

园林绿化废弃物生物质炭化与应用技术研究进展

摘要：园林绿化废弃物的高效、经济、资源化循环利用是现代城市发展的重要内容之一。生物质炭化是有机废弃物低温热裂解转化成生物炭的过程。在大力倡导发展低碳园林的今天，园林绿化废弃物生物质炭化技术是适应我国新时期低碳、循环和可持续城市园林绿化发展需求最有效的技术手段之一。介绍了以园林绿化废弃物为原料制备的生物炭性质特征、主要制备工艺以及国内外园林绿化废弃物炭化与资源化循环利用技术的研究与实践，建议加快园林绿化废弃物就地炭化处理及其在园林绿化养护中的应用技术的产业化进程，为我国节约型、低碳园林和低碳城市的规划建设提供实施依据。

园林绿化由于在改善城市环境质量、缓解城市热岛效应，维持城市生态平衡方面的特殊作用而受到人们的重视。2012年3月全国绿化委员会办公室发布的《2011年中国国土绿化状况公报》显示，截至2011年底，全国城市建成区绿化覆盖面积161.2万 hm^2 ，绿化覆盖率、绿地率已分别达到38.62%和34.47%^[1]。

随之而来的园林绿化废弃物如枯枝落叶、树枝、草坪修剪物、杂草和残花等量越来越大，园林绿化废弃物已成为继城市生活垃圾后又一大城市废弃物。传统的园林绿化废弃物的处置方法包括填埋、焚烧和生产沼气等，但对于营养成分较高的园林绿化废弃物这一类特殊物质而言，这些简单处理方法意味着可供植物生长的营养元素的大量浪费，且处理效率低，处理成本高，还可能造成二次污染。

近年来，作为低碳城市建设的重要内容，低碳园林开始受到城市管理者和规划人员的重视，但目前低碳园林仅处于概念层面，缺乏具体的实施途径^[5]。

生物炭(Biochar)的发现为园林废弃物的可持续综合利用、建设低碳园林提供了新的技术途径。Nature等国际顶级刊物连续发表文章，指出生物炭在固碳减排、土壤改良和环境污染治理中的潜在应用前景。从Web of Science数据库中可以发现，国际上所有发表的与生物炭相关的SCI论文中，2010和2011年发表的论文占77.58%，可见，生物炭研究已经成为当前最具吸引力的研究方向之一，并呈现快速发展趋势。

生物炭在改善土壤肥力并提高作物产量，以及降低环境中重金属和有机污染方面有巨大的潜力。它和与其性质相似的活性炭相比，成本较低，易被大众接受；与其他增产增肥措施相比，具有效果好、持续时间长的优点。将园林植物废弃物炭化，不仅有利于实现废弃物的资源化综合利用，而且，对于应对气候与环境变化、固碳减排、保障能源安全和粮食安全都具有重要意义和广阔的发展前景。本文对以园林绿化废弃物为原料制备的生物炭性质特征、主要制备工艺及其炭化与资源化循环利用技术的研究与实践进行了综述，以期为我国节约型、低碳园林和低碳城市的规划建设提供实施依据。

表1 几种园林植物生物炭灰分及主要矿物质含量(mg/kg)^[6]

原料	灰分/%	Al	Ca	Fe	Mg	Na	K	P	Si
橡树	0.27	1 000	350 000	3 400	16 000	6 400	98 000	5 400	4 200
柳树	1.10	20	3 900	30	360	150	1 400	340	-
椰糠	0.80	150	480	190	530	1 800	2 400	50	3 000
木屑	0.44	9 800	170 000	29 000	27 000	10 000			
杏仁壳	3.40	5 000	80 000	6 100	14 000	5 500	-	-	-
橄榄仁	2.60	18000	97 000	24 000	20 000	7 900	-	-	-
银合欢	0.90	-	6 000	610	1 200	90	610	100	200

表2 典型生物炭制备方式特点比较^[7-8]

制备方式	反应器类型	生物炭产率	优点	缺点
批式制备	地窖、砖窑等	10%~30%	设备简单、成本低廉	产率较低、无能量回收、裂解气排入大气污染环境
连续制备	回转窑、螺杆式裂解仪等	25%~40%	产率更高、原料更灵活、副产物的能量可回收用于反应本身、操作更简单、产物更清洁、可连续生产	设备复杂、成本较高

1 生物炭的性质特征

早在19世纪，生活在亚马逊河流域的人们就发现了一种特殊的“黑土壤(Terra Preta)”，并开始在农业上使用，当地人将其称为“印第安人黑土”。这种土壤含有丰富的生物炭及其他有机物质，具有很强的恢复土壤生产力的能力。亚马逊黑土的发现，揭开了人们对生物质炭研究的序幕。

到目前为止，生物炭还没有十分确切的定义，但从广义上可以认为其是黑炭的一种，通常是指生物低温热解炭化后的固体产物，其核心是生物废弃物在低温(< 700)和无氧或微氧条件下，热解转化后形成的一种有机碳含量高、吸附能力强、多孔性和多用途的功能化环保材料。Lehmann等(2009)将生物炭特指为改良土壤性状而人为施入的炭化有机物^[6]。

生物炭

制备原料来源广泛

，就园林绿化废弃物而言，用树叶、树枝和草坪剪落物制备生物炭均有研究报道^[4]

。对生物炭化学成分分析发现，它们主要由芳香烃和单质碳或具有石墨结构的碳组成，除了含有C、H、O、N等元素外，还含有P、S、K、Ca、Mg等植物营养元素，其中C的含量最高，能达到38%~76%。生物炭可溶性极低，具有高度羧酸酯化和芳香化结构，拥有较大的孔隙度和比表面积。这些基本性质使其具备了吸附力、抗氧化力和抗生物分解能力强的特性，可广泛应用于农林业、工业、能源、环境等领域。研究表明，生物炭的元素组成及其含量与所用的生物质种类和裂解温度有关，其中，草本植物中矿物质含量大于木本植物。表1列出了几种园林植物生物炭中主要元素和矿物质含量。

2 生物炭的制备方法和制备技术

生物炭制备方式主要分为集中、分散和流通式3种: 1)集中式是指某一地区的所有生物质废料都被送到中央处理厂进行集中处理, 目前美国和加拿大的公司普遍采用这种方式; 2)分散式是指每个农户或小型农户联合体拥有属于自己的技术含量相对较低的高温分解炉; 3)流通式是指一辆装有高温分解设备的合成气动力车走乡串户, 将制好的生物炭给农户使用, 在我国这种方法可能更为可行。

生物炭的产生是基于热裂解技术形成的, 所谓生物质热裂解(又称热解或裂解)是指在隔绝空气或通入少量空气的条件下, 利用热能切断物质大分子中的化学键, 使之转变为低分子物质的过程, 热解过程经常采用限氧升温炭化法。根据反应条件, 热裂解可以分为快速、中速和慢速裂解3种, 反应所需要的能量由4种不同的途径提供: 1)由反应自身放热提

供; 2)通

过直接燃烧反应副

产物或基质提供; 3)燃气燃烧加热反

应器间接提供; 4)由其他含热物质间接提供^[6]。目前国内外生物炭的制备技术主要包括批式(Batch process)和连续式(Continuous processes)2种。批式制备是一种传统的制炭方法, 一般将土覆盖在点燃的生物质上, 使之长时间无焰燃烧。或者以“窑”的形式将生物炭加温, 在缺氧环境条件下燃烧。

这些方式设备一般比较简单, 易于实施, 并且成本低, 但产率不高, 且无热量回收并会产生新的污染。随着生物炭应用与需求的不断扩大, 用传统方法生产生物炭已不切实际。现代制备生物炭常用连续制备, 具有产率更高、原料更灵活、副产物的能量可回收用于反应本身、操作更简单、产物更清洁、可连续生产等特点, 是未来生物炭生产的主流方式。2种方式的主要对比特点见表2。

3 园林绿化管理中生物炭的应用

应用生物炭的最初目的是为了将空气中更多的碳转入地下, 从而降低空气中二氧化碳的浓度, 达到温室气体排放标准, 减缓地球变

暖, 但在试验的同时发现生物炭

在改良土壤、促进植物生长方面具有明显的促进作用^[9]

。研究表明, 生物炭能够提高土壤有机碳含量, 改善土壤保水、保肥性能, 减少养分损失, 是良好的土壤改良剂。在促进植物生长方面, 土壤添加生物炭后, CEC会增加, 植物生长所需的K、Mg、Ca、Mo、B和Mn等主要阳离子和P的可给态会显著增加, 同时, 生物炭自身也会带入一些可以促进植物生长的养分及微量元素。

日本神奈川县相模湖町的私有林地栽植杉松时, 每株穴内放置1kg炭粉, 以后逐年与对照地作树木生长量的对比, 最初几年没有明显区别, 渐渐长势差距明显, 至第8年施炭杉松平均树高8m, 较对照树整整高出2m。为草坪施加炭粉, 可早发2~3周, 草绿色浓, 扎根深, 绿色期延长大约1个月左右。在高尔夫球场加生物炭垫层, 除具有上述作用以外, 可以对所投入的杀虫剂、杀菌剂起到缓释及防止雨后形成径流污染等作用。花木在移栽过程中, 使用生物炭与有机肥的充分混合做底肥或在配制营养土时掺入5%~20%的生物炭, 能够增加有机肥的可吸收性, 促进愈伤组织的生长, 提高花木移栽的成活率。育苗移栽发根多、生长快、成活率高。对容易产生伤流的花木, 如葡萄、无花果等, 在修剪或换盆后, 可用新鲜生物炭涂抹在伤口处, 控制伤流, 促进伤口愈合^[10]。

除此之外, 生物炭施用还会引起土壤容重降低, 孔隙度增加, 生物炭的多孔结构、持水能力以及留存的矿物元素使其成为土壤微生物的良好栖息环境, 为土壤有益微生物特别是菌根真菌提供保护。在日本, 生物炭基肥料经常用于园林植物苗圃来达到改良土壤, 保护接种菌根真菌的目的。Ogawa(2010)报道, 采用沟施(30cm)方法, 将树皮生物炭施于黑松(Pinus thunbergii)幼林土壤中, 发现3个月后, 新根从生物炭中长出, 通过配施少量磷肥, 9个月以后, 大量蘑菇长出, 1年以后, 松树根以及生物炭中的红菌根真菌(Rhizopogon rubescens)数量显著增加, 发芽数量和针叶颜色得到显著改善。目前, 在国外专业绿化中已经广泛采用生物炭对名胜古迹、公园等的古树名木进行复壮^[11]。

4 生物炭对污染环境的治理作用

许多研究表明, 生物炭是一种低成本的高效吸附剂, 非常适合于污染环境的治理。在污染土壤治理中, 丁文川等(2011)将不同温度下热解的松木条生物炭用于修复重金属Pb和Cd污染土壤, 结果表明, 生物炭加入具有钝化土壤重金属, 降低其生物有效性的作用^[12]

。生物炭可有效抑制园林绿化废弃物堆腐过程中恶臭气体的释放, 同时也可改善微生物的生长代谢环境, 提高园林绿化废弃物堆腐产品的腐熟质量^[13]。

Ch
en等(2009)
)发现松树枝生成的
生物质炭可以有效去除污染水体中的萘
、硝基苯以及间二硝基苯等环境污染物^[14]
。Shang等(2012)发现香樟树枝制成的生
物炭可以有效去除恶臭气体中的硫化氢^[15]
。Azargohar等(2011)用白木制备的生物炭对H₂
S恶臭气体的脱除进行了研究,发现这种生物炭对H₂
S的脱除效果比普通的纯活性炭好^[16]
。邢英等(2011)采用桉树废木屑为原料,过2mm筛,于500 ℃下炭化1h后,以生物炭作为吸附剂,通过静态实验,研究了生物炭对水体中铵氮的吸附特性,最大吸附量为1.24mg/kg^[17]
。总之,生物炭的低成本、多孔性、环境高稳定性和巨大的比表面积以及富含的活性基团等使得生物炭对环境污染物具有强烈吸附作用。实际上,生物炭是活性炭的前驱体,而活性炭已被证实是一种优良的载体材料,相比而言,生物炭未经活化过程,避免了对环境二次污染的风险,其制备成本也大大降低^[12]。

5 结语与展望

利用园林绿化废弃物生产生物炭,具有负碳减排、改良土壤和环境治理等优点,是适应我国新时期低碳、循环、可持续发展需求的技术手段。如果还一直沿用填埋、堆放、焚烧等传统处理方式,必然给城市环卫部门带来很大的处理压力,并会造成环境污染(事实上由于城市垃圾填埋场稀缺,目前很多填埋场已拒绝接收绿化废弃物)。至于堆肥处理,由于要增加场地、人工、设备等方面的成本,加之,政策、资金和技术等方面原因,园林废弃物的统一收集、处理和土地利用在我国全面实施还有一定的难度,因而极大制约基层部门将绿化废弃物堆肥处理的积极性。

相比而言,生物炭拥有低成本、多功能性等优点,越来越受到人们的广泛关注,特别是一些小型化、低成本、可分散炭化炉和简单实用的炭制备工艺的研究开发,彻底解决了大规模集中化处理中难于克服的原料储运问题,使数量庞大、分散、不易储运的园林绿化废弃物就地炭化、加工成为可能,为园林绿化废弃物就地循环利用提供了行之有效的新途径。

目前国外有数百个大专院校、公司和企业开展生物质热裂解转化生物炭的研究、小试及中试,有些单位具有中试车间、示范厂。个别单位拥有生物炭移动生产设备,如美国弗吉尼亚理工大学,加拿大西安大略大学等。除此之外,全球有关生物炭的国际组织、地区组织、协会及学会、企业、研究机构网站已逾千家,这为生物炭的知识传播和研究交流提供了很好的平台,推动了全球生物炭的研究、生产与推广。

近年来,在我国已有不少研究机构对园林绿化废弃物炭化与资源化利用技术进行了一些研究,但就总体情况看,仍处于起步阶段。鉴于园林绿化废弃物种类与含水量、绿化土壤类型、生物质热解温度、生物炭化学成分及其施用量等因素都可能影响生物炭的土壤环境生态效应,对这些因素进行系统研究,有利于全面评价用园林绿化废弃物制备的生物炭对绿化土壤生态系统的影响与作用,为应用提供科学依据。

因此,建议园林绿化主管部门和政府应尽快立项支持园林绿化废弃物生物质转化技术研究,特别是加快园林绿化废弃物就地炭化处理及其在园林绿化养护中的应用技术的产业化进程,并作为低碳事业予以引导和扶持,为全面落实建设部《关于建设节约型城市园林绿化的意见》,促进我国园林绿化可持续发展和城市建设,参与固碳减排核心技术的国际竞争提供支撑。

参考文献:

[1]全国绿化委员会办公室.2011年中国国土绿化状况公报.

[2]吕子文,方海兰,黄彩娣.美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J].中国园林,2007(8):91-94.

[3]B ü y ü ks ö nmez F, Evans J. Biogenic emissions from green waste and comparison of the emissions resulting from composting, Part II: Volatile organic Compounds (VOCs) [J]. Compost Science and Utilization, 2007, 15:191-199.

[4]Daniel R H. Bioasphalt from Urban Yard Waste Carbonization: A Student Study. Master of Sciences (Engineering), Case

Western Reserve University[J].Civil Engineering , 2011.

[5]滕明君,周志翔,岳辉,等.低碳园林的生态途径[J].中国园林,2012,28(4):40-43.

[6]Lehmann J, Joseph S.Biochar for Environmental Management:Science and Tecnology[M].London , UK:Earthscan Publications Ltd , 2009:1-9.

[7]王怀臣,冯雷雨,陈银广.废物资源化制备生物质炭及其应用的研究进展[J].化工进展,2012,31(4):907-914.

[8]Duku M H , Gu S , Hagan E B.Biochar production potential in Ghana:A review[J].Renewable and Sustainable Energy Reviews , 2011 , 15(8):3539-3551.

[9]杨丹,刘限,刘鸣达,等.生物炭对农业可持续发展和环境改良作用的研究进展[C].发展低碳农业应对气候变化:低碳农业研讨会论文集:342-345.

[10]密西西比国际水务(中国)有限公司.生物炭的土壤改良作用[EB/OL].http://www.mississippi-water.com.cn/news.aspx?Nt_id=147&id=37.

[11]Ogawa M , Okimori Y.Pioneering works in biochar research , Japan Australian[J].Journal of Soil Research , 2010 , 48(6/7):489-500.

[12]丁文川,曾晓岚,王永芳,等.生物炭载体的表面特征和挂膜性能研究[J].中国环境科学,2011,31(9):1451-1455.

[13]郝利峰,孙向阳,李雪珂,等.不同外源添加物对园林绿化废弃物腐熟过程的影响[J].中国农学通报,2012,28(7):302-306.

[14]Chen B , Chen Z.Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochars of orange peels with different pyrolytic temperatures[J].Chemosphere , 2009 , 76(1):127-133.

[15]Guofeng S , Guoqing S , Tingting W , et al.Effectiveness and mechanisms of hydrogen sulfide adsorption by camphor-derived biochar[J].Journal of the Air & Waste Management Association , 2012 , 62(8):873-879.

[16]Azargohar R , Dalai A K.The direct oxidation of hydrogen sulphide over activated carbons prepared from lignite coal and biochar[J].The Canadian journal of chemical engineering , 2011 , 89(4):844-853.

[17]邢英,李心清,周志红,等.生物炭对水体中铵氮的吸附特征及其动力学研究[J].地球与环境,2011,39(4):511-516.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/85270.html>