

黑水虻虫卵添加量对餐厨垃圾生物转化的影响

徐春笑, 吕永兴, 江亚雄, 赵亮 (深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 广东深圳 518040)

摘要 研究不同比例的虫卵添加量在黑水虻生物转化技术中对生物转化过程和鲜虫产量的影响, 探索黑水虻生物转化技术对餐厨垃圾的减量化水平, 以餐厨垃圾和稻壳粉为主料和辅料, 每吨养殖料中分别投加 80、100、120、150 g 虫卵。结果表明: 当每吨养殖料中投加 100 g 虫卵时, 鲜虫产量最大; 另外, 虫卵添加量越大, 黑水虻幼虫对餐厨垃圾的生物转化速率越快。说明每吨养殖料投加 100 g 虫卵时可获得最大的经济效益; 加大虫卵添加量可以缩短餐厨垃圾的处理周期, 黑水虻生物转化技术对餐厨垃圾的减量化水平最高约为 79%。

关键词 黑水虻虫卵; 餐厨垃圾; 添加量; 鲜虫产量; 减量化

中图分类号 X 799.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)13-0085-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.13.027



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of the Addition Amount of *Hermetia illucens* L. Egg on Bioconversion of Food Waste

XU Chun-xiao, LÜ Yong-xing, JIANG Ya-xiong et al (Shenzhen Techand Ecology & Environment Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518040)

Abstract To study the effect of different proportion of egg addition amount on bioconversion process and output of worm, and explore the reduction level of food waste caused by bioconversion technology of *H. illucens*, the experiment used kitchen waste and rice husk powder as the main and supplementary materials, 80, 100, 120 and 150 g of eggs were added to 1 ton of breeding material. The results showed that output of worm was the highest when 100 g eggs were added to 1 ton of breeding material. The larger the amount of eggs added, the faster the bioconversion rate of food waste by *H. illucens*. The study showed that the maximum economic benefit can be obtained when 100 g eggs were added 1 ton of breeding material, and increasing the amount of insect eggs can shorten the processing cycle of food waste, the maximum reduction level of food waste by the technology was about 79%.

Key words *Hermetia illucens* L. egg; Food waste; Addition amount; Output of worm; Reduction

目前,常用的餐厨垃圾资源化处置技术主要有堆肥、厌氧发酵、饲料化以及黑水虻生物转化技术。与黑水虻生物转化技术相比,好氧堆肥、厌氧发酵、饲料化技术分别存在有机质分解代谢能力差、投资费用较高且处理不彻底、同源性污染的问题。

黑水虻生物转化技术是以黑水虻作为资源昆虫,通过其自身的取食行为和消化作用,将餐厨垃圾中的有机成分在体内腹化分解后用于自身生长发育,经采食之后的餐厨垃圾会以虫沙形式从幼虫体外排出,在此过程中餐厨垃圾得到妥善化处置。研究表明,黑水虻在处理餐厨垃圾的过程中,可以减少餐厨垃圾的体积和恶臭气体逸散量,避免滋生苍蝇、消除大肠杆菌和沙门氏菌等^[1-3]。处置完成后的剩余物经筛分后可得到黑水虻老熟幼虫和虫沙。老熟幼虫富含较高的蛋白质,可用于加工制备高附加值的昆虫蛋白源饲料,以作为复合饲料中鱼粉的替代品;同时,老熟幼虫也富含较高的脂肪,可用于深加工生物柴油^[4-6]。因此,黑水虻生物转化技术是一种资源化程度较高的餐厨垃圾处理技术。

然而,目前国内关于黑水虻的试验研究较少,主要集中在黑水虻生长发育特性、畜禽粪便无害化处置、幼虫饲料营养价值、蛋白质提取及黑水虻末端产品开发(甲壳素、壳聚糖等)等方面。关于生长发育特性的研究则主要包括饲料配比类型、外加微生物菌剂、含水率、环境温度、光源、重金属离子、辣度和盐度^[7-11]等因素,缺乏对黑水虻集约化应用过程

中一些关键工艺参数的研究,导致黑水虻生物转化技术在餐厨垃圾处理产业中一直处于初步探索阶段。笔者从黑水虻的虫卵孵化及育雏环节入手,研究了虫卵添加比例和餐厨垃圾减量率、鲜虫产量的关系,探索黑水虻生物转化技术在餐厨垃圾处理行业中的应用,从而对虫卵添加比例进行优化,且提高鲜虫产量,使该技术在生产实践中达到节约成本、获得最大收益的效果,最终为餐厨垃圾的资源化处置增加一条高效快速且具有一定经济效益的处理途径。

1 材料与方法

1.1 材料 黑水虻虫卵,由深圳市铁汉生态环境股份有限公司提供的当日产虫卵;餐厨垃圾浆料,由深圳瑞赛尔环保股份有限公司提供;长方形 PE 养殖盒,规格为 705 mm × 450 mm × 180 mm,由深圳市铁汉生态环境股份有限公司自行研发定制。

1.2 方法

1.2.1 孵化育雏。在黑水虻处理餐厨垃圾过程中,每吨养殖料分别投加由 80、100、120、150 g 虫卵孵化育雏后的小幼虫,记为处理①、②、③、④。根据表 1,分别向养殖盒中放置一定量的人工配制育雏料,其中育雏料配比见表 2;在每个养殖盒中养殖料上方平铺对应质量的黑水虻虫卵;以 80 目尼龙网覆盖于养殖盒顶部,以防止家蝇产卵影响试验结果。每个处理组重复 3 次,然后置于恒温恒湿房($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} = 60\%$)中进行孵化育雏。

1.2.2 养殖。育雏 5 d 后,根据表 2,向每个养殖盒中均匀投加 10 kg 人工配制养殖料。养殖期间,每天下午定时进行一次翻料处理并称取养殖盒内物料总重(不包括养殖盒质量)。

基金项目 广东省生态修复技术工程实验室项目(粤发改高技术[2015]162号)。

作者简介 徐春笑(1991—),男,山东泰安人,硕士,从事固体废物处置与黑水虻养殖研究。

收稿日期 2019-02-16;修回日期 2019-03-04

表1 不同处理组中育雏料及虫卵添加量

Table 1 Addition of eggs and brooding material in different treatment groups

处理 Treatment	育雏料 Brooding material//kg	虫卵 Egg//g
①	0.8	0.8
②	1.0	1.0
③	1.2	1.2
④	1.5	1.5

表2 黑水虻各阶段配制饲料组分

Table 2 Feed components of *Hermetia illucens* in different stages

饲料 Feed	质量配比 Mass ratio	含水率 Water content//%
育雏料 Brooding material	麦麸:花生麸:水=3:3:13	70.10±0.02
养殖料 Aquaculture material	餐厨垃圾:稻壳粉=9:1	74.90±0.79

注:餐厨垃圾含水率为(81.40±0.64)%,pH约为7.1

Note:The water content of kitchen waste is(81.40±0.64)%,and the pH is about 7.1

试验地点为深圳市瑞赛尔生物科技有限公司坪地黑水虻养殖繁育基地。试验时间为2018年9月3日—10月25日,环境温度25~30℃。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 系统温度。每天15:00采用数显温度计进行多点测量,取均值。

1.3.2 系统总重。黑水虻养殖前分别称取各个养殖盒的质量;黑水虻养殖期间,每天称取养殖盒中物料的总质量,则系统总重=养殖盒中物料总质量-养殖盒质量。

1.3.3 黑水虻生物转化周期。以餐厨垃圾处理过程中前后2d的系统总重基本稳定(此次试验以相差0.1kg为准)或黑水虻幼虫进入预蛹状态(表皮颜色开始变黑)的前1d作为黑水虻生物转化周期。

1.3.4 鲜虫产量及品质。黑水虻生物转化周期结束后,采用5mm圆孔筛将虫沙和黑水虻幼虫分别筛出。黑水虻幼虫的质量即为鲜虫产量;黑水虻幼虫的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维分别按GB-T 6435—2014、GB-T 6432—1994、GB-T 6433—2006和GB-T 6434—2006测定;黑水虻幼虫中的沙拉沙星、达氟沙星、恩诺沙星、环丙沙星按《农业部1025号公告-14-2008》标准检测,六六六、滴滴涕按GB-T 13090—2006测定。

1.3.5 餐厨垃圾减量率。餐厨垃圾减量率=(M_0-M_1)/ M_0 ×100%,其中 M_0 为处理前餐厨垃圾质量, M_1 为餐厨垃圾剩余物质量。餐厨垃圾剩余物质量(M_1)=虫沙质量-稻壳粉质量×(1-稻壳粉利用率),其中稻壳粉利用率按5%估算。

1.3.6 虫沙安全性和营养指标。虫沙中的含水率、有机质和总养分含量按NY 525—2012测定,虫沙中的粪大肠菌群和蛔虫卵死亡率分别按GB-T 19524.1—2004和GB-T 19524-2—2004测定。

1.4 数据分析 对所收集的数据使用SPSS 22.0数据分析软件开展方差分析和LSD多重比较,得到的数据使用Origin 9.1绘图工具绘制图形。

2 结果与分析

2.1 系统温度 从图1可以看出,在黑水虻处理餐厨垃圾过程中,生物转化系统的温度不受室温环境(26~29℃)的影响,系统起始温度略低于室温,且呈现出“先增加,后降低”的变化趋势。系统温度最高可达38.5℃,比室温高约10℃。最终系统温度略高于室温,且虫卵添加比例越大,系统温度越高。由于黑水虻属于变温动物,当外界环境不利时便会被动地离开,而黑水虻处理餐厨垃圾过程中没有发生幼虫逃逸现象,说明27.5~38.5℃的温度范围适宜黑水虻幼虫的生长发育。另外,黑水虻虫卵添加比例越大,系统温度上升越快,这是因为黑水虻幼虫数量越多,耗氧量越大,通过内源呼吸作用的产热量越大。

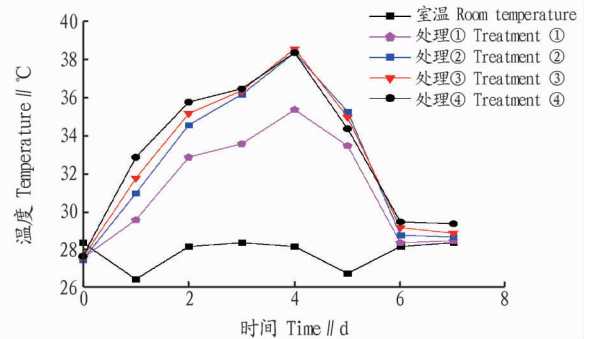


图1 不同处理组中系统温度变化

Fig. 1 System temperature changes in different treatment groups

2.2 系统总重 从图2和表3可以看出,虫卵添加比例对黑水虻处理餐厨垃圾过程中的系统总重有显著影响($P < 0.05$):第0~5天,虫卵添加比例越大,系统总重下降速度越快;第5~7天,虫卵添加比例越小,系统总重下降速度越快。

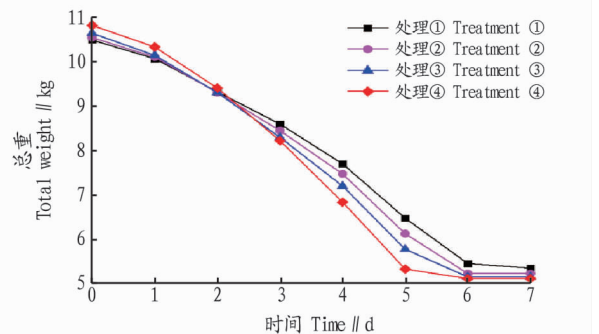


图2 不同处理组中系统总重变化

Fig. 2 Total system weight change in different treatment groups

表3 不同处理组中系统总重下降速率

Table 3 Decline rate of system total weight in different treatment groups

处理 Treatment	第0~5天 Day 0~5	第5~7天 Day 5~7
①	0.802±0.005 d	0.571±0.015 a
②	0.883±0.001 c	0.453±0.008 b
③	0.973±0.005 b	0.317±0.013 c
④	1.098±0.004 a	0.120±0.010 d

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

第 0~5 天,系统总重下降趋势与系统温度有一定关系:系统温度越高,系统总重下降趋势越明显。这可能是由于当黑水虻幼虫进食时,内源呼吸作用加强,系统温度升高,幼虫的代谢速率随之升高,体温也逐渐上升。

从图 2 中第 5~7 天的系统总重变化趋势可以看出,虫卵添加比例对黑水虻生物转化周期也有一定影响,处理④可在第 5 天完成餐厨垃圾处理,而其他 3 组处理均要在第 6 天完成餐厨垃圾处理。这说明提高虫卵添加量可以缩短黑水虻生物转化周期,加快黑水虻对餐厨垃圾的处理。

2.3 鲜虫产量与品质 从表 4 可以看出,不同的虫卵添加

比例对于黑水虻生物转化周期结束后的鲜虫产量影响显著 ($P < 0.05$):处理③>处理②>处理①>处理④。处理①可能是由于虫卵添加比例较低导致,处理④则可能是由于幼虫密度过高导致幼虫无法完全发育。这说明在利用黑水虻生物转化技术处理餐厨垃圾的生产过程中,当养殖料质量一定、环境温度为 26~29 °C,按照每吨养殖料投加 100~120 g 虫卵孵化育雏后的 5 日龄幼虫为宜,过高或过低的虫卵添加比例均不利于提高鲜虫产量。在实际生产过程中需综合考虑经济成本,故每吨养殖料应投加 100 g 虫卵,此时经济成本和效益最佳。

表 4 不同处理组中鲜虫产量与品质

Table 4 Fresh worm yield and quality in different treatment groups

处理 Treatment	鲜虫产量 Fresh worm yield kg	粗蛋白 Crude protein mg/g	粗脂肪 Crude fat mg/g	粗纤维 Crude fibre mg/g	含水率 Water content %	有害物质 Hazardous substance
①	2.33±0.03 b	157	101	23	66.5	未检出
②	2.40±0.01 a	158	103	22	66.2	未检出
③	2.36±0.01 ab	155	103	23	66.3	未检出
④	2.29±0.01 c	153	104	24	65.7	未检出

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

各组鲜虫粗蛋白含量为 153~158 mg/g、粗脂肪含量为 101~104 mg/g、粗纤维含量为 22~24 mg/g、含水率为 65.7%~66.5%,且果蔬垃圾中易携带的各项有害物质(沙拉沙星、达氟沙星、恩诺沙星、环丙沙星、六六六、滴滴涕等)均未检出,说明利用黑水虻生物转化技术处理餐厨垃圾过程中生产幼虫安全可行且营养价值高,具有广阔的潜在市场开发

空间。

2.4 餐厨垃圾减量率 从各处理组的餐厨垃圾减量率来看(表 5),处理②、③、④的餐厨垃圾减量率均在 79%左右,显著高于处理①的 77% ($P < 0.05$)。这说明除处理①外,其他 3 组的黑水虻处理系统均实现了对餐厨垃圾的有效处理,且餐厨垃圾的最大化减量水平为 79%。

表 5 不同处理组中餐厨垃圾减量率

Table 5 Reduction rate of kitchen waste in different treatment groups

处理 Treatment	初始餐厨垃圾质量 Initial kitchen waste quality//kg	虫沙质量 Worm sand quality//kg	餐厨垃圾剩余物质质量 Kitchen waste residue quality//kg	餐厨垃圾减量率 Reduction rate of kitchen waste//%
①	9.0	3.02±0.01 a	2.07±0.01 a	77.00±0.12 b
②	9.0	2.83±0.01 b	1.88±0.01 b	79.10±0.15 a
③	9.0	2.80±0.01 b	1.85±0.01 b	79.47±0.03 a
④	9.0	2.82±0.02 b	1.87±0.02 b	79.20±0.18 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ($P < 0.05$)

2.5 虫沙安全性指标 各处理组试验结束后产生的虫沙均为褐色或黑褐色,呈粉末状态,无臭味,有机质含量为 780~850 mg/g、含水率为 35%~41%、总养分含量为 51.7~

56.8 mg/g、pH 约 7.2、蛔虫卵死亡率 100%、粪大肠杆菌群数 < 100 个/g、重金属(总砷、总汞、总铅、总镉)未检出(表 6),各项指标均符合 NY 525—2012 中有机肥料的各项限值标准。

表 6 不同处理组中虫沙组分

Table 6 Worm sand components in different treatment groups

处理 Treatment	有机质 Organic matter mg/g	含水率 Water content %	TN mg/g	TP mg/g	TK mg/g	pH	蛔虫卵死亡率 Ascaris egg mortality %	粪大肠杆菌群数 Fecal coliform number//个/g	重金属 Heavy metal
①	850	41	18.2	32.1	6.5	7.3	100	51	未检出
②	810	39	17.1	29.4	5.2	7.2	100	43	未检出
③	800	38	17.4	31.5	6.7	7.2	100	30	未检出
④	780	35	18.7	29.8	6.1	7.2	100	30	未检出

3 讨论与结论

量较小,虫粪生成量和生物量增长量也较少,故系统总重变

(1)处理前期(第 0~2 天),黑水虻处于 3~4 龄期,取食

(下转第 111 页)

降低了草坪株高,减少地上部分生物量,但在3种基质中,未显著抑制剪股颖的根长以及减少地下部分生物量。由此可以认为,喷施浦绿后,显著地减少了草坪的地上生物量,从而使植物蒸腾量降低,草坪蒸散量显著降低,进而减少总灌溉量,提高了水分利用效率。

研究发现,土壤渗透剂可以通过降低水的表面张力,使其在土壤表面的浸润角减小、延展性增加从而使水分迅速、均匀的穿透表层渗透到植物根部区域,改善土壤表面的疏水性问题^[3]。王亮亮等^[4]在盆栽番茄中施用不同浓度土壤渗透剂发现,其对番茄叶片叶绿素含量、株高、根系活力、根系干重及地上部干重的增加均有不同程度的促进作用。该研究获得类似结果,在有机改良基质中,施用卡丽芭显著增加了匍匐剪股颖的根长及地下部分的生物量。在纯沙和有机基质中,草坪蒸散量显著降低,是由于卡丽芭作为渗透剂能够与土壤颗粒表面的有机质及其他疏水性物质发生吸附,使之形成亲水能力较好的土壤颗粒,从而减少草坪土壤蒸发量,使得在纯沙和有机基质中,草坪总灌溉量显著降低。渗透剂能够通过提高土壤含水量,同时土壤中的水为多数物质的有效载体,可将其周围的肥料等养分运输给植物,提高肥料利用效率,这就可以解释卡丽芭对匍匐剪股颖的根长、生物量的促进作用,从而使草坪水分利用效率显著提高。

综上所述,在无机改良基质中,浦绿和卡丽芭对草坪的节水效果不显著。而在纯沙和有机改良基质中,浦绿和卡丽

(上接第87页)

芭均显著减少了草坪灌溉量,且卡丽芭的效果更好。

参考文献

- [1] 张翔. 高尔夫球场草坪作用及养护管理研究[J]. 才智, 2016(26): 271-272.
- [2] DOERR S H, RITSEMA C J. Water movement in hydrophobic soils[M]// ANDERSON M G, MCDONNELL J J. Encyclopedia of hydrological sciences. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
- [3] 金海波. 渗透剂对高尔夫球场草坪土壤含水量的改善效果[D]. 上海: 上海交通大学, 2012.
- [4] 王亮亮, 宋伟杰, 高志山, 等. 土壤渗透剂对番茄生长发育的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(6): 198-201, 206.
- [5] 张训忠. 草坪植物生长调节剂研究进展[C]// 陈佐忠, 周禾. 草坪与地被科学进展. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [6] 郑疏影, 潘远智, 孙振元. 植物生长调节剂对大花蕙兰分蘖及生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2007(1): 85-87.
- [7] 程敏. 植物生长调节剂对匍茎剪股颖夏季休眠的调控研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [8] 董玉光. 生长调节剂 Primo MAXX (浦绿) 的应用[J]. 中国高尔夫管理, 2008(2): 50-51.
- [9] 马秀杰. 外施植物生长调节剂对多年生黑麦草低温和干旱胁迫生理响应研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [10] 赵炳祥, 胡林, 陈佐忠, 等. 常用六种草坪草蒸散量及作物系数的研究[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(6): 39-44.
- [11] 陈谷, 马其东. NTEP 评价体系在草坪草评价中的应用[J]. 草业科学, 2000, 17(1): 62-68, 39.
- [12] 陈雅君. 水分利用效率与草坪草抗旱性研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(10): 1-5.
- [13] SHEPARD D. Users drive research into new growth regulator applications[J]. Turfgrass trends, 2002, 11(4): 20-22.
- [14] 李战胜, 陈勇. 生长调节剂 Primo MAXX 对狗牙根草坪草生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 437-438.

化的最大化减量水平约为79%。

参考文献

- [1] SHEPPARD D C, NEWTON G L, THOMPSON S A, et al. A value added manure management system using the black soldier fly[J]. Bioresour Technol, 1994, 50(3): 275-279.
- [2] TOMBERLIN J K, SHEPPARD D C, JOYCE J A. Selected life-history traits of black soldier flies (diptera: stratiomyidae) reared on three artificial diets[J]. Ann Entomol Soc Am, 2002, 95(3): 379-386.
- [3] ERICKSON M C, ISLAM M, SHEPPARD C E, et al. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly[J]. J Food Protect, 2004, 67(4): 685-690.
- [4] 安新城, 李军, 吕欣. 黑水虻处理养殖废物的研究现状[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(3): 113-116.
- [5] ST-HILAIRE S, SHEPPARD C, TOMBERLIN J K, et al. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. J World Aquacult Soc, 2007, 38(1): 59-67.
- [6] ZHENG L Y, HOU Y F, LI W, et al. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes[J]. Energy, 2012, 47(1): 225-229.
- [7] 喻国辉, 杨紫红, 夏端, 等. 肠道共生细菌预发酵鸡粪对黑水虻生长发育的影响[J]. 昆虫知识, 2010, 47(6): 1123-1127.
- [8] 何国宝. 黑水虻人工饲料含水量优化与产酶枯草芽孢杆菌研究[D]. 广州: 中山大学, 2010.
- [9] 黄蓉. 不同光源对黑水虻生活史的影响及其对猪粪的转化[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [10] 夏端, 但家立, 朱伟, 等. Zn²⁺ 胁迫对黑水虻生长发育的影响[J]. 环境昆虫学报, 2013, 35(3): 294-299.
- [11] 姬越, 任德珠, 叶明强, 等. 黑水虻对饲料中 pH 值、辣度及盐度的耐受性[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(3): 636-639.

(3) 在利用黑水虻生物转化技术处理餐厨垃圾的生产过程中, 如果环境条件较差(如室温较低)或目的只在于缩短处理周期时, 可通过加大虫卵投加量的方法加快餐厨垃圾的处理; 如果目的在于获得最大的鲜虫产量和经济效益, 虫卵的添加比例以每吨养殖料投加 100 g 虫卵为最佳。

(4) 利用黑水虻生物转化技术处理餐厨垃圾安全可行, 产出的虫沙符合有机肥料标准, 鲜虫营养价值高, 且餐厨垃