

# 生物炭在受污染水环境中的应用

薛晨

淮北理工学院

DOI:10.12238/eep.v7i4.2026

**[摘要]** 由于当今社会工业发展和农业生产的需要,大量的污染物被排放在水体环境中,对人类健康和环境安全造成危害。而生物炭因为其自身吸附性好、成本低和绿色环保等优点在去除水体污染物方面得到了广泛的应用。本文介绍了生物炭的制备、理化性质以及对不同水体污染物的处理,并列出了国内外的相关研究进展,最后对生物炭材料在水体环境污染处理方面的应用提出了展望和建议。

**[关键词]** 生物炭; 水体污染; 去除

**中图分类号:** X52 **文献标识码:** A

## Application of biochar in polluted water environment

Chen Xue

Huaibei Institute of Technology

**[Abstract]** Due to the needs of industrial development and agricultural production in today's society, a large number of pollutants are discharged into the water environment, which poses a hazard to human health and environmental safety. Biochar has been widely used in removing water pollutants because of its advantages of good adsorption, low cost and green environmental protection. In this paper, the preparation, physicochemical properties and treatment of different water pollutants of biochar are introduced, and the relevant research progress at home and abroad is listed, and finally the application of biochar materials in the treatment of water environmental pollution is put forward.

**[Key words]** biochar; water pollution; remove

### 前言

由于当今世界工业的快速发展导致产生了大量污染水环境的危险废弃物,这些有毒污染物导致的水体污染问题已严重威胁到环境安全和人类健康。例如醛类、酮类和酚类以及石油烷烃等有机污染物和一些重金属离子(铅、汞、砷等)会随着工业生产中的废水排放从而进入自然环境中,这些污染物在水体环境中富集后再被食物链中的生物摄入、积累,对人类和其他生物构成重大风险。此外,农业生产中的农作物对化学农药的过度依赖也会导致部分农药和中间代谢物在农产品和环境中的残留,对非目标动、植物产生负面影响。这些残留农药的浸出会导致地下水和地表水的污染<sup>[1]</sup>,也会对人类健康和环境安全构成不利影响。

生物炭作为一种有着悠久使用历史的有机材料,在不同的历史时期有着不同的作用。生物炭最早被人类用于陶制品的烧制过程从而提高陶制品的质量,或是应用于土壤环境中来提高农作物的产量。在近代人们发掘出了生物炭更多的作用,例如有害物和有害气体的吸收、碳封存、土壤pH值的改善以及对水环境中各种污染物的吸附等。由于生物炭吸附性好、成本低廉、

易于制作且对环境友好,同时含有疏松的多孔结构、丰富的官能团和稳定的碳成分而在受污染的水体环境修复方面受到广泛的应用。本文主要介绍了生物炭的制备、结构与理化性质以及应用于水环境中污染物的去除。

### 1 生物炭

#### 1.1 生物炭的制备

生物炭的定义一般是指350-500°C的温度下,在缺氧或者少氧环境中的生物质热裂解后形成的富含碳的固体副产品材料。制作生物炭的原料一般不固定,无论是农业、畜牧业生产中的废弃生物质(例如稻壳、秸秆、禽畜粪便),还是工业生产中的废弃木材,又或是日常生活中的厨余垃圾都可以作为生物炭的原材料。一般来说,制成生物炭的原料不同,其理化性质也不尽相同。例如由木材制作的生物炭的碳含量高于草本原料,但是氮含量却更低。同时,热解温度也会影响生物炭的孔隙率、官能团含量和pH值等<sup>[2]</sup>。

#### 1.2 总表面积和孔隙率

生物炭的总表面积是指其与目标物质反应的活性区域,影响着生物炭的催化能力和吸附性能。在生物质的碳化过程中,

总表面积的变化总是伴随着孔隙率的变化。增大生物炭总表面积的方法有金属掺杂和高温热解等方式,在热解过程中产生的蒸汽氧化了碳基质,从而在生物炭上产生新的孔隙以增加生物炭的总表面积。而当碳化温度升高时,一些挥发性的气体挥发后会留下更多的孔隙,随着孔隙率的增加,生物炭的堆积密度也会发生变化。

### 1.3 元素组成

生物炭中含有大量的C元素,其次为H、O元素以及少量N、S、P、K、Ca、Mg、Na等元素。与制作生物炭的生物质相比,生物炭具有不同的化学成分,通常具有更高的C含量,这与生物炭的材料、炭化工艺条件以及pH等都有相关。而生物炭的H/C比常用于描述生物炭的碳化程度及其稳定性,当H/C比值越低时,稳定性越高。生物炭的C/N比与土壤微生物的活性和植物的健康生长相关,C/N比过高时会抑制土壤中微生物的活性,过低时又会影响植物的正常生长<sup>[3]</sup>。(O+N)/C比是一般用来描述生物炭的含氧基团丰富性和水亲和性的指标,比值越大表明生物炭稳定性和吸附力越强。

### 1.4 阳离子交换容量

阳离子交换容量反映了生物炭表面可以用于吸附和交换阳离子的带负电荷位点的丰富性。在生物炭的形成过程中,由于纤维素炭化分解不完全,会保留一些含氧的官能团,这些含氧官能团决定了阳离子交换量的性能,通常与生物炭的原材料、热解温度有关。根据研究表明,在较低温度下制成的生物炭由于保留了更多的官能团而具有较高的阳离子交换能力。

### 1.5 pH

生物炭一般呈现碱性pH,这可能与生物炭本身存在大量的无机盐类和碱阳离子(如Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>)有关。有研究表明热解温度会影响生物炭pH值,一般来说生物质热解炭化过程中温度越高pH值就越高,其原因可能是因为高温热解过程中酸性官能团的分解或酸性物质挥发导致。生物炭的碱性pH使其在农业生产中作为土壤改良剂用于中和土壤酸度方面具有优秀的潜力。

### 1.6 灰分

灰分是生物炭的重要组成部分之一,平均含量在15%以上,是生物炭在热解过程中的有机物裂解后留下的无机盐类物质,影响着生物炭的性质和应用。一般来说灰分含量与热解温度和pH值呈正相关,即热解温度越高、pH值越高,灰分含量越高。生物炭中的灰分可以用于改良土壤的性质,包括提高土壤的肥力和保水性能,同时为植物提供无机营养元素,促进植物的生长。

## 2 生物炭对污染物的去除

生物炭一般可以通过吸附、络合、沉淀、离子交换和静电相互作用等方式从水环境中去除污染物。

### 2.1 对重金属离子的去除

重金属离子是本世纪的主要污染物之一,工业生产过程中排放的重金属离子对人类健康和天然水体环境构成严重威胁。重金属离子可以直接吸附在生物炭的表面,这是因为生物炭本身具有的高表面积和孔隙度,同时生物炭表现出更高的金属离

子亲和性,因此它可以物理将金属离子捕获在其表面的孔隙中。生物炭带负电荷的表面可以通过静电吸引力吸附带正电的金属离子,同时也可以通过表面官能团实现对重金属离子的化学吸附。例如Foroutan等人证明了使用改性的香蕉皮生物炭作为吸附剂对废水中的镉离子具有很好的去除效果<sup>[4]</sup>。与其他吸附剂相比,生物炭成本更低,也更安全和环保,是处理水体环境中重金属离子污染的最佳选择之一。

### 2.2 对染料去除

由于染料在生产过程中会产生大量的废水,这些废水中通常含有酸、碱和有毒化合物,并且许多染料在环境中可以稳定存在,难以通过传统的方法去除。因此,研究者们尝试使用生物炭来去除废水中的染料。有研究表明生物炭对染料的吸附能力与其表面积和pH呈正相关,这可能是因为染料分子更容易进入较大微孔以及染料中的Na<sup>+</sup>对生物炭表面负电荷的中和作用导致。同时Xu等通过比较不同材料制作的生物炭对水中甲基紫的吸附效果,证明了生物炭对染料的吸附能力与其阳离子交换能力呈正相关<sup>[5]</sup>。

### 2.3 对农药的去除

环境中农药污染的修复问题一直备受人们的关注,重要的农药修复目标包括有机磷、有机氯、三嗪类农药和氯苯氧羧酸化合物等。研究表明,生物炭对农药常见的吸附机制是疏水效应、孔隙填充、静电相互作用、离子键和氢键等。生物炭对农药的吸附能力与热解温度和表面改性的参数有关,而孔隙度决定了生物炭的最终吸附能力。生物炭对多种化学农药均有很好的吸附、去除效果。例如梁等人使用木屑制备生物炭,试验发现对水溶液中阿特拉津(ATR)、多菌灵(CAR)和啶虫脒(ACE)具有非常好的吸附效果<sup>[6]</sup>。而Singh等人使用马铃薯皮制成生物炭吸附剂用于去除有机磷农药毒死蜱,结果表明在室温下,pH5.04,处理24 h后,农药去除率达到了72.06%<sup>[7]</sup>。生物炭可以由各种废弃生物质制成,利用生物炭来修复受农药污染的水体环境是一种经济实惠,绿色环保的解决方案。

### 2.4 对酚类物质的去除

由于酚类化合物在医药、炼油、冶金、塑料和化学有机合成等工业生产中有着广泛的应用,因此当它们随着废水排放到环境中时会造成严重危害。有研究表明,酚类物质具有蛋白毒性,在低浓度下就可以使细胞变性,当它在环境中富集会首先威胁到水生动物如鱼类的健康,进而通过食物链传递后威胁到人类的安全,此外,硝基苯酚和氯苯酚是重点污染物。张等探究了水稻壳生物炭作为吸附剂对苯酚的吸附特性,结果表明最佳条件下的吸附率达98%<sup>[8]</sup>。Feitoza等人使用巴西莓种子制备的生物炭作为吸附剂,对模拟废水中的邻苯二酚去除率达到了98.36%,表明生物炭可以有效的处理真正的工业废水<sup>[9]</sup>。

### 2.5 对抗生素的去除

一般来说,抗生素通常用于制药业和农业中用于预防和治疗由微生物引起的感染,例如青霉素、头孢菌素和大环内酯类抗生素。然而抗生素在使用过程中只有少部分被吸收,大量的抗生

素会通过尿液或粪便分泌,进而释放到周围环境中,最终将导致严重的环境问题。生物炭在受抗生素污染环境中的修复方面同样发挥着重要作用。Hamadeen等以从石榴皮中提取到的新型纳米结构活性生物炭作为吸附剂,有效去除了废水中的抗生素环丙沙星<sup>[10]</sup>。

### 3 结论与展望

本文通过对生物炭在环境污染物的去除方面的相关资料和文献进行整理、分析,从而对后续研究提出以下建议:

(1)目前生物炭在处理污染物方面得到广泛应用,但是相关研究仍然不够充足。如不同材料生物炭以及同种材料不同制备条件下的生物炭之间性质差异较大,缺少统一的标准。

(2)生物炭直接施用到水体中容易受到复杂环境条件影响,无法充分发挥作用,以及存在回收困难等问题,今后研究中可以尝试将生物炭与更多材料结合制成复合材料,挖掘出生物炭的更大潜力。

(3)目前研究施用生物炭后对环境的影响大多是短期、微观的,缺乏长期、宏观影响的相关研究。

#### [参考文献]

[1]Sun S,Sidhu V,Rong Y,etal.Pesticide pollution in agricultural soils and sustainable remediation methods: a review[J].Current Pollution Reports,2018,4:240-250.

[2]李佳琪.山地城市污泥生物炭对Cu(II)的吸附特性及其固碳作用[D].重庆交通大学,2023.

[3]斯琴毕力格.C/N比对好氧堆肥过程中堆体内部主要指标变化的影响[D].东北农业大学,2017.

[4]ForoutanR, Peighambardoust S J, Mohammadi R, et al. Cadmium ion removal from aqueous media using banana peel biochar/Fe3O4/ZIF-67[J].Environmental Research,2022,211:13020.

[5]Xu R, Xiao S, Yuan J, et al. Adsorption of methyl violet from aqueous solutions by the biochars derived from crop residues[J].Bioresource technology,2011,102(22):10293-10298.

[6]梁茂儒,陆玉芳,马明坤,等.木屑生物质炭对水中阿特拉津、多菌灵和啉虫脒复合农药的吸附性能研究[J].土壤,2022,54(04):793-801.

[7]SinghM, Rano S, Roy S, et al. Characterization of organophosphate pesticide sorption of potato peel biochar as low cost adsorbent for chlorpyrifos removal[J]. Chemosphere, 2022, 297:134112.

[8]张娱,帕合热叶·卡哈尔,唐志书,等.水稻壳生物炭对苯酚的吸附特性研究[J].中国稻米,2019,25(05):58-61.

[9]Feitoza U S, Thue P S, Lima E C, et al. Use of biochar prepared from the açai seed as adsorbent for the uptake of catechol from synthetic effluents[J].Molecules,2022,27(21):7570.

[10]Hamadeen H M, Elkhatib E A. New nanostructured activated biochar for effective removal of antibiotic ciprofloxacin from wastewater: Adsorption dynamics and mechanisms[J]. Environmental Research,2022,210:1129.

#### 作者简介:

薛晨(1994—),女,汉族,安徽淮北人,硕士,助教,研究方向:环境微生物学。