

# 黑水虻处理餐饮垃圾和秸秆粉的实验研究

曹婷<sup>1</sup>, 张政<sup>1</sup>, 余宏伟<sup>2</sup>, 江嘉翔<sup>3</sup>, 高泽霖<sup>1</sup>, 成岳<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>景德镇陶瓷大学材料科学与工程学院, 江西 景德镇

<sup>2</sup>合肥保护盾生态农业科技有限公司, 安徽 合肥

<sup>3</sup>景德镇艺术职业大学, 江西 景德镇

收稿日期: 2021年10月28日; 录用日期: 2021年11月29日; 发布日期: 2021年12月7日

## 摘要

随着人口增长与经济高速发展, 人们对于高品质生活的追求越来越高, 致使餐厨垃圾的产量逐年增高, 并且增长迅速。餐厨垃圾和秸秆无论是作为饲料还是填埋、焚烧都不能使其资源化和无害化; 而利用黑水虻处理技术则是能达到较为理想的效果, 黑水虻处理技术作为一种新兴工艺正逐渐成为厨余垃圾处理技术研究的热门, 而且利用黑水虻进行生物处理不仅能高效的利用其营养物质, 还能将其作为高蛋白物质饲养家禽, 达到经济、环保的效果; 如何能够在低成本的情况下做到高产出, 通过本实验探究餐厨垃圾、秸秆粉和初始虫重对黑水虻产出的影响, 继而通过本实验对黑水虻产出得出最佳配比条件为餐厨垃圾: 秸秆粉: 初始虫重 = 800 g: 400 g: 2 g, 在该配比情况下, 黑水虻产出为187.5%。

## 关键词

黑水虻, 餐厨垃圾, 秸秆粉, 资源化, 环保

# Study on Treatment of Food Waste and Straw Powder by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)

Ting Cao<sup>1</sup>, Zheng Zhang<sup>1</sup>, Hongwei Yu<sup>2</sup>, Jiayang Jiang<sup>3</sup>, Zelin Gao<sup>1</sup>, Yue Cheng<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Materials Science and Engineering of Jingdezhen Ceramic University, Jingdezhen Jiangxi

<sup>2</sup>Hefei Protection Shield Ecological Agriculture Technology Co., Ltd., Hefei Anhui

<sup>3</sup>Jingdezhen Vocational University of Art, Jingdezhen Jiangxi

Received: Oct. 28<sup>th</sup>, 2021; accepted: Nov. 29<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 7<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

With the growth of population and rapid economic development, people's pursuit of high-quality

\*通讯作者。

文章引用: 曹婷, 张政, 余宏伟, 江嘉翔, 高泽霖, 成岳. 黑水虻处理餐饮垃圾和秸秆粉的实验研究[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(6): 1124-1133. DOI: 10.12677/aep.2021.116135

life is getting higher and higher, which leads to the increase of the production of kitchen waste year by year and the rapid growth. Whether it is used as fodder, landfill or incineration, the kitchen waste and straw cannot make it recycling and harmless. And using the black soldier fly processing technology is to achieve ideal effect, black soldier fly processing technology as a new technology is becoming a hot kitchen waste treatment technology research, and the use of black soldier fly for biological treatment can not only efficient use of its nutrients, also can use it as a high protein material poultry, achieve the result of economic and environmental protection; How can you do in the case of a low cost high output, through the experiment to explore the eat hutch garbage, straw powder and initial insect heavy influence on black soldier fly output, and then through the experiment it is concluded that the optimal proportion for black soldier fly output condition of eat hutch garbage: straw powder: initial worm weight = 800 g: 400 g: 2 g, in the proportion of cases, black soldier fly output of 187.5%.

## Keywords

**Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), Kitchen Waste, Straw Powder, Recycling, Environmental Protection**

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

世界可利用的燃料资源正在逐渐枯竭由于能源需求的增加；而且，化石燃料的使用正在破坏我们的环境通过温室气体排放和全球变暖。因此，寻找替代的和可持续的能源受到广泛关注近年来为减少全球环境问题(温室气体排放和全球变暖)并保护化石能源资源。目前，有几种替代方案正在研究和实施中。生物柴油是最有前途的替代燃料，提供环境好处，因为使用会导致减少温室气体的有害排放及其影响[1] [2]。

全球人口的增加导致随着有机废物产品水平的上升，例如作为食物垃圾、动物粪便和其他农业废物。此外，这些有机废物不仅有助于土壤养分不平衡导致土壤质量恶化；它们还会导致水和空气污染[3] [4]。目前，管理中的标准做法这些废物包括在垃圾填埋场处置、燃烧、或农业应用，如土壤改良剂[5]。这些有机废物管理实践引起了更严重的环境问题，例如渗滤液和垃圾填埋气体的产生、害虫吸引、以及水和空气污染[6] [7]。更环保、更经济可行的方法是利用昆虫来转换将有机废物转化为幼虫生物质和生物肥料通过称为生物转化的过程[6]。

餐厨垃圾除少部分混入生活垃圾外，较多部分会用于售出或直接赠予城郊养猪场或养猪户作为猪的饲料，还有部分给地下作坊收购用于回炼油脂。由于经济上的诱惑以及难以做到严格的管控，泔脚会被用于喂猪，而回炼生产的油脂由黑市流向餐饮行业，其中包含的病菌和致癌物等有毒有害物质会严重影响人民群众的身体健康，其危害日益严重，对餐厨垃圾造成的问题实行有效措施和治理已迫在眉睫。餐厨垃圾直接作为动物饲料，或者填埋和焚烧都不能真正使其资源化和无害化，研究发现，分散的小规模的厌氧发酵要比集中大规模的更具有发展前景[8] [9] [10] [11]。近年来，已有研究人员利用黑水虻处理餐厨垃圾等有机废物展现了极大的工程应用潜力[12] [13] [14]。

黑水虻[black soldier fly (*Hermetia illucens*)]又称亮斑扁角水虻，是双翅目，水虻科，扁角水虻属的一种昆虫，起源于南美洲，前为止在我国乃至全世界广泛存有分布(南北纬 40°之间)，在位于我国的浙江广东、四川、河北、湖北等多个省均有其存在分布地区，其总体生长生命周期主要分为包括了卵、幼虫、

预蛹、成虫 4 个阶段(图 1) [15]。黑水虻处理技术虽然具有养殖生长周期短、资源化程度高、营养价值高、能够替代鱼粉、处理费用低以及产品的经济效益高等特点。总之,黑水虻厨余垃圾处理过程工艺技术的快速发展以及应用市场前景良好,既能够高效地彻底解决园区厨余工业垃圾处理过程工艺质量控制能力较弱的难点问题,又利于能够有效实现园区厨余工业垃圾的处理资源化、少量化、无害化,达到了企业经济效益与企业社会环保经济效益的共同的大丰收。本研究通过黑水虻处理餐厨垃圾和秸秆粉的正交实验得出较好的黑水虻养殖条件和对黑水虻的成分进行分析,以为后续试验研究和生产实践提供参考依据。



Figure 1. The growth life cycle of black soldier fly  
图 1. 黑水虻生长生命周期

## 2. 实验

### 2.1. 材料和仪器

实验材料:黑水虻虫卵有合肥保护盾生态农业科技有限公司提供、餐厨垃圾取自景德镇陶瓷大学学生食堂、秸秆粉和麦麸粉购买于联丰农产品深加工厂。

实验仪器:光照培养箱(GPJ-150,金坛市大地自动化仪器厂)、组织捣碎机(JJ-2,无锡沃信仪器有限公司)、电子天平(FA2004,上海舜宇恒平科学仪器有限公司)、温度湿度计(FY-11,泰尔电子)、养殖箱(9个,自制)、分油勺、分液漏斗、自制固液分离装置、烧杯、滤纸等。

### 2.2. 实验方法

本实验采取正交实验法,实验涉及影响主要因素为三个,分别 A 是餐厨垃圾/g、B 秸秆粉/g、C 黑水虻幼虫重/g。选用正交表  $L_9(3^4)$ 。控制的次要因素为温度(23℃)、湿度(70%)。正交实验因素水平表见表 1。

Table 1. Horizontal table of orthogonal experimental factors  
表 1. 正交实验因素水平表

水平	因素	A 餐厨垃圾/g	B 秸秆粉/g	C 虫重/g
1		600	200	2
2		800	300	3
3		1000	400	4

考核指标为: 产出率(%) = (饲养后虫重/初始虫重) × 100%。

## 2.3. 实验步骤

- 1) 取干净的虫卵置于 40 目筛网中, 并将筛网放到支架上, 将其放入恒温 27℃、湿度调控为 75% 的培养箱中, 并在其底部放入盛有 80% 餐厨垃圾浆料和 20% 的麦麸的 800 g 混合饲料;
- 2) 等待两天, 并观察小虫孵化状况;
- 3) 准备 9 个相同的培养箱清洗干净, 置于同一环境下, 等待小虫孵出;
- 4) 待小虫孵出 3 日后, 在同一食堂取餐厨垃圾, 剔除塑料, 用自制固液分离装置将餐厨垃圾内的固体和液体分离, 用分油勺将泔水里面的油与泔水分离, 用组织破碎机将餐厨垃圾里面的固体打成浆状并称重到 3.6 kg, 放到干燥容器中备用; 另外称 1.35 kg 的秸秆粉放到另一容器中备用; 将餐厨垃圾和秸秆粉、小虫按如表 2 所示混合加入 9 个培养箱中, 并加入无油泔水或干燥饲料保持每个培养箱中饲料湿度为 70%;
- 5) 将这 9 个培养箱一起放入温度保持 23℃、湿度保持在 70% 的光照培养箱中, 并持续观察 22 天, 使幼虫达到预蛹期;
- 6) 用分液漏斗将泔水中的油与泔水分离, 并将分离出的油脂称重;
- 7) 培养过程中每天持续关注幼虫的活性与生长状态;
- 8) 等到幼虫培养 22 天达到预蛹期即可将其取出, 将其与饲料分离, 将预蛹期的黑水虻放入容器中, 称量其重量, 并分别把每个培养箱中的黑水虻重量记录好, 并将容器内的虫沙收集起来;
- 9) 检测黑水虻的营养成分;
- 10) 将收集的预蛹期的虫子进行微波干燥和热风干燥留存。

## 3. 结果分析与讨论

### 3.1. 影响黑水虻生长的因素

#### 3.1.1. 温度

黑水虻虫卵期长短与温度息息相关, 27℃为黑水虻孵化的最佳温度, 27℃~30℃时黑水虻孵化只需要 3 天, 温度过高容易引起黑水虻虫卵的高温死亡, 27℃以下时黑水虻孵化时间延长, 在 7℃以下黑水虻很难孵化。黑水虻幼虫期间所需要的温度为 20℃~30℃, 温度高于 30℃时黑水虻进食缓慢, 生长发育不良; 温度降至 15 度以下时黑水虻幼虫生长缓慢或者进入冬眠状态, 不利于黑水虻生长发育[16]。

#### 3.1.2. 湿度

黑水虻对于生长的适宜湿度为 75%~80%, 饲料的适宜湿度为 70%, 饲料湿度过低黑水虻幼虫进食不便, 影响发育, 如果低于 30%会造成黑水虻幼虫的死亡; 饲料湿度过高会影响黑水虻幼虫的进食, 效果不如湿度 70%的好[17]。

#### 3.1.3. 密度

黑水虻为一种喜营居生活的生物, 对于生长密度来说有着明显的影响, 过高或者过低都不利于黑水虻幼虫的成长发育; 密度过高时随着黑水虻长大, 明显出现了拥挤效应, 造成了一些黑水虻幼虫正常发育, 另一些黑水虻幼虫发育不良; 密度过低时不利于黑水虻的生长发育[18]。

#### 3.1.4. 孵化期和养殖期的饲料投喂

黑水虻从虫卵到孵化后的三天这段时间黑水虻对营养需求比较高, 需要用到麦麸加餐厨垃圾打成的浆进行喂养, 喂养 3 天后才能进行正交实验, 此时的黑水虻幼虫抗逆性较强, 可以用秸秆粉加餐厨垃圾打成的浆作为饲料供给黑水虻的生长发育。

### 3.1.5. 透气性

黑水虻幼虫尽管在水中吞没数天也不会死亡，但是好的透气性是必要的，如果透气性不良而周围温度过高时，黑水虻幼虫会发生集体逃亡的状况[19]。

### 3.2. 正交实验

正交实验结果见表 2。

**Table 2.** Orthogonal experiment results

**表 2.** 正交实验结果

编号	因素				产出率(%)
	A	B	C	D(空列)	
1	1	1	1	1	100.00
2	1	2	2	2	75.00
3	1	3	3	3	61.25
4	2	2	3	1	105.00
5	2	3	1	2	187.50
6	2	1	2	3	121.67
7	3	3	2	1	180.00
8	3	1	3	2	102.50
9	3	2	1	3	117.50
K1	236.25	324.17	405.00		
K2	414.17	297.50	376.67		
K3	400.00	428.75	268.75		T = 1050.42
$\bar{K}_1$	78.75	108.06	135.00		
$\bar{K}_2$	138.06	99.17	125.56		
$\bar{K}_3$	133.33	142.92	89.58		
R	59.31	43.75	45.42		

通过对正交实验数据简单计算，往往能找出更好的条件，在表 2 每一列的下面分别列出  $K_1$ 、 $\bar{K}$ 、 $K_2$ 、 $\bar{K}_2$ 、 $K_3$ 、 $\bar{K}_3$  以及 R，它们的计算方法如下：

第一列：

$$K_{1A} = 100.00 + 75.00 + 31.25 = 236.25$$

$$K_{2A} = 105.00 + 157.50 + 121.67 = 414.17$$

$$K_{3A} = 180.00 + 102.50 + 117.50 = 400.00$$

式中  $K_{1A}$ 、 $K_{2A}$ 、 $K_{3A}$  分别表示因素 A 取 1、2、3 水平的试验结果之和。为了比较因素

A 不同水平的好坏, 而引入  $\bar{K}$  值:

$$\bar{K}_{1A} = \frac{K_{1A}}{3} = 236.25/3 = 78.75$$

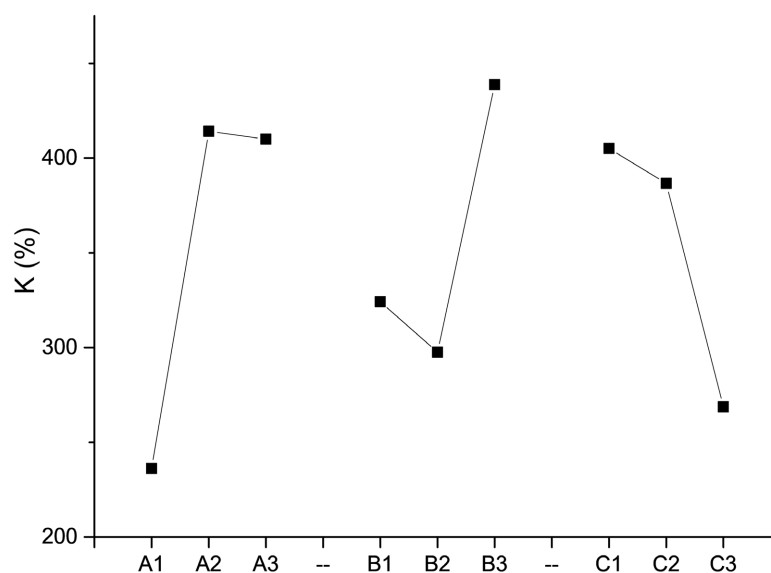
$$\bar{K}_{2A} = \frac{K_{2A}}{3} = 414.17/3 = 138.06$$

$$\bar{K}_{3A} = \frac{K_{3A}}{3} = 400/3 = 133.33$$

$$\text{极差 } R_A = R_{A_{\max}} - R_{A_{\min}} = 138.06 - 78.75 = 59.31$$

式中  $\bar{K}_{1A}$ 、 $\bar{K}_{2A}$ 、 $\bar{K}_{3A}$  分别表示因素 A 相应水平的平均产出率。

其余两列的  $K_2$ 、 $K_3$ 、 $\bar{K}_2$ 、 $\bar{K}_3$ 、极值  $R_B$  和  $R_C$  的计算方法与第 1 列的计算方法相同, 计算结果填入表 2。由极差  $R$  分析可以得出影响黑水虻生长发育的因素依次  $A \rightarrow C \rightarrow B$ , 即为餐厨垃圾重量、幼虫重量、秸秆粉重量, 得出的最佳因素  $A_2B_3C_1$ , 即为实验组第五组(餐厨垃圾 800 g、秸秆粉 400 g、幼虫 2 g), 因素直观分析见图 2。



**Figure 2.** The relationship between the weight of food waste (A), straw meal (B) and insect eggs (C) and the yield rate  
**图 2.** 餐厨垃圾(A)、秸秆粉(B)和虫卵(C)重量与产出率的关系

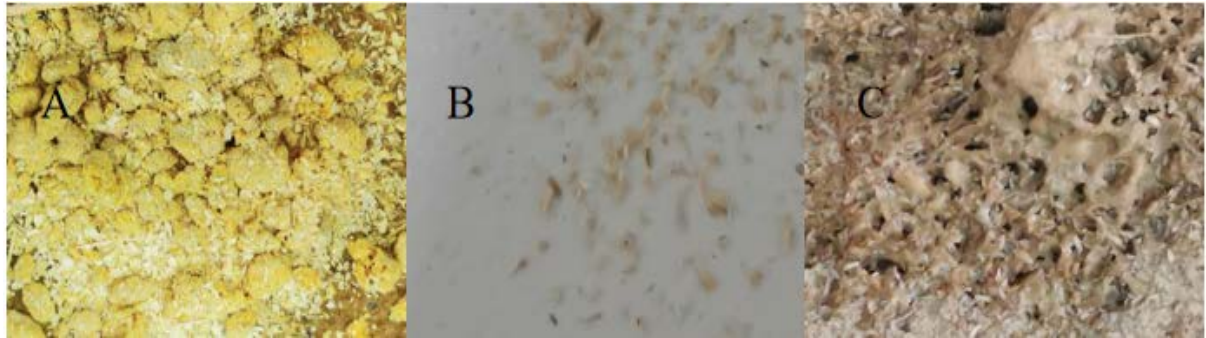
餐厨垃圾(A)是养殖黑水虻中重要的原料之一, 可以给黑水虻提供各种营养物质。如图 2 可以看出, 刚开始产出随着餐厨垃圾重量的增大而增多, 后来随着餐厨垃圾的增多反而减小, 因此餐厨垃圾的量不是越多越好, 餐厨垃圾过多反而会造成资源的浪费。因此, 餐厨垃圾选择 800 g 最佳。刚开始随着秸秆粉(B)投入量会减小产出, 但是投入量继续增大以后, 产出会越来越多, 并且秸秆粉的来源比较广, 容易获得, 所以秸秆粉的加入量为 400 g 最佳。随着初始黑水虻幼虫(C)重量的增加, 产出呈下降趋势, 并且黑水虻虫卵价格比较昂贵, 所以初始黑水虻幼虫重选 2 g 为最佳。

### 3.3. 黑水虻不同生长期

#### 3.3.1. 黑水虻从虫卵期到三日龄期

图 3 为黑水虻从虫卵到 3 日龄幼虫时期的图片, 从卵到 3 日龄经过了 6 天时间, 图 3(A)为黑水虻虫

卵，黑水虻虫卵成团聚集并由麦麸包裹，麦麸包裹不仅能提供给黑水虻虫卵一个相对稳定的温度和湿度，还能在黑水虻孵化后及时提供所需要的营养物质；图 3(B)为黑水虻刚孵化出来的时候，黑水虻刚孵化出来的时候非常的小，仅为 1~2 mm，此时提供给黑水虻的营养物质为餐厨垃圾和麦麸粉的混合，这样刚孵化出来的黑水虻幼虫才能比较好的生长；图 3(C)为用麦麸培养 3 日后的黑水虻，此时黑水虻幼虫体长约为 5 mm，并且这个时候的黑水虻抗逆性比较强，生长状态受温湿度变化影响不大，可以用秸秆粉和餐厨垃圾达成的浆混合作为饲料供给黑水虻生长发育，进行正交实验。



**Figure 3.** Black soldier fly from insect eggs (A), larvae (B) to the three-day-old stage (C)

**图 3.** 黑水虻从虫卵(A)、幼虫(B)到三日龄期(C)

### 3.3.2. 黑水虻 4 日龄期到预蛹期

图 4 为黑水虻从 4 日龄到预蛹期的图，从 4 日龄到预蛹期总共经过了 16 天。图 4(A)为黑水虻放入含有秸秆粉和餐厨垃圾作为饲料的培养容器内，此时黑水虻生长状况良好，体长约为 5 mm，对食物摄取量大，生长迅速；图 4(B)为从实验组将饲料稀释后露出的黑水虻幼虫图片，此时为用餐厨垃圾和秸秆粉混合作为饲料供给黑水虻生长的第 6 天，此时黑水虻体长约为 1 cm 左右，这个时候的黑水虻发育迅速，需要大量进食；图 4(C)为黑水虻养殖 22 天以后进入预蛹期的图片，此时黑水虻体长约为 2.3 cm 左右，全身由乳白色转化成黑褐色，此时的黑水虻不再进食，而是找一个阴暗的地方进行化蛹。黑水虻从虫卵到预蛹期所经历的时间为 22 天，期间经历 6 次蜕皮，从乳白色转变成黑褐色。



**Figure 4.** Black soldier fly from 4 days old (A), 10 days old (B) to pre-pupa stage (C)

**图 4.** 黑水虻从 4 日龄(A)、10 日龄(B)到预蛹期(C)

### 3.4. 黑水虻不同烘干结果

图 5 为黑水虻经过微波和热风干燥后的标本图片，左边为黑水虻经过微波干燥后的黑水虻标本，黑水虻通过微波进行灭活，微波对黑水虻内外部位同时作用，热量分布均匀，黑水虻杀灭速度更快，同时

微波能与细菌等微生物直接相互作用，在较低的温度和较短的时间内快速杀菌，能保留更多的营养成分不被破坏；黑水虻幼虫内部的水分吸收微波能，产生分子剧烈振动，获得动能，实现水分的汽化，进而带动黑水虻幼虫的整体膨化而形成疏松多孔、形态饱满的成品；右边为黑水虻经过热风干燥后的标本，黑水虻经过热风干燥，体内水分流失过多，而造成黑水虻通体变黑，并且热风干燥是由外往内，所以造成黑水虻蜷曲状。



Figure 5. Samples of Black soldier fly dried by microwave (A) and hot air (B)

图 5. 黑水虻经微波干燥(A)和热风干燥(B)的样品

### 3.5. 黑水虻成分检测

如表 3 所示为合肥保护盾生态农业科技有限公司在江苏安舜技术服务有限公司对黑水虻成分进行分析检测的结果。表 3 中黑水虻的成分分别为能量、蛋白质、脂肪、碳水化合物、钠，其中蛋白质和脂肪占主体；其成分分别为每一百克黑水虻含 806 kJ 能量、12.4 g 蛋白质、13.1 g 脂肪、6.5 g 碳水化合物、32 mg 钠。将黑水虻作为饲料进行投喂时，黑水虻体内的富含活性的蛋白质更容易被动物吸收，并且黑水虻富含脂肪，能更加有利于促进动物生长；动物经过取食黑水虻可以直接吸收其富含的抗菌肽和益生菌，增强抵抗力，并且能使其肉质更加的鲜美；黑水虻还能有效的提高禽类产蛋率，延长产蛋周期，提高母猪受孕率、产仔率及产崽存活率。

Table 3. Composition analysis table of *Hermetia illucens*

表 3. 黑水虻成分分析表

项目	每 100 g	营养参考值
能量	806 kJ	10%
蛋白质	12.4 g	21%
脂肪	13.1 g	22%
碳水化合物	6.5 g	2%
钠	32 mg	2%

## 4. 结论

本次正交实验主要探究的是在温度 23℃，湿度 70%恒定的条件下，如何选择餐厨垃圾、秸秆粉、初始幼虫重量达到最佳配比，从而获得较高的产出，通过实验可以得到以下几点结论：

1) 通过餐厨垃圾重量、秸秆粉重量、初始虫重得出了最佳的黑水虻产出的条件是餐厨垃圾重量：秸



秆粉重量: 初始虫重 = 800 g: 400 g: 2g, 得出的最佳黑水虻产出为 187.5%;

2) 三个变量因素由主到次为餐厨垃圾的重量、初始虫重和秸秆粉的重量, 并且餐厨垃圾的重量不是越多越好, 过多反而会降低黑水虻产出; 秸秆粉的重量对产出会随着秸秆粉投入的增加先减少再增多, 秸秆粉来源广且廉价, 所以秸秆粉的重量越多越好; 产出随着黑水虻初始虫重的增加而减少, 且黑水虻虫卵价值较高, 适宜用少重量的黑水虻;

3) 黑水虻的组成成分为能量、蛋白质、脂肪、碳水化合物、钠, 每 100 克黑水虻含有 806 kJ 能量、12.4 g 蛋白质、13.1 g 脂肪、6.5 g 碳水化合物、32 mg 钠, 其中主要营养物质为蛋白质和脂肪;

4) 黑水虻从虫卵到预蛹期所经历的时间为 22 天, 期间经历 6 次蜕皮, 从乳白色转变成黑褐色。

## 基金项目

本论文获得“互联网+”大学生创新创业大赛江西省三等奖和景德镇陶瓷大学大学生创新创业训练项目的资助。

## 参考文献

- [1] Liu, T., Kumar Awasthi, M., Kumar Awasthi, S., *et al.* (2020) Impact of the Addition of Black Soldier Fly Larvae on Humification and Speciation of Trace Elements during Manure Composting. *Industrial Crops & Products*, **154**, Article ID: 112657. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112657>
- [2] Sawangkeaw, R. and Ngamprasertsith, S. (2013) A Review of Lipid-Based Biomasses as Feedstocks for Biofuels Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **25**, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.007>
- [3] Case, S., Oelofse, M., Hou, Y., *et al.* (2017) Farmer Perceptions and Use of Organic Waste Products as Fertilisers—A Survey Study of Potential Benefits and Barriers. *Agricultural Systems*, **151**, 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.11.012>
- [4] Li, S.H., Zhu, D., Li, K.J., Yang, Y.N., Lei, Z.F. and Zhang, Z.Y. (2013) Soybean Curd Residue: Composition, Utilization, and Related Limiting Factors. *International Scholarly Research Notices*, **2013**, Article ID: 423590. <https://doi.org/10.1155/2013/423590>
- [5] Shuba, E.S. and Kifle, D. (2018) Microalgae to Biofuels: ‘Promising’ Alternative and Renewable Energy, Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **81**, 743-755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.042>
- [6] Wang, H., Rehman, K., Liu X., *et al.* (2017) Insect Biorefinery: A Green Approach for Conversion of Crop Residues into Biodiesel and Protein. *Biotechnology for Biofuels*, **10**, Article No. 304. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0986-7>
- [7] Nguyen, T., Tomberlin, J.K. and Vanlaerhoven S. (2015) Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology*, **44**, 406-410. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv002>
- [8] 杨慕童, 黎文兵, 江明锋. 不同含水量豆腐渣对黑水虻生长的影响[J]. 畜禽业, 2018, 29(11): 26-29.
- [9] 尹靖凯, 龚小燕, 孙丽娜, 韩梦琦, 杨渊, 徐晓燕, 王小波. 黑水虻对餐厨垃圾养分转化研究[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(6): 154-159.
- [10] 许静杨, 李妍, 白义川, 谷希树. 秸秆废弃物饲喂黑水虻幼虫初探[J]. 山西农业科学, 2020, 48(7): 1132-1134.
- [11] Wang, J.Y., Xing, S.Y., Huang, Y.Q., Fan, P., Fu, J.Y., Yang, G.X., *et al.* (2017) Highly Stable Gasified Straw Slag as a Novel Solid Base Catalyst for the Effective Synthesis of Biodiesel: Characteristics and Performance. *Applied Energy*, **190**, 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.004>
- [12] Smet, J.D., Vandeweyer, D., Vanmoll, L., *et al.* (2021) Dynamics of *Salmonella* Inoculated during Rearing of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*). *Food Research International*, **149**, Article ID: 110692. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110692>
- [13] 袁志能, 徐浪, 尤珂珂, 等. 进境小麦下脚料养殖黑水虻幼虫的饲料配比研究[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(2): 287-293.
- [14] James, S., Angela, D., Richard, S., *et al.* (2021) Supply Chain Optimization and Analysis of *Hermetia illucens* (Black Soldier Fly) Bioconversion of Surplus Foodstuffs. *Journal of Cleaner Production*, **321**, Article ID: 128711. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128711>
- [15] Zhaolu, Z., Kashif, U.R., Yong, Q.Y., *et al.* (2019) De novo Transcriptome Sequencing and Analysis Revealed the Molecular Basis of Rapid Fat Accumulation by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*, L.) for Development of Insectiv-al Biodiesel. *Biotechnology for Biofuels*, **12**, Article No. 194. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1531-7>

- [16] 陈海洪, 张磊, 张国生, 等. 黑水虻处理新鲜猪粪效果初探[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2018(4): 25-28.
- [17] 何钊, 赵敏, 孙龙, 等. 三种食物喂养的黑水虻幼虫营养测定与比较[J]. 生物资源, 2018, 40(3): 240-245.
- [18] 代发文, 葛远凯, 梁伟才, 等. 黑水虻处理餐厨垃圾浆料的生产性能及其幼虫生长发育规律研究[J]. 养猪, 2017(6): 73-75.
- [19] 张铭杰. 利用黑水虻处理农村易腐垃圾技术研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2019.