

我国农业废弃物资源化应用技术

蔡建军, 王清成*, 王全

(上海应用技术学院 能源与资源综合利用研究所, 上海 201418)

[摘要] 农业废弃物是一种错位资源, 资源化利用及无害化处理是控制农业环境污染、改善农村环境、发展循环经济、实现农业可持续发展的有效途径。为促进农业废弃物的合理化利用, 综述了我国农业废弃物资源化应用技术的研究现状及发展情况, 针对我国农业废弃物在应用过程中存在的问题提出我国农业废弃物资源化应用的对策措施。

[关键词] 农业废弃物; 资源化利用; 应用技术

[中图分类号] S19

[文献标识码] A

Agricultural Waste Utilization Technology in China

CAI Jianjun, WANG Qingcheng*, WANG Quan

(Shanghai Institute of Technology, Institute of Energy and Resources Comprehensive Utilization, Shanghai 201418, China)

Abstract: Agricultural waste is a misplaced resource. Resource utilization and safe disposal is an effective way to control agricultural pollution, improve the rural environment, develop the circular economy, and achieve sustainable agricultural development. The authors outlined the research status and development of China's agricultural waste resources utilization technology, made recommendations to the problems in the China's agricultural waste utilization, and proposed the countermeasures of resource utilization of agricultural waste in China.

Key words: agricultural waste; resource utilization; application technology

随着我国农业经济快速发展, 农业生产高度集约化, 农业废弃物的累积速度急剧增加。农业废弃物是农业绿色循环发展的重大阻碍, 大量积累会造成严重的资源浪费和环境污染。因此, 农业废弃物合理化利用是我国现在面临的巨大挑战之一。农业废弃物是一种错位资源, 资源化利用及无害化处理是控制农业环境污染、改善农村环境、发展循环经济、实现农业可持续发展的有效途径。我国农业废弃物资源丰富, 利用潜力巨大。为促进农业废弃物的合理化利用, 笔者等对我国农业废弃物的资源化利用技术进行综述, 并对未来发展趋势展望, 旨在为我国农业废弃物的有效利用及促进农业可持续发展提供参考。

1 农业废弃物资源应用技术

1.1 热解技术

热解技术指在隔绝空气情况下, 加热至 270~650℃, 热解形成固定碳、液体糠醛、乙酸、焦油、可燃气体等多种化工原料^[1]。Lu 等^[2]用 ZnCl₂ 溶液预处理玉米芯, 优化热解温度为 350℃, 随 ZnCl₂ 含量增多, 初分解产物逐渐减少, 糠醛收率逐渐增多。典平鸽等^[3]以锯木粉体为原料, 热解温度为 500℃时, 热解焦油产量最大, 温度过高或过低都不利于焦油

生成。方曹明等^[4]通过往白松、稻秸及花生壳添加碱金属来催化生成富氢燃料, 结果显示, 相对于白松和稻秸, K₂CO₃ 对花生壳的催化制氢效果较显著。利用农业废弃物热解生成化工原料, 具有经济、绿色、环保等特点, 目前, 影响其发展的关键因素在于催化剂的研制, 因此, 开发具有高效、经济、环保的催化剂是未来的发展方向^[5-6]。

另外, 农业废弃热解还可用于生成生物油, 该技术受到诸国热捧, 并已进入工业示范阶段^[7]。周华等^[8]以稻秆、煤为原料进行共热解液化实验, 结果显示: 当反应温度 400℃、反应时间 60 min 及稻秆添加量为 50% 时, 液化产物中正己烷高达 42.5%。王琦等^[9]对生物油/柴油乳化行为及不同种类农业废弃物热解生物油的乳化机制进行了研究, 结果显示: 生物油模型化合物/柴油乳化时最佳的 HLB 在 7.0~9.0; 贮存 1 月后的生物油能很好乳化, 稳定时间为 41 d; 生物油含量在 5%~10% 时, 樟子松、花梨木、竹粉、稻壳和稻秆热裂解生物油所需要的乳化剂含量在 3%~5%。目前, 随着热解液化装置、原料预处理、热解产物加工利用等技术的不断成熟, 农业废弃物热解液化技术将逐步走向规模化应用阶段^[10]。

1.2 水解技术

水解技术指将农业废弃物置于酸性溶液中水

[收稿日期] 2014-02-09; 2014-03-14 修回

[基金项目] 上海环境科学研究院项目“崇明岛企业大气污染源主要污染物排放控制方案研究”(沪环科 2013-39)

[作者简介] 蔡建军(1989—), 男, 在读研究生, 研究方向: 生物质能综合利用。E-mail: 126409001@mail.sit.cn

* 通讯作者: 王清成(1972—), 男, 副教授, 硕士生导师, 从事工业节能、大气污染物控制和新能源利用研究。Email: wangqc. @sit.edu.cn

解,得到葡萄糖、半乳糖、木糖、糠醛、乙酸等化工原料。余先纯等^[11]以玉米秸秆为原料、 SO_4^{2-} - TiO_2 /黏土固体酸为催化剂制备糠醛,结果显示,当玉米秸秆水解温度为 158°C 、液固比为 10 mL/g 、水解时间为 3.8 h 、粒度为 0.45 mm 、固体酸用量为 6.2% 时,糠醛回收率可达 60.95% 。高学艺等^[12]以沙柳为原料,硫酸为催化剂,当反应温度为 200°C ,反应时间为 90 min ,催化剂质量分数为 9% ,液固比为 $15:1$ 时,乙酰丙酸的最高得率为 18.80% 。王晓娟^[13]以电解水为介质对玉米秸秆和柳枝稷进行预处理后酶水解表明,经电解水预处理后玉米秸秆、柳枝稷的纤维素转化率分别为 83% 、 67% ,转化效果明显,且木糖需在 195°C 、 200°C 时才发生明显降解。目前,国内利用农业废弃物水解生成化工原料的方法主要以酸水解为主、酶水解为辅;同时,对纤维素农业废弃物水解前体物纤维素的研究较多,而对半纤维素、木质素研究较少;加强酶水解应用技术及对纤维素、半纤维素和木质素的分离和对各组分的综合水解利用将是未来发展的重要方向^[14-15]。

1.3 气化技术

农业废弃物气化是在一定条件下将农业废弃物的碳氢化合物转化成一氧化碳、甲烷、氢气气体的过程。苏德仁等^[16]在小型流化床研究了当量比、原料、水蒸气配比、二次风、温度和床料对农业废弃物气化的特性影响,结果发现:当量比为 0.27 和水蒸气配比为 0.6 时, H_2 含量最大;原料中 C 、 H 含量越高,气化气中 H_2 、 CO 含量越高,焦油含量越低;二次风通入点越高,焦油降幅越大;温度升高可提升 H_2 含量,在 840°C 以上,有利用 CO 生成;白云石和石灰石裂解焦油和提高 H_2 含量的活性高于橄榄石,但提高气化气中灰分含量。李琳娜等^[17]在高温固定床反应器内,进行了无催化剂木屑高温水蒸气气化制氢特性研究,结果显示:在 1000°C 、水蒸气流量为 1.02 g/min 时,燃气中氢气体积分数可达 51.03% ,产氢率为 71.08 g/kg ,为理论最大产氢率的 41.32% 。目前,农业废弃物通过气化技术转换为可燃气体,有效提高利用率,但焦油、催化剂及二次污染问题是制约其发展的关键难题^[18]。

1.4 发酵技术

农业废弃物通过发酵装置经发酵生成沼气,沼气可用于日常生活或电厂发电。孙全平等^[27]通过利用小型厌氧发酵装置进行批量发酵试验,结果显示:合理调配酒糟、猪粪比例,可有效调节料液碳氮比,提高酒糟产气率及利用效率。刘秀娟等^[19]以稻草秸秆为原料,对厌氧生产沼气的重要因素进行了探究,结果显示:当接种量为 34% ,总固体含量为 6% ,碳氮比为 $25:1$ 时,总产气量比常用发酵条件下的产气量提高 27.6% 。目前,该技术已在我国农村广泛使用,但农户对沼气综合利用不足、沼气有效利用能力较差、后续服务体系不完善、政府支持力度

不够,而受到一定限制^[20]。

1.5 固化成型技术

通过固化成型装置将农业废弃物固化成型后可作为煤的替代燃料推广使用,但需额外投入能源,因此具有一定的局限性。丁锦宏^[21]对秸秆压块成型机压轮受力特性进行了分析,结果显示:在满足压缩成型块所需直径前提下,设计秸秆压块成型机压轮时,应尽量减少压轮宽度。韦山^[22]对生物质颗粒机压辊进行设计并采用 Ansys 软件对其进行有限元分析,结果显示:压辊在极限工况(应力 179.24 MPa ,应变 0.038 mm)下,平均疲劳安全系数达到 2.4 ,符合材料特性要求,并通过实验证明采用该结构的生物质颗粒机具有能耗低、产量大、产品品质高的特点。未来固化成型技术发展趋势是成型设备向农业废弃原料生产地推广使用,消除原料收集、运输、储存成本,同时增加成型设备基础研究,尽量符合常温固化成型、关键部件磨损小、低能损耗、延长成型模具寿命等基本要求^[23]。

1.6 交联吸附技术

交联吸附技术是指农业废弃物通过交联生成活性吸附基团,高效、快速地去污水中的铅、镉、镍、铜、锌、锰、汞等重金属离子^[24]。用于污水处理的农业废弃物主要指由纤维素、半纤维素、木质素、少量粗蛋白、单宁、类脂、甾醇、生物碱等成分构成的生物质材料,因其成分中含有大量醇— OH 、酚— OH 、— NH_2 和醛— CHO 等极性基团,有利于吸附废水中的金属离子^[25]。其吸附过程包括去质子化、离子交换、配位络合反应等^[26]。影响植物纤维性吸附材料吸附性能的主要因素包括吸附时间、 pH 值、初始重金属离子浓度、吸附材料粒径、吸附材料改性、温度及共存离子等^[27]。谭光群等^[28]以小麦秸秆为吸附剂,探讨了其对 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 的吸附性,结果显示:小麦秸秆对 Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 的吸附受溶液 pH 值影响较大;当金属离子初始浓度在 $0.01\sim 2.0\text{ mmol/L}$ 范围内时,吸附动力学过程可以用准二级动力学方程进行描述。鲁秀国等^[29]以核桃壳为吸附剂,分析了其对 Pb^{2+} 、 Ni^{2+} 的吸附特性,结果显示:当 pH 值为 5.5 ,吸附剂用量 1.2 g 时,对 Pb^{2+} 吸附量最大;当 pH 值为 6.0 ,吸附剂用量 2.0 g 时,对 Ni^{2+} 吸附量最大,且对 Pb^{2+} 吸附容量为 Ni^{2+} 的 3 倍。农业废弃作为废水中重金属离子的吸附剂,具有以下几方面优势:原料来源广泛、成本低廉、容易获取;反应条件温和、无二次污染、应用范围广;吸附容量大、选择性好、去除效率高;对低浓度重金属废水吸附能力显著;吸附的金属易于洗脱、生物降解;吸附材料可重复利用、重金属可回收;高效、低耗、环境友好型^[30]。

1.7 饲料化技术

农业废弃物可通过秸秆、禽畜粪便饲料化技术应用到畜牧领域,促进畜牧业发展。农业废弃物在该领域中的应用,具有悠久的历史,因此其技术相对

成熟,也是目前农业废弃物的主要应用领域。

1.7.1 秸秆饲料化技术 常用田间废弃物饲料化技术包括借助人工或机械切短、揉碎、粉碎;通过化学方法处理田间作物农业废弃物;利用某些特定微生物及分泌物处理田间废弃物,如青贮和微贮等^[31-32]。武安泉等^[33]以乳酸菌为发酵菌,探究了玉米秸秆饲料化最佳发酵条件,结果显示:在厌氧环境条件下,最优发酵条件为湿度70%、温度20℃、发酵时间28 d及玉米粉添加量为1.0%。师建芳等^[34]研制出农作物秸秆连续式梯度发酵饲料制备机,该机可在常温下优先分解半纤维素来加工发酵饲料,可即用即制,有效解决了秸秆储存问题。目前,制约我国秸秆饲料化利用的关键因素是生产设备落后,开发先进设备,生产符合动物生理、生化要求的饲料,是未来的发展趋势^[35]。

1.7.2 畜禽粪便饲料化技术 因畜禽粪便含有大量未消化的蛋白质、矿物质、维生素、粗脂肪和碳水化合物,同样可被饲料化利用。但其营养成分多变,处理工艺相对复杂,主要包括化学处理法、物理处理法、青贮处理法、热喷鸡粪再生饲料法、生物处理、机械处理和氧化沟处理等^[36]。程文定等^[37]对奶牛粪便饲料化处理及工厂化生产技术进行了研究,为该产业发展提供了科学依据。由于畜禽粪便饲料化存在安全隐患及复杂的处理工艺,因此实际利用很少。

1.8 堆肥技术

堆肥技术指利用微生物好氧发酵,然后经干燥、粉碎、造粒等制备有机肥的过程,是农业废弃物腐熟最有效的方法。农业废弃物中含有大量营养元素及有机质,可通过堆肥技术有效提高土壤中氮、磷、钾及有机质含量,促进植物生长,获取经济效益^[38-39]。君广斌等^[40]利用苹果枝条堆制肥料,结果显示:该肥料有机质含量达到40%以上,磷含量1.9%,钾含量1.1%,总养分最高达3.7%,pH 8.0左右,养分含量接近国家有机肥料的标准。但在堆肥过程中存在着如何确定有机质及腐殖物质动态变化过程,如何防止抗生素等饲料添加剂及重金属、病原菌等不利因素进入食物链,解决这些问题是促进其发展的关键^[41]。

2 农业废弃物应用过程中存在的问题

2.1 收集过程困难

农业废弃物的收集过程是制约农业废弃物在各领域中有有效应用的巨大障碍之一。其面临的问题主要包括以下几方面:1)收集量少。由于大多数农业生产过程中产生的废弃物分散、不具规模化,使收集成本高于利用价值,而被随意丢弃。2)运输困难。部分农业废弃物较难实现长距离运输,或运输过程对交通工具要求较高,导致收集困难。3)废弃物本身特性难于收集。某些废弃物本身不适于收集,需要建造专业的收集装置,同时配备管理人员,才能实

现收集利用,使投资成本显著增加,导致收集困难。

2.2 缺乏规划管理

农业废弃物通过上述各种利用技术可广泛应用于生活及工业生产的各个领域,但在应用过程中往往缺乏规划管理,未能结合当地发展规划、经济基础、地理环境及人才储备等实际情况综合考虑,盲目建厂,造成资源浪费。

2.3 技术水平薄弱

技术水平是决定农业废弃物应用价值的关键,目前,我国对农业废弃物资源化应用技术较为薄弱,有待提高技术水平,优化生产工艺,简化操作流程,降低利用过程中产生的能耗与污染,降低应用难度。

3 我国农业废弃物资源化应用的对策

农业废弃物资源化应用是世界各国的研究重点,尽管目前我国农业废弃物资源化应用水平相对较低,但随着生产力解放、生活质量提高、社会快速发展,我国农业废弃物的应用技术将进一步深入到日常生活及工业生产中,并对社会的发展产生巨大推进作用。应结合农业特色,加强对农业废弃物资源化应用技术的研发支持力度,构建适合我国国情的农业废弃物资源化应用体系。

3.1 建立智能化收集网络

以人性化、低成本、智能化收集为目的,建立智能化收集网络。减少收集过程中累赘环节,提供专业收集装置,定制最优运输路线,计划最佳收集时间,厂家与收集公司建立良好通信,打造新一代农业废弃物收集网络,建设循环农业经济。

3.2 政府积极倡导

政府应把农业废弃物资源化开发应用工作提高到保护生态环境、促进农业和能源可持续发展的高度。以建立循环绿色农业经济为契机,积极发挥政府倡导作用,促进厂家、收集公司、资源化利用公司之间的平台建设,加强农业废弃物资源化应用意识,提供技术指导,并从资金、政策上对农业废弃物资源化开发应用工作提供强力支持。

3.3 提高技术水平

提高农业废弃物资源化开发应用水平,需建设以企业为主体,以高校和科研院所技术力量为依托,以资本为纽带,以市场为导向,以现代企业制度为规范的技术创新平台。同时,政府加大投入科研资金及专业人才,强化科研单位与企业间的信息沟通对技术水平的提高具有重要的作用。

[参 考 文 献]

- [1] 杨 晴,梅艳阳,郝宏蒙,等.烘焙对生物质热解产物特性的影响[J].农业工程学报,2013,20(10):214-218.
- [2] Lu Qiang, Dong Chang-qing, Dong Xu-ming, et al. Selective fast pyrolysis of biomass impregnated with $ZnCl_2$ to produce furfural; Analytical Py-GC/MS

- study[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011, 90: 204-212.
- [3] 典平鸽, 张乐观, 江程程. 裂解温度对生物质热解焦油成分的影响[J]. 可再生能源, 2012, 30(5): 54-58.
- [4] 方曹明, 范浩杰, 王杰. 生物质热解过程气体产物释放特性的研究[J]. 锅炉技术, 2010, 41(2): 71-75.
- [5] 高美香, 刘宗章, 张敏华. 生物质转化制糠醛工艺的研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32(4): 878-884.
- [6] 于凤文, 刘小娟, 罗瑶, 等. 生物质催化热解研究进展[J]. 能源工程, 2010(1): 15-18.
- [7] 李三平, 王述洋, 孙雪, 等. 国内外生物质热解动力学模型的研究现状[J]. 生物质化学工程, 2013, 47(4): 29-35.
- [8] 周华, 蔡振益, 水恒福, 等. 煤与稻秆共液化性能研究[J]. 燃料化学学报, 2011, 39(10): 721-727.
- [9] 王琦, 李信宝, 王树荣, 等. 生物质热解生物油与柴油乳化的试验研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(3): 380-384.
- [10] 朱锡锋, 李明. 生物质快速热解液化技术研究进展[J]. 石油化工, 2013, 42(8): 833-837.
- [11] 余先纯, 李湘苏, 易雪静, 等. 固体酸水解玉米秸秆制备糠醛的研究[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(3): 71-74.
- [12] 高学艺, 武彦伟, 王克冰. 沙柳酸催化水解制备乙酰丙酸及分离提纯[J]. 化工进展, 2014, 33(1): 242-246.
- [13] 王晓娟, 冯浩, 李志义. 电解水预处理对玉米秸秆和柳枝稷酶解产糖的研究[J]. 高校化学工程学报, 2012, 26(1): 169-174.
- [14] 李琰, 任秀珍, 元伟, 等. 生物质稀酸水解技术研究进展[J]. 吉林化工学院学报, 2009, 26(4): 30-34.
- [15] 徐桂转, 常春. 纤维素生物质新型水解技术的研究进展[J]. 生物加工过程, 2012, 10(5): 71-76.
- [16] 苏德仁, 刘华财, 周肇秋, 等. 生物质流化床氧气-水蒸气气化实验研究[J]. 燃烧化学学报, 2012, 40(3): 309-314.
- [17] 李琳娜, 应浩, 涂军令, 等. 木屑高温水蒸气气化制备富氢燃气的特性研究[J]. 林产化学与工业, 2011, 31(5): 18-31.
- [18] 常轩, 齐永锋, 张冬冬, 等. 生物质气化技术研究现状及其发展[J]. 现代化工, 2013, 33(6): 36-40.
- [19] 刘秀娟, 李晖, 薛金红, 等. 稻草秸秆厌氧发酵产沼气研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 927-929.
- [20] 王茜. 我国农村沼气可持续发展的思考[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(11): 248-250.
- [21] 丁锦宏. 秸秆压块成型机压轮的设计[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(5): 158-160.
- [22] 韦山. 生物质颗粒机关键部件设计及有限元分析[J]. 长江大学学报: 自科版, 2013, 10(7): 64-66.
- [23] 简相坤, 刘石彩. 生物质固体成型燃料研究现状及发展前景[J]. 生物质化学工程, 2013, 47(2): 54-58.
- [24] 李灵香玉, 吴坚阳, 田光明, 等. 利用农业废弃物处理重金属离子废水的研究进展[J]. 农机化研究, 2009(9): 209-214.
- [25] AGOUBORDE L, NAVIA R. Heavy metals retention capacity of a non-conventional sorbent developed from a mixture of industrial and agricultural wastes[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 27: 1-9.
- [26] 梁鹏, 许娄金, 柏松, 等. 农林废弃物对废水中铜离子吸附过程的研究[J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2012, 38(2): 263-268.
- [27] 王亿娟. 植物纤维性农业废弃物处理重金属废水的研究进展[J]. 化学与生物工程, 2013, 30(9): 5-11.
- [28] 谭光群, 袁红雁, 刘勇, 等. 小麦秸秆对水中 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 的吸附特性[J]. 环境科学, 2011, 32(8): 2298-2304.
- [29] 鲁秀国, 党晓芳, 鄢培培. 核桃壳对水中 Pb^{2+} 和 Ni^{2+} 吸附研究[J]. 华东交通大学学报, 2013, 30(5): 42-46.
- [30] 李琛. 农林废弃物对废水中铬去除的研究进展[J]. 电镀与精饰, 2013, 35(7): 12-19.
- [31] 李梦楚, 王定发, 周汉林. 热带农业废弃物的饲料化利用研究进展[J]. 热带农业科学, 2013, 33(10): 62-64.
- [32] 杜嵇华, 张劲, 公谱, 等. 主要热带作物田间废弃物的饲料化技术应用现状及展望[J]. 中国热带农业, 2013(6): 33-35.
- [33] 武安泉, 张永亮. 乳酸菌发酵生产干玉米秸秆青贮饲料条件优化[J]. 中国饲料, 2014(3): 26-28.
- [34] 师建芳, 刘清, 刘晶晶, 等. 连续式秸秆发酵饲料制备机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 33-38.
- [35] 兰晓玲, 郭玉明, 贺俊林. 我国秸秆饲料化利用技术研究综述[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(13): 103-104.
- [36] 张红骥, 高亚冰, 王凡, 等. 农业废弃物转化再生饲料的研究概况[J]. 黑龙江农业科学, 2007(1): 71-73.
- [37] 程文定, 郇敏. 奶牛粪便饲料化处理工厂化生产技术研究[J]. 中国奶牛, 2008(5): 54-57.
- [38] 尹守东, 王凤友, 李玉文. 城市污泥堆肥林地应用研究进展[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(5): 58-60.
- [39] 张金水, 同延安, 云伟祥, 等. 陕西省农业废弃物养分资源肥料化利用现状与前景分析[J]. 磷肥与复肥, 2008, 23(5): 52-54.
- [40] 君广斌, 张志林. 苹果枝条粉碎静态条垛厌氧堆肥技术[J]. 山西果树, 2013(4): 12-13.
- [41] 刘志刚, 邱忠平, 付春霞, 等. 畜禽废弃物堆肥化研究进展[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(2): 366-368.

(责任编辑: 姜萍)