

生物化学在废水处理中的应用

——生物吸附剂

徐耀建 202111064103 环境 211 班 能源与环境学院

中文摘要：随着工业化进程的加快，水污染问题日益严重，寻求高效且环境友好的废水处理方法成为研究热点。本研究以生物化学视角探讨了生物吸附剂在废水处理中的应用，重点研究了生物吸附剂的分子结构、生物化学性质及其与废水中污染物的相互作用机理。通过对比分析了几种常见的生物吸附剂（如活性炭、生物炭和改性藻类）在去除重金属和有机染料方面的效率。研究通过查询相关文献，探讨了吸附过程中的影响因素，如 pH 值、吸附剂剂量和接触时间等。结果表明，特定的生物吸附剂在特定条件下对某些污染物显示出高效的吸附能力。本研究还讨论了如何优化生物吸附剂的性能，以及其在实际废水处理系统中的应用前景。研究结果为生物化学在环境工程领域的应用提供了新的视角和理论基础。

关键词：生物化学；废水处理；生物吸附剂；污染物去除；吸附机理

引言：

水资源污染已成为全球面临的一项严峻挑战，尤其是工业废水中含有的重金属和有机污染物对环境和人类健康构成了直接威胁。传统的物理和化学废水处理方法虽然在一定程度上有效，但常常伴随着成本高昂和二次污染的问题。由此，开发既经济又环保的新型废水处理技术迫在眉睫。

生物吸附技术因其成本低廉和环境友好性而被认为是一种有前景的替代技术。生物吸附剂，如活性炭、生物炭和改性藻类，因其丰富的功能性基团和多孔结构而显示出对废水中污染物的高吸附能力。然而，尽管其应用潜力巨大，生物吸附剂在废水处理中的作用机理尚未完全明了，这限制了其在实际应用中的优化和效率。

本研究旨在深入探索生物吸附剂的生物化学特性及其在废水处理中的吸附机理，以提高其去除效率并优化应用过程。通过实验对比分析不同生物吸附剂在去除特定污染物方面的性能，并结合生物化学方法研究其与污染物的相互作用，本研究期望为废水处理技术提供新的理论支持和实践指导。

故此，研究不仅关注生物吸附剂的实际应用，更重要的是，通过生物化学角度的深入研究，为环境工程领域提供创新的解决方案，以应对当前和未来水资源污染的挑战。

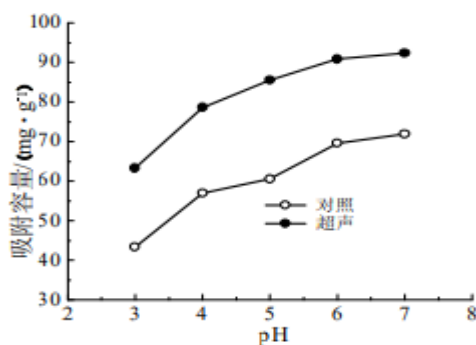
正文：

1. 生物吸附剂的生物化学基础

生物吸附剂在重金属废水处理中具有重要作用。微生物吸附剂通常包括细菌、真菌和藻类等微生物，它们的细胞壁是吸附重金属的关键部位，其中细菌和真菌细胞壁主要由多糖、蛋白质和脂质组成，而藻类的细胞壁则富含纤维素和其他多糖。羟基（-OH）在微生物细胞壁上很常见，它们可以与重金属离子形成络合作用，从而将重金属吸附到细胞表面。羧基（-COOH）也存在于微生物细胞壁上，它们具有亲和力，可以与重金属形成配位键，增强吸附效果。另外氨基基团也能与重金属离子发生相互作用，增加微生物吸附剂的吸附能力。未经处理的微生物吸附剂吸附效果通常不佳。因此，通过物理、化学等方法对微生物进行改性处理，可以提高其吸附能力。也因此，改性微生物吸附剂在重金属废水处理中具有巨大的应

用潜力。

生物吸附剂与污染物之间的生物化学相互作用对于有效去除污染物至关重要。静电吸引是生物吸附剂与污染物之间的一种重要相互作用，上述提及的羟基、羧基和氨基均有此应用。其次是氢键形成在生物吸附中的关键作用，污染物分子中的氢键供体和受体基团与生物吸附剂表面的相应基团之间形成氢键，它能稳定污染物在吸附剂表面的位置。有机污染物中的芳香环与生物吸附剂表面的芳香环之间形成 $\pi-\pi$ 键相互作用，增加了吸附的稳定性。另外



图表 1 不同溶液 pH 下的吸附容量

细介绍了 pH 值对于铅离子的吸收，并在合适的区间（图 1）选择了实验 pH 的选择。在秦昉对酵母基改性生物吸附剂的制备及其处理染料废水性能研究中，对其温度（图 2）的影响占了很大的篇幅，在温度的选择时非常严谨。

2. 不同生物吸附剂的选择标准和优化途径

2.1. 选择标准

吸附剂应具有良好的吸附性能和选择性，能够有效地吸附需要去除的污染物而不吸附其他物质。

在生物吸附剂的种类选择时，通常根据污水中污染物的种类进行选择细菌吸附剂通常具有较高的吸附速率和亲和力，适用于重金属和有机污染物的去除；真菌吸附剂对有机污染物具有较好的选择性，适用于某些有机物的去除；藻类吸附剂对重金属和某些有机物都有良好的吸附性能。

另外在经济性和可持续性方面，成本是一个重要因素，需要考虑生物吸附过程的整体经济性，需要不断努力寻找新的生物吸附材料和解吸洗脱液，以实现经济可行和有效的处理过程。

2.2. 优化途径

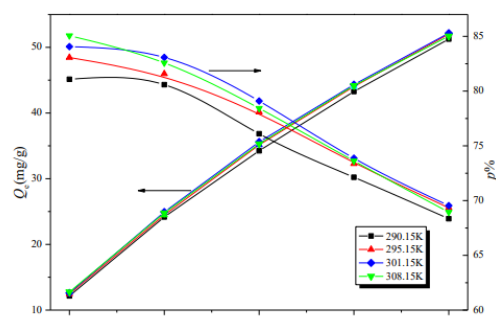
在吸附剂的优化途径上，目前常用的有物理改性、化学改性、生物改性和工艺优化等。物理改性常用的方法是通过热处理、酸碱处理等物理方法改善生物吸附剂的孔隙结构和比表面积，增强其吸附能力；化学改性通常通过接枝、交联、负载金属离子等化学方法引入新的功能性基团，提高特定污染物的吸附选择性和容量；生物改性则利用微生物或酶等生物方法对吸附剂进行改性，如通过微生物代谢产生的生物分子增强吸附剂的特异性；而在工艺优化方向上可以在吸附剂剂量、接触时间、搅拌速度等维度进行优化，以实现最佳吸附效果，比如说在李会东在对超声处理增强生物吸附剂去除废水中铅的研究中便说明了其在超声处理下的优化效果和实际应用。

3. 对吸附机理的研究与分析

生物的吸附机理主要分为物理吸附、化学吸附和离子吸附。其中物理吸附通常没有选择性由范德华引力引成，而化学吸附则具有明显的选择性，通过在固体表面形成化学键，设计

疏水性也是生物吸附剂与有机污染物之间的相互作用之一，生物吸附剂表面的疏水区域与有机污染物的疏水区域之间形成相互作用，有助于吸附有机污染物。

关于生物吸附剂的吸附性能，pH 值和温度是两个关键因素。在李会东对超声处理增强生物吸附剂去除废水中铅的研究中，就详



图表 2 温度对酵母菌吸附直接蓝 71 的影响

吸附分子和吸附剂之间的电子交换与共有，然而生物吸附剂有时表现为物理吸附，多数表现为分子吸附，离子交换被认为是生物吸附的主要方式。

生物吸附剂的吸附动力学模型常见的有准一级动力学模型、准二级动力学模型、W-M 动力学模型和 Bangham 孔道扩散模型。Xuan Guo , Jianlong Wang 在其研究¹中主要讲述了其基于 Langmuir 动力学，以及对 PFO 和 PSO 模型的理论分析，开发了吸附动力学模型的一般形式，而为了满足更好地描述整个吸附过程中的动力学地需求，也提出了使用 4 - 5 阶 Runge-Kutta 方法求解 MO 动力学模型。

¹生物吸附剂的热力学动力学模型则是用于描述和分析系统热力学特性的数学和计算工具。这些工具包括理论模型、数值方法、实验技术和计算机软件等，用于研究系统的能量、热量和熵等热力学属性。常见的热力学模型包括理想气体模型、范德瓦尔斯方程、平衡态热力学等，用于描述气体、液体和固体等物质的热力学性质。在实际应用中，则通常需要结合多种模型和理论，以及实验数据，才能得到最准确的结果。因此，对生物吸附剂的

吸附机理的研究仍然是一个活跃的研究领域。

在对这些模型进行分析时，我选用了集成了 matplotlib 的 python 绘制图像，以获得更直观的结论(py 代码上传至 github), 如理想气体模型（图 3）($PV=nRT$) 和范德瓦尔斯方程（图 4）($(P+a/(V_m^2))(V_m-b)=RT$)，发现确实可以直观的看到其各主要影响因素的关系。

4. 结论

通过深入分析和综述了生物吸附剂在废水处理中的应用，特别是从生物化学的角度探讨了各种生物吸附剂的特性、选择标准以及优化途径。研究发现，生物吸附剂因其环境友好、成本低廉以及高效的污染物去除能力，在废水处理领域展现出巨大的应用潜力。通过对比不同类型的生物吸附剂，本研究强调了选择合适的生物吸附剂对于提高废水处理效率的重要性。同时，我们还探讨了吸附机理、影响吸附效果的因素以及通过物理、化学和生物方法对吸附剂进行优化的策略，为实际应用中的问题提供了解决方案。

尽管取得了一定的成果，但我也认识到了研究中的局限性，包括文献资料的限制和理论分析的局限。因此，未来的研究需要更多实验数据的支持，以验证理论分析的准确性，并进

¹ Xuan Guo , Jianlong Wang 《A general kinetic model for adsorption: Theoretical analysis and modeling》

一步探索生物吸附剂的应用潜力。

最后，不仅为理解生物吸附剂在废水处理中的应用提供了科学依据，也为未来相关领域的研究提出了新的视角和研究方向。期待未来能有更多的研究围绕生物吸附技术展开，以实现更高效、更环保的废水处理解决方案。

6. 致谢：李玉坤，中原工学院，sci-hub，中国知网，ScienceDirect，Google scholar，Alexandra Elbakyan，X-MDL 等

7. 参考文献：

1. 刘雪梅 农林废弃物生物吸附剂处理重金属废水的研究进展 应用化用 工程科技 I 辑 10.16581/j.cnki.issn1671-3206.20190923.011 环境科学与资源利用
2. 秦昉 酵母基改性生物吸附剂的制备及其处理染料废水性能评价 博士电子期刊 2017 年第 02 期 2017-01-16——2017-02-15
3. 刘金香，葛玉杰，谢水波，俞坤. 改性微生物吸附剂在重金属废水处理中的应用进展. 微生物学通报，2020，47(3)：941-951.
4. 李会东 超声处理增强生物吸附剂去除废水中铅的研究 水处理技术 工程科技 I 辑 10.16796/j.cnki.1000-3770.2018.05.011 工程科技 I 辑 环境科学与资源利用 X703
5. 叶锦韶 高效生物吸附剂处理含铬废水 中国环境科学 工程科技 I 辑 环境科学与资源利用 X703
6. 屈艳芬 生物吸附剂-活性污泥法吸附处理含铬电镀废水 生态科学 基础科学;工程科技 I 辑 环境科学与资源利用 X703
7. 邹海明 污水处理反硝化除磷-诱导结晶磷回收工艺中除磷微生物特性 农业工程学报 环境科学与资源利用 X703.1