

香蕉茎叶资源化利用研究进展*

Research Progress on Resource Utilization of Banana Stems and Leaves

米慧芝^{1,2}, 韦宇拓¹, 潘世优¹, 黎贞崇^{2**}

MI Huizhi^{1,2}, WEI Yutuo¹, PAN Shiyou¹, LI Zhenchong²

(1. 广西大学, 生命科学与技术学院, 广西南宁 530005; 2. 广西科学院, 广西南宁 530007)

(1. College of Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China;

2. Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:香蕉是世界主要经济作物,人们在收获大量香蕉产品的同时也产生几乎等量的香蕉茎叶等农业废弃物。为缓解环境压力、扩大香蕉产业链、增加蕉农收入,须对香蕉茎叶进行回收利用。香蕉茎叶水分含量高、营养物质丰富,是可以肥料化、饲料化、基质化、纤维化以及能源化等资源化利用的植物资源。本文综述了近年来香蕉茎叶的国内外利用现状,期望为开发香蕉茎叶的资源化利用、延长香蕉产业链提供借鉴。

关键词:香蕉茎叶 资源化 综合利用

中图分类号:Q81 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2018)03-0279-11

Abstract: Banana is the world's main economic crop. When people harvest a large amount of banana products, they also produce almost equal amounts of agricultural waste such as banana stems and leaves. In order to alleviate environmental pressure, expand banana industry chain and increase income of banana farmers, banana stems and leaves should be recycled. Banana stems and leaves are high in water content and rich in nutrients, which can be used as resources such as fertilizer, forage, matrix, fiber and energy. This article reviews the current utilization status of banana stems and leaves at home and abroad in recent years, and hopes to provide reference for the development of banana stems and leaves for resource utilization and extension of banana industrial chain.

Key words: banana stems and leaves, resource, comprehensive utilization

0 引言

香蕉是芭蕉科芭蕉属多年生大型单子叶草本植物,广泛分布于南北纬 30° 以下的热带、亚热带地区。香蕉属高热量水果,果肉富含碳水化合物、蛋白质、脂肪、膳食纤维、多种微量元素以及维生素,是热带贫困地区人口的主要食物来源和经济来源,被联合国粮农组织(FAO)列为仅次于水稻、小麦和玉米的世界第四大粮食作物,因此香蕉也是关系到世界粮食安全、地区发展和人类健康的重要作物^[1-4]。在 FAO 数据

收稿日期:2018-04-29

作者简介:米慧芝(1983—),女,在读硕士研究生,主要从事生物工程研究。

* 广西科学研究与技术开发项目(桂科攻 14124004-3-4)资助。

** 通信作者:黎贞崇(1970—),男,研究员,主要从事生物能源开发与利用研究,E-mail:2503915@163.com。

库统计中,大约有 136 个国家和地区生产香蕉,主产区集中在印度、菲律宾、中国、巴西等国。近年来,世界香蕉收获面积和产量均呈不断增长的趋势,在收获大量香蕉产品的同时也产生几乎等量的香蕉茎叶等农业废弃物^[5-6]。为此,如何对香蕉茎叶进行回收利用已成为一个亟待解决的课题。

香蕉茎叶体积大,因而收集劳动强度高;含水量高,既不能直接燃烧又增加运输成本;但其本身具有较高的生物量,营养物质丰富,拥有巨大的开发潜力。目前大部分的香蕉茎秆、叶片等被用作饲料、肥料,或者用来生产低档纸、粗布、包装绳等产品,进一步则可发酵生产沼气或者酒精。虽然近年来香蕉茎秆、叶片废弃物综合利用新形式、新方法、新工艺不断涌现,但从全世界范围来看,对其开发利用还处于初级阶段,产品种类比较单一,产品的附加值较低,生产工艺水平整体比较落后,综合利用效率不高,产业链较短。因此,本文论述了国内外香蕉茎叶废弃物在肥料、饲料、造纸、纺织以及能源等领域的研究现状及进展,为进一步开发利用热带地区香蕉茎叶资源、延长香蕉产业链提供借鉴。

1 香蕉茎叶成分及用途

香蕉茎叶的水分含量极高,大部分报道都认为其在 90% 以上;碳水化合物含量高(含量为 15.24%~30.17%,个别品种的碳水化合物含量高达干物质的 82%),能量值高;假茎干物质中蛋白质含量为 5.08%~10.39%,并含有粗纤维、脂肪,富含胡萝卜素、尼克酸、梳黄素和硫胺素等多种维生素,以及少量的 Mn、Zn、Cu,是一种营养丰富的植物资源^[4-7]。另外,香蕉假茎叶还含有粘连的胶体和单宁物质。

香蕉茎叶的成分含量据其种类及生长环境而不同。李子建^[8]应用化学试剂显色法,对香蕉茎、叶的成分进行活性预试验,确定香蕉茎、叶的含水率分别高达 94.87% 和 78.18%;粗脂肪、总糖(干物质)和蛋白质在香蕉茎中含量分别为 2.56%、8.32% 和 9.03%,在香蕉叶中含量分别为 5.69%、4.12% 和 10.50%;香蕉叶果胶、半纤维素、叶绿素、黄酮含量分别为 2.9%、12.65%、2.27% 和 4.03%;香蕉茎果胶、半纤维素、单宁含量分别为 6.14%、15.85% 和 5.32%。李乐^[9]采用范氏(VanSoest)纤维测定法测定香蕉茎秆中纤维素、半纤维素、木质素含量分别为 61.83%、27.23% 和 13.43%,采用国标 CB/T 2677.3—1993 测定样品中的灰分含量为 3.91%。徐树英^[10]的研究表明香蕉茎秆的含水量最高(92%),叶片的水分含量最低(78.83%);香蕉茎秆(干基)纤

维素含量不高,为 21%~23%;半纤维素含量为 22%~29%,木质素含量为 8%~14%,果胶含量为 2%~5%;粗蛋白质含量较高,为 8.7939%;水溶物含量较高,为 30%~33%;脂蜡质含量为 2%~6%。

香蕉茎叶中粗蛋白质含量较高,因而可开发利用为饲料;香蕉纤维则可分解发酵产酒精、沼气;香蕉叶石油醚抽出物(其有效成分为脂肪和叶绿素)、叶多糖和叶绿素铜钠盐具有良好的起泡性和稳泡性,可以开发作为生活餐具洗涤剂或洗涤助剂;香蕉假茎的单宁(多羟基酚酯类化合物)和香蕉叶中的叶黄酮、叶多糖具有较强的 DPPH 自由基清除能力,其 IC₅₀ 均高于芦丁,说明香蕉茎叶具有开发为天然抗氧化剂的应用前景^[8]。可见,香蕉全身都是宝。业界可以根据香蕉的成分特征进行资源化开发利用,在获得低成本产品的同时,有助于“美丽乡村”的实现。

2 香蕉茎叶资源化利用

2.1 香蕉茎叶的肥料化利用

香蕉茎叶肥料化利用是一种传统的利用方式,分为直接利用和间接利用。直接利用就是通过土壤中微生物的作用,将香蕉茎叶中的营养物质分解并释放出矿物质养分,改善土壤结构、增进土壤肥力、提高香蕉的品质和产量,是最直接省事的一种方法。间接利用是指废弃物通过堆沤腐解(堆肥)、烧灰、菇渣、沼渣或生产有机生物复合肥等方式还田^[11]。新鲜香蕉茎秆含水量高达 90% 以上,因此不能直接燃烧,多采用堆肥、菇渣、沼渣等其他方式间接利用。

2.1.1 直接还田

香蕉茎叶含有大量的有机质、N、P、K 和微量元素,是一种优良的有机肥料资源。若能将香蕉茎叶及时还田,使茎叶中的营养物质重归土壤中,可有效地减少其他化学肥料的使用量、增加土壤有机质含量、改善土壤生物环境,实现保护性耕作^[3,12]。香蕉茎叶可直接覆盖在地表还田,也可耕翻埋入土壤还田^[13]。但是这两种方式养分释放缓慢,降解不充分,因此实际生产上大多将香蕉茎叶废弃物进行粉碎加工处理后再还田,提高香蕉茎叶废弃物与土壤的接触面,加快香蕉茎叶有效成分的分解利用,提升茎叶废弃物资源的利用率。

近年来国内不少科研单位、企业对香蕉茎叶机械化粉碎还田技术进行研究和探讨,研究的地域主要分布于香蕉的产区,如广东省农业机械研究所^[14],广东工业大学,海南大学^[15],广西农业科学院,南宁市农业机械化技术推广服务站和武鸣县农机化技术推广服务站^[16],等等。朱德荣等^[17]发明一种香蕉秸秆机

械还田技术,该技术不仅可以处理地上的蕉茎蕉叶,还能够彻底清除埋于地下的球茎根系,具有重要的经济效益和生态价值。李毅等^[15]研究设计了切碎组合式香蕉秸秆还田机,确定了切割、输送、粉碎装置等部件的主要结构参数,提高了香蕉秸秆机械化处理水平和生产效率。张燕等^[18]研制出一种脱水香蕉秸秆破碎机,其转筒内壁上两条双螺旋线,并凸起分布于内壁上,可以使单位空间内秸秆的密度提高,单位时间内刀具的破碎效率得到较大提升。迟桂丽^[19]发明了一种共轴对剪式香蕉秸秆粉碎还田机,采用反向转动的共轴对剪装置在香蕉生长田间粉碎香蕉秸秆,工作时香蕉纤维缠绕少。甘声豹等^[20]研制了一种喂入式立轴甩刀香蕉秸秆粉碎还田机,为拖拉机后悬挂式机器,其在拖拉机的牵引下可以直接田间作业,完成香蕉秸秆推倒、铲断、抓取、喂入、粉碎和还田的连续作业;在各个参数最优时,该机一次作业可将秸秆粉碎成丝状残渣,且残渣抛洒还田均匀,秸秆粉碎质量合格率达 94.9%、田间覆盖率达 88.61%。

香蕉茎秆机械化粉碎还田在热带地区使用较多,在很大程度上降低了工人的劳动强度,缩短了处理时间,提高了生产效率,实现高效的香蕉秸秆粉碎还田,减轻因香蕉秸秆处理不当所造成的环境污染。然而,该方式的资源利用效率较低;虽粉碎后充分晒干可杀灭香蕉茎秆中的多数病菌,但仍不能完全杀灭致病菌;而且现有的粉碎装置难以将纤维完全切断、刀具易损坏,且操作繁琐、作业不稳定,还需动力装置带动、功率消耗大,增加能源消耗的成本。因此,应加强香蕉茎叶的拉、剪等力学性能研究,加强粉碎还田机刀具的新材料和新工艺研究,进而研制粉碎效果好、工作可靠的粉碎还田机;并对香蕉茎叶腐解过程中土壤中 N、P、K 等营养成分和细菌的变化进行研究,为适量利用香蕉茎秆粉碎物提供基础。

2.1.2 堆肥还田

堆沤腐解还田是数千年来农民提高土壤肥力的重要方式。香蕉茎叶体内除含有大量的水分外,还含有较高的水溶性有机物,且不含难降解的有机成分,碳氮比适宜,是一种很好的好氧堆肥原料^[21]。

一般将香蕉茎叶与其他农业畜牧废弃物(如玉米秸秆、稻壳、稻草秸秆、牛粪、鸡粪、猪粪等)均匀混合后进行堆肥处理,使得茎秆中的植物纤维素与半纤维素能充分分解,堆肥完成后可直接将有机质还田。邓小星等^[22]用香蕉茎秆作为基本原料,通过添加不同量的猪粪进行快速堆肥,结果发现猪粪添加量为 12.5 kg 和 17.5 kg 时,能显著缩短堆肥体系进入高温分解所需的时间,并延长高温持续时间,增加肥堆

全磷和全钾含量,加快物料腐熟进程。匡石滋等^[23]采用生物发酵的方法,将粉碎后的香蕉茎秆与鸡粪充分混合均匀,并添加微生物菌剂(真菌,酵母菌,细菌和放线菌等复合菌剂)进行条垛式发酵,堆沤腐熟后有机肥的成分为有机质 35.9%、全氮 1.7%、有效磷 0.9%、速效钾 4.3%,符合《有机肥料标准》(NY 525—2002)规定。张聿柏等^[24]以机械粉碎、自然晾晒后的香蕉茎秆和鸡粪为主要原料进行好氧堆肥,对香蕉茎秆与鸡粪堆肥化处理的可行性及存在的问题进行评价。文少白等^[25]模拟大田环境,研究中国热带农业科学院环境与植物保护研究所基地自制的香蕉茎叶堆肥腐熟样品还田对土壤中各形态钾的影响。匡石滋等^[26]和梁雄等^[27]通过试验分别接种复合生物发酵菌剂和腐秆剂对香蕉茎叶堆肥过程进行研究,发现接种复合生物发酵菌剂和腐秆剂均会加快香蕉茎叶腐熟,缩短发酵周期,提高腐烂分解程度,提高有机肥的产品质量,养分分解更全面。韩丽娜等^[28]发明一种制备香蕉茎秆有机肥的方法,即向堆肥原料(由香蕉茎秆、鸡粪、稻壳、花生秸秆组成,其质量比为 50~55 : 25~30 : 5~10 : 10~15)中添加菌剂(白腐菌剂,EM 原液和腐秆剂中的任意一种)进行堆肥获得有机肥料,或者将堆肥原料进行堆肥获得有机肥料,堆制后所有堆肥处理的全氮、全磷及全钾含量均高于堆制前,说明有机物得到有效降解,堆肥产品质量上升。

香蕉茎叶与畜牧粪便堆肥化利用技术,将香蕉种植业与养殖业有机结合起来,是一种实现种植业和养殖业废弃物综合利用、变废为宝、化害为利的循环农业发展模式。香蕉茎叶堆肥还田不仅能有效利用香蕉废弃物,还在一定程度上缓解环境压力。但堆肥前基本上需将香蕉茎秆进行粉碎化处理,增加了劳动工序;堆肥过程较长,香蕉茎秆堆肥进程的腐熟度评价指标不易量化,堆肥产品的质量不稳定,堆沤腐解需占用一定的空间,这些缺点限制了其发展。

2.2 香蕉茎叶的饲料化利用

香蕉茎叶含有较高的可溶性碳水化合物及多种维生素,且叶中粗蛋白含量较高,是一种有待开发的重要饲料资源。香蕉茎叶水分含量高(90%以上),容易腐烂,不利于长期储存,这是其作为动物饲料的一个主要限制因素;另外,其含有大量抗营养因子单宁,影响适口性和消化率等,因而也限制其饲料化利用。所以从营养、保存及环境角度考虑,青贮是提高粗饲料利用价值的一种重要手段^[29-30]。

目前有大量试验探索将各种菌剂、糖蜜、米糠及玉米面等作为香蕉茎叶青贮饲料添加剂^[31-33],并考察

其对香蕉茎叶青贮饲料品质的影响。研究表明,这些处理能不同程度改善香蕉茎叶青贮饲料的品质,显著提高青贮饲料的消化利用率和营养价值,降低单宁含量,提高适口性,减少毒性,动物食用青贮饲料后增重明显^[13,34]。

2.2.1 牛羊饲料研究

李志春等^[32]、刘建勇等^[33]研究认为复合添加乳酸菌、糖蜜和米糠(或者玉米面)能改善香蕉茎叶青贮饲料品质。李志春等^[35]认为饲喂香蕉茎叶青贮饲料对羊肉肉品质、氨基酸、脂肪酸等无明显影响,可以替代玉米秸秆青贮饲料。王明媛等^[36]研究3种香蕉茎叶青贮饲料对云南黄牛生长性能及肉品质影响,认为3种香蕉茎叶青贮饲料饲喂出的云南黄牛肉品优良、营养丰富,其中玉米面与香蕉茎叶混合青贮饲料的肉牛育肥效果最佳。陈兴乾等^[37]通过以鲜香蕉叶、青贮香蕉茎叶部分或全部替代粗饲料对隆林山羊进行饲养试验,研究结果表明鲜香蕉叶可完全替代粗饲料饲喂隆林山羊,且增重效果良好,但是青贮香蕉茎叶的替代方案有待进一步探讨。李乔仙等^[38]评定了香蕉茎叶与稻草混贮的营养价值,并通过安格斯牛舍饲育肥试验说明香蕉茎叶青贮制作技术简单,青贮品质好,可显著提高安格斯牛体重和养殖效益。广西农业科学院以香蕉茎叶等副产物资源为研究对象,利用微生物纯培养技术,从香蕉种植园区土壤中分离、筛选出适合香蕉田间废弃物青贮发酵的酵母菌和乳酸菌;根据香蕉茎叶水分含量高和纤维长、难以粉碎的问题,研发出一种新型的香蕉茎叶粉碎压榨一体机,可对香蕉整株进行压榨除水和粉碎,为香蕉茎叶青贮饲料大规模机械化生产提供强有力的支撑;同时结合香蕉茎叶青贮饲料多菌种复合固态发酵、单宁酶钝化及除去香蕉茎叶中单宁等方法,开发出优质的香蕉茎叶青贮饲料,并进行小试、中试生产,获得巨大经济效益^[39],为香蕉茎叶以及其他秸秆的饲料化利用提供了一种新思路。

采用香蕉茎叶青贮发酵饲料替代部分普通饲料,在节省大量养殖成本的基础上,还可有效降低牲畜感染病率,减少抗生素使用量,提高养殖动物肉质品质。Gregory等^[40]将新鲜香蕉叶子切碎并于40℃条件下烘干,喂养人为感染寄生虫的绵羊,结果发现香蕉叶中所含单宁可抑制蛇形毛圆线虫卵的生长,为寄生虫的驱除提供参考。

2.2.2 家禽饲料研究

Liwe等^[41]用未发酵以及经过不同发酵时期(5 d,10 d,15 d)的香蕉叶子喂养肉鸡,分析表明各实验组在饲料消耗量、平均日增重和饲养利用率方面有显

著差异,且使用发酵10 d的香蕉叶子喂养肉鸡的饲养效益最高。Oleforuh-Okoleh等^[42]用含50 g/kg香蕉叶粉鸡饲料喂养肉鸡,另用含50 mL/L香蕉叶浸提物的水作为肉鸡的饮水,结果表明香蕉叶处理组肉鸡的所有性状表现均优于对照组。而出现该结果的原因可能是香蕉叶中存有大量的营养物质和高水平的低聚果糖,能促进鸡肠道有益菌的生长并分泌维生素和消化酶,进而提高肉鸡身体的整体吸收能力。Mandey等^[43]设计正交试验,使用发酵0 d、5 d、10 d和15 d香蕉叶粉分别以5%、10%和15%的添加量添加到基础饲料中饲养肉仔鸡,通过对其生长性能研究发现,发酵10 d后的香蕉叶粉在肉鸡饲料中合适的使用量为10%。

2.2.3 猪饲料研究

李明福等^[44]通过在生长过程中添加香蕉茎秆渣青贮饲料,进行育肥猪的饲喂比对。结果发现,育肥猪生长状况良好,无异常反应;添加香蕉茎秆渣青贮饲料的试验组增重明显低于对照组,但其料肉比降低了4.73%,有效地减少了混合饲料的消耗量;经过初步核算,按照每头育肥猪每天0.50 kg香蕉茎秆渣青贮饲料的添加量,每千克增重可节约精饲料成本约0.45元。由于香蕉茎叶含有单宁等成分,会影响猪的食欲,不宜单独添加,而且要控制好添加比例,影响了香蕉茎叶作为猪饲料的应用。因此,需对香蕉茎叶猪饲料进行系列研究,了解香蕉茎叶的有利、不利因素,以及最佳利用模式,才有利于猪饲料的推广应用。

2.3 香蕉茎叶的基质化利用

基质化是指利用经适当处理的农业废弃物作为农业生产(如栽培食用菌、花卉、蔬菜等,及养殖高蛋白蝇蛆、蚯蚓等)的基质原料^[11]。香蕉茎叶含有蛋白质、粗纤维及Cu、Zn、Mn、Mg、K、Ca等多种元素,对其基质化利用可以有效利用香蕉茎叶,实现资源循环综合利用,使农业资源多级增值,产业附加值增加。

已有的研究报道,多是将香蕉茎叶作为食用菌的栽培基质。邓玲姣等^[45]选取香蕉茎叶和棉籽壳为栽培料,以熟料袋栽方式进行平菇和秀珍菇的栽培试验,结果表明在不同比例的香蕉茎叶和棉籽壳配方中平菇、秀珍菇的菌丝体长势良好,子实体生长及生物转化率都较好,说明用部分香蕉茎叶代替棉籽壳栽培平菇和秀珍菇是可行的。张时和汪尚法^[46]将香蕉茎叶经过0.5%石灰水处理,然后再用含有蔗糖、过磷酸钙、尿素、磷酸二氢钾、熟石膏粉、清水等物质的混合液浸泡后栽培平菇,其生物效率稳定在100%以上。黄庆生和黄全新^[47]利用香蕉叶代替稻草栽培草菇,不仅提高香蕉叶的利用价值,同时生产出的草菇

产量和质量均比用稻草栽培的高。Siqueira 等^[48]以香蕉秸秆或者香蕉秸秆与其他废弃物相结合(如小麦麸皮,干草,大豆秸秆和棉纺织品等)来作为凤尾菇的栽培基质,研究各实验组的氮浓度、纤维素、半纤维素和木质素的含量变化,结果差异不显著,但单纯以香蕉秸秆为栽培基质的转化生物效率明显高于其他实验组,认为完全可以香蕉茎叶为纯基质栽培凤尾菇。潘启城^[49]将香蕉秆、茎叶粉碎物和杂木锯末、米糠、玉米粉以一定比例混合,添加生石灰并发酵成生产用基质,接种竹荪菌种进行出菇栽培,获得良好收益。

香蕉种植园行间有充分的土地与空间,利用该空间栽培菌菇,不仅可以就地解决了香蕉茎叶栽培菌菇的问题,变废为宝,菌渣还是很好的有机肥,反过来又可以还肥蕉园,达到循环利用,增加农民收入。

2.4 香蕉茎叶的纤维化利用

香蕉茎为层层紧压的复瓦状叶鞘重叠形成的假秆,含有丰富的纤维素,蕴藏于香蕉假茎的韧皮内,属韧皮纤维类。香蕉纤维的化学成分主要是由纤维素、半纤维素和木质素组成,其纤维素含量低于亚麻、黄麻,而半纤维素、木质素的含量则较高。因此,香蕉茎纤维的光泽、柔软性、弹性、可纺性等均稍差于亚麻、黄麻。其化学性质与传统纤维素纤维有许多相似之处,具有抗碱、氯仿、丙酮、甲酸、酚和石油醚的能力,抗酸性优于棉纤维,但抗碱性不如棉纤维。另外,因香蕉纤维中含有一定的蛋白质,结晶度、取向度低,因而其纤维强度低、双折射率低、吸湿放湿快,所以易于染色。与棉、化纤相比,香蕉纤维光泽好,具有很高的吸水性,对人体的刺激小,不会对环境造成负面影响,是一种环保型纤维^[50-52]。

天然植物纤维脱胶方法主要有化学法、机械法、生物酶法等。化学法因其所带来的环境保护问题应用逐步减少。另外,由于香蕉茎秆粗大、含水率高等问题,机械提取香蕉茎秆纤维成熟技术较少。张喜瑞等研制多种香蕉茎秆纤维提取机,如滚扎甩碎组合式香蕉茎秆纤维提取机^[53],可移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机^[54],并且还滚筒刮拉式香蕉茎秆纤维刮取装置进行参数优化试验^[55],通过机械提取,香蕉茎秆纤维提取率可达 90% 左右,生产率为 206~207.6 kg/h,能耗为 20.2~22.3 kW·h/100 kg。综合环境、工艺流程长短、纤维精细化程度等因素对比分析各种工艺技术的优缺点,认为酶法脱胶提取香蕉茎秆纤维工艺具有较好的应用发展前景。徐树英等^[56]使用超声预处理香蕉茎秆,并将预处理后的香蕉茎秆粗纤维进行半纤维素酶、果胶酶脱胶,最后采用傅里叶红外光谱(FTIR)、X 射线衍射(XRD)和扫

描电镜(SEM)分析酶法较佳工艺制备的香蕉茎秆纤维的理化特性,结果表明酶法较佳工艺制备的香蕉茎秆纤维去除了半纤维素和大部分果胶,相对结晶度为 66.4%;机械性能测试结果表明,酶法较佳工艺制备的香蕉茎秆纤维的拉伸强度、杨氏模量和断裂伸长率分别是 118.48 MPa、15.15 GPa、0.67%,得到的香蕉茎秆纤维“细、长、柔、韧”,可用于造纸、编制制品等。

2.4.1 造纸

印度是开发香蕉纤维较早的国家,其香蕉纤维的制取、制品生产等技术处于领先地位^[57]。西双版纳星鑫农业科技公司利用香蕉茎秆、果柄和叶子造纸,充分利用香蕉茎秆天然物质,有效保留植物纤维,从而达到清洁、安全、高效生产浆纸的目的,整个流程使用直热式工艺抄成纸张^[58]。陈致水等^[59]对香蕉假茎纤维造纸技术进行研究,所制成的纸张不含酸性物质,很耐用,韧度是一般纸张的 30 倍,不透水且能防火、吸油。

2.4.2 编织制品

香蕉假茎、叶片和韧皮中都含有优质的植物纤维,这种纤维具有强度高、伸长小、吸湿和放湿快等优点,因此可以用来纺纱、制作各种高档布料,生产窗帘、坐垫或者凉席等。中国热带农业科学院海口实验站发布了其最新研究成果——香蕉精干麻与香蕉纤维/苎麻混纺织物,该织物利用废弃的香蕉茎秆经挂麻、脱胶等工序制成,不仅绿色环保且应用前景良好^[60]。

现有香蕉茎叶纤维利用技术存在提取率低、效率低、自动化程度低等问题,应加强研制全自动香蕉茎秆切割切片机和刮麻机等提取设备,结合酶法提取工艺,以提高其提取率和生产效率,为规模化、商业化应用打下坚实的基础。

2.5 香蕉茎叶的能源化利用

农业废弃物的能源化利用主要分为厌氧发酵及直燃热解两个方向。直燃热解一般是用气化炉将生物质热解气化,热解的主要产物是木炭、焦油和可燃气体。厌氧发酵分为制沼气和微生物制氢技术。研究表明,农作物秸秆、蔬菜瓜果的废弃物和畜禽粪便都是制沼气的好原料,并且混合废弃物共处理比单独处理时生物气的产量有显著提高^[11]。H₂的燃烧热高、燃烧过程零污染,并且可通过氢燃料电池高效转化为电能,是理想的清洁能源载体。但生物制氢技术尚未完全成熟,在大规模应用之前尚需深入研究。再者,香蕉茎叶是一种天然纤维素,根据微生物学及发酵工程理论,可采用微生物方法发酵生产生物燃料乙醇,

对能源工业以及环境可持续发展具有重大意义。

2.5.1 沼气生产

我国经济正处在高速发展阶段,对资源需求量逐步增大,而我国人均资源量却远远低于世界平均水平。以香蕉茎叶等农业废弃物为原料制取沼气,不但为农户带来较大的经济效益,减少农户在能源商品上的投入,而且还可在一定程度上缓解煤、石油等燃料的需求量,为缓解环境压力、推动社会可持续发展方面发挥重要作用。

实验研究方面。欧忠庆等^[61]以提取香蕉纤维后的香蕉茎秆渣为沼气发酵原料,加入人尿或草木灰等碱性原料调节发酵液酸碱度制作沼气,然后在广东农村家庭沼气池中进行香蕉茎秆渣生产沼气的初步试验,并取得良好的效果。张啸等^[62]采用批量发酵工艺,在中温 30℃ 的条件下进行香蕉秆的沼气发酵实验,其结果表明香蕉秆的 TS 产气率为 970 mL/g, VS 产气率为 1 220 mL/g,说明香蕉秆是一种很好的沼气发酵原料。何聪^[63]认为在固液混合发酵中,芭蕉茎叶经氢氧化钠-纤维素酶水解综合处理后,产气量比未处理时提高 44.38%。韩娅新等^[64]研究香蕉、小麦、玉米、水稻秸秆以及鸡粪、猪粪、牛粪 7 种原料的基本特性及发酵情况,认为纤维质原料中香蕉秸秆的可降解组分含量最高(76.13%),粪便原料中鸡粪的易降解有机物含量最高(59.72%);香蕉秸秆和鸡粪的甲烷产率分别为 186.10 mL/g 和 224.85 mL/g,生物降解能力(Biodegradability)分别为 41.42%和 33.28%,消化时间(T90)分别为 9.5 d 和 7 d,为两类原料中产气潜力最佳的原料。裴培等^[65]在中温(37±1)℃条件下,对经物理预处理后获得的纤维长度分别为 0.23 cm、2.70 cm、4.10 cm 和 4.12 cm 的 4 种香蕉秸秆样品进行了批次厌氧发酵试验,认为物理预处理强度的增强可以提高沼气发酵的日产气量及累积产气量,但对沼气中甲烷含量没有显著影响(甲烷含量为 55.54%~63.88%);与小麦和玉米秸秆相比,利用香蕉秸秆制备沼气具备较好的应用前景。

实际应用方面。广西大林新村充分利用丰富的香蕉秸秆和猪牛粪尿等发酵原料,将农村沼气池建设与农户改厕、改圈、改院同时进行,上接种植业,下连养殖业,形成了沼气-养殖-林果-渔业-蔬菜生态经济系统,推动农业经济循环发展^[66]。海南神州新能源建设开发有限公司在海南岛开发、投资、建设及运营新能源(沼气)产业化项目,利用香蕉秆、猪粪、水果加工残渣等有机原料,运用现代工程技术和生物技术,建造不受自然环境条件制约的沼气工厂,在处理废弃

物的同时,把沼气作为能源商品进行生产和销售^[67]。

香蕉茎叶沼气作为一种清洁、便捷、价格低廉的新型能源,有广阔的发展前景,将为发展生态农村奠定坚实的基础。但有缺点的是,香蕉茎叶废弃物具有高含水量,会影响厌氧发酵罐的尺寸,且秸秆沼气工程中原料上浮易产生料液分层结壳现象,从而影响产气效率;并且厌氧发酵后的沼液中的 K、N、P 含量超过农田灌溉的标准,亟待有关科研人员深入研究。

2.5.2 酒精生产

相对来说,香蕉茎叶的纤维素和半纤维素含量高于木质素,其单糖结构以葡萄糖、木糖为主,葡萄糖占 71.76%,木糖占 11.20%,因此具有进行生物质精炼生产燃料乙醇的潜力。使用香蕉茎叶作为原料生产燃料乙醇,不仅能节约大量粮食(如玉米、小麦等),有效解决燃料乙醇生产的非粮替代问题,而且能使香蕉茎叶废弃物得到充分利用,促进农民增收,减少堆置秸秆带来的环境污染,是生物乙醇发展的趋势^[68-69]。

作为一种天然纤维素资源,香蕉纤维素原料的预处理是木质纤维素转化乙醇过程中的关键步骤,直接影响着纤维素的水解效率和纤维素制备乙醇的生产成本。通过预处理如蒸汽爆破^[70]、酸碱处理^[9]、酶解^[71]等可除去木质素,溶解半纤维素和破坏纤维素的晶体结构,从而增大其可接触表面,提高水解产率^[70]。李乐^[9]在河南省某纤维素乙醇有限公司进行香蕉茎秆及甘蔗渣的生物质能源利用研究,得出 1 吨香蕉茎秆和甘蔗渣的纯乙醇产量分别为 182 kg 和 172 kg,沼气产量分别约为 100 m³及 90 m³。朱屋彪等^[72]采用单因素和正交实验结合的方法,使用氢氧化钠预处理的方式对香蕉秆进行降解,进而发酵制取酒精。张树河等^[73]以香蕉茎叶为材料,采用 20 g/L 的稀酸水解糖化和微生物发酵工程开展香蕉纤维转化制燃料酒精的工艺技术研究,认为酸法和酶法均可用于香蕉纤维转化制取燃料乙醇。张焜等^[71]取新鲜香蕉秆切碎、灭菌,按比例加入经稀释的纤维素酶液(纤维素酶 NS50013 和糖化酶 NS50013,质量比为 10:1)对香蕉秆进行水解处理;然后加入经活化的耐高温酿酒酵母,搅拌均匀后置发酵设备中发酵;采用常压蒸馏法对发酵液进行蒸馏,分离提纯酒精,其产量可达理论产率的 87.3%左右。

Reddy 等^[74]使用从大象粪便中筛选到的菌株 *Clostridium thermocellum* CT2 以及 *Clostridium thermosaccharolyticum* HG8 发酵碱处理过的香蕉废弃物,其乙醇最高产量可达 0.41 g/g 底物,并可适用于高浓度底物发酵。Thakur 等^[75]将香蕉秸秆先经过 1 mol/L 的氢氧化钠或者 1 mol/L 的稀硫酸处

理 24 h,然后将处理的样品水洗至中性并用 60℃ 烘箱烘至恒重,用 *Pleurotus ostreatus* HP-1 在 30℃ 条件下预处理 48 h,使其纤维素、半纤维素和木质素的含量降低,其中木质素降低 6.4%~49.2%,纤维素含量降低 0.3%~8.5%,半纤维素降低 0.7%~16.2%;随后用 6.0 U/g 的滤纸纤维素酶和 17 U/g β -葡糖苷酶酶解处理 48 h 得到 5.3~15.3 g/L 还原糖,最后用酿酒酵母 NCIM 3570 生产乙醇,其乙醇产量可高达 0.40 g/g。Ingale 等^[76]使用酸碱预处理研磨过的香蕉秸秆,然后将预处理的香蕉秸秆作为培养基质培养可产生纤维素酶的 *Aspergillus ellipticus* 和 *Aspergillus fumigatus*,使其纤维素最大程度地分解为还原糖,最后使用 *Saccharomyces cerevisiae* NCIM 3570 发酵香蕉秸秆水解液产乙醇,发酵 72 h 其最高产量可达 17.1 g/L。

利用香蕉茎叶发酵产燃料乙醇,其关键技术在于原料的预处理,现实所用方法的预处理效果都不够理想,应尝试更实用的预处理方法,加大工程菌株的构建,并进一步优化水解工艺。此外,发展低能耗、高效及高选择性非粮生物质制氢将为香蕉茎叶的合理利用另辟蹊径。Zhang 等^[77]利用非粮生物质,如玉米秆、水稻秆、麦秆、芦苇、甘蔗渣、竹屑,以及生活垃圾如废报纸等为原料研究出“一锅两步”的制氢方法,期间无需分离纯化,制氢产率高达 95%。研究人员可参照该技术,对香蕉茎叶制氢进行深入研究。

3 展望

目前国内外对香蕉茎叶资源的利用进行了众多的探索研究,但各种技术都还不够成熟,其综合利用技术离规模化、生产化、商业化应用还有很大的距离。国内香蕉茎叶回收利用困难很大程度上是因为相关技术研究的缺乏。如香蕉茎秆难以大规模收集、粉碎和贮运,缺乏相关配套设备;且从目前来看,香蕉茎秆的回收利用大多仅限于堆肥还田、饲料生产、纤维提取、能源等单一效益,整套的利用技术较少报道,使其利用率和附加值相对较低。

因此,首先应加大科技投入与政策扶持力度,加强肥料化、饲料化、纤维化、能源化配套技术的集成研究,建立一套完整的香蕉茎秆废弃物收集、运输、贮存和加工利用系统,切实解决香蕉茎秆综合利用过程中实际问题、科学问题以及技术问题。另外,可借鉴小麦、大豆、玉米、水稻等大宗作物秸秆综合利用技术和方法,拓宽香蕉茎叶综合利用途径,优化工艺,根据香蕉茎叶特点改造配套设备,提高香蕉茎秆综合利用效率,推动香蕉产业链发展。

参考文献:

- [1] 胡小婵. 世界香蕉发展现状[J]. 世界热带农业信息, 2010(4):7-11.
HU X C. Development and situation of the world's banana[J]. World Tropical Agriculture Information, 2010 (4):7-11.
- [2] 董涛,陈新建,凡超,等. 我国香蕉产业面临的主要问题与对策[J]. 广东农业科学,2013 (11):220-223.
DONG T, CHEN X J, FAN C, et al. Analysis on the development of the banana industry in China[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013(11):220-223.
- [3] 郑丽丽,韩冰莹,盛占武,等. 香蕉茎秆废弃物综合利用研究现状与分析[J]. 热带农业科学,2013,33(7):63-67.
ZENG L L, HAN B Y, SHENG Z W, et al. Recent achievements and analysis of comprehensive utilization of banana stalk wastes[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2013, 33(7):63-67.
- [4] 邓怡国,孙伟生,王金丽,等. 热带农业废弃物资源利用现状与分析——香蕉茎叶综合利用[J]. 广东农业科学, 2011(1):19-22.
DENG Y G, SUN W S, WANG J L, et al. Status quo and analysis of utilization of agricultural waste resources in tropics — comprehensive utilization of banana stem and leaf[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011(1):19-22.
- [5] 韩丽娜,李建国. 香蕉茎叶残体综合利用研究进展[J]. 福建果树,2006(136):18-20.
HAN L N, LI J G. Advances in comprehensive utilization of banana stem and leaf[J]. Fujian Fruits, 2006 (136):18-20.
- [6] 朱晓闯,张喜瑞,李粤,等. 我国香蕉秸秆回收利用现状研究[J]. 价值工程,2011,34 :273-274. DOI:10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2011.34.086.
ZHU X C, ZHANG X R, LI Y, et al. Study on the recycling of banana straw of China[J]. Value Engineering, 2011, 34 :273-274. DOI:10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2011.34.086.
- [7] 郑侃,张喜瑞,梁栋,等. 香蕉茎秆机械化处理利用的现状与分析[J]. 农机化研究,2014(3):239-241,245.
ZHENG K, ZHANG X R, LIANG D, et al. The analyses and research on machinery processing and utilization to banana stem[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014(3):239-241,245.
- [8] 李子建. 香蕉副产物的开发利用研究——香蕉茎、叶有效成分的提取和特性研究[D]. 福州:福建农林大学, 2006.
LI Z J. Study on the utilization of the outgrowths from *Banana* — study on the extraction of active ingredient from leaves of banana and its characteristic[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2006.
- [9] 李乐. 海南香蕉茎秆和甘蔗渣收集模式与资源化利用研

- 究[D].海口:海南大学,2014.
- LI L. Banana stalks and bagasse collection mode and utilization of resources in Hainan[D]. Haikou: Hainan University,2014.
- [10] 徐树英.香蕉茎秆压榨脱水及其资源化利用技术研究[D].天津:天津大学,2015.
XU S Y. Study of squeeze dewatering and its resource-oriented utilization technology of banana pseudostem [D]. Tianjing: Tianjin University,2015.
- [11] 陈智远,石东伟,王恩学,等.农业废弃物资源化利用技术的应用进展[J].中国人口·资源与环境,2010(12):112-116.
CHEN Z Y,SHI D W,WANG E X,et al. Development of the application of resource utilization technology in agricultural waste[J]. China Population Resources and Environment,2010(12):112-116.
- [12] 韦承坤.浅析香蕉秆粉碎还田机械化技术在广西的推广应用[J].大众科技,2011(12):150-151,46.
WEN C K. On the application of banana stalk crushing return cropland mechanization technology in Guangxi [J]. Popular Science & Technology, 2011(12): 150-151,46.
- [13] 张学娟,王冲,李宝深,等.我国香蕉茎叶残体利用现状与展望[J].热带农业科学,2015,35(10):69-74.
ZHANG X J,WANG C,LI B S,et al. Utilization status and outlook of banana stalk and leaves residues in China[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture,2015, 35(10):69-74.
- [14] 张进疆,王斌斌,曹卫东.香蕉假茎还田机研制与试验[J].农机化研究,2010,32(4):130-132.
ZHANG J J,WANG B B,CAO W D. The manufacture and test of shredding and returning field for banana caulis[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2010,32(4):130-132.
- [15] 李毅,张喜瑞,李粤,等.切碎组合式香蕉秸秆还田机设计[J].广东农业科学,2012,39(18):187-189.
LI Y,ZHANG X R,LI Y,et al. Study on the chopped combined-type banana straw returning machine [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(18): 187-189.
- [16] 建农.1JHJ-140型香蕉秆粉碎还田机[J].农业装备技术,2012(2):24.
JIAN N. Banana stalk chopper:1JHJ-140[J]. Agricultural Equipment & Technology,2012(2):24.
- [17] 朱德荣,常云朋.香蕉秸秆还田技术研究 with 装备设计[J].中国农机化,2012(1):140-143.
ZHU D R,CHANG Y P. Technical research and equipment design of banana straw's returning [J]. Chinese Agricultural Mechanization,2012(1):140-143.
- [18] 张燕,李伟.一种脱水香蕉秸秆破碎机:201720087040.3[P].2017-09-29.
ZHANG Y,LI W. A dewatering banana stalk crusher: 201720087040.3[P].2017-09-29.
- [19] 迟桂丽.共轴对剪式香蕉秸秆粉碎还田机:201611028918.2[P].2017-05-31.
CHI G L. Coaxial shear of banana stalk crusher: 201611028918.2[P].2017-05-31.
- [20] 甘声豹,李粤,张喜瑞,等.喂入式立轴甩刀香蕉秸秆粉碎还田机设计与试验[J].农业工程学报,2014,30(13):10-19.
GAN S B,LI Y,ZHANG X R,et al. Design and experiment on banana stalk chopper with feeding type spindle flail[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2014, 30(13):10-19.
- [21] 李继武,李乐,蒋菊生,等.海南省香蕉茎秆与甘蔗渣利用现状及资源评价研究[J].现代农业科技,2015(7):226-228.
LI J W,LI L,JIANG J S,et al. Utilization status and resource evaluation of banana stem and bagasse in Hainan [J]. Modern Agricultural Science and Technology,2015(7):226-228.
- [22] 邓小垦,董存明,张彦龙,等.生猪粪与香蕉茎秆高温堆肥的研究[J].南京农业大学学报,2014,37(3):83-87.
DENG X K,DONG C M,ZHANG Y L,et al. Co-composting of swine manure and banana residue[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2014, 37(3): 83-87.
- [23] 匡石滋,田世尧,刘传和,等.香蕉废弃茎秆与鸡粪堆肥化利用技术规程[J].广东农业科学,2011(13):54-56.
KUANG S Z,TIAN S Y,LIU C H,et al. Regulation of technical for the utilization of banana waste stem and chicken manure compost composting [J]. Guangdong Agricultural Sciences,2011(13):54-56.
- [24] 张聿柏,李勤奋.香蕉茎秆堆肥化处理腐熟度评价研究[J].中国农学通报,2009,25(9):268-272.
ZHANG Y B,LI Q F. Study on evaluation of maturity during banana stem composting treatment[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2009,25(9):268-272.
- [25] 文少白,张桂花,李勤奋,等.香蕉茎叶堆肥还田对土壤各形态钾的影响[J].热带作物学报,2010,31(5):689-692.
WEN S B,ZHANG G H,LI Q F,et al. The effects of banana stalk-leaf compost on different forms of soil potassium[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2010, 31(5):689-692.
- [26] 匡石滋,田世尧,肖维强,等.利用香蕉菠萝茎叶工厂化生产复合生物有机肥关键技术研究[J].热带农业科学,2016,36(2):44-49.
KUANG S Z,TIAN S Y,XIAO W Q,et al. Industrialized production technology of complex bio-organic fertilizer by using the stem and leaf of banana and pineapple[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2016, 36(2):44-49.
- [27] 梁雄,黄程忠,邓中旺,等.有机物料腐熟剂在香蕉茎叶

- 还田中的应用效果研究[J]. 农业与技术, 2017, 37(2): 59-61.
- LIANG X, HUANG C Z, DENG Z W, et al. Study on the application effect of organic maturation agent in returning banana stem and leaf to field[J]. Agriculture & Technology, 2017, 37(2): 59-61.
- [28] 韩丽娜, 李建国, 金志强, 等. 香蕉茎秆有机肥及其制备方法: 201110272946. X[P]. 2012-05-02.
- HAN L N, LI J G, JIN Z Q, et al. Organic fertilizer of banana stem and its preparation method: 201110272946. X[P]. 2012-05-02.
- [29] 陈静, 潘健存, 赵鹏, 等. 香蕉茎叶青贮营养成分及单宁含量变化的实验研究[J]. 饲料工业, 2005, 16(13): 19-20.
- CHEN J, PAN J C, ZHAO P, et al. The research on the change of nutrient ingredient and tannin content of ensiling banana stem-leaf [J]. Feed Industry, 2005, 16(13): 19-20.
- [30] 王春芳. 青贮香蕉茎叶营养价值评定及对肉牛品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- WANG C F. Assessment of nutritive value and effect of ensiling banana stem and leaves on beef quality[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [31] 李志春, 游向荣, 张雅媛, 等. 香蕉茎叶发酵生产青贮饲料乳酸菌的筛选[J]. 粮食与饲料工业, 2014(1): 42-45.
- LI Z C, YOU X R, ZHANG Y Y, et al. Screening of lactic acid bacteria for banana stem and leaf silage fermentation[J]. Cereal & Feed Industry, 2014(1): 42-45.
- [32] 李志春, 游向荣, 张雅媛, 等. 糖蜜和米糠对香蕉茎叶青贮饲料品质的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(12): 2058-2061.
- LI Z C, YOU X R, ZHANG Y Y, et al. Effects of molasses and rice bran on quality of banana stem and leaf silage[J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(12): 2058-2061.
- [33] 刘建勇, 高月娥, 黄必志, 等. 香蕉茎叶营养价值评定及贮存技术研究[J]. 中国牛业科学, 2012, 38(2): 18-22.
- LIU J Y, GAO Y E, HUANG B Z, et al. Nutritional evaluation and storage process of banana stalk leaves [J]. China Cattle Science, 2012, 38(2): 18-22.
- [34] 王增煌, 王文策, 杨琳. 香蕉茎叶作为饲料原料的研究进展[J]. 中国畜牧杂志, 2016, 52(17): 82-86.
- WANG Z H, WANG W C, YANG L. Progress research advance on developing banana stalk leaves as feed stuff [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2016, 52(17): 82-86.
- [35] 李志春, 孙健, 游向荣, 等. 饲喂香蕉茎叶和玉米秸秆青贮料对杜湖羊肉品质和营养成分的影响[J]. 家畜生态学报, 2017, 38(9): 25-29, 79.
- LI Z C, SUN J, YOU X R, et al. Effects of feeding banana stems and leaves and corn stalk silage on meat quality and nutritive value of dorper and Hu crossbred sheep[J]. Acta Ecologica Animalis Domastici, 2017, 38(9): 25-29, 79.
- [36] 王明媛, 袁希平, 张曦, 等. 三种香蕉茎叶青贮饲料对云南黄牛生长性能及肉品质影响研究[J]. 饲料工业, 2015, 36(1): 55-59.
- WANG M Y, YUAN X P, ZHANG X, et al. Study of banana stems and leaves silage on beef quality and growth performance of Yunnan yellow cattle[J]. Feed Industry, 2015, 36(1): 55-59.
- [37] 陈兴乾, 罗美姣, 方运雄, 等. 饲喂香蕉茎叶对隆林山羊生长性能的影响[J]. 广西畜牧兽医, 2011, 27(2): 69-72.
- CHEN X Q, LUO M J, FANG Y X, et al. Effects of feeding banana stem and leaf on growth performance of Longlin goat[J]. Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2011, 27(2): 69-72.
- [38] 李乔仙, 刘建勇, 高月娥, 等. 香蕉茎叶与稻草混贮饲喂安格斯牛育肥效果研究[J]. 中国牛业科学, 2016, 42(6): 10-13.
- LI Q X, LIU J Y, GAO Y E, et al. Study of the fattening effect of mixed silage of the banana stalk and leaves and straw on angus cattle[J]. China Cattle Science, 2016, 42(6): 10-13.
- [39] 广西农业科学院. 香蕉茎叶青贮饲料加工关键技术 [EB/OL]. (2015-01-04) [2018-04-18]. <http://www.gxaas.net/ShowNews.aspx? NId=10878>.
- Guangxi Academy of Agricultural Sciences. Key technology of silage of banana stem and leaf [EB/OL]. (2015-01-04) [2018-04-18]. <http://www.gxaas.net/ShowNews.aspx? NId=10878>.
- [40] GREGORY L, YOSHIHARA E, SILVA L K F, et al. Anthelmintic effects of dried ground banana plant leaves (*Musa* spp.) fed to sheep artificially infected with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* [J]. Afr J Tradit Complement Altern Med, 2017, 14(1): 138-144. DOI: 10. 21010/ajtcam. v14i1. 15.
- [41] LIWE H, DAN BAGAU B, IMBAR M R. Fermentation period effect of banana leaf in ration on broiler feed efficiency [J]. Zootek, 2014, 34(2): 114-123.
- [42] OLEFORUH -OKOLEH V U, OGUNNUPEBI J T, IROKA J C. Assessment of growth performance and certain blood constituents of broiler chicks given banana leaf as a phytoadditive [J]. Asian J Poult Sci, 2015, 9(4): 242-249.
- [43] MANDEY J S, LEKE J R, KAUNANG W B, et al. Carcass yields of broiler chickens fed banana (*Musa paradisiaca*) leaves fermented with *Trichoderma viride* [J]. Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture, 2015, 40(4): 229-233.
- [44] 李明福, 连文伟, 公谱, 等. 添加香蕉茎秆渣对育肥猪生

- 长性能影响的研究畜牧与饲料科学[J]. 畜牧与饲料科学, 2011, 32(11): 13-15.
- LI M F, LIAN W W, GONG P, et al. Study on the effect of adding banana stalk residue on the growth performance of fattening pig [J]. Anim Husbandry Feed Sci, 2011, 32(11): 13-15.
- [45] 邓玲姣, 彭虹, 梁彩芳, 等. 香蕉茎叶栽培平菇和秀珍菇的比较试验[J]. 中国食用菌, 2011, 30(2): 27-30.
- DEGN L J, PENG H, LIANG C F, et al. Comparative experiment of *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus geesteranus* cultured by banana stalk and leaves[J]. Edible Fungi of China, 2011, 30(2): 27-30.
- [46] 张时, 汪尚法. 香蕉茎叶栽培平菇技术[J]. 农村新技术, 2011(11): 14-15.
- ZHANG S, WANG S F. Techniques of cultivating *Pleurotus edodes* with banana stems and leaves [J]. New Rural Technology, 2011(11): 14-15.
- [47] 黄庆生, 黄全新. 香蕉茎叶栽培草菇[J]. 福建农业, 1995(1): 11.
- HUANG Q S, HUANG Q X. Testing mushroom (*Volvariella volvacea*) cultivation with leaf of banana as the major medium[J]. Fujian Agriculture, 1995(1): 11.
- [48] SIQUEIRA F G, MARTOS E T, SILVA R, et al. Cultivation of *Pleurotus sajor-caju* on banana stalk and bahia grass based substrates[J]. Horticultura Brasileira, 2011, 29: 199-204.
- [49] 潘启城. 一种利用香蕉秆、茎叶作基质露天栽培竹荪: 102523936 A[P]. 2012-03-10.
- PAN Q C. The utility model relates to an open-air cultivation of *Dictyophora indusiata* by using banana stalks and leaves as substrate: 102523936 A[P]. 2012-03-10.
- [50] 潘梁, 朱丹萍. 香蕉纤维: 一种新型“绿色纤维”[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2013(1): 25-27. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2346.2013.01.007.
- PAN L, ZHU D P. Banana fiber: A new "green fiber" [J]. Journal of Zhejiang Textile & Fashion College, 2013(1): 25-27. DOI: 10.3969/j.issn.1674-2346.2013.01.007.
- [51] 王红, 翁扬, 邢声远. 香蕉纤维的制备及产品开发[J]. 纺织导报, 2010(6): 105-106.
- WAGN H, WENG Y, XING S Y. Preparation and product development of banana fiber[J]. China Textile Leader, 2010(6): 105-106.
- [52] 杨永智, 王树明, 杨琴. 香蕉茎叶资源的开发利用研究[J]. 现代农业科技, 2012(4): 294-295.
- YANG Y Z, WANG S M, YANG Q. Development and utilization of banana stalk-leaves resources[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2012(4): 294-295.
- [53] 张喜瑞, 郑侃, 梁栋, 等. 滚扎甩碎组合式香蕉茎秆纤维提取机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 24-31.
- ZHANG X R, ZHENG K, LIANG D, et al. Design and experiment on rolling and crushing combined extracting machine for banana stem fiber[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(20): 24-31.
- [54] 张喜瑞, 梁栋, 李粤, 等. 移动式全喂入香蕉茎秆纤维提取机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(19): 22-30. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.19.004.
- ZHANG X R, LIANG D, LI Y, et al. Development and experiment of full feeding and movable combined machine for banana stalk fiber extraction[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(19): 22-30. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.19.004.
- [55] 张喜瑞, 王超, 梁栋, 等. 滚筒刮拉式香蕉茎秆纤维刮取装置参数优化与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 55-62. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.20.007.
- ZHANG X R, WANG C, LIANG D, et al. Experiment of parameter optimization of fiber roller-scraping device for banana stalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(20): 55-62. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2016.20.007.
- [56] 徐树英, 谭蔚, 张玉苍. 香蕉茎秆酶法脱胶工艺及其脱胶纤维性能[J]. 化工学报, 2015, 66(9): 3753-3761. DOI: 10.11949/j.issn.0438-1157.20150998.
- XU S Y, TAN W, ZHANG Y C. Enzyme degumming process of banana pseudostem fibers and characterization of degummed fibers[J]. CIESC Journal, 2015, 66(9): 3753-3761. DOI: 10.11949/j.issn.0438-1157.20150998.
- [57] 史倩青. 香蕉纤维的开发及应用研究进展[J]. 上海纺织科技, 2006, 34(9): 18-19.
- SHI Q Q. Development of banana fiber and its application study progress [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2006, 34(9): 18-19.
- [58] 黄润燕. 香蕉茎秆纤维资源综合利用初探[J]. 轻纺工业与技术, 2010, 39(6): 53-55.
- HUANG R Y. A preliminary study on the comprehensive utilization of banana stem fiber[J]. Guangxi Textile Science & Technology, 2010, 39(6): 53-55.
- [59] 陈致水, 李粤, 梁栋. 香蕉假茎纤维造纸技术的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(32): 20050, 20061.
- CHEN Z S, LI Y, LIANG D. Study on paper making technology of banana stem fiber[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(32): 20050, 20061.
- [60] 席宁. 获新宠的香蕉茎秆[J]. 纺织科学研究, 2015(1): 35.
- XI N. New favorite of banana stem[J]. Textile Science Research, 2015(1): 35.

- [61] 欧忠庆,张劲,邓干然,等.香蕉茎秆渣制作沼气试验[J].中国热带农业,2006(5):35-36.
OU Z Q,ZHANG J,DENG G R,et al. Experiment on biogas production from banana stalk residue [J]. China Tropical Agriculture,2006(5):35-36.
- [62] 张啸,李建昌,杨斌,等.香蕉秆厌氧发酵产沼气的实验研究[J].云南师范大学学报:自然科学版,2011,31(增刊):119-122.
ZHANG X,LI J C,YANG B,et al. Experimental study on biogas production by fermentation of banana stalk [J]. Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition,2011(Supp),31:119-122.
- [63] 何聪.纤维素酶降解芭蕉茎叶及发酵制取沼气的研究[D].南宁:广西大学,2011.
HE C. Study on cellulose degradation and anaerobic digestion of the stems and leaves of banana for biogas [D]. Nanning:Guangxi University,2011.
- [64] 韩娅新,张成明,陈雪兰,等.不同农业有机废弃物产甲烷特性比较[J].农业工程学报,2016,32(1):258-264. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.036.
HAN Y X,ZHANG C M,CHEN X L,et al. Methane production performance comparison of different agricultural residues[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2016,32(1):258-264. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.036.
- [65] 裴培,张成明,李纪红,等.物理法处理对香蕉秸秆沼气发酵能力影响分析[J].食品与发酵工业,2014,40(1):8-13.
PEI P,ZHANG C M,LI J H,et al. The influence of physical treatment on biogas production potential of banana pseudo stem[J]. Food and Fermentation Industries,2014,40(1):8-13.
- [66] 劳艳燕,卢一雾.沼气池催生出的生态经济[N].南宁日报,2011-09-16.
LAO Y Y,LU Y W. Ecological economy induced by methane pool[N]. Nanning Daily Newspaper,2011-09-16.
- [67] 高虹.海南“气荒”有望缓解——国内首个车用沼气项目今年落户海南[N].海南日报,2010-05-22.
GAO H. Hainan's "gas shortage" is expected to ease, with the country's first biogas project for cars being launched this year[N]. Hainan Ribao,2010-05-22.
- [68] 李坤.香蕉茎和甘蔗渣预处理及其纤维素酶解糖化的基础研究[D].广州:华南理工大学,2010.
LI K. Study on pretreatment and cellulase saccharification for both banana pseudo-stem and bagasse[D]. Guangzhou: South China University of Technology,2010.
- [69] PADAM B S,TIN H S,CHYE F Y,et al. Banana by-products: An under-utilized renewable food biomass with great potential[J]. J Food Sci Technol,2014,51(12):3527-3545. DOI 10.1007/s13197-012-0861-2.
- [70] 邓强.香蕉秆纤维素降解菌筛选及酒精制备研究[D].广州:广东工业大学,2008.
DENG Q. Research on screening of bacteria with banana stalk degradation and preparation of alcohol[D]. Guangzhou:Gangdong University of Technology,2008.
- [71] 张焜,朱屋彪,蔡燕飞,等.酶法处理香蕉秆发酵生产燃料酒精的方法:101717796[P].2010-06-02.
ZHANG K,ZHU W B,CAI Y F,et al. Enzymatic treatment of banana stem fermentation to produce fuel alcohol:101717796[P].2010-06-02.
- [72] 朱屋彪,蔡燕飞,邓强,等.降解香蕉秆制备酒精的工艺研究[J].现代化工,2008,28(增刊2):150-152.
ZHU W B,CAI Y F,DENG Q,et al. Technique of producing alcohol from banana stalk degradation[J]. Modern Chemical Industry,2008,28(Supp 2):150-152.
- [73] 张树河,李海明,李瑞美,等.香蕉茎叶纤维转化制燃料酒精的技术研究[J].江西农业大学学报,2009,31(2):350-352.
ZHANG S H,LI H M,LI R M,et al. Technology for fuel alcohol production from banana stems and leaves [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis,2009,31(2):350-352.
- [74] REDDY H K Y,SRIJANA M,REDDY M D,et al. Co-culture fermentation of banana agro-waste to ethanol by cellulolytic thermophilic *Clostridium thermocellum* CT2[J]. Afr J Biotechnol,2009,9(13):1926-1934.
- [75] THAKUR S,SHRIVASTAVA B,INGALE S,et al. Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment[J]. Biotech,2013(3):365-372. DOI:10.1007/s13205-012-0102-4.
- [76] INGALE S,JOSHI S J,GUPTA A. Production of bioethanol using agricultural waste: Banana pseudo stem [J]. Brazilian Journal of Microbiology,2014,45(3):885-892.
- [77] ZHANG P,GUO Y J,CHEN J,et al. Streamlined hydrogen production from biomass[J]. Nature Catalysis,2018(1):332-338. <http://www.nature.com/articles/s41929-018-0062-0>.

(责任编辑:陆雁)