

酿酒酵母吸附水溶液中 Cu^{2+} 的研究

徐鹏飞

(常州市武进区牛塘水利(务)站, 江苏 常州 213000)

摘要: 本研究利用酿酒酵母作为生物吸附剂吸附重金属 Cu^{2+} , 探讨了酿酒酵母在不同条件下对重金属铜离子的吸附能力。研究表明: 当 Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 酵母投加量为 5 g/L, 吸附时间 30 min 时, Cu^{2+} 的吸附率达到最高, 为 92.80%; 当 Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 酵母投加量为 5 g/L, 吸附时间为 45 min 时, Cu^{2+} 的吸附率最高, 达到 92.30%; 当转速在 100 r/min 时, Cu^{2+} 的吸附率最高, 为 94.33%; 当 pH 为 7 时 Cu^{2+} 的吸附率最高, 为 95.48%; 当温度为 30 ℃ 时, Cu^{2+} 的吸附率最高, 为 94.19%。最佳的吸附条件为: 吸附时间 45 min, 转速 100 r/min, pH 为 7, 温度 30 ℃。

关键词: 酿酒酵母; 生物吸附; 重金属铜离子

中图分类号: Q93

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 05-0035-05

Study on the adsorption of Cu^{2+} in aqueous solution by saccharomyces cerevisiae

XU Pengfei

(Niutang Water Conservancy Station of Changzhou Wujin District, Changzhou 213000, Jiangsu)

Abstract: *Saccharomyces cerevisiae* was used as a biosorbent to adsorb heavy metal Cu^{2+} , and the adsorption capacity of *saccharomyces cerevisiae* on heavy metal copper ions under different conditions was discussed. The results showed that: when the initial concentration of Cu^{2+} was 1 g/L, yeast dosage was 5 g/L and adsorption time was 30 minutes, the adsorption rate of Cu^{2+} reached a maximum of 92.80%; when the speed at 100 r/min, the adsorption rate of Cu^{2+} reached a maximum of 94.33%; when the pH was 7, the adsorption rate of Cu^{2+} reached a maximum of 95.48%; when the temperature was 30℃, the adsorption of Cu^{2+} reached a maximum of 94.19%. Therefore, the best adsorption condition was when the adsorption time was 45 min, the speed was 100 r/min, the pH was 7, and the temperature was 30℃.

Key words: *saccharomyces cerevisiae*; biosorption; heavy metal copper ions

工业经济是国家经济的命脉, 随着快速的城市化, 现代重工业不断发展, 工业废水的排放量日益增加。金属冶炼、电镀、印刷、机械制造等行业均会产生含铜、镍、铅、铬等重金属废水^[1-3], 具

有持久性和难生物降解性的金属废水如果不经处理直接排放, 会对大气、水体、土壤等造成环境污染, 严重威胁着人类的生存环境。我国政府高度重视重金属废水对环境的污染, 为此制定了与

收稿日期: 2018-01-04

作者简介: 徐鹏飞 (1990-), 男, 本科, 主要从事水处理工作。

世界接轨的严格的排放标准。2010年我国发布《第一次全国污染源普查公报》显示2007年全国重金属污染物产生量为2.54万t,排放量为0.09万t;2011年我国颁布了《国家环境保护的“十二五”规划》,明确指出要通过加强重点行业和区域的重金属污染防治来遏制重金属污染事件的高发态势^[4]。

铜是城市综合污水中常见的四大有害重金属之一,主要来自电镀加工、矿山开采、金属冶炼、印刷电路板制造等行业^[5]。相关研究表明,当水中含铜量为0.01 mg/L时,抑制水体的生化耗氧过程,影响水体自净;当水中含铜量为0.1~0.2 mg/L时,使鱼类死亡;当含铜量超过3.0 mg/L时,水体会产生异味。进入水体中的铜不仅污染环境,还会被生物体富集并把它转化为毒性更大的重金属有机化合物,通过食物链进入人体,威胁人类健康^[6]。目前国内外对废水中重金属离子的去除多采用物理法、化学法、生物法等,这些工艺技术成本较高,特别是处理低浓度金属离子废水时,化学沉淀、絮凝等工艺效果较差。生物法反应周期长,且在反应过程中要严格控制外界因素对微生物的影响,不适宜大规模的生产应用。离子交换树脂和活性炭是公认的处理工业废水中金属离子的有效吸附剂,但是其高成本和低去除率限制了广泛应用。

生物吸附法(Biosorption)是一种较为新颖的处理含重金属废水的方法,是利用某些生物体本身的化学结构及成分特性来吸附溶于水中的金属离子,再通过固液两相分离来去除水溶液中金属离子。这种方法适宜处理大体积低浓度甚至是ppb级水平的重金属废水,其因具有高效、廉价的潜在优势受到研究人员的广泛关注^[7]。目前常用的生物吸附剂有藻类、细菌等,通过细胞外吸附、细胞表面吸附和细胞内吸附铜离子,具有一定的经济和社会效益。酿酒酵母菌广泛用于食品及饮料工业,具有培养简单、易大量生产、成本低廉的优势,是理想的重金属生物吸附剂,已有研究表明酿酒酵母菌可有效吸附铜离子^[8],张爱茜等^[9]发现啤酒厂废酵母对于低浓度的 Cu^{2+} 具有一定的去除能力,且为快速吸附过程,符合Langmuir模型。陈灿等^[10]发现用工业废弃酿酒酵母吸附废水中 Cu^{2+} , Cu^{2+} 去除率最高可达56%。柳思勉等^[11]制备啤酒酵母菌小球,最高可吸附33.49 mg/g铜,使用后的吸附剂可用0.1 mol/L的盐酸解吸再生,可

循环使用3次以上。

本研究聚焦于酿酒酵母吸附 Cu^{2+} ,系统研究了酵母用量、吸附时间、摇床转速、溶液pH值、吸附温度等因素对 Cu^{2+} 吸附的影响,为工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 菌株

酵母。

1.2 试剂

1 g/L含铜溶液:称取3.9062 g硫酸铜($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)溶于水后,加入几滴硫酸(1:1),用去离子水定容至1000 ml。

200 g/L柠檬酸铵溶液(掩蔽剂):称取20.0 g柠檬酸铵,用去离子水定容至100 ml。

50 g/L氯化铵-氨水缓冲溶液:称取5.0 g氯化铵并加入20 ml浓氨水,用去离子水定容至100 ml,调节pH值至10.0。

0.2%双环己酮草酰双脲(BCO)溶液:取0.20 g BCO和20 ml无水乙醇混合,加热溶解,冷却至室温后用去离子水定容至100 ml。

实验所用试剂均为分析纯。

1.3 铜溶液的检测方法

在配制好的50 mg/L的铜标准储备液中加入酵母粉,吸附30 min后,取适量样品离心5 min,然后取2 ml上清液分别加入贴好标签的容量瓶中,再分别加5 ml柠檬酸铵溶液、5 ml氨水-氯化铵缓冲溶液和5 ml 0.2% BCO溶液,最后用去离子水定容,摇匀。显色5 min后用1 cm比色皿在波长600 nm处用紫外可见分光光度计(TU-1810,北京普析通用仪器有限责任公司)测溶液的光密度值。

1.4 标准曲线绘制

分别移取0、2.0、4.0、8.0 ml浓度为5.0 mg/L、1.6、2.4、3.2、4.0 ml浓度为50.0 mg/L的铜标准液于8个50 ml容量瓶中,编号分别为1~8,依次加入5 ml柠檬酸铵溶液,5 ml氨水-氯化铵缓冲溶液和5 ml BCO乙醇溶液,最后用去离子水定容,摇匀(每加入1种试剂后都需摇匀)。溶液显色5 min后用1 cm比色皿在波长600 nm处测定8个试样的吸光度(表1)。以扣除试剂空白后的吸光度为纵坐标、 Cu^{2+} 浓度为横坐标,绘

制标准曲线(图1)。由图1可知, Cu^{2+} 浓度在 0.02 ~ 4.00 mg/L 线性关系良好, 线性回归方程是 $y=0.24658x-0.00115$, 相关系数 $R^2=0.98442$ 。

图2结果显示了随着酵母用量由 3 g/L 增加至 5 g/L 时, Cu^{2+} 吸附率逐渐升高, 当酵母用量为 5 g/L 时, Cu^{2+} 吸附率有一个峰值, 当酵母用量由

表 1 铜标准溶液吸光度测量有关数据记录

Cu^{2+} 浓度 mg/L	0.0	0.6	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0
吸光度 A	0.000	0.146	0.196	0.394	0.592	0.789	0.987

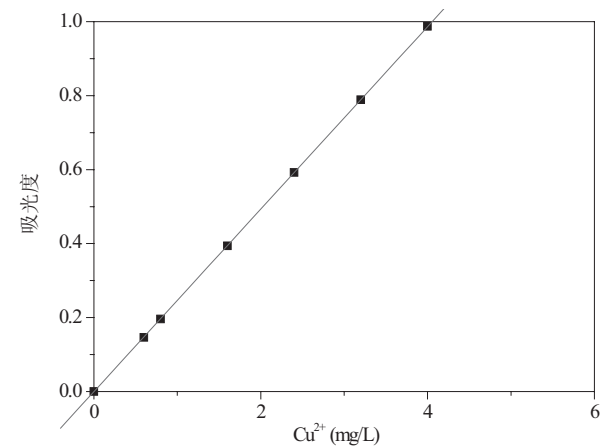


图 1 标准曲线

2 结果与分析

2.1 酵母用量对 Cu^{2+} 吸附的影响

向 1 g/L 含铜溶液中分别添加 3 g、4 g、5 g、6 g 和 8 g 酵母, 吸附 30 min 后, 取 2 ml 上清液按照 1.3 中方法测定溶液的吸光度(表 2), 并计算 Cu^{2+} 的去除率(图 2)。

表 2 酵母用量对 Cu^{2+} 吸附的影响

酵母投加量 (g/L)	3	4	5	6	7
吸光度	0.435	0.382	0.354	0.369	0.345
吸附率 (%)	91.16	92.23	92.80	92.49	92.98

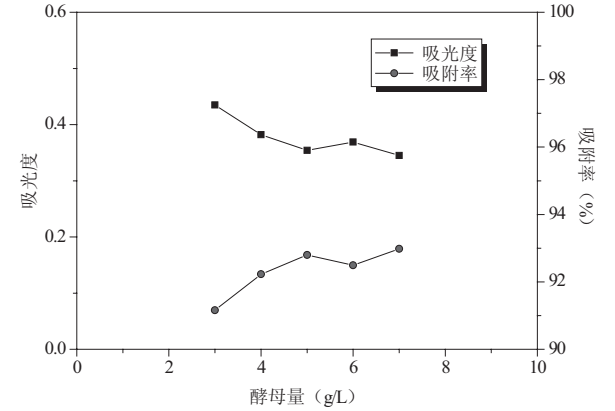


图 2 酵母用量对 Cu^{2+} 吸附的影响

5 g/L 增加至 6 g/L 时, Cu^{2+} 吸附率开始下降, 虽然当酵母用量为 7 g/L 时, Cu^{2+} 吸附率又提高了, 但吸附增加量不大, 考虑经济因素, 为了达到最佳吸附效果, 所以选择酵母量为 5 g/L。

2.2 吸附时间对 Cu^{2+} 吸附的影响

向 1 g/L 含铜溶液中投加 5 g/L 酵母, 吸附时间分别设置为 15 min、30 min、45 min、60 min 和 180 min, 研究吸附时间对 Cu^{2+} 吸附率的影响。表 3 和图 3 的结果显示当吸附时间从 15 min 延长至 45 min 时, 酵母对 Cu^{2+} 的吸附率呈上升的趋势, 当吸附时间为 45 min 时, 酵母对 Cu^{2+} 的吸附率最高, 达到 92.3%。随着吸附时间的进一步延长, 酵母对 Cu^{2+} 的吸附率慢慢下降, 因此吸附时间为 45 min 时, 因此吸附 0.75 h 时, 酵母吸附 Cu^{2+} 的效果最佳。

表 3 吸附时间对 Cu^{2+} 吸附的影响

吸附时间 (min)	15	30	45	60	180
吸光度	0.547	0.505	0.345	0.493	0.499
吸附率 (%)	88.91	89.76	92.30	90.00	89.88

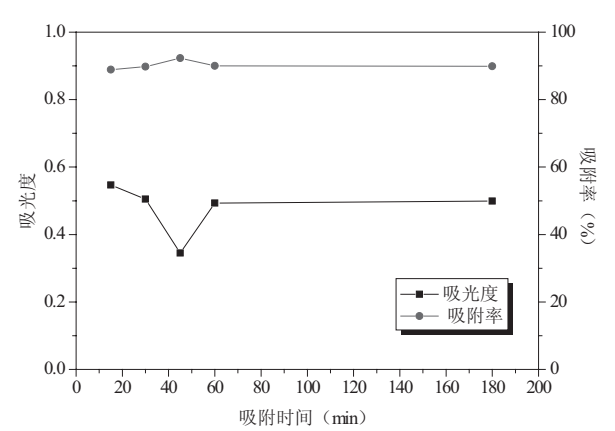


图 3 吸附时间对 Cu^{2+} 吸附的影响

多数研究者^[12-15]认为啤酒酵母对重金属离子的吸附过程分成 2 个阶段: 第一阶段吸附很快,

在很短时间内,生物吸附量约为吸附完全时吸附量的 90% 左右,此为吸附率较高阶段,这一过程的特点是吸附速度快、可逆、不依赖于细菌表面官能团的种类、不依赖细菌的能量代谢,是菌体被动吸附的过程。对相同的重金属离子,聚集量与菌体的带电量(Q)有关,Q 数值越大,聚集量越大,是菌体表面所带的负电荷与溶液中金属阳离子之间静电作用结果。第二阶段为内部渗透阶段,吸附速度很慢,停留在菌体表面的金属离子与菌体表面的有机官能团进行络合和离子交换的过程。

2.3 摇床转速对 Cu²⁺ 吸附的影响

向 1 g/L 含铜溶液中投加 5 g/L 酵母,吸附时间为 45 min 时,将摇床转速从 50 r/min 提高到 200 r/min,以 50 r/min 为增长梯度,从表 4 和图 4 可以看出摇床转速由 50 r/min 上升至 100 r/min 时,酵母对 Cu²⁺ 的吸附率呈上升趋势,随着转速提高到 200 r/min 时,吸附率不断下降。所以转速在 100 r/min 时,酵母对 Cu²⁺ 的吸附率最高,为 94.33%,此时吸附效果最佳。

表 4 摇床转速对 Cu²⁺ 吸附的影响

转速 (r/min)	50	100	150	200
吸光度	0.357	0.279	0.387	0.450
吸附率 (%)	92.75	94.33	92.15	90.87

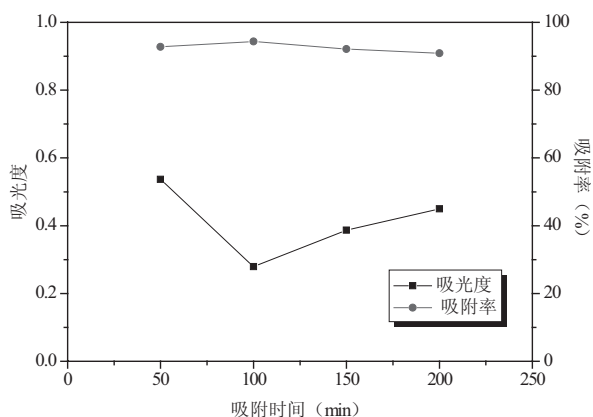


图 4 摇床转速对 Cu²⁺ 吸附的影响

2.4 pH 值对 Cu²⁺ 吸附的影响

向 1 g/L 投加 5 g/L 酵母,吸附时间为 45 min、摇床转速为 100 r/min 时,分别调整溶液的 pH 值为 1、3、5、7、9,研究 pH 值对酵母吸附 Cu²⁺ 的影响,结果如表 5 和图 5 所示。

表 5 pH 值对 Cu²⁺ 吸附的影响

pH 值	1	3	5	7	9
吸光度	0.793	0.728	0.687	0.222	0.437
吸附率 (%)	83.94	85.25	86.08	95.48	91.14

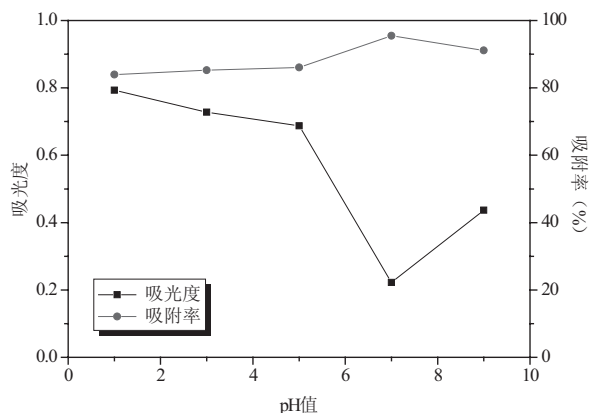


图 5 pH 值对 Cu²⁺ 吸附的影响

2.5 吸附温度对 Cu²⁺ 吸附的影响

向 1 g/L 向 1 g/L 投加 5 g/L 酵母,调整溶液的 pH 值为 7,吸附时间为 45 min,摇床转速为 100 r/min 时,将吸附温度从 25℃ 提高到 45℃,以 5℃ 为增长梯度,研究不同温度下酵母对 Cu²⁺ 的吸附效果,结果如表 6 和图 6 所示。

表 6 吸附温度对 Cu²⁺ 吸附的影响

温度 (℃)	25	30	35	40	45
吸光度	0.345	0.286	0.383	0.342	0.347
吸附率 (%)	92.30	94.19	92.23	93.06	92.96

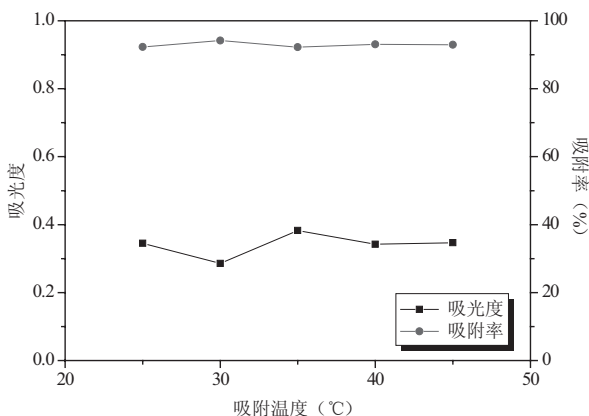


图 6 吸附温度对 Cu²⁺ 吸附的影响

图表结果显示了温度从 25℃ 到 30℃ 时,酵母对 Cu²⁺ 的吸附率呈上升的趋势,温度从 30℃ 增加

到 45°C 时, 酵母对 Cu^{2+} 的吸附率呈下降趋势并趋于稳定。所以温度在 30°C 时, 酵母对 Cu^{2+} 的吸附率最大, 达到 94.19%, 此时的吸附效果最佳。吸附温度对吸附效果有一定的影响。一般认为, 温度的升高可以使溶液中的离子运动速度加快, 使溶液中活化离子增多, 从而促进离子的交换反应。通过用啤酒酵母吸附重金属阳离子的方法, 发现在一定温度范围内, 温度的升高有利于提高对重金属离子的吸附效率。但由于升温会增加运行成本, 而且温度过高生物材料会失活, 因此在微生物吸附过程中不宜采用高温操作。但是蔡佳亮等^[16]认为生物吸附是一个放热反应的过程, 因此, 啤酒酵母对重金属的吸附能力随温度的下降而增大。

3 结论

本研究用酿酒酵母作为生物吸附剂吸附 Cu^{2+} , 探讨了酿酒酵母在不同条件下对重金属铜离子的吸附能力。研究结果表明:

(1) Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 吸附时间 30 min 时, 酵母投加量为 5 g/L 时, 吸附率最高, 达到 92.80%;

(2) 当 Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 酵母投加量为 5 g/L, 吸附时间为 45 min 时, Cu^{2+} 的吸附率最高, 达到 92.30%;

(3) 当 Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 酵母投加量为 5 g/L, 吸附时间为 45 min 时, 转速在 100 r/min 时的 Cu^{2+} 的吸附率最高, 为 94.33%;

(4) 当 Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 酵母投加量为 5 g/L, 吸附时间为 45 min, 转速在 100 r/min 时, 溶液 pH 为 7 时的 Cu^{2+} 的吸附率最高, 为 95.48%;

(5) 当 Cu^{2+} 的初始浓度为 1 g/L, 酵母投加量为 5 g/L, 吸附时间为 45 min, 转速为 100 r/min, 溶液 pH 为 7 时, 吸附温度为 30°C 时, Cu^{2+} 的吸附率最高, 为 94.19%。

因此酿酒酵母吸附铜离子时, 铜离子初始浓度为 1 g/L, 最佳的酵母投加量为 5 g/L, 最佳的吸附条件为: 吸附时间 45 min, 转速 100 r/min, pH 为 7, 温度 30°C 。

参考文献:

[1] Zamani HA, Rajabzadeh G, Firouz A, et al. Determination of

copper (II) in wastewater by electroplating samples using a PVC-membrane copper (II)-selective electrode [J]. Journal of Analytical Chemistry, 2007, 62: 1080-1087.

[2] Kadirvelu K, Thamaraiselvi K, Namasivayam C. Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste [J]. Bioresource Technology, 2001, 76: 63-65.

[3] Zhang LJ, Tao HC, Wei X, et al. Bioelectrochemical recovery of ammonia-copper (II) complexes from wastewater using a dual chamber microbial fuel cell [J]. Chemosphere, 2012, 89: 1177-1182.

[4] 张传雷, 孙南楠, 谢实涛, 等. 重金属废水处理技术和资源化概论 [J]. 现代化工, 2014, 34 (4): 38-41.

[5] 雷兆武, 孙颖. 含铜废水处理技术现状 [J]. 中国环境管理干部学院学报, 2009, 32 (1): 34-38.

[6] Levings CD, Barry KL, Grout JA, et al. Effects of acid mine drainage on the estuarine food web, Britannia Beach, Howe Sound, British Columbia, Canada [J]. Hydrobiologia, 2004, 525: 185-202.

[7] 蔡佳亮, 黄艺, 礼晓. 生物吸附剂对污染物吸附的细胞学机理 [J]. 生态学杂志, 2008, 27 (6): 1005-1011.

[8] 李志东, 李娜, 邱峰. 啤酒酵母菌对铜离子的吸附研究 [J]. 食品工业科技, 2007, 2: 99-101.

[9] 张爱茜, 刘伟, 吴海锁, 等. 酿酒酵母对 Cu^{2+} 生物吸附机制的研究 [J]. 环境化学, 2005, 24 (6): 675-677.

[10] 陈灿, 周芸, 胡翔, 等. 啤酒酵母对废水中 Cu^{2+} 的生物吸附特性 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008 (12): 2093-2095.

[11] 柳思勉, 马迎春, 刘云国, 等. 改性啤酒酵母及柑橘皮凝胶小球对铜的吸附性能 [J]. 环境工程学报, 2014, 8 (6): 2181-2185.

[12] 浦剑, 李莹, 孙红文, 等. 固定化啤酒酵母制剂去除水中重金属离 [J]. 城市环境与城市生态, 2007, 20 (2): 39-42.

[13] 郜瑞莹, 王建龙. 酿酒酵母生物吸附 Cu^{2+} 的动力学及吸附平衡研究 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13 (6): 848-852.

[14] 刘振扬, 刘超. 废啤酒酵母吸附镉离子的特性探讨 [J]. 酿酒, 2008, 35 (5): 67-69.

[15] 王水云, 谢水波, 李仕友, 等. 啤酒酵母菌吸附废水中铀的研究进展 [J]. 铀矿冶, 2008, 27 (2): 96-101.

[16] 蔡佳亮, 黄艺, 礼晓. 生物吸附剂对污染物吸附的细胞学机理 [J]. 生态学杂志, 2008, 27 (6): 1005-1011.