

# Resource Utilization of Spend Coffee Grounds: A Review

Chang Lu, Yu Zhang, Zhiyuan Huang, Bao Chen, Rong Cui\*

School of Environmental and Material Engineering, Yantai University,  
Yantai Shandong

Email: lu18865512395@163.com, \*18660051232@163.com

Received: Jul. 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jul. 26<sup>th</sup>, 2019; published: Aug. 2<sup>nd</sup>, 2019

---

## Abstract

Coffee is a popular drink. While Coffee is popular in the world, a large number of coffee residue (Spend Coffee Grounds, SCG) produced in the coffee manufacturing process is easily overlooked. About 1 ton of coffee beans can produce 650 kg SCG. Compared with the rapid development of the coffee industry, the disposal of SCG still remains in the landfill stage of extensive landfill disposal, which means that a large quantity of resources is wasted and hidden dangers for the ecology. SCG contains a large amount of organic compounds such as fatty acids, amino acids, polyphenols, minerals and polysaccharides. Resource utilization is a necessary means to ensure the sustainable development of the coffee industry. Through literature research, the research on the resource utilization of SCG at home and abroad mainly focuses on the following aspects: recovery of specific compounds in SCG, production of activated carbon and carbon composites using the specific structure of SCG, production of biofuels using SCG calorific value, and composting SCG. The study found that the current use of SCG resources is mainly for a certain feature of SCG. Although some of the resource utilization of SCG is realized, there is still a lot of waste and pollution. The research on the comprehensive utilization scheme of SCG is still at the initial stage, which needs to be further explored to realize the coordination and matching among various units, reduce costs and realize industrialization.

## Keywords

Spend Coffee Grounds (SCG), Resource Utilization, Coffee Carbon, Biological Fuel, Compost

---

# 咖啡渣资源化利用研究进展

路 昌, 张 昱, 黄致远, 陈 豹, 崔 荣\*

烟台大学环境与材料工程学院, 山东 烟台

\*通讯作者。

## 摘要

咖啡是备受人们喜爱的饮品,但在咖啡制造过程中会产生大量的咖啡渣(Spend Coffee Grounds, SCG),大约1吨咖啡豆可以生成650 kg SCG。相比咖啡产业高速发展,SCG的处置仍停留在粗放的填埋处理,即浪费了大量资源也为生态埋下了隐患。SCG中含有大量脂肪酸、氨基酸、多酚、矿物质与多糖等有机化合物,对其进行资源化利用是保证咖啡产业可持续发展的必要手段。通过文献调研,国内外对SCG的资源化利用研究主要围绕如下几个方面进行:回收SCG中的特异性化合物、利用SCG的特异性结构生产活性炭及碳复合材料、利用SCG热值生产生物燃料以及对SCG堆肥。研究发现,现阶段SCG资源化利用主要是针对SCG某一特点进行,虽然实现了SCG的部分资源化利用,但仍有较大浪费和污染。SCG综合利用方案的研究尚处于起步阶段,有待进一步的深入探究,以实现各单元间的协调匹配,降低成本,实现产业化。

## 关键词

咖啡渣, 资源化利用, 咖啡碳, 生物燃料, 堆肥

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

咖啡以其独特的风味受到了全世界的欢迎,据国际咖啡组织(International Coffee Organization, ICO)统计,2017/2018年度全球咖啡产量达到了951.36万吨[1]。在享受咖啡醇香氤氲出令人回味的浪漫的同时,伴随咖啡产生的咖啡渣却无人问津,往往直接丢弃。据统计,大约1吨咖啡豆可以生成650 kg SCG,每制备1 kg速溶咖啡会生成2 kg湿SCG[2]。若放任SCG直接进入环境,其含有的咖啡因、单宁酸以及多酚等成分将转化为有毒物质,严重污染环境。同时,如表1[3]所示SCG中含有大量脂肪酸、氨基酸、多酚、矿物质与多糖等有机化合物。其丰富的特异性化合物、较高的热值和特殊的结构都为SCG资源化利用提供了可能。

## 2. SCG 资源化利用方案

基于SCG的特点,国内外对SCG资源化利用围绕着如下几个方面进行:回收SCG中的特异性化合物、利用SCG的特异性结构生产活性炭及碳复合材料、回收利用SCG热值生产生物燃料以及对SCG堆肥等几个方面。

### 2.1. SCG 中特异性化合物的利用

SCG中多糖和多酚等特异性物质含量较高。甘露聚糖是一种高效的天然防腐剂,可以有效的延缓食物腐败,而甘露聚糖水解生成的D-甘露聚糖在食品医药工业上亦有重要的应用价值,如何高效提取这些化合物就成为SCG资源化利用的关键。

**Table 1.** The composition of spend coffee grounds  
**表 1.** SCG 组成

参数	含量	参数	含量
高位热值(MJ/kg)	19.0~26.9	总木质素(% dwt)	32.5~33.6
湿度(%)	1.18~65.7	单宁酸(% dwt)	0.02 ± 0.1
总氮(% dwt)	1.9~2.3	绿原酸(% dwt)	0.4789~3.3
总碳(% dwt)	47.8~69.5	咖啡因(% dwt)	0.02~0.4526
纤维素(mg/kg)	8.6~15.3	乙酰基(% dwt)	2.2
半纤维素(mg/kg)	36.7 ± 5.0	灰分(% dwt)	0.43~2.2
阿拉伯糖(mg/kg)	1.7	钾(mg/kg)	3549
半乳糖(mg/kg)	13.8	磷(mg/kg)	1475.1
甘露聚糖(mg/kg)	21.2	镁(mg/kg)	1293.3
蛋白质(mg/kg)	6.7~13.7	钙(mg/kg)	777.4
脂肪(mg/kg)	10.0~15.0	铝(mg/kg)	279.3
总糖(mg/kg)	8.5 ± 1.2	铁(mg/kg)	118.7
总多酚(% dwt)	1.5 ± 1.0	锰(mg/kg)	40.1
果胶(% dwt)	0.01 ± 0.005	铜(mg/kg)	32.3
克拉克松木素(% dwt)	30.9~31.9	锌(mg/kg)	15.1
可溶木质素(% dwt)	1.6~1.7	硫(mg/kg)	nd

1999 年, 孙中亮为首的海南大学研究组率先采用高温短时管式反应器对 SCG 水解, 甘露糖收率达到 47% [4]。进一步, 低酸度高温度连续水解工艺的提出降低了成本, 同时甘露糖收率提高到 48% [5]。

葡萄牙阿威罗大学的 Coimbra 团队在 2013 年进行了一系列的实验, 以提高多糖的提取率。在对 SCG 焙烧处理和碱处理后高温糖提取, 可实现半乳甘露聚糖提取率 56%, 阿拉伯半乳糖提取率 54% [6]。采用顺序微波过热水提取甘露聚糖, 第 3~5 次微波辐射的甘露糖回收率分别达到 48%、56%和 69%, 且第 3 次微波辐射主要回收半乳甘露聚糖, 而 4 次和 5 次的微波辐射主要回收脱支的半乳甘露聚糖 [7]。2016 年, 葡萄牙 Ballesteros 团队提出更加简便清洁的自动水解工艺, 可获得 29.29%的多糖冻干材料, 并对其抗氧化性作出分析 [8]。2017 年, 韩国的 Getachew 等 [9] 使用响应面方法优化超声预处理和亚临界水解条件, 获得多糖  $18.25\% \pm 0.21\%$  的最高产量, 并发现其具有体外降血糖活性。

植物多酚广泛存在于植物中, 是纯天然的抗氧化剂, 在皮革、化工、医药、农业、食品、材料等领域有着非常广泛的运用 [10]。2003 年, 陈祎平团队研究发现 SCG 的乙醇提取物具有较好的抗氧化性 [11], 但未对具体成分进行分析。2011 年, 刘鑫等 [12] 进行了静态亚临界水提取 SCG 中多酚类物质的研究, 最佳提取条件下总酚含量可达  $56.59 \pm 0.25$  mg GAE (没食子酸当量)/g。巴西科研人员同年进行了超临界流体萃取实验获得多酚  $57 \pm 3$  mg GAE/g, 并与超声波辅助提取和索氏提取进行了比较 [13]。

葡萄牙米尼奥大学的科研人员对 SCG 提取多酚进行了系列研究, 从 2011 年常规固液法甲醇萃取到 2015 年温和条件下的水热预处理, 再到 2016 年优化条件下的自动水解, 工艺简化的同时提取效率也从 16 mg GAE/g、32.92 mg GAE/g 提高到 40.36 mg GAE/g [14] [15] [16]。2018 年, 墨西哥学者提出克劳氏芽孢杆菌固态发酵技术, 经过 39 h 发酵提取物中总酚含量增加 36%, 抗氧化活性增加 15% [17]。

提取技术的发展推动了 SCG 特异性化合物的利用, 绿色溶剂的使用和物理辅助工艺的加入不仅提高了提取效率, 减少二次污染, 也将可持续发展的理念贯彻的更加彻底。SCG 中特异性化合物因其较高价

值受到众多研究人员青睐,但特异性化合物的提取只是利用了 SCG 中的一小部分,提取后仍将剩余大量废弃物,资源利用不完全,仍存在环境隐患。

## 2.2. SCG 中特异性结构的利用

SCG 含有大量碳并且具有多孔结构,这一特异性结构为其资源化利用打下了基础,最先得到关注的便是制取活性炭。

2014 年,林海等人研究发现一定条件下可使 SCG 对  $Pb^{2+}$  和  $Zn^{2+}$  的吸附量达到最大,分别为 5.49 mg/g 和 12.38 mg/g,可以满足铅锌矿山酸性废水处理的酸度要求[18]。2015 年,土耳其科研团队制备  $Fe_3O_4/SCG$  复合活性炭用于四环素的去除,最大四环素吸附容量为 285.6 mg/g [19]。2016 年, Jung 等[20]将来自 SCG 的活性炭粉末捕获到藻酸钙珠中制备基于生物质的颗粒活性炭,用于从水性介质中去除酸性橙 7 和亚甲基蓝,且连续七个循环后去除效率仍超过 80%。同年, Dai 等[21]研究了 NaOH 改性的 SCG 活性炭对硝基苯的吸附作用,发现 NaOH 处理的 SCG 对硝基苯的饱和吸附量高达 169.4 mg/g,且吸附平衡在 30 分钟内即可达到。

为进一步提升 SCG 的价值,部分学者将目光转向了利用 SCG 制备电极材料。2013 年,菊池圭介及其研究团队[22]使用由 KOH 活化的 SCG 衍生的碳制备双电层电容器,发现当在高电流密度下使用时,该双电层电容器在电容保持率方面优于传统电容器。2014 年,田文卿等[23]以 SCG 为原材料,利用碳化和活化反应制备出多孔碳材料,该材料具有较高的石墨化程度且循环稳定性较好,其质量比容量远高于石墨的理论容量。

受 SCG 良好吸附性启发,我国学者率先提出咖啡纱这一特色资源化方案。台湾的陈国欣所开设的台湾兴采实业股份公司将 SCG 融入纺织技术中,制成了世界唯一的“咖啡纱”并于 1995 年获得美国发明专利局证书[24]。SCG 经处理形成纳米级 SCG 粉末,自身的孔洞结构通过毛细管效应实现吸湿速干功能。据相关研究,咖啡纱比一般服饰可加强至 50% 的快干效果,抵挡 UVA、UVE 的功效比纯棉高五倍以上[25]。自 2012 年起,洪亮、田小迪、杨自治和曹秋玲等人又相继开发出不同咖啡碳纤维并与传统纤维进行组合成新型面料[26] [27] [28] [29]。

SCG 粒径小且具有一定程度的碳化,这使得其在制备活性炭和多孔碳材料时具有明显的能耗优势,未来的研究趋势将是更加绿色环保的活化工艺和回收性能。针对 SCG 结构的利用可作为 SCG 资源化利用中的下游工序,如完成特异性化合物提取后再对其功能性结构进行利用,但现有特异性化合物提取工艺对其功能性结构利用影响的研究尚属空白。

## 2.3. 利用 SCG 制备生物燃料

由表 1 可知 SCG 具有较高热值,19.0~26.9 MJ/kg 的高位热值使得一部分学者将 SCG 送进炉膛做了燃料。2012 年,法国 Limousy 团队进行了商业住宅颗粒锅炉 SCG 锯末 1:1 混合颗粒燃烧试验,测试表明使用 SCG 和锯末混合颗粒可以替代纯木屑[30]。2017 年,意大利学者论证在 29 kW 的空气炉中 SCG-木屑造粒和燃烧的可行性,并讨论了一家小型意大利烘焙公司通过 SCG-木屑颗粒燃烧代替每天 400 Nm<sup>3</sup> 天然气能源需求的案例[31]。同年, Kang 等开发了一种以干咖啡渣为燃料的锅炉系统,实验并证实可以将 SCG 作为燃料进行燃烧,但由于 SCG 中较高有机质含量,使得排放气体中氮氧化物含量较高,需进一步优化燃烧条件[32]。2018 年,韩国的 Jahng 等[33]研究发现, SCG 是非常好的污泥生化干燥的试剂, SCG 中富含的 VOC 和溶解性有机物是使得污泥生物脱水的主因, SCG 可加速污泥的脱水过程,并获得低位热值高达 9284 kJ/kg 的生物燃料。

生物柴油是近年的“新星”,与石化柴油相近的化学结构,可在一定程度上替代石化柴油并且可再生。近年来对以 SCG 作为原料进行生物柴油制备的研究主要有 SCG 油脂的提取和如何将其转化为生物柴油两部分。陈祎平的团队在 2003 年进行过 SCG 中提取油分[34]的实验,通过对比浸渍法、回流提取法



和索氏提取法等提取方法,得到最高 18.31%的咖啡油得率。传统萃取法需使用溶剂对 SCG 进行萃取提取油分,索氏法有突出的提取效率但挥发性有机溶剂限制了其发展,超临界法就成为了新的选择。根据 Ricardo 等[35]人 2009 年的研究,使用超临界二氧化碳可从 100 g 干 SCG 中提取 15.4 g 油分,高于传统法的 6%亦高于索氏法的 14%。

提取的油分如何转化为生物柴油也有不同的方案,使用酸或碱进行催化是最常规的方案。2013 年, Vardon 等[36]发现在酸催化处理后再进行碱催化处理,生物柴油产率可达到 96%。2015 年,德国研究人员在温和的反应条件下使用聚甲基氢硅氧烷作为还原剂进行咖啡油的催化加氢脱氧,经计算从 1 千克 SCG 中可以生产出 77 克碳氢化合物,可允许汽车(奥迪 A3 1.6 TDI ULTRA, 3.2 升/100 千米)驱动约 2.4 千米[37]。

相比酸酯化、碱性酯交换,更加简便的原位酯交换成为研究焦点。2017 年,辛辛那提大学科研团队用硫酸浸渍作为催化剂直接酯交换,最佳条件下生物柴油产率达到  $17.08 \pm 0.70$  wt% [38]。次年, Son 等研究人员通过超临界甲醇和亚临界水处理,再经原位酯交换,获得了 10.17 wt%的最佳生物柴油产率[39]。同年,泰国科研团队使用甲醇洗涤作为预处理步骤,然后进行原位酯交换,最佳条件下实现了 11.43 wt%的生物柴油产率[40]。

利用 SCG 中剩余油脂制备生物柴油是解决环境污染和能源紧缺问题的重要创新。传统萃取剂易造成二次污染,加重后续工艺负担。绿色溶剂和高效酯化工艺是生物柴油制备的核心也是研究热点。同时,如何将提取油脂后的剩余残渣与其它资源化利用方案进行整合也需要引起重视。

## 2.4. SCG 中有机质的利用

SCG 丰富的有机质可以作为基质用于食用菌种植。早在 1980 年,单耀中先生翻译了来自日本《特许公报》的文章证实 SCG 用于栽培食用菌的可行性[41]。肖自添等[42]受此启发,于 2015 年进行了以 SCG 栽培灵芝的实验,SCG 对于棉籽壳的替代比在 50%左右时可以增大灵芝的菌盖直径以及单只鲜重,有改善灵芝产品质量的效果。

在 SCG 用于食用菌种植的同时,其作为饲料的研究也相继展开。1986 年,国外学者 Givens 等[43]进行了以 SCG 当做反刍类动物饲料的研究,遗憾的是 SCG 营养物质不足以供应牲畜所需的营养故难以作为主要营养物质给动物进行食用。徐春成等人的思路则是将 SCG 作为一种全混合口粮的组成部分[44],实验发现,SCG 在全混合饲料中的最佳配合比应少于干物质的 10%。

虽然 SCG 有机质含量高,但不适宜直接用于土壤,需进行堆肥处理。2014 年, Cruz 等[45]研究发现,通过施用少量 SCG 堆肥,可以增加莴苣必需的大量元素。北京林业大学的研究人员在 2017 年进行了关于 SCG 的堆肥研究[46],发现当牛粪与 SCG 分别占堆肥总质量的 20%和 45%时所产生的堆肥产品效果最好。同年, Santos 等[47]将 SCG 与麦秸按一定比例掺混进行堆肥处理,实验结果表明 SCG 的添加可以降低堆肥过程中温室气体排放量,并且堆肥质量得到提升。

将 SCG 作为有机质直接用于农业生产存在诸多问题,堆肥则是解决这些问题简便有效的方法。现阶段的研究主要以 SCG 与传统有机质混合堆肥为主,提高堆肥品质的同时温室气体减排效果明显,但针对 SCG 的堆肥工艺尚不完善,有待各国研究人员共同努力。

## 2.5. SCG 制备复合材料

塑料制品为我们带来便利的同时,也带来了严重的白色污染,找寻环保替代材料就成为一个重要议题。2014 年,捷克学者 Obruca 等[48]通过洋葱伯克霍尔德氏菌将 SCG 的水解产物转化为聚羟基链烷酸酯,可用于生产可降解塑料。2015 年, Wu [49]将 SCG 与聚丙交酯制成复合材料,发现其比纯聚丙交酯

更易生物降解。

为应对建筑行业对绿色建筑材料需求的增长, Velasco 等[50]在 2015 年把 SCG 掺进黏土烧制成砖。发现在烧制过程中, SCG 中的有机物质在基质内燃烧, 孔隙率的增加导致导热性降低, 使得该砖成为一种轻型保温材料。Arulrajah 等[51]尝试将 SCG 与蔗糖渣混合再融入粉煤灰与炉渣制作一种新的建筑材料, 以氢氧化钠溶液作为激活剂, 最终获得了一种强度足以满足路面路基要求的新绿色材料。同时还研究了以粉煤灰和炉渣为前体, 与废玻璃+SCG 进行共聚合, 经诱导聚合获得的产品重量轻, 强度足, 完全可以作为路基材料[52]。

SCG 作为生物质具有良好的降解性能, 加之其多孔结构有利于提高复合材料强度, 备受青睐。但受限于原料产量, SCG 制备建筑材料的研究只在哥伦比亚等少数咖啡原产国得到开展。

## 2.6. 综合利用

上述的五个部分大都只是关注 SCG 某一特性, 由于 SCG 中包含了大量化合物, 拥有不同的属性, 各种物质的潜在价值亦不相同, 因此, 有专家提出了相关的综合利用方案, 将上述的各种方式汇总到一起, 实现一个一体化的系统, 从而发挥 SCG 的最大价值。

Caetano 等人在 2014 年提出了一套连续的生物精炼厂的构想用于处理 SCG, 以获得各种产品[53]。首先通过萃取获得抗氧化剂、咖啡因、单宁酸、多酚类物质等用于制药、化妆品的特定的高价值化合物。而后对其残留物提取获得三酸甘油酯, 用于生产生物柴油。剩余的提取后固体如果含糖量较高则可水解/发酵以获得乙醇, 剩余残渣可作为肥料或者进一步消化获得沼气; 若含糖量较低则可以使其干燥颗粒化制成颗粒燃料。

**Table 2.** Summary and comparison of SCG utilization

**表 2.** SCG 资源化利用方案汇总比较

方案	方法/技术	产品	研发状态	评价
单一提取物	萃取	多糖、咖啡油、多酚、单宁	研究中	产物市场需求稳定, 工艺简单, 但利用不完全依旧留下大量废弃物存在二次污染风险
特异性结构产品	碳化、活化、压制	活性炭、电极、咖啡碳纤维	产业化、研究中、	产品附加值高, 利用率高, 但难以大面积推广
生物燃料	直接利用、厌氧发酵、酯交换	甲烷、生物柴油	产业化、研究中	市场潜力大, 接受度高, 利用率高, 工艺较为复杂, 有二次污染风险
有机质	直接利用、发酵	培养基、饲料、堆肥	研究中、实用化	操作简便, 但生产周期较长
生物质材料	碳化、混合	路基材料、可再生塑料	研究中	利用率高、工艺简便, 受限原料产量只能在部分地区应用
综合利用	包括但不限于以上所有	“SCG 精炼厂”等多级利用方案	研究中	超高效利用, 完成后几乎零排放, 潜力巨大, 但理论尚待完善, 初期投资大, 工艺复杂且容错率低, 若出现差错容易引发二次污染

生物精炼厂虽然只是一个构想, 尚未能获得实施, 但仍不失为一个可行的综合利用方案, 值得研究人员进行下一步的深入探究。如何降低成本和实现各单元间的协调匹配是关键。

## 3. 结论

现阶段笔者可以查阅到的国内外的各种对于 SCG 资源化利用的方案, 汇总归纳在表 2 中。各种方案

互有优劣,方向各不同,但总体而言,在这个议题上外国的研究者的深度与关注度远远高于国内的研究者,这也与咖啡在国内的普及程度不高有一定关系。现阶段各国学者研究内容主要是针对 SCG 某一特点进行研究,综合利用研究较少,虽然实现了 SCG 的部分资源化利用,仍有较大浪费和污染。

#### 4. 展望

因此,综合利用是未来 SCG 资源化利用的研究重点。我国咖啡消费尚处在以速溶咖啡为主的初级阶段,SCG 多集中于云南、海南等原产地,有建设“SCG 精炼厂”的先天优势。SCG 易于分类收集,配合便捷的物流配送,有助于更好实现产业化。安排好 SCG 既是对青山绿水有交代,也有助于咖啡产业的健康发展。

#### 基金项目

吉林省科技厅重点科技攻关(20160204010SF)。

#### 参考文献

- [1] ICO 官网. 全球咖啡贸易历史数据[EB/OL]. [http://www.ico.org/new\\_historical.asp?section=Statistics](http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics)
- [2] Salomone, R. (2003) Life Cycle Assessment Applied to Coffee Production: Investigating Environmental Impacts to Aid Decision Making for Improvements at Company Level. *Journal of Food Agriculture and Environment*, **1**, 295-300.
- [3] Mata, T.M., Martins, A.A. and Caetano, N.S. (2018) Bio-Refinery Approach for Spent Coffee Grounds Valorization. *Bioresource Technology*, **247**, 1077-1084. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.106>
- [4] 孙中亮, 陈祎平, 黄广民, 等. 咖啡残渣水解制取 D-甘露糖的工艺初探[J]. 食品科学, 1999(12): 30-32.
- [5] 黄广民, 陈祎平. 咖啡渣水解制取 D-甘露糖中间歇水解和连续水解工艺的比较[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 142-144.
- [6] Simões, J., Nunes, F.M., Domingues, M.R., *et al.* (2013) Extractability and Structure of Spent Coffee Ground Polysaccharides by Roasting Pre-Treatments. *Carbohydrate Polymers*, **97**, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.067>
- [7] Passos, C.P., Moreira, A.S.P., Domingues, M.R.M., *et al.* (2014) Sequential Microwave Superheated Water Extraction of Mannans from Spent Coffee Grounds. *Carbohydrate Polymers*, **103**, 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.053>
- [8] Ballesteros, L.F., Teixeira, J.A. and Mussatto, S.I. (2017) Extraction of Polysaccharides by Autohydrolysis of Spent Coffee Grounds and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Carbohydrate Polymers*, **157**, 258-266. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.054>
- [9] Getachew, A.T., Cho, Y.J. and Chun, B.S. (2018) Effect of Pretreatments on Isolation of Bioactive Polysaccharides from Spent Coffee Grounds Using Subcritical Water. *International Journal of Biological Macromolecules*, **109**, 711-719. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.120>
- [10] 张力平, 孙长霞, 李俊清, 等. 植物多酚的研究现状及发展前景[J]. 林业科学, 2005, 41(6): 160-165.
- [11] 陈祎平, 黄广民, 罗田. 咖啡渣提取物抗氧化作用的研究[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(4): 73-75+79.
- [12] 刘鑫, 高彦祥. 静态亚临界水提取脱脂咖啡渣中抗氧化活性成分的研究[J]. 食品科技, 2011, 36(9): 227-230.
- [13] Andrade, K.S, Goncalvez, R.T., Maraschin, M., *et al.* (2012) Supercritical Fluid Extraction from Spent Coffee Grounds and Coffee Husks: Antioxidant Activity and Effect of Operational Variables on Extract Composition. *Talanta*, **88**, 544-552. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.031>
- [14] Mussatto, S.I., Ballesteros, L.F., Martins, S., *et al.* (2011) Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Spent Coffee Grounds. *Separation and Purification Technology*, **88**, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.09.036>
- [15] Conde, T. and Mussatto, S.I. (2016) Isolation of Polyphenols from Spent Coffee Grounds and Silver Skin by Mild Hydrothermal Pretreatment. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, **46**, 406-409. <https://doi.org/10.1080/10826068.2015.1084514>
- [16] Ballesteros, L.F., Ramirez, M.J., Orrego, C.E., *et al.* (2017) Optimization of Autohydrolysis Conditions to Extract Antioxidant Phenolic Compounds from Spent Coffee Grounds. *Journal of Food Engineering*, **199**, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.014>

- [17] Rochín-Medina, J.J., Ramírez, K., Rangel-Peraza, J.G., *et al.* (2018) Increase of Content and Bioactivity of Total Phenolic Compounds from Spent Coffee Grounds through Solid State Fermentation by *Bacillus clausii*. *Journal of Food Science and Technology*, **55**, 915-923. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2998-5>
- [18] 林海, 张小佩, 董颖博, 等. 咖啡渣对铅锌矿酸性废水中  $Pb^{2+}$  和  $Zn^{2+}$  的吸附[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(9): 1365-1371.
- [19] Oladipo, A.A., Abureesh, M.A. and Gazi, M. (2016) Bifunctional Composite from Spent “Cyprus Coffee” for Tetracycline Removal and Phenol Degradation: Solar-Fenton Process and Artificial Neural Network. *International Journal of Biological Macromolecules*, **90**, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.054>
- [20] Jung, K.W., Choi, B.H., Hwang, M.J., *et al.* (2016) Fabrication of Granular Activated Carbons Derived from Spent Coffee Grounds by Entrapment in Calcium Alginate Beads for Adsorption of Acid Orange 7 and Methylene Blue. *Bioresource Technology*, **219**, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.098>
- [21] Dai, Y.J., Zhang, D.F. and Zhang, K.X. (2016) Nitrobenzene-Adsorption Capacity of NaOH-Modified Spent Coffee Ground from Aqueous Solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **68**, 232-238. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.08.042>
- [22] Kikuchi, K., Yasue, T., Yamashita, R., *et al.* (2013) Double Layer Properties of Spent Coffee Grounds-Derived Carbon Activated with Potassium Hydroxide (KOH). *Electrochemistry*, **81**, 828-832. <https://doi.org/10.5796/electrochemistry.81.828>
- [23] 田文卿, 吴雪艳, 魏霄. 咖啡渣制备多孔碳材料及其在锂离子电池上的应用[J]. 吉林大学学报(理学版), 2014, 52(4): 802-806.
- [24] 徐征奇, 柯俊安. S.Café(R)科技咖啡纱线的研发与应用[J]. 针织工业, 2010(10): 1-3+69.
- [25] 朱施蓉. “用鼓掌的双手做环保”台湾兴采实业股份有限公司咖啡渣运用之道[J]. 纺织服装周刊, 2013(40): 32-33.
- [26] 洪亮. 咖啡炭蓄热保温针织牛仔面料的开发[J]. 针织工业, 2012(7): 72.
- [27] 田小迪, 何俊, 姚佳, 等. 负离子纱线和咖啡碳纱线交织物的功能性研究[J]. 现代纺织技术, 2013, 21(1): 23-25.
- [28] 杨自治. 咖啡炭改性涤纶、吸湿发热纤维在开发功能型毛精纺面料中的应用[J]. 江苏纺织, 2013(5): 35-37.
- [29] 曹秋玲, 王琳, 申莹. 黏胶与咖啡炭腈纶混纺针织面料的功能性研究[J]. 针织工业, 2015(10): 17-19.
- [30] Limousy, L., Jeguirim, M., Dutournie, P., *et al.* (2013) Gaseous Products and Particulate Matter Emissions of Biomass Residential Boiler Fired with Spent Coffee Grounds Pellets. *Fuel*, **107**, 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.10.019>
- [31] Allesina, G., Pedrazzi, S., Allegretti, F., *et al.* (2017) Spent Coffee Grounds as Heat Source for Coffee Roasting Plants: Experimental Validation and Case Study. *Applied Thermal Engineering*, **126**, 730-736. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.202>
- [32] Kang, S.B., Oh, H.Y., Kim, J.J., *et al.* (2017) Characteristics of Spent Coffee Ground as a Fuel and Combustion Test in a Small Boiler (6.5 kW). *Renewable Energy*, **113**, 1208-1214. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.092>
- [33] Hao, Z.D., Yang, B.Q. and Jahng, D. (2018) Spent Coffee Ground as a New Bulking Agent for Accelerated Biodrying of Dewatered Sludge. *Water Research*, **38**, 250-263. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.049>
- [34] 陈祎平, 梁振益, 陈民桥, 等. 提取方式及时间对咖啡渣提油的影响[J]. 海南大学学报(自然科学版), 2003, 21(2): 130-134.
- [35] Couto, R.M., João, F., Gomesda, M.D.R., *et al.* (2009) Supercritical Fluid Extraction of Lipids from Spent Coffee Grounds. *Journal of Supercritical Fluids*, **51**, 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2009.09.009>
- [36] Vardon, D.R., Moser, B.R., Zheng, W., *et al.* (2013) Complete Utilization of Spent Coffee Grounds to Produce Biodiesel, Bio-Oil, and Biochar. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, **1**, 1286-1294. <https://doi.org/10.1021/sc400145w>
- [37] Dohlert, P., Weidauer, M. and Enthaler, S. (2016) Spent Coffee Ground as Source for Hydrocarbon Fuels. *Journal of Energy Chemistry*, **25**, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.jechem.2015.11.012>
- [38] Liu, Y., Tu, Q.S., Knothe, G., *et al.* (2017) Direct Transesterification of Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production. *Fuel*, **199**, 157-161. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.02.094>
- [39] Son, J., Kim, B., Park, J., *et al.* (2018) Wet *in Situ* Transesterification of Spent Coffee Grounds with Supercritical Methanol for the Production of Biodiesel. *Bioresource Technology*, **259**, 465-468. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.03.067>
- [40] Tuntiwiwattanapun, N. and Tongcumpou, C. (2018) Sequential Extraction and Reactive Extraction Processing of Spent Coffee Grounds: An Alternative Approach for Pretreatment of Biodiesel Feedstocks and Biodiesel Production. *Industrial Crops and Products*, **117**, 359-365. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.03.025>



- [41] 单耀忠. 用咖啡渣栽培食用菌[J]. 食用菌, 1980(1): 42.
- [42] 肖自添, 刘明, 何焕清, 等. 咖啡渣栽培灵芝试验[J]. 食药用菌, 2015, 23(3): 196-198.
- [43] Givens, D.I. and Barber, W.P. (1986) *In Vivo* Evaluation of Spent Coffee Grounds as a Ruminant Feed. *Agricultural Wastes*, **18**, 69-72. [https://doi.org/10.1016/0141-4607\(86\)90108-3](https://doi.org/10.1016/0141-4607(86)90108-3)
- [44] 徐春城, 玉柱, 张建国. 咖啡渣发酵 TMR 饲料的发酵品质及营养价值[C]//中国草学会饲料生产委员会. 中国草学会饲料生产委员会第 15 次饲草生产学术研讨会论文集. 常州: 中国草学会饲料生产委员会, 2009: 7.
- [45] Cruz, R., Morais, S., Mendes, E., *et al.* (2014) Improvement of Vegetables Elemental Quality by Espresso Coffee Residues. *Food Chemistry*, **148**, 294-299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.059>
- [46] Zhang, L. and Sun, X.Y. (2017) Using Cow Dung and Spent Coffee Grounds to Enhance the Two-Stage Co-Composting of Green Waste. *Bioresource Technology*, **245**, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.147>
- [47] Santos, C., Fonseca, J., Aires, A., *et al.* (2017) Effect of Different Rates of Spent Coffee Grounds (SCG) on Composition Process, Gaseous Emissions and Quality of End-Product. *Waste Management*, **59**, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.020>
- [48] Obruca, S., Benesova, P., Petrik, S., *et al.* (2014) Production of Polyhydroxyalkanoates Using Hydrolysate of Spent Coffee Grounds. *Process Biochemistry*, **49**, 1409-1414. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.05.013>
- [49] Wu, C.S. (2015) Renewable Resource-Based Green Composites of Surface-Treated Spent Coffee Grounds and Polylactide: Characterisation and Biodegradability. *Polymer Degradation and Stability*, **121**, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.polydegradstab.2015.08.011>
- [50] Velasco, P.M., Mendivil, M.A., Morales, M.P., *et al.* (2016) Eco-Fired Clay Bricks Made by Adding Spent Coffee Grounds: A Sustainable Way to Improve Buildings Insulation. *Materials and Structures*, **49**, 641-650. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0525-6>
- [51] Arulrajah, A., Kua, T.A., Suksiripattanapong, C., *et al.* (2017) Compressive Strength and Microstructural Properties of Spent Coffee Grounds-Bagasse Ash Based Geopolymers with Slag Supplements. *Journal of Cleaner Production*, **162**, 1491-1501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.171>
- [52] Arulrajah, A., Kua, T.A., Horpibulsuk, S., *et al.* (2017) Recycled Glass as a Supplementary Filler Material in Spent Coffee Grounds Geopolymers. *Construction and Building Materials*, **151**, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.050>
- [53] Caetano, N., Silva, V., Martins, A., *et al.* (2014) A Biorefinery Based on Spent Coffee Grounds: A Waste to Chemicals and Energy Solution. *12th International Chemical and Biological Engineering Conference*, Porto.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [aep@hanspub.org](mailto:aep@hanspub.org)