

一种家用小型太阳能堆肥箱的设计

Design of a domestic small solar composting box

余培斌^{1,2,3} 陈建新² 李彦武³

YU Pei-bin^{1,2,3} CHEN Jian-xin² LI Yan-wu³

(1. 江南大学工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江苏 无锡 214122; 3. 江南大学生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

(1. *The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*; 2. *National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*; 3. *School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China*)

摘要:针对目前市场上常见的厨余垃圾堆肥箱不易保温、堆肥时间长、沥水效果差、臭味重等问题,设计一种家用小型堆肥箱,该装置包括太阳能集热板、太阳能电池板、通风管路、投料口、沥水筛网、尾气处理等多个模块。通过对堆肥箱空间结构进行设计和优化,使其更好地满足高温好氧堆肥工艺的需求,同时由于引入了太阳能为整个系统的保温和通风供能,大大降低了能耗。该装置与自然堆肥相比缩短了堆肥时间,且整个系统移动搬运方便,不受放置地点限制,十分适合庭院内使用。

关键词:太阳能;厨余垃圾;堆肥箱;高温好氧堆肥

Abstract: In view of the current market common kitchen waste composting box is not easy to keep warm, the composting time is long, the effect of drainage is poor, the odor is heavy and so on. A small household composting box is designed and its spatial structure is designed and optimized. The device includes several modules, such as solar collector, solar panel, ventilator, feeding port, leachate screen, tail gas treatment and so on. It can better meet the requirements of high temperature aerobic composting process. It uses solar energy for the whole system of heat preservation, ventilation and energy supply, reducing energy consumption. Compared with natural composting, composting time is shortened. The whole system is easy to move and is not restricted by the place of placement. It is very suitable for use in the courtyard.

Keywords: solar energy; kitchen waste; composting box; high temperature aerobic compost

基金项目:江南大学 2017 年校级本科教育改革研究项目(编号: JG2017132)

作者简介:余培斌(1987—),男,江南大学实验师,硕士。
E-mail: yupeibin@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2018-05-28

厨余垃圾是指在日常的食品加工、食用过程中产生的一种有机垃圾。由于其含有大量的水分和丰富的有机质,若自然存放,很容易腐败变质、污染环境。而通过技术手段将其转化为有机肥料、饲料、燃料等,对于环境保护和经济的可持续发展具有重要的意义^[1]。不同国家对厨余垃圾处理的政策导向及技术方法虽各有不同,但总体上都是支持厨余垃圾朝着减量化、资源化、无害化方向发展^[2]。目前国内外厨余垃圾的处理方式主要有焚烧、填埋、粉碎直排、堆肥、制作饲料、厌氧产气发电等。相比以上处理方式而言,运用高温好氧堆肥的处理工艺,将厨余垃圾转化为能被植物所吸收利用的有机肥料,让居民施放于自家庭院的植物地里,十分适用于家庭厨余垃圾的处理^[3]。该处理方式发达国家起步较早,技术相对先进。在美国,早在 20 世纪 40 年代就已经成功研制出了家用型食物垃圾处理机,现如今这种机器在美国的普及率已经达到 90%^[4]。在欧洲,一些发达国家早在 90 年代就采用特殊颜色的收集装置对厨余垃圾进行分类收集,从而将厨余垃圾在源头与其它垃圾分离,这就为堆肥处理提供了有利条件^[5]。根据堆肥反应器系统的不同通风方式、有无搅拌装置和外形等特点,将其分为被动通风反应器系统、强制通风无搅拌反应器系统、强制通风有搅拌反应器系统和滚筒反应器系统。Rosimara 等^[6]研究了使用兼性堆肥箱处理走私烟草、厨余垃圾与木屑混合堆肥过程,认为兼性堆肥箱是处理走私烟草和厨余垃圾的有效方法。郭祥珍等^[7]设计了一款强制通风有搅拌的堆肥箱,堆肥箱由气缸、搅拌器、动力和驱动装置组成。反应器的搅拌轴是中空的,搅拌叶片下有 24 个孔,搅拌器的设计兼顾搅拌和通风功能,应用于餐厨垃圾堆肥取得了较好的效果。Briški 等^[8]利用高温密闭柱式堆肥箱处理水果蔬菜等厨余垃圾。14 d 后 80.9% 的原始底物已被生物降解。Tronina 等^[9]设计了一款滚筒式餐厨垃圾堆肥箱,以肉类、乳制品、牛粪为原料获得了满足植物生长的有

机肥产品。

中国的厨余垃圾处理才刚刚起步,目前的处理方法主要有填埋处理(82.4%)、焚烧处理(12.9%)和堆肥处理(4.7%)^[10]。虽然目前中国市场引进了较多的国外家用厨余垃圾堆肥箱,但在实际使用过程中仍然存在保温性能差、物料难以混匀、臭味明显、排液效果差等诸多问题。针对这一系列问题,本研究设计了一种家用小型太阳能堆肥箱,并对其空间结构进行了优化。该装置包括太阳能集热板、太阳能电池板、智能控制系统、通风管、沥水筛网、投料口等多个模块,箱体主体材料为聚乙烯塑料,箱体有效容积为200 L。该新型堆肥箱非常适用于高温好氧堆肥,为以后全自动堆肥设备的研制提供了新思路。

1 总体设计方案

1.1 厨余垃圾堆肥工艺

堆肥是利用自然界存在的细菌、真菌、放线菌等微生物分解有机质而制成有机肥料的过程。随着多年来堆肥技术的不断进步,厨余垃圾用于堆肥的研究不断增多,其中厨余垃圾高温好氧堆肥处理技术以其减量快、运行费用低、操作简单等特点,在国内外得到广泛青睐^[11]。其主要工艺包括前处理、主发酵、后发酵和后处理等,见图1。堆肥设备主要在主发酵和后发酵阶段发挥重要作用。堆肥过程中,主发酵和后发酵是在同一个舱室中完成的,区别只是发酵程度进行的不同层面而已,当肥堆在其表面进行主发酵的同时,其深层后发酵也在持续。

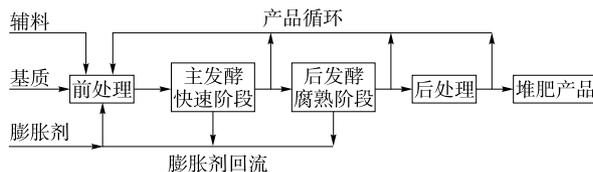


图1 堆肥工艺流程

Figure 1 Composting process flow chart

厨余垃圾堆肥的前处理阶段主要包括分选、破碎、配料和混合等,主要目的是为肥堆中微生物的生长提供合适的环境。由于中国厨余垃圾中油、盐、水等含量普遍过高,因此在堆肥前,需要进行预处理。添加辅料等不但可以有效改变含水率和比重,而且还具有调节C/N比,改善肥堆通风等优点。

主发酵是指发酵初期,微生物分解易降解有机物,产生二氧化碳和水的过程,这一阶段大量产热,肥堆温度急剧上升。该阶段嗜温微生物异常活跃,发挥重要作用,随着温度的持续上升,嗜温微生物逐渐被嗜热微生物取代,同时各种虫卵及病原菌也在该阶段被杀死。主发酵一般进行4~12 d。

后发酵是指将经过主发酵的半成品继续腐熟,缓慢降解剩余较难分解的有机质的过程。后发酵的时间长短直接影响堆肥的使用环境,例如,要给一直未耕种过的土地施肥,一般可以不进行后发酵处理直接使用,但是对于种有作物的土地施肥,则需要后发酵20~30 d,等有机肥完全腐熟才合适。

后处理是将经过后发酵的肥料根据需要破碎制成有机肥料产品,同时对产生的臭气进行除臭处理的过程。

1.2 堆肥箱总体布置方案

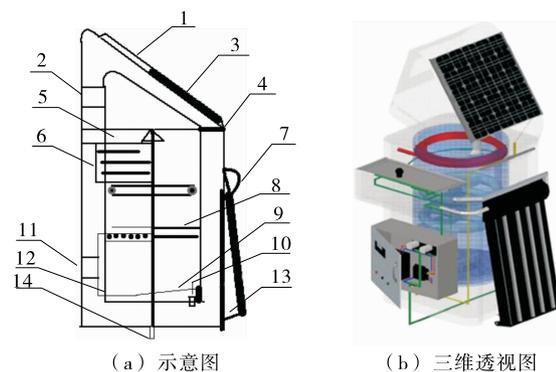
家用小型太阳能堆肥箱的系统设计主要包括2个部分:一是箱体(即反应器)的设计,该箱体具备控温、通风、尾气收集、沥水等功能;二是太阳能集能系统的设计,包括太阳能水箱和太阳能光伏发电两方面。

堆肥箱为塑料材质,分为内箱和保温层。箱体外设计有控制箱,控制箱内安装有智能控制系统和蓄电池,蓄电池通过箱体上端的太阳能电池板进行充电蓄能,作为整个控制箱电能的来源。堆肥箱内部安装的温度传感器与智能控制系统相连,堆肥箱侧边安装有水箱,由太阳能集热系统对箱体中水进行加热。内部通风套管连接2支进风管,一支直接与外界相连,一支在水箱中盘管2.5圈后与外界相连,2根进风管路进口端分别连接2台微型风机。内箱体下端设计有沥水筛网和渗沥液排放口,上端除设计有投料口外,还有尾气排放口和排放管路,可连接到尾气处理装置。

堆肥箱总体图见图2。堆肥箱具体操作方法为:将堆肥箱放在庭院内阳光充足处,通过太阳能电池板为蓄电池充电备用,将家庭厨余垃圾预处理后通过投料口投入箱体中,堆肥自发进行,并在控制箱内设定主发酵温度及时间。主发酵阶段:肥堆温度上升,当温度高于设定值时,智能控制系统启动冷风机,向堆肥箱内吹入冷风,当肥堆温度降到设定值时,风机自动关闭。随着有机物不断分解,肥堆自身产热能力降低,不足以保持较高温度时,智能控制系统启动热风机,向肥堆内部吹入热风,以保持肥堆温度。堆肥进行一段时间后,根据需要从出肥口挖出堆肥箱底部已经腐熟的有机肥,中部及上部继续堆肥,家庭每天产生的厨余垃圾由投料口投入,从而实现整个堆肥过程的循环。

2 主要系统的设计

家用堆肥箱为庭院使用产品,在总体结构设计时既要考虑在庭院中的美观,又要满足其基本功能。重点考察以下因素:



1. 太阳能电池板 2. 投料口 3. 尾气排放口 4. 密封垫片 5. 冷凝水收集槽 6. 水箱 7. 太阳能集热系统 8. 内部通风管 9. 沥水筛网 10. 废液排放口 11. 出肥口 12. 配电箱 13. 太阳能集热系统伸缩杆 14. 进风口

图2 堆肥箱总体图

Figure 2 Composting box overall map

- (1) 结构紧凑美观,重量合理,便于移动。
- (2) 堆肥箱保温效果好,投料取料方便。
- (3) 具有尾气处理装置,对环境的影响小,节能环保。

根据以上设计要求,将堆肥箱总体分为箱体设计、投料口设计、通风设计、沥水筛网设计和尾气处理设计等。

2.1 堆肥箱箱体设计

箱体内箱体积:参照室外常用垃圾箱尺寸及一个堆肥周期内家庭产生的厨余垃圾量,设计为 200 L。

箱体内箱形状:温度控制对于堆肥系统的影响巨大,因此必须做好堆肥箱的保温,尽可能地减少箱体的自身散热。Petiot 等^[12]研究发现保温效果与反应器的外形有着直接的关系,反应器表面积和体积之比越小保温效果就越好。在同等体积下,圆柱形有较小的表面积与体积比,其表面散热相对较少,因此选择圆柱形作为堆肥箱的内箱形状,理论上来说可以更好地防止散热,有益于保温。内箱选用体积 200 L 的圆柱体,所以内径 r 满足:

$$\pi r^2 \times h = 200 \div 90\% \times 10^3。$$

当选取 $h = 100$ cm 时可计算出 $r = 26.5$ cm。

箱体外结构:考虑到将在箱体外部的一面嵌入太阳能集热系统,因此外部设计成立方体,并对安装有太阳能集热系统端面进行倾斜,倾斜方式按照图 3(b)设置,倾斜面下端与箱体之间连接伸缩杆,根据不同地区阳光照射角度不同可以调节倾斜角度 β 。这种设计可以增加箱体的稳定性,而且能够让太阳能集热系统充分采集阳光。

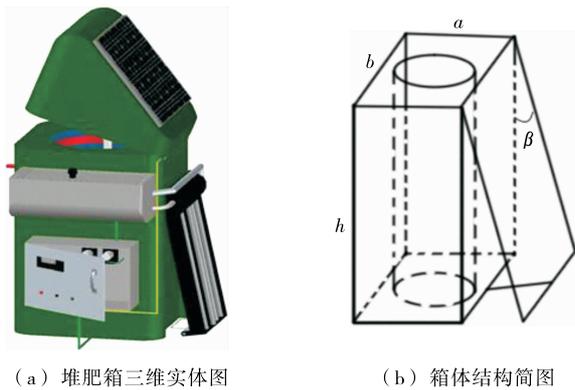


图 3 堆肥箱箱体结构示意图

Figure 3 Schematic diagram of compost box structure

2.2 堆肥箱投料口设计

现有市场上销售的家用小型堆肥箱与室外垃圾箱相似,多采用翻盖式投料口,翻盖式投料虽然开口面积大,方便了投料操作,但在翻盖投料过程中热量散失也较多。取 2 台市场销售的某品牌家用小型堆肥箱测试开盖投料前后箱体内温度变化情况,结果见表 1。

由表 1 可知,普通堆肥箱在加料过程中开盖面积直接影响 10 min 内温度的变化,即开盖面积越大,降温幅度越大,整个系统热量散失越多,箱体需要维持温度所需要的外加能量越多,因此有必要对投料口进行重新设计,但同时还要遵循方便投料的原则。具体设计如图 4 所示,原投料口增加密

表 1 全开及半开对堆肥箱温度影响

Table 1 Effect of full opening and half open on composting box temperature

时间	初始温度/℃	全开 10 min 后温度/℃	全开温 差/℃	半开 10 min 后温度/℃	半开温 差/℃
第 1 天	40	38	2	39	1
第 2 天	35	32	3	34	1
第 3 天	38	36	2	36	2
第 4 天	39	36	3	38	1
第 5 天	40	37	3	40	0
第 6 天	41	38	3	40	1
第 7 天	42	38	4	40	2

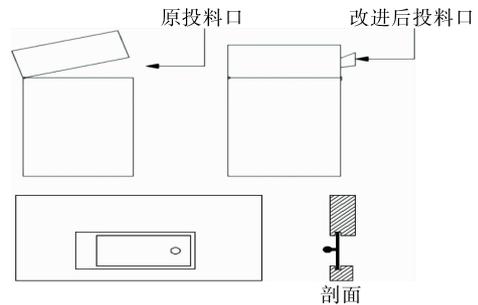


图 4 设计前后堆肥箱投料口简图

Figure 4 A brief drawing of the feeding port of the compost box before and after the design

封条堆肥过程中处于常闭状态,维修及清理堆肥箱内箱时可开启。在其顶端侧面新增投料口,以每次可投加 5 kg 物料为原则并尽可能缩小投料口面积,以便减缓箱体内外空气的对流换热,防止热量在加料环节散失过多。

改进后的投料口为侧边开口,避免了冷热空气的直接对流换热,考虑到新投料口的保温问题,因此如图 4 中投料口剖面图所示,在新投料口上安装可上下滑动的盖板,平时关闭,投料时滑动打开。参照 Q/HMJ 0403001—2001《塑料制品设计标准》对投料口尺寸进行优化设计,即选择开口为 150 mm×250 mm。

2.3 堆肥箱通风系统的设计

家用堆肥箱采用的堆肥技术为高温好氧堆肥,堆肥过程中随着微生物的生长繁殖,需要补充大量新鲜空气,通过自然通风难以达到好氧堆肥工艺的要求^[13],因此堆肥箱内箱设计为强制通风系统。该系统包括内部套管式散风管路、冷风进风管路和热风进风管路,进风口处安装小型风机,由控制箱智能控制系统控制开关,蓄电池提供电力。内部套管式散风管路进气结构采用 2 圈开孔环,通过风机导入的新鲜空气会经过该出风口均匀分散到堆体内部,消除堆肥过程中供氧不足的问题,且出风口开在管路下部,投入湿物料时不易堵塞风口,结构如图 5 所示。散风管路分别连接冷热风进风管,进风管进风口处安装风机,当堆体自身产热能够满足堆肥温度需求时,智能控制开启冷风机,主要为堆体提供新鲜空气,堆肥后期,堆体内有机质利用完全,微生物代谢产热较

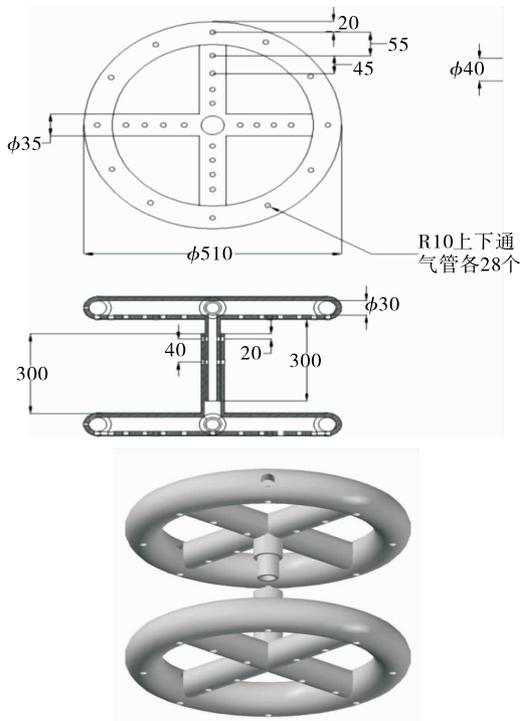


图5 通风系统结构图(单位为 mm)

Figure 5 Structure diagram of ventilation system

少时,智能控制系统开启热风机,风机引入的新鲜空气通过水箱中的盘管时被加热,随后分散进入堆体,起加热堆体作用。

2.4 堆肥箱沥水筛网设计

堆肥箱在堆肥过程中,随着有机物的分解,会产生大量渗沥液。目前市场上销售的堆肥箱大多数没有设计安装沥水筛网,渗沥液无法及时排出,汇集在堆肥箱底部,影响了堆体氧气含量,堆体内微生物生长缓慢,易产生恶臭。取进口某著名堆肥箱产品,堆肥一段时间后,可明显发现底部汇集大量渗沥液,部分已经从出肥口流出,且肥堆内存在大量未被利用的有机物。

本研究设计的家用堆肥箱沥水筛网以及出肥口进行了如图6所示的几个改进,升高出肥口位置,增加了10 mm高的下底盘,虽舍弃了一部分堆肥空间,但可以防止渗沥液从出肥口流出。沥水筛网采用斜面筛网,在满足结实的条件下尽可能地增加筛网的网孔,利用正三角形排布筛孔,孔间距为孔径的5倍,孔径为8 mm。在沥水筛网较高一侧安装渗沥液排出管路,堆肥过程中可以及时排掉渗沥液。

2.5 堆肥箱控制电路设计

堆肥箱控制箱中安装有蓄电池、控制器、接触器、空开、智能控制器等,因此需要对电路进行合理设计。该电路由太阳能电池、控制器、蓄电池、时间继电器、智能显示调节仪、接触器,以及风机组成。如图7所示,在电路中使用了小功率控制器,以防止对蓄电池过分充放电,保证整个电路系统的稳定工作,控制器可以单独使用也可和逆变器一起使用。开关1、2为充放电控制开关。闭合开关1时,太阳能电板通过控制器给蓄电池充电,充电完成后开关1被切断,需要充

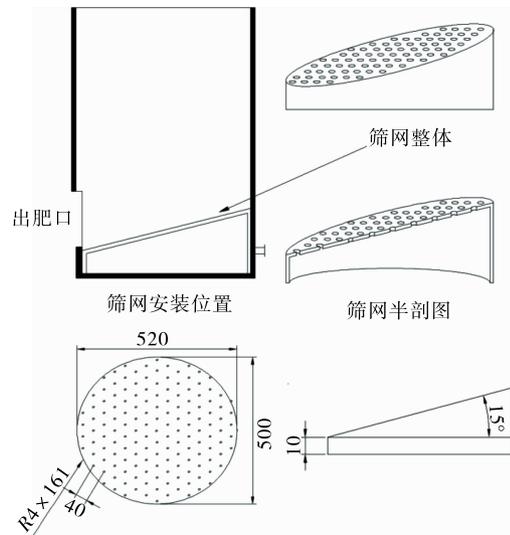


图6 堆肥箱沥水筛网结构图(单位为 mm)

Figure 6 Structural drawing of sieve screen for composting tank leachate

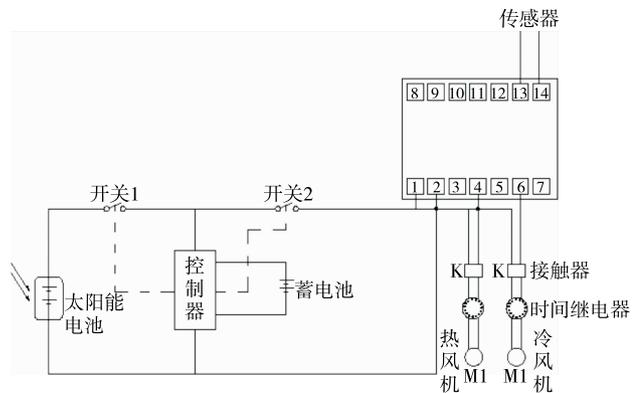


图7 堆肥箱电路图

Figure 7 Circuit diagram of composting box

电时,保护模式解除,自动恢复对蓄电池的充电。开关2闭合,蓄电池向风机供电,蓄电池放电到一定程度,开关2被切断,如此,控制器就可以很好地保护整个电路系统。

本设计中,由智能控制系统和时间继电器控制通风,当传感器测量的堆肥箱内肥堆温度过低时,电路中热风机接触器闭合,堆肥箱内堆体被热风加热。过高时,电路中冷风机接触器闭合,新鲜空气被引入同时堆体温度降低。根据不同环境条件,可以通过电路中的时间继电器控制通风时间。

2.6 尾气处理系统设计

堆肥箱在堆肥过程中,厨余垃圾中的有机成分如蛋白质等,在好氧微生物的作用下会产生有刺激性气味的气体 NH_3 ,在厌氧微生物作用下会分解为不彻底的氧化产物如含硫的化合物 H_2S 、 SO_2 等和含氮的化合物如胺类、酰胺类^[14]。这些气体臭味明显,会影响庭院环境。

气体常用的除臭方法主要分为物理吸附和化学吸收,其中化学吸收主要是利用化学试剂和臭味物质发生化学反应产生不溶物来达到除臭效果。考虑到吸收试剂本身价格较高且更换过程繁杂,所以本研究设计的家用堆肥箱使用物理吸附的方法进行除臭,活性炭吸附是最常用的手段。为堆肥

箱设计一只装满活性炭颗粒的除臭箱,作为辅助设备,根据堆肥过程中的实际情况选择性使用,使用时将堆肥箱排气管路插入除臭箱即可。结构简图如图 8 所示。



图 8 除臭箱简图

Figure 8 Schematic diagram of deodorization box

2.7 运行投入及使用维护

堆肥过程中的能量衡算:能量衡算主要是对整个系统的能量进行衡算,计算出保持系统正常运行所需要的能量输入,继而对配套设备进行合理选型。

如图 9 所示为堆肥过程中的能量输出、输入简图。在计算过程中本着输入能量选最低,输出能量选最高的原则,将衡算时间选择在冬季这个能耗较多且产能较少的季节。在堆肥箱的使用中,采用先加入近 1/2 的原料,使箱体的温度自发上升到所需温度,然后每天持续投料,模拟整个堆肥过程,选取 7 d 作为能量衡算的一个周期。

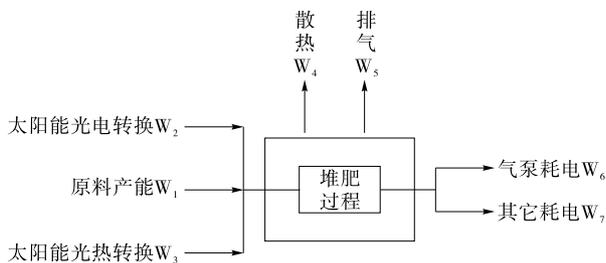


图 9 堆肥中的能量输出、输入过程

Figure 9 Energy output and input process during composting

维持堆体高温好氧堆肥的总条件是: $W_1 + W_2 + W_3 \geq W_4 + W_5 + W_6 + W_7$ 。

由于系统中能量并不能全部互相转换,因此电能需满足的条件是: $W_2 \geq W_6 + W_7$,热能需满足: $W_1 + W_3 \geq W_4 + W_5$ 。

进行热力学分析,计算过程参考文献[15~17]得出: $W_1 = 5.43 \times 10^7$ J, $W_4 = 5.29 \times 10^7$ J, $W_5 = 4.52 \times 10^6$ J。计算出 $W_1 - (W_4 + W_5) \geq 0$ 已经满足,表明在初始加料 7 d 之内系统热量可以满足自给自足,即系统可以保持温度的暂时稳定。然而当只考虑原料产热为后续每天投加 3 kg 的厨余垃圾的话。 $W_1 = 7.76 \times 10^6$ J, $(W_4 + W_5) / 7 = 7.83 \times 10^6$ J 散热已经大于原料产热,需要补充其它能量对系统进行热量补

偿,设计中采用了太阳能光电和光热转化,用光热转化产生的热能来弥补此处可能存在的能量缺口。基于此原则,选取:通风机(深圳市精塑光科技有限公司,4A12C25R37 型)、智能控制器(浙江联泰仪表有限公司,CHINLT-6000 型)、继电器(乐清市扬丰仪表有限公司,DH48S-S 型)、太阳能电池板(光耀太阳能科技有限公司,ZJP-50wp 型)。

运行投入:太阳能堆肥箱箱体设计材质为 PE+PU。保温层填充聚氨酯硬泡沫塑料,设计使用寿命 10~15 年,太阳能电池板使用寿命 15~20 年,电子元器件使用寿命 5~8 年,如使用过程中损坏,需及时更换。蓄电池使用寿命 3~5 年,建议每 3 年更换一次。

使用及维护:第一次投料时,需要先添加填料,根据厨余垃圾的湿度,填料添加量为垃圾的 1/3~1/2,堆肥过程中需要特别注意,冬季使用时,不能停止加料和出肥,这样才能保证堆肥箱中微生物的活力。堆肥期间需要经常检查通风管路是否流畅,堆肥过程中如果出现肥堆含水量过高,可适当补加填料,以降低含水率。清洁堆肥箱时不可用水冲洗堆肥箱内部,各种霉菌、真菌、放线菌等微生物都是堆肥箱中的分解者,不能把它们冲走。为了保持堆肥的延续性,建议一次出肥不要超过堆体体积的 1/2。在正常的晴天,使用堆肥箱过程中,不需要额外提供能量,太阳能电池板需要定期进行清洁,以免灰尘影响光伏发电效率。持续阴雨天,水箱水温过低时,可向水箱中加入热水,维持堆肥箱保温功能。同时每隔一段时间对水箱中的盘管表面污垢进行清理,以免影响热量传递。除臭箱每次添加 1~2 kg 活性炭吸附剂,每月更新一次,堆肥后期肥堆产生臭气较少,可不使用。

3 结论

本研究设计将堆肥箱与太阳能巧妙结合在一起,利用太阳能为堆肥箱保温、通风,智能控制提供能量,不需要额外布置电缆线为堆肥箱供电。整个系统移动搬运方便,不受放置地点限制,十分适合庭院内使用。新设计的沥水筛网,可以及时排出渗沥液,同时也增强了堆体通风效果。新投料口设计虽减少了投料面积,却增强了堆肥箱保温性能,减少了能量损失。

本研究设计的家用堆肥箱是在实验室试验的基础上设计的,一些设计参数还需要在实际应用中进行优化完善。普及推广还需要自身的改进和社会环境的改善,包括:堆肥箱需要新设计添加辅料、脱盐等预处理功能。根据发达国家的厨余垃圾处理经验,要想最大程度的提高堆肥效果还需要向堆肥箱中投入优良的堆肥复合菌剂,因此在堆肥箱优化设计的同时,还需要大力研发新的菌剂。厨余垃圾的资源化处理需要全民配合,也需要国家和地方出台相关的政策指导。

参考文献

- [1] 鲁帅,张红,梁淑霞,等.厨余垃圾处理现状及建议[J].安徽农学报,2017,23(16):87-88.
- [2] 闵海华,刘淑玲,郑苇,等.厨余垃圾处理处置现状及技术应用分析[J].环境卫生工程,2016,24(6):5-10.

(下转第 200 页)

- [36] 吴岩斌, 张秀才, 易骏, 等. 柱前衍生化 HPLC 法测定不同来源金线莲多糖的单糖组成[J]. 中国药房, 2015, 26(15): 2 116-2 119.
- [37] 杨振国, 张晓辉, 余杰. 金线莲多糖结构的初步分析[J]. 中国药物经济学, 2015(1): 36-37.
- [38] 张锦雀. 金线莲多糖的分离纯化、结构表征及其抗肿瘤活性[D]. 福州: 福建医科大学, 2010: 19-33.
- [39] 马娟. 金线莲(*Anoetochilus roxburghii*)提取物保肝护肝作用及其物质基础研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014: 11-43.
- [40] YANG Zheng-guo, ZHANG Xiao-hui, YANG La-wei, et al. Protective effect of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharide against CCl₄-induced oxidative liver damage in mice[J]. Int J Biol Macromol, 2017, 96(5): 442-450.
- [41] ZENG Bing, SU Ming-hua, CHEN Qing-xi, et al. Protective effect of a polysaccharide from *Anoetochilus roxburghii* against carbon tetrachloride-induced acute liver injury in mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 200: 124-135.
- [42] LI Le, LI Yu-meng, LIU Zhen-ling, et al. The renal protective effects of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharose on diabetic mice induced by high-fat diet and streptozotocin[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 178: 58-65.
- [43] ZHANG Jian-gang, LIU Qing, LIU Zhen-ling, et al. Antihyperglycemic activity of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharose in diabetic mice induced by high-fat diet and streptozotocin[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 164: 180-185.
- [44] TANG Ting-ting, DUAN Xiao-yu, KE Yu, et al. Antidiabetic activities of polysaccharides from *Anoetochilus roxburghii* and *Anoetochilus formosanus* in STZ-induced diabetic mice[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 882-888.
- [45] LIU Zhen-ling, ZHANG Jian-gang, LIU Qing, et al. The vascular protective effects of *Anoetochilus roxburghii* polysaccharose under high glucose conditions[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 202: 192-199.
- [46] 邓燕群, 李伟, 张晓辉, 等. 金线莲多糖对 α -葡萄糖苷酶活性及糖尿病小鼠血糖的影响[J]. 汕头大学学报: 自然科学版, 2014, 29(3): 41-45.
- [47] 张赛男. 金线莲多糖降血脂功能的实验研究[J]. 云南中医中药杂志, 2014, 35(12): 64-66.
- [48] ZENG Bi-yu, SU Ming-hua, CHEN Qing-xi, et al. Antioxidant and hepatoprotective activities of polysaccharides from *Anoetochilus roxburghii*[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 153: 391-398.
- [49] 刘青, 刘珍伶, 周娟. 金线莲多糖的体外抗氧化活性[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2010, 31(6): 718-720.
- [50] 王秋新, 刘家媛, 陈强威, 等. 金线莲多糖提取物镇静催眠作用的研究[J]. 广东药学院学报, 2017, 33(1): 68-71.
- [51] YANG Li-chan, HSIEH Chang-chi, LU Ting-jiang, et al. Structurally characterized arabinogalactan from *Anoetochilus formosanus* as an immuno-modulator against CT26 colon cancer in BALB/c mice[J]. Phytomedicine, 2014, 21(5): 647-655.
- [52] 马玉芳, 郑小香, 衣伟萌, 等. 金线莲多糖对免疫抑制小鼠脾淋巴细胞体外增殖、分泌 NO 及细胞因子的影响[J]. 天然产物研究与开发, 2017, 37(2): 287-290.
- [53] YANG Li-chan, LU Ting-jiang, LIN Wen-chuan. A type II arabinogalactan from *anoetochilus formosanus* for G-CSF production in macrophages and leukopenia improvement in CT26-bearing mice treated with 5-fluorouracil[J]. Evid Based Complement Alternat Med, 2013, 2 013(3): 458-475.
- [54] TSENG Cheng-chyang, SHANG Huey-fang, WANG Lin-fu, et al. Antitumor and immunostimulating effects of *Anoetochilus formosanus* Hayata[J]. Phytomedicine, 2006, 13(5): 366-370.
- [55] 王常青, 严成其, 王勇, 等. 台湾金线莲多糖的分离纯化及其体外抑瘤活性研究[J]. 中国生化药物杂志, 2008, 29(2): 93-96.

(上接第 125 页)

- [3] 郭英祺, 刘孟夫, 曾庆东, 等. 农村家庭厨余垃圾处理发酵罐的改进设计及试验[J]. 现代农业装备, 2017(3): 29-33.
- [4] 王丹阳, 弓爱君, 张振星, 等. 北京市餐厨垃圾的处理现状及发展趋势[J]. 环境卫生工程, 2010, 18(1): 24-26.
- [5] 王兴宇, 曹华, 孙大禹. 国内外厨余垃圾处理现状及技术综述[J]. 科技创新导报, 2012(8): 227-229.
- [6] ZITTEL R, PINTO D C, DOMINGUES C E, et al. Treatment of smuggled cigarette tobacco by composting process in facultative reactors[J]. Waste Management, 2018(71): 115-121.
- [7] GUO Xiang-zheng, JIE Yang, ZHENG Jun-guan, et al. Design of mechanical agitation biological reactor used in municipal solid-waste composting[J]. Advanced Materials Research, 2015, 3 848(1 092): 1 056-1 059.
- [8] BRIŠKI F, VUKOVIC M, PAPA K, et al. Modelling of composting of food waste in a column reactor[J]. Chemical Papers, 2007, 61(1): 24-29.
- [9] PRZEMYSŁAW T, FABIOLA B. Food industry waste composting in a rotational reactor[J]. Polish Journal of Chemical Technology, 2008, 10(2): 37-42.
- [10] 李来庆, 张继琳. 餐厨垃圾资源化技术及设备[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 12-14.
- [11] 刘旭辉. 实验室小型好氧堆肥反应器污染物去除研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008: 13-19.
- [12] 张锐. 小型实验室好氧堆肥反应器系统研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 11-12.
- [13] 杨文卿, 邓旋, 许兢, 等. 一种新型可控堆肥反应器系统的快速好氧堆肥实验[J]. 环境工程学报, 2010, 4(12): 2 883-2 887.
- [14] 杨国清. 固体废物处理工程[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 30-45.
- [15] 李秀金. 固体废物工程[M]. 北京: 中国环境科学出版, 2001: 12-55.
- [16] 戴芳, 曾光明, 袁兴中, 等. 新型堆肥装置设计及应用研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(2): 24-28.
- [17] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 翻转式堆肥反应装置设计研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(9): 85-88.