min)); h_0 为吸附初速度(mg/(g·min)); K_{it} 为颗粒内扩散速率参数(mg/(g·min))。

3 结 语

通过载铁竹炭对南极磷虾酶解液除氟,得到最佳工艺条件为:竹炭颗粒度为40~60目,在40℃条件下,溶液pH值保持原溶液pH不变,投入100mg改性竹炭至10mL酶解液中吸附60min,在最佳除氟条件下除氟率可以达到73%,酶解液通过除氟后

氟离子质量浓度由18.7mg/L降至5.1mg/L,除氟效果明显优于未改性竹炭,并得到了在安全食用范围的南极磷虾酶解液。改性竹炭对南极磷虾酶解液的除氟过程符合Langmuir等温模型,其吸附动力学符合准二级动力学模型,且吸附过程自发进行,因此该吸附剂具有良好的利用前景,推进了南极磷虾酶解液的进一步开发利用。

参考文献

- [1] 任艳. 南极磷虾蛋白加工利用的初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2009.
- [2] 徐恺. 南极磷虾肽抗疲劳、耐缺氧以及抗衰老、提高免疫力实验研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [3] LIU Huisheng, CHI Hai, YANG Xiaoshi, et al. Research progress and safety evaluation on fluoride in *Euphausia superba* [J]. *Marine Fisheries*, 2013, 35(1): 117-22. (in Chinese)
- [4] LV Chuanpin, LI Xueyin, YANG Xianshi, et al. Study on removal efficiency of fluoride from Antarctic krill hydrolyzate using quick lime[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(12): 106-10. (in Chinese)
- [5] LI Hongyan, XUE Changhu, WANG Linshao, et al. Study on defluoridation technology of Antarctic krill hydrolyzate by adding calcium chloride[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011(3): 330-3. (in Chinese)
- [6] 李红艳. 南极磷虾酶解液脱氟技术的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2011.
- [7] XIE C L, HAN S K, SHIM K B, et al. Organic acid extraction of fluoride from antarctic krill *Euphausia superba* [J]. *Fisheries & Aquatic Sciences*, 2012, 15(3): 203-207.
- [8] WU Chengcheng, TIAN Haoting, ZHAO Yapin. Performance of fluoride removal of Fe (III)-modified resin [J]. *Journal of Eastern China Normal University (Natural Science)*, 2011(6): 36-46. (in Chinese)
- [9] GETACHEW T, HUSSEN A, RAO V M. Defluoridation of water by activated carbon prepared from banana (*Musa paradisiaca*) peel and coffee (*Coffea arabica*) husk[J]. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1966, 12(6): 1-105.
- [10] ALAGUMUTHU G, VEERAPUTHIRAN V, VENKATARAMAN R. Fluoride sorption using *Cynodon dactylon* based activated carbon[J]. *Hemijiska Industrija*, 2011, 65(1): 23-35.
- [11] Wei Wang, Xuejiang Wang, Xin Wang, et al. Cr (VI) removal from aqueous solution with bamboo charcoal chemically modified by iron and cobalt with the assistance of microwave[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25(9): 1726-1735.

- [12] 陈文渊. 竹炭吸附水中有机污染物的研究[D]. 福州:福建农林大学,2004.
- [13] LV Chuanpin,LI Xueyin,YANG Xianshi,et al. Technology of enzymolysis for *Euphausia superba* [J]. **Hunan Agricultural Sciences**,2011,17:130-133.(in Chinese)
- [14] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.18—2003.食品中氟的测定[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [15] BISWAS K,And S K S,GHOSH U C. Adsorption of fluoride from aqueous solution by a synthetic iron(III)-aluminum(III) mixed oxide[J]. **Industrial & Engineering Chemistry Research**,2007,46(16):5346-5356.
- [16] ZHANG Zaili,KUANG Qun,JIA Xiaoshan. Study on the kinetics and thermodynamics of Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} adsorption onto peanut hull[J]. **Ecology and Environmental Sciences**,2010,19(12):2973-2977.(in Chinese)
- [17] HUANG Yanqin,GONG Yangyang,LU Jianxue,et al. On fluoride concentration and nutritional components in hydrolysates of Antarctic krill by papain[J]. **Fishery Information and Strategie**,2014,29(1):37-42.(in Chinese)
- [18] ZHANG Haisheng,PAN Jianming,LIU Xiaoya. A study of fluoride anomaly in Antarctic Krill [J]. **Antartic Research**,1994,16(4):120-125.(in Chinese)
- [19] 王璐. 南极磷虾中氟的风险评估[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
- [20] 金浩. 炭陶除氟吸附材料的研究[D]. 福州:福建农林大学,2009.
- [21] SOHRABNEZHAD S,POURAHMAD A. Comparison absorption of new methylene blue dye in zeolite and nanocrystal zeolite. [J]. **Desalination**,2010,256(1):84-89.
- [22] LIU Yuanfa,QIU Aiyong,WANG Xingguo. Applications of freundlich equation for dif ferent adsorbents in oil bleaching process [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2007(1):1-4.
- [23] ZHANG G,HE Z,WEI X. A low-cost and high efficient zirconium-modified-Na-attapulgit adsorbent for fluoride removal from aqueous solutions[J]. **Chemical Engineering Journal**,2012,183(8):315-324.
- [24] ALAGUMUTHU G,RAJAN M. Equilibrium and kinetics of adsorption of fluoride onto zirconium impregnated cashew nut shell carbon[J]. **Chemical Engineering Journal**,2010,158(3):451-457.
- [25] HUANG K,SHAO J G,ZHU H M,et al. Removal of fluoride from aqueous solution onto Zr-loaded garlic peel (Zr-GP) particles [J]. **Journal of Central South University of Technology**,2011,18(5):1448-1453.

会 议 消 息

2018年第六届食品与农业科学国际会议(ICFAS 2018)

(ICFAS 2018)第六届食品与农业科学国际会议将于2018年11月14-16日在马来西亚吉隆坡隆重召开。

会议网址:<http://www.icfas.org/>

会议亮点:录用文章能发表在国际期刊 *Journal of Advanced Agricultural Technologies*(JOAAT ISSN:2301-3737),被收录在 *Engineering & Technology Digital Library*, 能被 *WorldCat*, *Google Scholar*, *Ulrich's Periodicals Directory*, and *Engineering & Technology Digital Library* 检索。或者出版在国际期刊 *International Journal of Food Engineering* (IJFE, ISSN: 2301-3664), 可以被 *Google Scholar*; *Crossref*; *Engineering & Technology Digital Library* 等等检索。

顶级教授受邀参加会议并将为会议呈现学术前沿的大会报告和研究成果。她是来自马来西亚 *Universiti Putra Malaysia* 大学的教授 *Nyuk Ling Chin*。

会议文章出版:

ICFAS 2018 录用的文章能够发表在国际期刊 *Journal of Advanced Agricultural Technologies*(JOAAT ISSN:2301-3737)或者发表在国际期刊 *International Journal of Food Engineering* (IJFE, ISSN: 2301-3664)上。

会议地址:马来西亚吉隆坡

投稿方式:<https://cmt3.research.microsoft.com/ICFAS2018>

会议邮箱:icfas@cbees.net 联系电话:+852-3500-0137 (中国香港)/+1-206-456-6022 (美国)/+86-28-86528465 (中国)

会议专员:杜女士