

双金属氧化物吸附分离富营养水体中氨基酸的实验研究

隆 锐 周泽宇 / 湖南省长沙市第一中学 易 添 / 湖南省长沙市南雅中学
指导教师 高建军 余敬忠 陈浩波

◎ 简介

在学校组织的“保护水资源——青少年科学调查体验活动”中,我们发现:随着食品、药品、酿造等工业的发展,其排放的废水中含有过量的氨基酸,是导致长沙市年嘉湖发生蓝藻水华的主要原因之一(无锡太湖、武汉东湖的情况与此类似)。经走访湖南省环保局,我们了解到目前对于含有氨基酸的富营养水体处理方法主要有膜分离法、生物法、资源化法等。通过资料检索进而了解到,利用活性炭、硅胶、氧化铝、二氧化钛、沸石等作吸附剂,吸附水体中富营养因子的尝试已见诸研究报道。但是由于多种因素的影响,这些方法可能在一定程度上存在一些应用操作问题,均难以投入实施。

通过生物和化学等课程的学习,我们了解到,双金属化合物在水中具有水合效应,凝聚吸附水中的悬浮物,而氨基酸在水溶液中是以两性有机离子态的物质存在。据此,我们提出了一种用双金属氧化物(LDO)吸附分离富营养水体中氨基酸的新方法。实验结果表明,LDO对氨基酸的吸附能效高,且Mg/Fe、Mg/Al、Zn/Al型等不同LDO对不同氨基酸的吸附具有选择性。其吸附机理可能是LDO在水溶液中能重构LDH结构,可与氨基酸形成配合物。这种方法可操作性强、无二次污染、可

再生利用,对治理修复过量氨基酸废水污染湖泊水系,具有良好潜在的实用前景。

◎ 实验方案设计

➤ 吸附剂、吸附质、影响因素的选择与预设

◆ 依据环保且低成本、易生产的要求,加上不同的吸附剂与不同的氨基酸之间可能存在相互配合的问题,我们选择了天然材料Mg/Al型、合成材料Mg/Fe型、Zn/Al型等LDH作为制备LDO的前体材料,试图从中寻找一种或几种对氨基酸吸附能效较高的吸附剂,并探究其与氨基酸作用的相互关系和吸附机理。

◆ 由于氨基酸的种类很多,我们选择有一定代表性的氨基酸(如谷氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、赖氨酸等)作为吸附质。

◆ 根据氨基酸和双金属氧化物的理化特性与相关工厂的实际情况,假设其吸附处理能效可能与溶液的pH值、初始浓度 C_0 、体积V、温度T以及吸附时量t、吸附剂用量m等因素相关。把它们列为本研究的探讨因素,分别进行对比实验、单因素实验,试图从实验数据中发现某些规律或控制条件。

➤ 制备双金属氧化物

制备双金属氧化物的步骤如下:

- ◆ 配制双金属盐溶液A;
- ◆ 配制碱溶液B;
- ◆ 用共沉法合成LDH;
- ◆ 制备LDO。

➤ 单因素吸附对照实验

◆ 吸附能效推理。我们制备的3种LDO,其比表面和孔容表现出了Mg/Fe > Mg/Al > Zn/Al的关系。比表面大、孔容大,其容纳空间应该大,由此推理,如果3种LDO均具备吸附氨基酸的能力,其吸附能效有可能表现为:

Mg/Fe > Mg/Al > Zn/Al

◆ 从氨基酸的理化特性进行分析:在溶液pH=7和常温等因素的影响下,其被吸附的能效有可能表现为:

酸性氨基酸 > 中性氨基酸 > 碱性氨基酸

◆ 以上推测还须经实验验证,探讨LDO能否吸附富营养水体中的氨基酸;比较各吸附剂、吸附质之间的相互吸附能效;还要探讨影响吸附能效的因素和提高吸附能效的措施。

◆ 我们共进行了6项实验,分别探讨了不同吸附剂、不同吸附质的吸附时量与能效的关系,溶液的pH值对吸附能效的影响,溶液的初始浓度对吸附能效的影响,LDO

投入量与吸附能效的关系, 溶液温度对吸附能效的影响, 以及回收吸附剂, 探讨再生利用的吸附能效。

➤ 吸附分离富营养废水中的氨基酸

按照实验反映出高能效的应用指标, 吸附分离富营养废水中的氨基酸, 探讨本研究的实际应用价值。

◎ 实验结果与分析

➤ 吸附时量、不同吸附剂、吸附质与能效的关系

我们从实验结果及数据分析中发现, 用双金属氧化物处理氨基酸溶液, 在吸附时量上其吸附能效表现出如下特征。

◆ 双金属氧化物对溶液中的氨基酸具有吸附作用。在溶液的 C_0 、 V 和 m 一定时, 吸附率与吸附量在数值上的比值为 $R : Q = 0.02$, 具有正相关同步的特点。

◆ 同一类型的双金属氧化物对不同种类的氨基酸吸附能效不同。表现为: 酸性氨基酸 > 中性氨基酸 > 碱性氨基酸。此结果与我们之前的理论推测一致。

◆ 不同类型的双金属氧化物对同一种氨基酸的吸附能效不同, 表现为:

$Mg/Fe > Mg/Al > Zn/Al$

此结果也与我们之前的理论推测一致。

◆ 吸附能效在吸附时量上表现出了四个阶段的明显共性, 且不同吸附剂、不同吸附质之间的阶段时量有一定差异的个性。统计表现为:

第 1 时段在 0 ~ 7h 之间, 吸附速率快, 时段平均吸附量占总量

的 74% 左右;

第 2 时段在 1 ~ 13h 之间, 吸附速率降低, 时段平均吸附量低于总量的 20%;

第 3 时段在 11 ~ 24h 之间, 吸附速率迅减, 时段平均吸附量低于总量的 6%;

第 4 时段在 21 ~ 24h 以上, 吸附剂趋于饱和, 呈现微弱的波动性负吸附现象。

注: 为了综合统计分析的需要, 我们取各时段的最长时间量, 把第一时段量描述为 0 ~ 7 小时、第二时段量描述为 1 ~ 13 小时、第三时段量描述为 11 ~ 24 小时。

可见, 用双金属氧化物吸附氨基酸, 其最佳吸附时量为 7 ~ 13h, 平均有效吸附率可达 75% ~ 94%。若继续延长时量, 吸附速率会迅速下降。超过 21 ~ 24h, 还会出现负吸附现象。

➤ 溶液的 pH 值对吸附能效的影响

◆ 从 $Mg/Fe-LDO$ 吸附甘氨酸 (11h、21h、30h) 的 3 条曲线对照可见, 各时段的曲线变化基本吻合, 这表明: 溶液的 pH 对吸附能效的影响与吸附时量无关。

◆ 用 $Mg/Fe-LDO$ 吸附不同种类氨基酸, 取各自最高吸附能效时段点为对照实验参量, 其坐标曲线的相似特征表明: 溶液的 pH 值在 5 ~ 8 范围内吸附能效最高。这表明: 应用本技术, 无须调整富营养水体的 pH 值。

➤ 溶液的初始浓度与吸附能效的关系

实验结果表明: 氨基酸溶液的 C_0 在 500mg/L 以内时, R 、 Q 随 C_0 的增

大而增加; 若 $C_0 > 500\text{mg/L}$, R 则由上升转为下降; 若 $C_0 > 700\text{mg/L}$, Q 的增量大幅度降低。据此特征, 我们认为: 用 $Mg/Fe-LDO$ 吸附水体中的氨基酸, 其最佳处理浓度 C_0 可能在 700mg/L 以内, 超出这个浓度范围, 其综合吸附能效会有不同程度的降低。

➤ 双金属氧化物投入量对吸附能效的影响

从 2 组不同浓度 ($C_{0A} = 500\text{mg/L}$ 、 $C_{0B} = 700\text{mg/L}$) 的 $Mg/Fe-LDO$ 投入量对吸附能效的影响实验数据, 以及坐标图中近似于抛物曲线的图像, 我们发现:

◆ 吸附剂投入量 m 与溶液的浓度 C_0 和溶液的体积 V 有关, 溶液的体积越大, 吸附剂用量越大。在溶液的体积一定时, 浓度增大, 吸附率降低 ($R_A > R_B$), 吸附量增大 ($Q_B > Q_A$)。

◆ 初始浓度 $C_{0B} = 700\text{mg/L}$ 时, R_B 与 Q_B 两条抛物线在吸附剂用量 $m = 0.7\text{g}$ 处相交; 初始浓度 $C_{0A} = 500\text{mg/L}$ 时, R_A 与 Q_A 两条抛物线在吸附剂用量 $m = 0.5\text{g}$ 处相交。说明此处是吸附剂发挥吸附能效在 m 、 C_0 、 V 三个因素方面的最佳配合点。

➤ 溶液的温度对吸附能效的影响

从实验数据与坐标曲线图中不难发现: 双金属氧化物的吸附能效随着溶液温度的升高而增大, 且表现出温度在 5 ~ 25℃ 范围时, 双金属氧化物的吸附能效增速较快, 吸附能效高; 继续升温, 增速逐渐减缓的特征。这表明在常温条件下, 就可满足双金属氧化物吸附氨基酸的要求。温度过低不能满足吸热反应



信在不远的将来，我们通过进一步学习和研讨，肯定会得到更为完善的答案。

该项目获得第 25 届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组生物化学一等奖。

专家评语

该项目提出了一种利用双金属吸附分离富营养水体中氨基酸的新方法，实验设计合理，数据可信，结论可靠，具有潜在的重要实际价值。■

的要求，导致吸附能效低；温度高时吸附能效虽高，但吸附能效的增速缓慢。

回收吸附剂再生利用的吸附能效

实验数据表明：用漏斗加定性滤纸回收经吸附过程后基本复原的 LDH，再次煅烧重生 LDO，其吸附能效平均仅比首次吸附时低 8.43 个百分点，说明 LDO 再生利用仍有很强的吸附能力，可回收再生，多次重复利用，降低成本。

Mg/Fe-LDO 吸附分离富营养废水中氨基酸的能效

◆ 用 Mg/Fe-LDO 吸附分离食品工业排放的富营养废水中的氨基酸，具有较高的吸附分离能效。

◆ 实际应用吸附能效略低于实验室模拟实验，可能是废水中含有的其他物质与氨基酸竞争等多种因素干扰造成。

双金属氧化物吸附氨基酸的机理推测

据初步分析推测，我们认为其吸附机理可能在于，双金属氧化物具备了可吸附氨基酸的理化特性，而氨基酸具有被复合双金属氧化物吸附的理化条件。

结论与展望

◆ 本实验研究结果表明：不同类型 LDO 的吸附能效不同，同种 LDO 对不同氨基酸的吸附能效也不同。这可能与二者的理化特性的协调配合有关。

◆ 本实验研究以溶液浓度 C_0 、酸碱度 pH、温度 T、体积 V 和吸附剂用量 m、吸附时量 t 等单因素实验法，探讨了它们分别对 LDO 吸附能效的影响。发现 LDO 的吸附

过程在时量上表现出了四个时段的共性特征，以及不同吸附剂、吸附质之间的吸附时段量不同、吸附能效不同的个性特征。

◆ 本实验研究表明：溶液的 pH、浓度 C_0 和温度 T 对 LDO 和氨基酸的理化特性有一定影响，探讨了充分发挥 LDO 高效能范畴的应用指标。发现了溶液的浓度 C_0 、体积 V、吸附剂投入量 m 的最佳配合常数 R（吸附率）/Q（吸附量）= 0.02，归纳出了 LDO 投入量 $m = 0.02C_0V$ 的实用计算公式。

◆ 实验检测表明：Mg/Fe-LDO 对富营养废水中的氨基酸具有较高的吸附分离能效，单次分离处理实际吸附率可达 70.28%。因此，本实验探讨，可对如何有效抑制蓝藻水华的发生、保护水环境的深入研究提供参考。并且具有可再生利用、可操作性强、无二次污染等突出优点，实施应用前景可观。

◆ 对本实验研究的深入探讨有这样一些设想：实验显示，溶液的 pH 和浓度 C_0 对 LDO 吸附氨基酸的能效有一定影响，如何提高其吸附能效？如果改变 Mg 与 Fe 的摩尔配比，是否能提高其吸附能效？如果采用纳米级 Mg/Fe-LDO，是否能提高其吸附能效？以上设想和推测，还有待于我们今后继续进一步深入研究。虽然实验结果证实了我们的若干推测，发现了许多相关的特征和有一定规律的共性和个性，但有许多问题我们还不能完全从科学理论上给出充分的解释。相