

李龙涛, 李万明, 孙继民, 等. 城乡有机废弃物资源化利用现状及展望[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(3): 264-271.

LI Long-tao, LI Wan-ming, SUN Ji-min, et al. Research status and prospects of the resource utilization of organic waste in urban and rural areas[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(3): 264-271.

城乡有机废弃物资源化利用现状及展望

李龙涛, 李万明, 孙继民, 褚飞, 饶中秀, 黄凤球*

(湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)

摘要:分析了城乡有机废弃物如畜禽粪便、农作物秸秆、餐厨垃圾和城市污泥等资源的利用及研究现状,提出了制约有机废弃物资源化利用发展的若干问题,并从法律保障、顶层设计、政策支持和技术发展等方面给出了建议和对策,以期城乡有机废弃物资源化利用提供参考。

关键词:有机废弃物;资源化利用;畜禽粪便;秸秆;餐厨垃圾;污泥

中图分类号:X705

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2019)03-0264-08

doi: 10.13254/j.jare.2018.0150

Research status and prospects of the resource utilization of organic waste in urban and rural areas

LI Long-tao, LI Wan-ming, SUN Ji-min, CHU Fei, RAO Zhong-xiu, HUANG Feng-qiu*

(Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha 410125, China)

Abstract: The resource utilization and research status of the main urban and rural organic wastes, such as animal excrement, crop straw, kitchen waste and urban sewage sludge, were analyzed. Several problems restricting resource utilization of these organic waste were raised. It also put forward some suggestions and countermeasures from the aspects of legal guarantee, top-level design, policy support and development of technology, in order to provide an important reference for the resource utilization of organic waste in urban and rural areas.

Keywords: organic waste; resource utilization; animal excrements; crop straw; kitchen waste; sewage sludge

城市有机废弃物主要包括城市生活产生的餐厨垃圾、城市污泥和生活垃圾中的有机垃圾等,农村有机废弃物主要包括农村发展和农业生产过程中产生的畜禽粪便、养殖类废弃物、农产品加工废弃物和农作物秸秆等^[1]。随着我国经济的快速发展和人们生活水平的不断提高,城乡有机废弃物呈现以下特点:第一,有机废弃物种类多,产生量大;第二,有机废弃物价值低,处理成本高,利用率低;第三,有机废弃物含有大量的致病菌,可以传播疾病,堆积过程中污染物产生高浓度渗滤液,给城乡生态安全带来严重隐

患,一些地区出现了水体富营养化、土壤酸化及重金属污染等问题。

随着人们环保意识的提高,丢弃、堆焚等有机废弃物处置方式正在改变,已经逐渐形成肥料化、饲料化、能源化、基料化、材料化等五种利用模式,“五化”各有发展并有协同发展趋势^[2]。近年来发展的生物燃油、蝇蛆养殖、污泥堆肥、人工湿地等技术,也促进了城乡有机废弃物资源化行业整体协同发展^[3]。本文以现阶段有机废弃物资源化情况作为切入点,综述了有机废弃物的利用方式,以及资源化过程中存在的

收稿日期:2018-06-08 录用日期:2018-09-28

作者简介:李龙涛(1991—),男,山东济宁人,硕士,研究实习员,从事土壤肥料与废弃物资源利用研究。E-mail: lilongtao369@163.com

*通信作者:黄凤球 E-mail: 839734142@qq.com

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2017NK2151);湖南农业科技创新资金创新联盟项目(2017LM0303)

Project supported: The Major Research and Development Program of Hunan Province (2017NK2151); The Innovation Fund and Innovation Alliance Program of Hunan Agriculture and Science(2017LM0303)

问题、对策与展望。

1 城乡有机废弃物资源利用现状

1.1 国外有机废弃物利用现状

国外在20世纪30、40年代就开始研究有机废弃物利用,目前废弃物综合利用技术已经具有较高的水平。在畜禽粪便处理上,欧美国家注重农牧结合,农场畜牧在长期发展后形成了“饲草、饲料、肥料”循环体系,畜禽粪便均在农场内部处理,产生、运输、处理和使用畜禽粪污时,全过程密闭以控制臭气排放。如美国采用水泡粪工艺,将猪粪尿长期贮存于猪舍下方粪坑直至还田利用;荷兰养殖场普遍将粪尿、清洗水混合形成粪浆,再采取固液分离方式,将固体进行堆肥,液体密闭储存或用于农场^[4]。欧洲国家的沼气工程发展早、规模大,已经形成较为完善的产业化体系,其沼气生产装备与配套设备先进,可以将一定区域内的农场畜禽粪便、农作物秸秆集中处理,自动化程度很高,同时具有完善的质量安全体系^[5]。

国外秸秆资源利用时间较长,呈多元化发展形态。肥料化利用方式以残茬覆盖耕作法和秸秆翻压还田技术为主^[6]。饲料化利用方式经过几十年的发展,现在已经形成了包括提高秸秆饲料营养成分、提高动物采食量、提高饲料转化率在内的成套技术体系,并实现全程电脑控制,保证连续、稳定生产^[7]。而秸秆材料化产品在20世纪80年代已经应用于汽车内饰、地膜、餐饮包装等方面,目前德国、美国、丹麦、日本等国家已经形成了包含农作物秸秆纤维化处理、纸浆模塑品生产、后置处理、包装材料渗透性测试等关键技术的机电一体化技术体系,近年美国、加拿大等国研发了秸秆乙醇,并已逐渐实现产业化^[8]。

国外处理城市垃圾主要采用回收、堆肥、焚烧和填埋等方式。20世纪30年代美国率先使用卫生填埋法处理城市垃圾,而欧洲许多国家,如德国、荷兰、瑞典等,由于土地稀缺,主要以焚烧方式来处理垃圾。亚洲的新加坡实行垃圾全量焚烧、灰渣填埋方式,日本约74%的垃圾被用来焚烧发电^[9]。在餐厨垃圾处理上,德国自20世纪60年代就开始使用厌氧技术处理餐厨垃圾,英国建设了全球首个全封闭式餐厨垃圾发电厂,日均处理12万t餐厨垃圾,并可满足数万家庭日常用电^[10]。日本餐厨垃圾主要用于制饲料,少部分用于制堆肥,在京都餐厨垃圾也被用于制沼气,并用沼气制氢气;韩国餐厨垃圾的主要处理方式是制作动物饲料和堆肥,这部分占到总回收量的80%以

上^[11]。国外城市污泥处置主要有回收利用、焚烧、填埋、排海等方式。美国和加拿大等国家用厌氧消化技术,将污泥与其他垃圾共同消化,建设热电联产系统;欧盟国家50%以上的污泥进行了厌氧消化,其余约40%进行填埋和焚烧;日本城市污泥的主要处理方式焚烧,少部分用于施肥,日本还设立专门的机构来指导污泥的合理施用^[12]。

1.2 我国城乡有机废弃物利用现状

我国是世界上最大的有机废弃物生产国。据统计,我国2015年城乡有机废弃物年产生量超过60亿t,其中畜禽粪便产生量约38亿t,秸秆产生量超过10亿t,这是最主要的两大有机废弃物来源^[6,13-15]。我国2016年城市生活垃圾产生量约2亿t(其中餐厨垃圾约9000万t)、城市污泥产生量约3500万t^[16-18]。此外还有较大数量的沼渣、工业废弃物、肉食品加工废弃物、病死畜禽等。据测算这些有机废弃物所含的氮磷钾养分总量达到7000万t以上,高于每年国产化肥养分总量的1/4,蛋白质等养分相当于1000万t饲料,占饲料产量的1/10,全产业链潜在产值可达1500亿元以上^[14,19]。面对潜力巨大的废弃物资源,我国整体利用率偏低:城镇生活垃圾绝大部分处于“混合倾倒、混合清运、混合掩埋”状态,且传统的填埋、焚烧等处理方式约占95%^[16];畜禽粪污综合利用率仅为60%^[13];秸秆资源量多、面广,综合利用情况因秸秆种类和种植地区而不同,最高利用率约80%^[15]。城乡有机废弃物资源化利用空间大,但已有的资源化利用技术存在减量化利用不彻底、资源化利用不完全的问题。

1.2.1 我国畜禽粪便利用现状

我国畜禽粪便利用方式主要为肥料化与能源化,其中肥料化利用是基础,能源化利用是补充。随着农业产业的不断发展,农村涌现了大量规模化的畜禽养殖场,环保压力与日俱增^[20],而国家《畜禽规模养殖污染防治条例》的出台,使畜禽养殖废弃物综合利用有法可依,破除了该产业健康发展的瓶颈。目前我国正以农用有机肥和农村能源为主要利用方向,以沼气和生物天然气为主要处理方向,全面推进养殖业废弃物资源化利用。

在肥料化利用中,堆肥是无害化处理畜禽粪便的重要途径。其中好氧堆肥成本低、应用广,但是堆放造成氮素损失比较严重,据报道,养殖场临时堆肥氮素氨挥发损失率高达29%、径流损失0.8%~4%,约22%的氮素进入水体,而且温度越高损失率越大。研

究表明,粪便管理模式是控制氮损失的主要途径,干清粪和粪污干湿分离对减少氮素损失效果很好^[21],同时可以通过调节物料C/N值、含水率和颗粒大小,以及控制环境参数(如pH、温度、通气量)、改善堆肥方式(如覆盖)等措施降低NH₃挥发损失。还可以将微生物发酵菌剂加入畜禽粪污中,加快发酵速度,减少臭气散发,然后添加一定量的无机肥料制成有机无机复混肥。

厌氧发酵即沼气化,可以同时实现肥料化利用和能源化利用。我国沼气产业始于20世纪60年代,经历了急速发展、回落低潮及稳步发展几个阶段,形成了南方“猪-沼-粮(果、鱼)”,北方“四位一体”等多元化生态农业模式。沼气研究也较为全面,如秦文弟等^[22]研究了不同的畜禽粪便产沼气的性能,得到猪粪发酵单位产沼气率为330 mL·g⁻¹ TS(总固体),牛粪为190 mL·g⁻¹ TS,赵玲等^[7]研究了玉米秸秆与不同种类粪便混合发酵性能,发现玉米秸秆和鸡粪配比为1:2时产气效果较佳,产气率为300 mL·g⁻¹ TS。粪便发酵后产生的沼渣和沼液可以作为有机肥的原料,但是沼液中全氮和铵态氮的总质量会随着贮存时间的增加而大幅度减少,而厌氧发酵与高温堆肥相比可以减少粪便中氮损失约36%,干法发酵比湿法发酵减少10%~33%的氮损失,同时大幅削减沼液的产生量,降低沼液还田及后处理过程中氮损失的风险^[21]。值得关注的是,厌氧发酵沼液产量大、含水量高,其消纳问题是业内瓶颈。目前的沼液处理方式主要有达标排放和资源化利用两种,达标排放是用生化方式进行处理,成本较高且忽略了沼液中营养物质的利用。资源化利用以沼液还田为主,其他利用方式还有沼液浸种、沼液生物农药、沼液添加饲料、无土栽培母液等,降低沼液浓缩成本或探索高效的沼液消纳模式仍有重要意义^[23]。

1.2.2 我国农作物秸秆利用现状

秸秆还田是秸秆肥料化利用的最直接方式,可以有效促进土壤微团聚体的形成和增加土壤有机质含量,并可以进一步改善土壤有机质的组成。我国从20世纪80年代就开始研究秸秆还田技术,目前已经应用推广了直接还田、覆盖免耕、翻压还田、堆沤还田、生物降解还田等多种技术。直接还田模式操作简便,其中5 cm深度还田的水稻秸秆腐解速度最快,秸秆表层还田的腐解速度最慢^[24]。研究表明,南方早稻草翻压还田模式与施氯化钾112.5 kg·hm⁻²肥效相当,撒草覆盖免耕较无草翻耕可增产14.81%,稻草覆

盖免耕处理土壤中的细菌、真菌、放线菌数量均有提高^[25]。生物降解还田是通过微生物产生可降解纤维素、半纤维素、木质素的酶来降解秸秆。生物降解技术又催生了生化腐熟还田,这是将微生物降解、化学处理秸秆和现代化设备调控温湿度结合的方式。徐勇等^[26]发现,化学处理能促进微生物腐熟秸秆,并保持微生物的持续生长。这种清洁高效的还田模式具有较高的研究价值和应用价值,但是技术还不够成熟,优良的微生物复合菌种筛选较困难。由此看来,秸秆的腐化还田技术仍是需要长期研究的课题,还需进一步寻找可操作性强、利用效率高的还田方式。

秸秆饲料化主要应用于饲喂牲畜和养殖蚯蚓。饲喂牲畜成本较低、操作方便,利用物理方法粉碎或化学方法进行碱化和干湿处理秸秆可以提高消化利用率。秸秆混合畜禽粪便养殖蚯蚓具有较高的经济价值,顾永芬等^[27]在牛粪中混入比率为15%的农作物秸秆用于养殖蚯蚓,蚯蚓初始投放量0.3 kg·m⁻²,经过60 d饲养,产出量可达2.96 kg·m⁻²。

秸秆能源化利用前景较好,主要方式有秸秆沼气化、秸秆发电、生产纤维素乙醇、秸秆气化、生产秸秆颗粒燃料及秸秆炭基化等。秸秆生产沼气是我国农村应用比较普遍的方式,目前我国沼气用户已达4300万户,受益人口超过1.5亿人^[28];秸秆发电包括秸秆直接燃烧发电、气化发电、沼气发电等,该技术相对燃煤发电减少了很多污染物(如硫)的排放,以燃烧发电计算,2亿t秸秆可替代1亿t煤炭,相当于产煤大省河南省一年的产煤量,但这种方式的弊端是发电成本较高,因而阻碍了其进一步发展^[29-30];利用玉米秸秆生产纤维素乙醇产生的热效率可达30%,但技术起点较高^[31];秸秆气化是以秸秆为原料经过热解和还原反应后生成可燃性气体,可替代煤作为燃料,我国计划到2020年将秸秆气化作为农村主要生活能源;秸秆颗粒燃料是秸秆高温压制成型的一种燃料,燃烧利用率高、便于储存,可替代燃煤;秸秆炭基化是秸秆在缺氧条件下热解成为生物质炭,主要用于生态与环境领域,可以固碳减排、修复土壤^[32],这是一种有效的“碳汇”技术,可缓解农林废弃物污染与温室气体排放问题^[33],生产的炭基肥料还可以改良土壤结构,增加作物产量^[34]。

向农作物秸秆中添加辅料制成的食用菌基料具有良好的经济效益和生态效益。我国20世纪80、90年代就有研究者通过试验将秸秆用于栽培食用菌,又将菌渣作为畜禽及鱼类的饲料添加剂进行二次利

用^[35]。目前在利用秸秆栽培食用菌上探索了多项技术,如二次发酵、无公害栽培、反季节栽培等^[36]。材料化利用中,秸秆纤维制备纳米纤维素技术的研究近期成为热点,纳米纤维在缓冲材料中主要通过含有的大量羟基增强纤维的胶黏效果,同时因具有小分子的结构特点,其较阳离子淀粉具有更好的分散性和黏结作用,因此具有广泛的应用前景^[37]。

1.2.3 城市其他有机废弃物利用现状

城市有机废弃物包括生活垃圾中的有机垃圾、城市污泥和餐厨垃圾。生活垃圾中,纸类、木制品、橡塑等有一定价值的有机垃圾,大部分由拾荒者和环卫工人进行分拣后再由企业回收利用,小部分使用焚烧和填埋的方式无害化处理。

我国城市污泥处理起步较晚,目前有效利用的污泥约占54%(主要为土地利用),剩余污泥被填埋或未进行任何处理^[38]。重金属含量较高是限制污泥土地利用的主要瓶颈,而污泥堆肥无害化、减量化效果稳定。严兴等^[39]发现,添加菌种和辅料(主要为蘑菇渣和园林废弃物)能够促进污泥堆肥中毒素降解,增强种子胚根的快速生长;孟国欣等^[40]发现,添加粉煤灰和生石灰堆肥有利于污泥重金属从不稳定状态转变为稳定状态。干化芦苇床技术处理污泥具有很好的前景,在干化床基质中种植根系发达的芦苇,再将污泥间歇性排入,通过植物、微生物和自然条件的综合作用,使污泥矿化稳定,转为可利用的基质^[41]。此外还有污泥代替部分制砖材料和煤炭材料、污泥制作陶粒等材料化利用方式。

餐厨垃圾养分含量高且数量较大,有肥料化、饲料化、能源化等利用方向^[42]。肥料化主要包括好氧堆肥和厌氧消化,其处理技术与畜禽粪便的肥料化利用类似。饲料化基本要求是实现杀毒灭菌,达到饲料卫生标准,并最大限度保留营养成分。但是蛋白饲料添加剂重新进入食物链风险难以预测,目前国家有关部委正在进行餐厨垃圾饲料化利用的风险研究^[43]。能源化主要包括餐厨垃圾制取生物燃油和厌氧发酵生产沼气,目前已经达到商业运作的技术要求^[44]。近年出现一种基于生物转化原理的餐厨垃圾资源化利用新方法,即使用蚯蚓、蝇类和虻类等动物和昆虫来处理餐厨垃圾,该方法能延长餐厨垃圾资源化利用产业链,实现底物减量化,产出的蚯蚓、蝇蛆等可作为高蛋白饲料,具有良好的环境效益和经济效益。有研究发现,在 $13.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 蝇蛆幼虫接种量下,餐厨垃圾在6 d内减少55%,蝇蛆生物转化餐厨垃圾产率达26.4%^[45]。

将餐厨垃圾的多种处理方式有机结合,可以通过产业化运作取得良好的经济、生态和社会效益。以湖南某餐厨垃圾处理公司为例,日均处理餐厨垃圾约620 t、地沟油约30 t。收集的餐厨垃圾经过组合分拣、除杂破碎、蒸煮反应、固液分离、机械压榨等流程,实现废油、废水、废渣分离。废油经过加工制成工业级混合油和生物柴油;废水通过厌氧发酵处理产生的沼渣和沼液可作为有机肥原料,处理过程中产生的沼气则用于发电、提纯天然气,废渣可养殖蝇蛆;废渣经过投料、养殖、过筛、烘干、翻炒等程序,每4~6 d就可以得到一批富含抗菌肽的高蛋白蝇蛆饲料,按照干样计算,每吨饲料市价在2万元左右。小型规模的养殖场每天可处理垃圾废渣约15 t,养殖蝇蛆2 t左右(鲜品),养殖后的废渣体积减少50%,重量减少35%,养殖后的底料(含一部分蝇蛆蛹)可直接作为禽类养殖饲料,余料再做成有机肥,或者直接将底料做成有机肥。该模式是目前操作性比较强、资源化利用比较全面和效果比较好的餐厨垃圾资源化完整利用模式(图1)。

2 我国城乡有机废弃物利用中存在的问题

2.1 立法起步较晚,顶层设计欠缺

我国推进废弃物资源化利用起步较晚,21世纪初提出“走循环经济之路,实现可持续发展”的思路,之后的10年间相继出台了《可再生能源法》《城市生活垃圾管理办法》和《循环经济促进法》,但缺少针对性、可操作性强的实施细则和赏罚制度^[46],缺乏废弃物资源化利用管理的法制环境和制度保障。同时,由于缺乏顶层设计,废弃物处理长期在末端治理阶段停滞不前,没有形成源头控制和全过程综合治理的体系,造成上下脱节。如种养殖脱节造成畜禽粪便土地承载力过大,环境负担过重,又如上游养殖饲料把控不严,造成下游畜禽粪便中重金属和抗生素超标,阻碍了畜禽粪便的资源化发展。近年来,多省出台农作物秸秆禁烧管理规定和农业环境保护条例,说明政府已经重视并着手处理农业废弃物资源化利用问题。

2.2 处理成本偏高,政策支持不够

我国城乡有机废弃物包含很多种类,受小农经济和城市化的影响,各种资源分布较为分散,运输回收和处理的成本都比较高。政府虽然已出台了废弃物资源化利用有关的政策法规,但缺乏实质性、可操作性的政策支持,例如鼓励相关企业进行废弃物利用的优惠政策太少或支持力度不够,财政资金支持 and 吸

害化、减量化、资源化为原则,以节能环保、降低消耗为目标,通过对各项目之间水、电、气、热等资源进行整合重组,实现能量梯级利用和各项资源的循环利用^[3]。此外,可以通过政策制定和实施,提高行业补贴标准,吸引社会资本积极配套,提高社会化服务积极性。可探索新的投资方式,如PPP模式(Public-Private Partnership,政府和社会资本合作),激发企业活力和企业责任,建立多元化投入机制,创建市场化的废弃物资源化利用体系,做大资源循环利用产业。

4 结语

建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计,关系人民福祉,关乎民族未来,事关“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的实现。为了推进生态文明建设,国家出台了有关的政策,社会对废弃物资源化利用的认识也逐渐提高。国家要强化立法,提供政策支持,促进多产业协同发展,以循环经济产业园区为载体发展区域内能量梯级利用、多种资源循环使用的城乡有机废弃物资源化利用产业体系,助推我国生态文明建设。

参考文献:

[1] Wu R, Liu S J, Du Y. Research advances in agricultural reutilization of urban-rural organic wastes[J]. *Agriculture Science & Technology*, 2016, 17(2): 424-427.

[2] 王长波, 平英华, 刘先才. 我国秸秆资源“五化”利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(7): 22-26, 29.
WANG Chang-bo, PING Ying-hua, LIU Xian-cai. Research progress of the five ways of straw utilization in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(7):22-26, 29.

[3] 张文伟, 田宇, 胡昕. 武汉市陈家冲循环经济产业园规划建设思考[J]. 再生资源与循环经济, 2015, 8(7):7-9.
ZHANG Wen-wei, TIAN Yu, HU Xin. Discussion on the planning and construction of Chenjiachong circular economy industrial park in Wuhan City[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2015, 8(7): 7-9.

[4] 全国畜牧兽医总站. 国外养殖粪污处理经验[J]. 农村新技术, 2017(9): 25-26.
National Animal Husbandry and Veterinary General Station. Foreign experience in livestock excrement treatment[J]. *New Rural Technology*, 2017(9): 25-26.

[5] 孟晓静, 翟桂玉, 尹旭升, 等. 德国畜禽粪便的资源化利用[J]. 当代畜牧, 2012(5): 61-62.
MENG Xiao-jing, ZHAI Gui-yu, YIN Xu-sheng, et al. Livestock excrement resource utilization in Germany[J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2012(5): 61-62.

[6] 宋志伟, 王晶, 朱旭丽, 等. 秸秆资源综合利用现状及展望[J]. 安

徽农业科学, 2017, 45(7): 64-66, 162.
SONG Zhi-wei, WANG Jing, ZHU Xu-li, et al. Present research status and prospects of the comprehensive utilization of straw resources[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(7): 64-66, 162.

[7] 赵玲, 王聪, 田萌萌, 等. 秸秆与畜禽粪便混合厌氧发酵产沼气特性研究[J]. 中国沼气, 2015, 33(5): 32-37.
ZHAO Ling, WANG Cong, TIAN Meng-meng, et al. Characteristics of anaerobic fermentation of mixed livestock manure and straw[J]. *China Biogas*, 2015, 33(5): 32-37.

[8] 吕超峰, 韦伊强, 赵瑞晓, 等. 农业废弃物秸秆综合利用技术的研究[J]. 河南科技, 2014(3):187-189.
LÜ Chao-feng, WEI Yi-qiang, ZHAO Rui-xiao, et al. Research on comprehensive utilization technology of agricultural waste straw[J]. *Journal of Henan Science and Technology*, 2014(3):187-189.

[9] 付振华, 祝晓峰, 彭小东. 广州市城市生活垃圾处理现状及资源化利用[J]. 广东化工, 2018, 45(9): 177-179.
FU Zhen-hua, ZHU Xiao-feng, PENG Xiao-dong. Current situation of municipal solid waste disposal and utilization of resources in Guangzhou[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2018, 45(9): 177-179.

[10] 程亚莉, 毕桂灿, 沃德芳, 等. 国内外餐厨垃圾处理现状及其处理措施[J]. 新能源进展, 2017, 5(4): 266-271.
CHENG Ya-li, BI Gui-can, WO De-fang, et al. Status quo of kitchen waste and its treatment measures at home and abroad[J]. *Advances in New and Renewable Energy*, 2017, 5(4): 266-271.

[11] 许晓杰, 冯向鹏, 李冀闽, 等. 国内外餐厨垃圾处理现状及技术[J]. 环境卫生工程, 2014, 22(3): 31-33.
XU Xiao-jie, FENG Xiang-peng, LI Ji-min, et al. Situation and technologies of food waste treatment at domestic and abroad[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2014, 22(3): 31-33.

[12] 王大春, 郑敏. 城市污泥处理及资源化利用现状与建议[J]. 节能, 2015(6):4-5.
WANG Da-chun, ZHENG Min. Current status and suggestions of urban sludge treatment and recycling[J]. *Energy Conservation*, 2015(6): 4-5.

[13] 陶秀萍, 董红敏. 畜禽废弃物无害化处理与资源化利用技术研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(1):37-42.
TAO Xiu-ping, DONG Hong-min. Research progress on animal waste treatment and recycling technology[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2017, 19(1):37-42.

[14] 赵秉强, 杨相东, 李燕婷, 等. 我国新型肥料发展若干问题的探讨[J]. 磷肥与复肥, 2012, 27(3):1-4.
ZHAO Bing-qiang, YANG Xiang-dong, LI Yan-ting, et al. Discussion on development of new fertilizer in China[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*. 2012, 27(3):1-4.

[15] 农业部. 我国主要农作物秸秆综合利用率超过80%[EB/OL]. (2016-05-26). http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/zwdt/201605/t20160526_5151375.htm.
Ministry of Agriculture. The comprehensive utilization rate of main crops straw is over 80% in China[EB/OL]. (2016-05-26). http://jiuban.moa.gov.cn/zwl/m/zwdt/201605/t20160526_5151375.htm.

[16] 国家统计局. 中国统计年鉴2017[M]. 北京: 中国统计出版社,

- 2017: 241-242.
National Bureau of Statistics. Statistical yearbook of China 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017: 241-242.
- [17] 郭倩倩, 郭晴晴, 郑玉国, 等. 餐厨垃圾研究现状及分析[J]. 食品安全导刊, 2017(6): 53-55.
GUO Qian-qian, GUO Qing-qing, ZHENG Yu-guo, et al. Research status and analysis of food waste[J]. *China Food Safety Magazine*, 2017(6): 53-55.
- [18] 黄野, 董兴. 城市污泥的处理及资源化利用探讨[J]. 新农村, 2016, 21:43-46.
HUANG Ye, DONG Xing. Discuss on treatment and recycling of urban sludge[J]. *New Countryside*, 2016, 21:43-46.
- [19] 吴俊生. 大势“零增长”堆肥迎机遇[EB/OL]. (2015-11-20). <http://www.fert.cn/news/2015/11/20/201511201055141485.shtml>.
WU Jun-sheng. With zero growth in fertilizer, the compost industry is facing opportunities[EB/OL]. (2015-11-20). <http://www.fert.cn/news/2015/11/20/201511201055141485.shtml>.
- [20] 牛海涛. 关于农村畜禽养殖业污染现状及防治对策的研究分析[J]. 环境与发展, 2017, 29(5):73, 75.
NIU Hai-tao. Investigation and analysis on the present situation of the pollution of rural livestock and poultry industry and the countermeasures[J]. *Environment and Development*, 2017, 29(5):73, 75.
- [21] 常志州, 靳红梅, 黄红英, 等. 畜禽养殖场粪便清扫、堆积及处理单元氮损失率研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(5):1068-1077.
CHANG Zhi-zhou, JIN Hong-mei, HUANG Hong-ying, et al. Study of nitrogen loss rate in cleaning, stacking and treatment of livestock excrement in the farm[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(5):1068-1077.
- [22] 秦文弟, 黄凌志, 蒋湖波, 等. 不同牲畜粪便厌氧发酵产沼气性能研究[J]. 中国沼气, 2016, 34(4): 37-40.
QIN Wen-di, HUANG Ling-zhi, JIANG Hu-bo, et al. Biogas production performance of different livestock dung[J]. *China Biogas*, 2016, 34(4): 37-40.
- [23] 冯灵芝. 沼液资源化利用及存在问题[J]. 农技服务, 2017,34(18): 123-126.
FENG Ling-zhi. Resource utilization and problems of biogas slurry[J]. *Agricultural Technology Service*, 2017,34(18): 123-126.
- [24] 胡宏祥, 马中文, 邵致远. 还田秸秆腐解特征研究[J]. 湖南农业科学, 2012, 5(3): 44-46.
HU Hong-xiang, MA Zhong-wen, SHAO Zhi-yuan. Decomposition characteristics of returned straw[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2012, 5(3): 44-46.
- [25] 黄凤球, 孙玉桃, 叶桃林, 等. 湖南双季稻主产区稻草还田现状、作用机理及利用模式[J]. 作物研究, 2005(4): 204-207, 210.
HUANG Feng-qiu, SUN Yu-tao, YE Tao-lin, et al. Returning straw to fertilize the paddy field in Hunan leading double-season rice region: Actuality, principle and utilizing pattern[J]. *Crop Research*, 2005(4): 204-207, 210.
- [26] 徐勇, 沈其荣, 钟增涛, 等. 化学处理和微生物混合培养对水稻秸秆腐解和组分变化的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(1): 59-65.
XU Yong, SHEN Qi-rong, ZHONG Zeng-tao, et al. Effect of chemical treatment and microbial incubation on the decomposition and component changes of rice (*Oryza sativa* L.) straw[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(1): 59-65.
- [27] 顾永芬, 顾永江, 陶宇航. 适宜于蚯蚓养殖的秸秆研究[J]. 中国畜牧种业, 2012(6): 29-30.
GU Yong-fen, GU Yong-jiang, TAO Yu-hang. Research of straw which is suitable for breeding earthworm[J]. *The Chinese Livestock Breeding*, 2012(6): 29-30.
- [28] 朱志伟, 王晶, 朱旭丽, 等. 秸秆资源综合利用现状及展望[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(7): 64-66, 162.
ZHU Zhi-wei, WANG Jing, ZHU Xu-li, et al. Present research status and prospects of the comprehensive utilization of straw resources [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(7): 64-66, 162.
- [29] 修玉峰, 陈英毅. 农作物秸秆的综合利用与农村循环经济[J]. 农机化研究, 2006(10): 31-33.
XIU Yu-feng, CHEN Ying-yi. The comprehensive utilization of crops straw stalk and the rural circulation economy[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2006(10): 31-33.
- [30] 陈光, 吴卓夫, 张兆业. 秸秆综合利用研究动态及展望[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(5): 505-510.
CHEN Guang, WU Zhuo-fu, ZHANG Zhao-ye. Research trend and prospect of comprehensive utilization of straw[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2016, 38(5): 505-510.
- [31] 刘吉新. 玉米秸秆发酵法生产燃料酒精的研究进展[J]. 化工设计通讯, 2016, 42(6): 117, 129.
LIU Ji-xin. Research progress on the production of fuel alcohol by corn straw fermentation under the green concept[J]. *Chemical Engineering Design Communications*, 2016, 42(6): 117, 129.
- [32] 赵震杰, 方迪, 董颖, 等. 秸秆生物质炭对淹水砖红壤中 Cu²⁺钝化效果的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(7): 636-642.
ZHAO Zhen-jie, FANG Di, DONG Ying, et al. Effects of crop-straw biochars on immobilization of Cu²⁺ in an oxisol under submerged condition[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(7): 636-642.
- [33] 李应超, 赵林青, 李辰淼, 等. 我国秸秆资源利用现状及其炭化利用展望[J]. 农业科技通讯, 2018(5):12-14, 44.
LI Ying-chao, ZHAO Lin-qing, LI Chen-miao, et al. Present research status and carbonization utilization prospects of the resource utilization of straw resources[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2018(5):12-14, 44.
- [34] 刘亚柏. 水稻秸秆炭不同用量对黄瓜育秧的成苗及产量特征的影响[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2018, 21(2): 103-107.
LIU Ya-bo. Effects of different dosage of rice straw charcoal on seedling and yield characteristics of seedling raising of cucumber[J]. *Journal of Xi'an University of Arts and Science (Natural Science Edition)*, 2018, 21(2): 103-107.
- [35] 李学明, 莫天砚. 通过栽培平菇提高稻草饲料价值试验[J]. 广西农业大学学报, 1992, 11(4): 82-84.
LI Xue-ming, MO Tian-yan. Experiment on increasing the feed value of straw by cultivating mushroom[J]. *Journal of Guangxi Agricultural*

- University, 1992, 11(4): 82-84.
- [36] 李毓茜, 王梦雨. 秸秆栽培食用菌的资源化利用研究进展[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(8): 88-89, 198.
LI Yu-xi, WANG Meng-yu. Research progress of the resource utilization of straw cultivation of edible fungi[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(8): 88-89, 198.
- [37] 薛栋杰, 李泽龙, 黄崇杏. 纳米纤维素在植物纤维缓冲包装材料中的应用研究[J]. 轻工科技, 2014(5):33-35.
XUE Dong-jie, LI Ze-long, HUANG Chong-xing. Research of nanocellulose in plant fiber buffer packaging materials[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2014(5):33-35.
- [38] 杨柯敏, 张春燕, 张 燕, 等. 城市污泥处理处置方式及现状分析[J]. 中国资源综合利用, 2012, 30(12):28-31.
YANG Ke-min, ZHANG Chun-yan, ZHANG Yan, et al. The way of municipal sludge treatment and disposal and its status analysis of domestic and foreign sludge treatment and disposal[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2012, 30(12): 28-31.
- [39] 严 兴, 侯毛宇, 李碧清, 等. 微生物发酵菌和生物质炭及蘑菇渣对污泥堆肥效果的影响[J]. 环境科学研究, 2018, 31(1):136-142.
YAN Xing, HOU Mao-yu, LI Bi-qing, et al. Effects of microbial inoculant, biomass charcoal and mushroom residue on sludge composting[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2018, 31(1): 136-142.
- [40] 孟国欣, 查同刚, 巩 潇, 等. 复合添加剂对污泥堆肥重金属形态及生物有效性的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(1): 182-190.
MENG Guo-xin, ZHA Tong-gang, GONG Xiao, et al. Effects of compound additives on forms and bioavailability of heavy metals in sludge composting[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, 27(1): 182-190.
- [41] 李 娟, 肖恩荣, 吴振斌. 剩余污泥资源化利用新工艺研究进展[J]. 水生生物学报, 2017, 41(5): 1150-1156.
LI Juan, XIAO En-rong, WU Zhen-bin. The review of new technology on disposal of excess sludge[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2017, 41(5): 1150-1156.
- [42] 吴 龙, 张 湛, 郝以党, 等. 生活垃圾资源化利用价值分析及处理工艺探讨[J]. 环境卫生工程, 2018, 26(1): 19-22.
WU Long, ZHANG Chen, HAO Yi-dang, et al. Value analysis and treatment process discussion on resource utilization of domestic waste[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2018, 26(1): 19-22.
- [43] 曾 宇. 城市餐厨垃圾处理现状概述[J]. 科技经济导刊, 2017, 14: 9-10, 6.
ZENG Yu. Overview of kitchen waste treatment[J]. *Technology and Economic Guide*, 2017, 14: 9-10, 6.
- [44] 杨秀生. 美国如何让地沟油变废为宝[J]. 国际人才交流, 2012(1): 50-51.
YANG Xiu-sheng. How can America turn gutter oil into treasures[J]. *International Talent*, 2012(1): 50-51.
- [45] 江承亮, 腾昌运, 李 敬, 等. 蝇蛆生物转化餐厨垃圾的效能评估[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(6): 1159-1165.
JIANG Cheng-liang, TENG Chang-yun, LI Jing, et al. The effectiveness of bioconversion of food waste by housefly larvae[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2017, 23(6): 1159-1165.
- [46] 崔铁宁, 卢红雁, 颜 炯. 有机垃圾资源化和生物质能产业一体化发展政策建议[J]. 生态经济, 2011(3): 130-133, 156.
CUI Tie-ning, LU Hong-yan, YAN Jiong. Suggestion on the policy of integration of development of organic waste and bio-energy[J]. *Ecological Economy*, 2011(3): 130-133, 156.
- [47] 韦佳培. 国外资源型农业废弃物转化利用的经验与启示[J]. 农村经济与科技, 2014, 25(6):14-15.
WEI Jia-pei. Experience and enlightenment of transformation and utilization of foreign resource agricultural wastes[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2014, 25(6):14-15.
- [48] 孙永明, 李国学, 张夫道, 等. 中国农业废弃物资源化现状与发展战略[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8):169-173.
SUN Yong-ming, LI Guo-xue, ZHANG Fu-dao, et al. Present situation and developmental strategy of agricultural residues resources in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(8): 169-173.
- [49] 陈利洪, 闫 云, 李 莹. 我国废弃物沼气生产现状、模式、主要问题分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(30): 67-70.
CHEN Li-hong, YAN Yun, LI Ying. Analysis on present status, models and main problems of biogas production of agricultural wastes in China[J]. *Journal of Anhui Agricultural sciences*, 2017, 45(30): 67-70.