

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2019.04.010

文章编号:2095-6002(2019)04-0072-06

引用格式:刘静娜,庄远红. 盐酸改性西瓜皮不溶性膳食纤维对亚硝酸盐的吸附作用[J]. 食品科学技术学报,2019,37(4):72-77.



LIU Jingna, ZHUANG Yuanhong. Adsorption of nitrite by hydrochloric acid modified insoluble dietary fiber in watermelon peel [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019,37(4):72-77.

盐酸改性西瓜皮不溶性膳食纤维对亚硝酸盐的吸附作用

刘静娜, 庄远红

(闽南师范大学 生物科学与技术学院, 福建 漳州 363000)

摘要:以西瓜皮为原料提取不溶性膳食纤维(IDF),并通过 HCl 改性,对比 HCl 改性西瓜皮不溶性膳食纤维(HCl-IDF)和未改性 IDF 对亚硝酸盐的吸附作用,探讨 pH 值、振荡温度、HCl-IDF 添加量、吸附时间、 NO_2^- 初始质量浓度对 HCl-IDF 吸附 NO_2^- 的影响。结果表明,经 HCl 改性后,西瓜皮 IDF 对 NO_2^- 的吸附量提升为原来的 2 倍;当 HCl-IDF 添加量为 12.5 g/L 时,去除率为 64.6%,并趋于吸附平衡; NO_2^- 初始质量浓度达到 40 mg/L 时,吸附量接近饱和;升高温度、降低 pH 值、延长吸附时间有利于 HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附,在 pH 值 1.5、温度 328 K、吸附时间 70 min 时可达吸附平衡;HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附平衡可以通过 Langmuir 等温方程拟合,吸附动力学行为符合 Langergren 准二级动力学模型,该吸附过程以化学吸附为主;HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附是一个吸热自发反应。

关键词: 改性;西瓜皮;不溶性膳食纤维;吸附;亚硝酸盐;去除率

中图分类号: TS255.2; TS207.7

文献标志码: A

亚硝酸盐的过量摄入会对人体造成严重危害。近年来, NO_2^- 清除聚焦于天然植物的提取物上,其中,膳食纤维以其优良的吸附性能受到较多的关注,可吸附油脂、胆固醇、胆盐、葡萄糖、重金属等^[1-4],对亚硝酸盐也具有一定的吸附作用,如 1.0% 的柠檬膳食纤维可显著降低午餐肉中的亚硝酸盐残留量^[5],陈皮纤维比陈皮能更有效地吸附亚硝酸盐^[6],等等。但是,关于膳食纤维对亚硝酸盐的吸附动力学研究较少。

西瓜果皮可入药,在历代医药书籍中均有记载,但是西瓜皮中活性成分的提取及功能研究却甚少报道,且多集中于果胶^[7]、多糖^[8]方面,而对不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)的研究未见报道。因此,实验从西瓜皮中提取不溶性膳食纤维,并进行 HCl 改性,对比改性前后对 NO_2^- 的吸附效果,同时探讨 HCl 改性西瓜皮不溶性膳

食纤维(HCl-IDF)对 NO_2^- 的吸附规律,旨在为改性西瓜皮不溶性膳食纤维保健食品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

西瓜皮,市售西瓜取皮。

亚硝酸钠,新乡市中信化工助剂有限公司;对氨基苯磺酸,武汉顶辉化工有限公司;盐酸萘乙二胺,上海谱振生物科技有限公司;盐酸,重庆市华东化工有限公司;氢氧化钠,上海苏科化工有限公司。

1.2 仪器与设备

HQY-C 型恒温振荡摇床,金坛市鸿科仪器厂;1510 型全波长酶标仪, Thermo Fisher Scientific 公司;AR124W 型电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限

收稿日期:2018-11-07

基金项目:福建省自然科学基金资助项目(2017J01642)。

第一作者:刘静娜,女,副教授,博士,主要从事生物活性物质与功能性食品的研究。

公司;EL20型pH计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;LG-0.2型真空冷冻干燥机,沈阳航天新阳速冻设备制造有限公司;RE-301型旋转蒸发仪,巩义市予华仪器有限责任公司;FW100型高速万能粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;胶体磨,郑州玉祥食品机械有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 西瓜皮 IDF 的制备

提取工艺流程^[9]:新鲜西瓜皮去掉瓢组织并刮掉绿色皮表,切碎,经胶体磨破碎后与体积分数50%~60%乙醇按料液比(g/mL)1:1混合,于85℃水浴60min;过滤后,滤渣加8倍体积去离子水,用HCl调节pH值至2,在85℃水浴处理1~2h;过滤后,滤渣加10倍体积去离子水,用NaOH调节pH值至12,在40℃水浴1h;用300目尼龙纱布过滤,滤渣用去离子水洗至中性后,加5~8倍体积水,用HCl调节pH值至2,80℃水浴1~2h;过滤,滤渣用去离子水洗至中性,冻干后,得到IDF。

1.3.2 西瓜皮 HCl-IDF 的制备

西瓜皮IDF与体积分数10% HCl按料液比(g/mL)1:10混合,80℃水浴处理1.5h,过滤后,滤渣用去离子水洗至中性,冻干后即HCl-IDF。

1.3.3 NO₂⁻ 吸附实验

1.3.3.1 NO₂⁻ 吸附量和去除率计算

取一定量的吸附剂,加入具有一定pH值和初始质量浓度的NO₂⁻,以150r/min恒温振荡一定时间后过滤。用盐酸萘乙二胺法^[10]测定吸附前后溶液中NO₂⁻的质量浓度,计算每克样品的NO₂⁻吸附量和去除率,见式(1)、式(2)。每个处理重复3次。

$$q = (\rho_0 - \rho) V / W; \quad (1)$$

$$\eta = (\rho_0 - \rho) \times 100\% / \rho_0. \quad (2)$$

式(1)、式(2)中, q 为 t 时刻的吸附量,mg/g; η 为 t 时刻的去除率,%; ρ_0 和 ρ 分别为吸附前和 t 时刻溶液中NO₂⁻的质量浓度,mg/L; V 为溶液体积,L; W 为吸附剂添加量,g。

1.3.3.2 IDF 与 HCl-IDF 对 NO₂⁻ 的吸附效果比较

分别选用IDF与HCl-IDF对NO₂⁻进行吸附,吸附剂添加量为12.5g/L,NO₂⁻初始质量浓度30mg/L,pH值2.5,振荡温度328K,吸附时间70min,比较两者的吸附差异。

1.3.3.3 不同实验条件 NO₂⁻ 吸附效果的比较

以NO₂⁻吸附效果为考察指标,选取pH值1.5、

2.0、2.5、3.5、4.5(HCl-IDF添加量12.5g/L,NO₂⁻初始质量浓度30mg/L,振荡温度328K,吸附时间70min),HCl-IDF添加量7.5、10.0、12.5、15.0、17.5g/L(pH值2.5,NO₂⁻初始质量浓度30mg/L,振荡温度328K,吸附时间70min),NO₂⁻初始质量浓度10、20、30、40、50mg/L(pH值2.5,HCl-IDF添加量12.5g/L,振荡温度328K,吸附时间70min),吸附时间10、30、50、70、90min(pH值2.5,HCl-IDF添加量12.5g/L,NO₂⁻初始质量浓度30mg/L,振荡温度328K),振荡温度298、308、318、328、333K(pH值2.5,HCl-IDF添加量12.5g/L,NO₂⁻初始质量浓度30mg/L,吸附时间70min),进行单因素实验。实验重复3次,取平均值。

1.3.4 NO₂⁻ 溶液标准曲线的绘制

准确量取0、1.25、2.00、2.75、3.50、4.25、5.00mL的10mg/LNO₂⁻标准溶液于比色管中,加入1mL质量分数0.4%对氨基苯磺酸溶液,混匀3~5min,再加入0.5mL质量分数0.2%盐酸萘乙二胺溶液,去离子水补至25mL,摇匀,静置15min后以空白为参比,538nm测吸光度,以吸光度为横坐标,NO₂⁻质量浓度为纵坐标,绘制标准曲线。建立回归方程: $y = 0.3006x + 0.1947$,相关系数 $R^2 = 0.9998$ 。

1.3.5 吸附动力学相关方程式

准一级吸附动力学方程见式(3),准二级吸附动力学方程见式(4)。

$$\lg(q_e - q_t) = \lg q_e - \frac{K_1 t}{2.303}; \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}. \quad (4)$$

式(3)、式(4)中, q_e 、 q_t 分别为吸附平衡及 t 时刻的吸附量,mg/g; t 为吸附时间,min; K_1 为准一级吸附速率常数,1/min; K_2 为准二级吸附速率常数,g/(mg·min)。

Van't Hoff 方程见式(5)。

$$\ln K = \Delta S / R - \Delta H / RT. \quad (5)$$

式(5)中, K 为吸附分配系数,L/g; R 为气体常数,8.314J/(mol·K); T 为热力学温度,K; ΔH 为吸附焓变,kJ/mol; ΔS 为吸附熵变,J/(mol·K)。 ΔH 和 ΔS 可通过式(5)的截距和斜率计算得到。

Langmuir 与 Freundlich 吸附等温方程见式(6)、式(7)。

$$\frac{\rho_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{\rho_e}{q_m}; \quad (6)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln \rho_e \quad (7)$$

式(6)、式(7)中, ρ_e 为吸附平衡时 NO_2^- 的质量浓度, mg/L ; q_e 为平衡吸附量, mg/g ; q_m 为完全单分子层饱和吸附量, mg/g ; K_L 为 Langmuir 等温吸附方程常数, 代表吸附剂的相对吸附能力, L/mg ; K_F 和 n 为 Freundlich 方程的等温吸附特征常数, 分别与吸附容量和吸附强度有关, K_F 单位为 L/g 。

1.4 数据处理

采用 Excel 对数据进行分析与处理。所有实验均进行 3 次平行实验, 数据以 $\text{means} \pm \text{SD}$ 表示。

2 结果与分析

2.1 盐酸改性对 NO_2^- 吸附效果的影响

经过酸碱处理后, 西瓜皮 IDF 提取率为 18.5% (干基)。比较了 IDF 和 HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附效果, 见表 1。由表 1 可知, HCl-IDF 对 30 mg/L NO_2^- 的去除率为 IDF 的 1.31 倍, 吸附量是 IDF 的 2 倍, 可能是因为经过 HCl 改性的 IDF 分子中还还原端羰基和大量 $-\text{OH}$ 、 NH_2 加强了与氧自由基的反应, 具有很强的抗氧化性, 在酸性溶液中的还原剂作用下, 亚硝酸及其盐本身被还原为 NO 而被去除^[11]。

表 1 IDF 与 HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附效果

Tab.1 Adsorption of NO_2^- by IDF and HCl-IDF

	IDF	HCl-IDF
去除率/%	48.8 ± 1.0	63.9 ± 1.3
吸附量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.742 ± 0.015	1.509 ± 0.100

2.2 pH 值与 NO_2^- 吸附效果的关系

随着 pH 值的上升, HCl-IDF 吸附量和离子去除率均呈下降趋势, 如图 1。pH 值 1.5 时, HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附量和去除率分别为 1.77 mg/g 和 74.8%; 而当 pH 值升高到 4.5 时, 吸附量和去除率变为 0.586 mg/g 和 24.8%。原因是纤维富含糖醛酸、酚酸和氨基酸等活性基团, 其中对亚硝基有吸附作用的主要是酚酸基团, 在中性或者碱性条件下, 酚酸基团被 OH^- 中和, 从而失去了对 NO_2^- 的吸附作用; 而在酸性条件下, NO_2^- 与 H^+ 结合产生 HNO_2 , HNO_2 再形成大量的氮氧化物, 如 N_2O_3 , 而 N_2O_3 是一个很强的亲电子物质, 能与酚酸基团上呈负电性的氧原子结合, 产生吸附作用^[12]。

2.3 HCl-IDF 添加量与 NO_2^- 吸附效果的关系

随着 HCl-IDF 添加量的增大, 去除率随之增大,

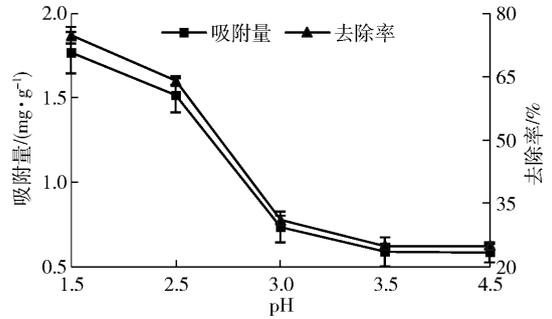


图 1 pH 值对 NO_2^- 吸附效果的影响

Fig.1 Effect of pH on adsorption of NO_2^-

如图 2。当添加量为 12.5 g/L 时, 去除率为 64.6%, 并趋于吸附平衡。这是因为随着添加量的增大, HCl-IDF 表面积增加, 吸附位点增多, 促进了对 NO_2^- 的吸附, 提高了去除率^[12]。吸附量则随着 HCl-IDF 添加量的增加而减少, 添加量从 7.5 g/L 增加到 17.5 g/L 时, 吸附量从 1.82 mg/g 下降到 1.12 mg/g 。

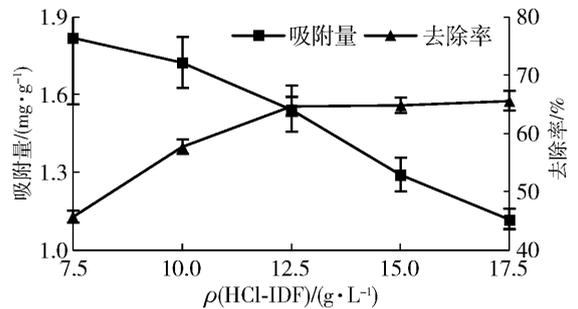


图 2 HCl-IDF 添加量对 NO_2^- 吸附效果的影响

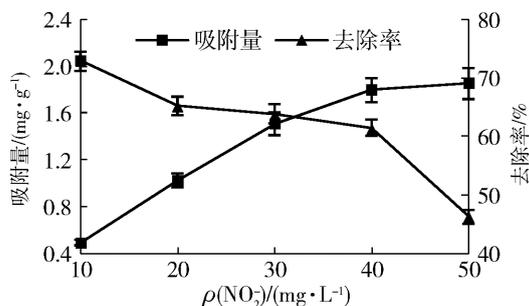
Fig.2 Effect of HCl-IDF addition on adsorption of NO_2^-

2.4 NO_2^- 初始质量浓度与 NO_2^- 吸附效果的关系

随着 NO_2^- 初始质量浓度的上升, HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附量不断上升, 如图 3。当 NO_2^- 初始质量浓度达到 40 mg/L 时, 吸附量上升速率减缓。 NO_2^- 去除率随着初始质量浓度的增加而逐渐下降, 原因是当 NO_2^- 含量较低时, HCl-IDF 可以充分吸附溶液中的 NO_2^- , 此时去除率较高, 但随着 NO_2^- 含量的上升, 充足的 NO_2^- 竞争 HCl-IDF 有限的吸附位, 剩余较多 NO_2^- , 导致去除率的下降^[13]。

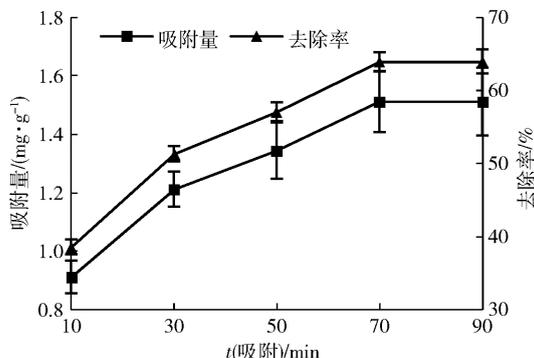
2.5 吸附时间与 NO_2^- 吸附效果的关系及动力学分析

随着吸附时间的增加, HCl-IDF 的吸附量和去除率均呈上升趋势, 在 70 min 时达到吸附平衡, 继续增加吸附时间, 吸附量和去除率没有明显增加 (如图 4)。这是因为在吸附初始阶段, HCl-IDF 表面活性位点多, 对 NO_2^- 有较快地吸附, 随着时间的

图3 NO_2^- 初始质量浓度对 NO_2^- 吸附效果的影响Fig. 3 Effect of initial concentration on adsorption of NO_2^-

增加, HCl-IDF 表面活性位点减少^[14-15], 对 NO_2^- 的吸附速率下降, 当吸附饱和时出现吸附平衡。因此优化的吸附时间为 70 min。

用 Langergren 准一级动力学方程式(式 3)和准二级动力学方程式(式 4)对吸附数据进行拟合, 研究吸附动力学特性, 结果见表 2。由表 2 可知, Langergren 准二级动力学反应方程对 HCl-IDF 吸附

图4 吸附时间对 NO_2^- 吸附效果的影响Fig. 4 Effect of adsorption time on adsorption of NO_2^-

NO_2^- 的拟合度较高, 相关性系数均在 0.995 以上, 高于准一级动力学相关性系数, 且其平衡吸附量预测值与实测值基本接近, 说明 Langergren 准二级动力学方程能较好地拟合 HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附, 可以认为该吸附过程以化学吸附为主^[15]。

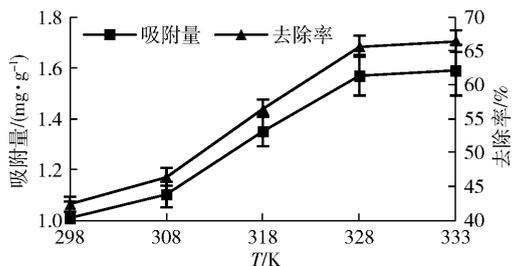
表2 Langergren 准一级、准二级动力学拟合参数

Tab. 2 Dynamic fitting parameters of Langergren quasi-first-order and quasi-second-order

$\rho_0/$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	准一级动力学			准二级反应动力学			实测值 $q_e/$ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
	$K_1/(1\cdot\text{min}^{-1})$	$q_e/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	R^2	$K_2/(g\cdot(\text{mg}\cdot\text{min})^{-1})$	$q_e/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	R^2	
10	0.037 5	0.336 9	0.583 6	0.507 92	0.526 7	0.995 9	0.449 1
20	0.016 5	0.612 3	0.265 7	0.132 5	1.097 0	0.997 1	1.025 9
30	0.012 9	0.370 5	0.047 6	0.056 6	1.692 5	0.998 2	1.518 1
40	0.005 8	0.209 2	0.018 5	0.094 0	1.901 1	0.999 8	1.807 7
50	0.010 1	0.320 0	0.035 1	0.072 5	2.008 0	0.998 6	1.864 8

2.6 温度与 NO_2^- 吸附效果的关系及热力学分析

随着温度的上升, HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附量和去除率迅速上升, 从 298 K 的 1.01 mg/g 上升到 333 K 的 1.59 mg/g, 去除率则从 42.32% 上升到 66.4% (如图 5), 说明加热有利于 HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附。

图5 温度对 NO_2^- 吸附效果的影响Fig. 5 Effect of temperature on adsorption of NO_2^-

吉布斯自由能变化 ΔG 、熵变 ΔS 、焓变 ΔH 是常用的 3 个判断吸附过程是否自发进行的热力学参

数, 可由 Van't Hoff 关系式及 Gibbs 方程通过温度对吸附平衡的影响数据计算得到。根据实验数据, 按照式(5)对 $\ln K$ 和 $1/T$ 的关系进行拟合计算, 其结果见表 3。

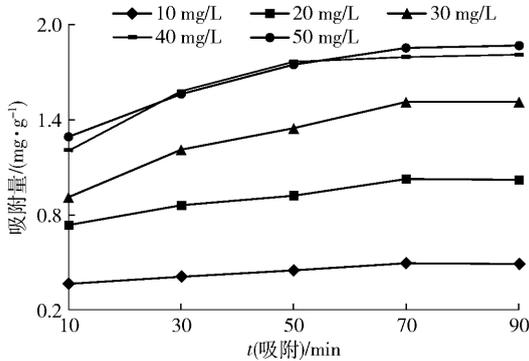
从表 3 可以看出, $\Delta H > 0$, 说明 HCl-IDF 对 NO_2^- 的吸附是吸热反应, 这与实验中随着温度升高, 吸附量增加的结论是一致的, 升高温度有利于吸附。 $\Delta S > 0$, 说明反应在温度高的时候可以自发进行。 $\Delta G > 0$, 且温度越高, ΔG 越小, 说明该反应是个非自发的过程, 温度越高, 吸附过程的自发性程度越强, 越容易吸附。

2.7 吸附等温线的拟合分析

考察不同初始质量浓度和吸附时间下溶液平衡浓度和 NO_2^- 吸附量的关系(如图 6)。分别用 Langmuir 方程和 Freundlich 方程对图 6 吸附平衡数据进行拟合, 等温吸附模型拟合参数见表 4。由表 4 可

表3 HCl-IDF对NO₂⁻的吸附热力学参数Tab.3 Thermodynamic parameter of HCl-IDF on NO₂⁻ adsorption

$\rho_0/$ (mg·L ⁻¹)	$\Delta H/$ (kJ·mol ⁻¹)	$\Delta S/$ (J·(mol·K) ⁻¹)	$\Delta G/$ (kJ·mol ⁻¹)				
			298 K	308 K	318 K	328 K	333 K
30	26.95	61.86	13.19	12.57	11.96	11.34	11.03



pH值2.5, HCl-IDF添加量12.5 g/L, 振荡温度328 K。

图6 不同初始质量浓度和吸附时间对NO₂⁻吸附量的影响Fig.6 Adsorption amounts of NO₂⁻ at different initial concentrations and adsorption time

以看出,在实验范围内, ρ_e 与 ρ_e/q_e 有良好线性关系, Langmuir等温回归方程的相关性系数为0.9737,大于Freundlich等温吸附回归方程的相关性系数0.9494,说明其吸附行为遵循Langmuir方程。

3 结论

从西瓜皮中提取不溶性膳食纤维,并对其进行HCl改性,与未改性西瓜皮不溶性膳食纤维的NO₂⁻去除率48.8%相比, HCl-IDF对NO₂⁻的去除率可达63.9%以上,具有较大的吸附性能。升高温度、降低pH值、延长吸附时间有利于HCl-IDF对NO₂⁻的吸附,70 min可达吸附平衡。

HCl-IDF对NO₂⁻的吸附动力学行为可以用Langergren准二级动力学方程来描述, R^2 达0.995

表4 等温吸附模型拟合参数

Tab.4 Fitting parameters of isothermal adsorption model

Langmuir 等温方程			Freunglich 等温方程		
$q_m/$ (mg·g ⁻¹)	$K_L/$ (L·mg ⁻¹)	R^2	n	$K_F/$ (L·g ⁻¹)	R^2
2.6076	0.1069	0.9737	1.7322	0.3281	0.9494

振荡温度328 K。

以上,该吸附过程以化学吸附为主。热力学分析表明, HCl-IDF对NO₂⁻的吸附过程是一个吸热非自发的反应。HCl-IDF对NO₂⁻的吸附过程遵循Langmuir等温方程,为单分子层吸附。

研究表明多种膳食纤维均对亚硝酸盐有良好的吸附作用^[5-6],但多仅限于吸附量的测定。本研究通过HCl改性IDF以提高吸附性能,并对亚硝酸盐的吸附条件用动力学方程进行拟合,探讨了吸附的机理,为后续进一步的应用提供了理论基础。

参考文献:

[1] 王艳丽,刘凌,孙慧,等. 膳食纤维的微观结构及功能特性研究[J]. 中国食品添加剂, 2014(2):98-103.
WANG Y L, LIU L, SUN H, et al. Study on the micro-structure and functional characteristics of dietary fiber [J]. China Food Additives, 2014(2):98-103.

[2] 张晶晶,张红建,李晓月,等. 超细水不溶性大豆皮膳食纤维理化特性的研究[J]. 食品工业科技, 2014,

35(20):147-149.

ZHANG J J, ZHANG H J, LI X Y, et al. Study on physico-chemical properties of ultrafine insoluble dietary fiber derived from soybean skin [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(20):147-149.

[3] HU G H, HUANG S H, CHEN H, et al. Binding of four heavy metals to hemicelluloses from rice bran [J]. Food Research International, 2010, 43(1):203-206.

[4] HASNAOUI N, WATHELET B, JIMÉNEZ-ARAUJO A. Valorization of pomegranate peel from 12 cultivars: dietary fibre composition, antioxidant capacity and functional properties [J]. Food Chemistry, 2014, 160(11):196-203.

[5] 雷激,石秀梅,李铁志. 柠檬膳食纤维对午餐肉中亚硝酸盐残留量的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(4):19-22.

LEI J, SHI X M, LI T Z. Effect of lemon dietary fiber on residual nitrite level in pork luncheon meat [J]. Food Science, 2015, 36(4):19-22.

[6] 王志宏,薛建斌,平晓丽,等. 陈皮膳食纤维对亚硝酸盐的吸附作用[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18

- (8):92-95.
WANG Z H, XUE J B, PING X L, et al. Research on the absorption of pericarpium citri reticulatae dietary fiber on nitrite [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2012, 18(8):92-95.
- [7] 龚殿婷, 郭晓蒙, 王晓宁. 从西瓜皮中提取果胶的研究进展[J]. 应用化工, 2018, 47(2): 355-357.
GONG D T, GUO X M, WANG X N. Research progress of extracting pectin from watermelon peel [J]. Applied Chemical Industry, 2018, 47(2): 355-357.
- [8] 郎杰, 郑玉光. 西瓜皮多糖对衰老小鼠抗衰老及降血糖作用[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(8):2196-2198.
LANG J, ZHENG Y G. Anti-aging and hypoglycemic effects of watermelon peel polysaccharides on aging mice [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2015, 35(8): 2196-2198.
- [9] 魏丹. 荸荠果皮膳食纤维提取工艺的研究[D]. 安徽: 合肥工业大学, 2007.
WEI D. Study on extraction technology of dietary fiber from water chestnut peel [D]. Anhui: Hefei University of Technology, 2007.
- [10] 王启军. 食品分析实验[M]. 北京:北京工业出版社, 2012.
WANG Q J. Food analysis experiment [M]. Beijing: Beijing Industry Press, 2012.
- [11] 陈忻, 刘爱文, 陈纯馨, 等. 壳聚糖及其衍生物对亚硝化反应的抑制作用[J]. 精细化工, 2005, 22(3): 209-211.
CHEN X, LIU A W, CHEN C X, et al. Inhibition of nitrosation by chitosan and its derivatives [J]. Fine Chemicals, 2005, 22(3):209-211.
- [12] 李来好, 杨贤庆, 戚勃. 4种海藻膳食纤维对 NO_2^- 吸附作用的研究[J]. 中国海洋药物杂志, 2006, 25(1): 28-31.
LI L H, YANG X Q, QI B. Study on the adsorption of NO_2^- by four sorts of dietary fibres from seaweeds [J]. Chinese Journal of Marine Medicine, 2006, 25(1):28-31.
- [13] 吕金顺, 韦长梅, 徐继明, 等. 马铃薯膳食纤维的结构特征分析[J]. 分析化学, 2007, 35(3): 443-446.
LÜ J S, WEI C M, XU J M, et al. Feature analysis of structure of potato dietary fibre [J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2007, 35(3): 443-446.
- [14] 黄小惠, 叶静, 肖美添. 江蓠膳食纤维体外功能特性[J]. 农业机械, 2011(17):139-141.
HUANG X H, YE J, XIAO M T. *In vitro* functional properties of dietary fiber from gracilaria *Gracilaria* [J]. Farm Machinery, 2011(17):139-141.
- [15] 卜欣立. 物理吸附法脱除 FCC 汽油中含硫化合物的试验研究[D]. 北京:北京化工大学, 2004.
BU X L. Study on removal of sulfur compounds from FCC gasoline by physical adsorption [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2004.

Adsorption of Nitrite by Hydrochloric Acid Modified Insoluble Dietary Fiber in Watermelon Peel

LIU Jingna, ZHUANG Yuanhong

(School of Biological Science and Biotechnology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: Insoluble dietary fiber (IDF) was extracted from watermelon peel and modified by hydrochloric acid. The adsorptions of nitrite by hydrochloric acid modified insoluble dietary fiber (HCl-IDF) and IDF were evaluated. The effects of pH value, oscillating temperature, HCl-IDF dosage, adsorption time, NO_2^- initial concentration on NO_2^- adsorption of HCl-IDF were tested. The results showed that the adsorption capacity of NO_2^- was doubled after modification. When the addition amount of HCl-IDF was 12.5 g/L, the removal rate was 64.6% and tended to adsorption equilibrium. When the initial concentration of NO_2^- was 40 mg/L, the adsorption was close to saturation. Increasing temperature, lowering pH and prolonging adsorption time were beneficial to the adsorption of NO_2^- by HCl-IDF, and the adsorption equilibrium was reached at pH 1.5, 328 K and 70 min. The adsorption equilibrium of HCl-IDF for NO_2^- could be fitted by Langmuir isotherm equation, and the adsorption kinetics conformed to Langergren quasi-second-order kinetic model, which was mainly chemical adsorption. Thermodynamic studies showed that the adsorption of NO_2^- by HCl-IDF was an endothermic spontaneous reaction.

Keywords: hydrochloric acid; watermelon peel; insoluble dietary fiber; adsorption; nitrite

(责任编辑:张逸群)