

引用格式:

杨健, 颜瑾, 王胜辉, 姚祥, 彭才望, 梁德宏, 戴良英, 王运生. 鸡粪定向选育黑水虻品系的研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(1): 69–73.

YANG J, YAN J, WANG S H, YAO X, PENG C W, LIANG D H, DAI L Y, WANG Y S. Study on directional breeding of black soldier fly strains specialized in chicken manure conversion[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(1): 69–73.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



鸡粪定向选育黑水虻品系的研究

杨健¹, 颜瑾², 王胜辉¹, 姚祥¹, 彭才望³, 梁德宏⁴, 戴良英¹, 王运生^{1*}

(1.湖南农业大学植物保护学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128;
3.湖南农业大学机电工程学院, 湖南 长沙 410128; 4.先进农业科技(广东)有限公司, 广东 广州 510440)

摘要: 连续进行了鸡粪定向选育黑水虻5个世代(F1至F5), 记录各世代的龄期历程, 测定各龄期幼虫的体质量, 并从中选取生长快、体型大的个体进行繁殖。结果表明: 经过鸡粪定向选育, 黑水虻的幼虫期缩短3.2 d, 终龄幼虫体质量显著增加了15 mg, 化蛹率上升11.5个百分点, 选育后黑水虻对鸡粪的减量率提高了3.5个百分点, 虫沙含水量降低了7.6个百分点。营养成分分析显示, 粗蛋白含量降低了1.74个百分点, 略有下降, 而粗脂肪含量增加了2.43个百分点, 干物质质量增加了5.25 mg。

关键词: 黑水虻; 鸡粪; 定向选育; 生长性能; 营养成分

中图分类号: Q969.44+7.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)01-0069-05

Study on directional breeding of black soldier fly strains specialized in chicken manure conversion

YANG Jian¹, YAN Jin², WANG Shenghui¹, YAO Xiang¹, PENG Caiwang³,
LIANG Dehong⁴, DAI Liangying¹, WANG Yunsheng^{1*}

(1.College of Plant Protection, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2.College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3.College of Engineering and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 4.Advanced Agricultural Technology (Guangdong) Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510440, China)

Abstract: A directed selection of black soldier fly(*Hermetia illucens*) using chicken manure over five consecutive generations(F1 to F5) was conducted. The developmental duration of each generation was recorded, and the body weight of larvae at each developmental stage was measured. Individuals with rapid growth and larger body size were selected for reproduction. The results indicated that after directed selection using chicken manure, the larval period of the black soldier fly was significantly shortened by 3.2 days, the body weight of final-instar larvae increased significantly by 15 mg, and the pupation rate rose by 11.5 percentage points. Moreover, the selected black soldier fly exhibited enhanced efficiency in chicken manure processing by 3.5 percentage points, and the moisture content of chicken manure was reduced by 7.6 percentage points. Nutritional composition analysis revealed that the crude protein content decreased slightly by 1.74 percentage points, while the crude fat content increased by 2.43 percentage points, and the dry matter content significantly increased by 5.25 mg.

Keywords: black soldier fly; chicken manure; directional breeding; growth performance; nutritional composition

对畜禽粪便的处理, 传统的做法是堆肥、沼气发酵再利用等, 处理周期较长, 占地面积较大。近年来,

收稿日期: 2024-07-29

修回日期: 2024-11-18

基金项目: 湖南省自然科学基金面上项目(2023JJ30310); 湖南省教育厅项目(22A0169)

作者简介: 杨健(2002—), 男, 湖南永州人, 硕士研究生, 主要从事资源昆虫研究, 3473119071@qq.com; *通信作者, 王运生, 博士, 教授, 主要从事资源昆虫研究, wangys@hunau.edu.cn

利用昆虫处理这类有机废弃物的技术引起了广泛关注^[1-2],其中,黑水虻(*Hermetia illucens*)因其强大的有机物降解能力和高蛋白含量而成为研究热点。

黑水虻能够有效取食厨余垃圾等有机固体废弃物,并将其转化为虫沙有机肥,这一过程不仅高效卫生,还能有效灭活大肠埃希菌 O157:H7、鼠伤寒沙门氏菌及金黄色葡萄球菌等病原菌^[3]。黑水虻不仅能快速降低畜禽粪便中的有害物质水平和气味排放水平,还能减少畜禽粪便的干物质^[4]。

黑水虻幼虫能够实现高湿物料鸡粪的减量化处理,并转化为有经济价值的虫体及虫粪。实验室条件下,对鸡粪的减量化率为 41%^[5]。处理过的虫沙(即饲养过黑水虻幼虫后的剩余鸡粪)符合 NY 525—2012《有机肥料标准》,可以作为商品有机肥料使用^[6-7]。鸡粪中虽然含有丰富的氮,但大部分为以尿酸形式存在,尿酸在微生物的作用下容易转变为氨气释放到空气中,从而导致氮损失^[8]。虽然在实验室中,黑水虻对鸡粪的转化率可达 15.87%^[5],但在实际生产中,黑水虻对鸡粪的转化率普遍偏低,转化率为 10%~13%,经济效益较差,如何提高鸡粪的黑水虻转化效率是关键。黑水虻对鸡粪的转化效率不仅与鸡粪的新鲜程度、温湿度、虫口密度等多种因素相关,更取决于黑水虻本身的遗传特性。

目前,黑水虻规模化养殖原料大部分为餐厨固废,市场上应用的黑水虻驯化品系对高油、高盐、高营养的餐厨垃圾适应性较好^[9]。而鸡粪与餐厨垃圾在营养成分、物化性质上相差较大,经黑水虻转化后均可作为动物的优质饲料原料^[10]。为了达成提高黑水虻对鸡粪转化率的目的,笔者通过定向选育,即以鲜鸡粪为单一饲料,记录各世代黑水虻幼虫的幼虫历期、预蛹期(六龄幼虫)体质量和预蛹后 7 d 内的化蛹率数据,并从每世代中筛选出其幼虫历期最短、预蛹期体质量最高和化蛹率较高的个体进行交配繁殖,其产生的卵块作为下一世代的种源卵,并以此类推逐代繁殖,从而培育出更适合处理鸡粪的黑水虻品系,提高其对鸡粪的处理效率和生物转化率,为饲料行业提供新的蛋白源。

1 材料与方法

1.1 材料

黑水虻最初来源为黑水虻武汉驯化品系,所购

虫卵孵化(F0代),经过以麦麸孵化、单一鸡粪饲养,使其完成幼虫期、蛹期、成虫期、卵的世代历程后,所产卵块为 F1 代种源卵。鸡粪采自养鸡场,含水量约 70%。

1.2 方法

黑水虻置于 33 cm × 20 cm × 12 cm 的塑料盒饲养。每世代选取生长最快、体型最大的个体作为亲本,共进行 5 个世代的选育,每世代设置 3 个重复。每盒添加初始鸡粪 200 g,平铺在养殖盒底部,接入 500 头 5 日龄黑水虻幼虫,第 5 天添加 100 g 鸡粪,第 7 天添加 200 g 鸡粪,每盒添加鸡粪总量为 500 g。置于人工气候培养箱中,饲养温度(28±1) °C,相对湿度(70±5)%,每天光照 14 h,黑暗 10 h。

1.2.1 黑水虻幼虫生长发育指标的测定

每 3 d 选取各组 50 条生长发育一致的黑水虻幼虫,测量 6 龄预蛹阶段幼虫体长,称量鲜质量。待 50% 的幼虫进入预蛹阶段时,记录幼虫的发育日龄。收获黑水虻幼虫后,分别统计各组活虫数并计算存活率、幼虫生长速率、化蛹率等指标。

1.2.2 黑水虻幼虫营养指标的测定

各组取 50 条 5 龄黑水虻幼虫用蒸馏水洗净,称重,60 °C 烘干至恒质量后再称重,计算含水量。将烘干后的幼虫磨碎,过单孔孔径为 0.850 mm 筛,4 °C 密封保存,用于测定营养指标。采用凯氏定氮法测定蛋白质含量,索氏提取法测定脂肪含量,干灰化法测定矿物质含量,恒温干燥法测定干物质含量,高效液相色谱法(HPLC)分析氨基酸组成。

1.2.3 黑水虻对鸡粪处理效果的测定

黑水虻处理鸡粪的效果用鸡粪减量率和虫沙含水量来评定。鸡粪减量率=(处理前鸡粪质量-处理后虫沙质量)/处理前鸡粪质量×100%;虫沙含水量=(新鲜虫沙质量-110 °C 烘干 48 h 后虫沙质量)/新鲜虫沙质量×100%。

1.3 数据分析

运用 SPSS 22.0 软件统计分析试验数据,采用单因素方差分析和 Duncan 多重比较检验显著性。

2 结果与分析

2.1 不同世代黑水虻的生长表现

各代黑水虻 6 龄幼虫的平均生长发育历期、体长、鲜质量、成活率和预蛹后 7 d 内化蛹率列于表 1。

表 1 各世代黑水虻 6 龄幼虫的生长指标

世代	幼虫期/d	体长/mm	鲜质量/g	成活率/%	化蛹率/%
F0	(18.5±0.8)a	(11.60±0.29)d	(0.098±0.02)b	98.00±3.46	(85.3±2.1)a
F1	(17.8±0.7)ab	(12.90±0.35)c	(0.101±0.02)ab	97.67±3.13	(87.6±2.3)ab
F2	(17.2±0.6)bc	(13.43±0.42)c	(0.103±0.03)ab	98.56±3.23	(89.9±2.5)bc
F3	(16.5±0.5)cd	(14.15±0.48)b	(0.112±0.03)a	98.67±2.58	(92.2±2.7)cd
F4	(15.9±0.4)d	(15.09±0.54)a	(0.111±0.04)a	98.33±2.61	(94.5±2.9)de
F5	(15.3±0.3)e	(15.23±0.61)a	(0.113±0.04)a	98.22±2.39	(96.8±3.1)e

同列不同字母表示世代间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

结果表明,经过选育,第 5 世代幼虫期为 15.3 d,比 F0 代缩短 3.2 d,体长增加 3.63 mm,鲜质量增加 15 mg,化蛹率提高 11.5 个百分点。在黑水虻选育过程中,成活率保持稳定,各世代间无显著差异,均维持在 97.67%至 98.67%之间的较高水平,说明

通过定向选育,黑水虻的生长加快,体型增大,化蛹率提高,同时保持了较高的成活率。

2.2 不同世代黑水虻幼虫的营养成分

不同世代黑水虻的营养成分含量列于表 2。

表 2 各世代黑水虻幼虫的营养成分

世代	粗蛋白含量/%	粗脂肪含量/%	粗灰分含量/%	干物质质量/mg
F0	(39.86±1.25)a	(22.20±0.85)e	(28.97±0.58)a	(32.49±0.46)d
F1	(39.58±0.76)ab	(23.45±0.92)de	(27.52±0.61)b	(34.61±0.56)bc
F2	(39.24±0.88)bc	(23.73±0.88)cd	(25.03±0.75)c	(35.55±0.85)bc
F3	(38.88±0.95)cd	(24.00±0.95)bc	(23.20±0.83)d	(36.89±0.49)ab
F4	(38.48±1.09)de	(24.31±1.02)ab	(23.61±0.96)d	(36.12±0.62)ab
F5	(38.12±1.17)e	(24.63±1.06)a	(21.73±1.07)e	(37.74±1.17)a

同列不同字母表示世代间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

结果表明,F5 代粗蛋白含量比 F0 代下降了 1.74 个百分点,粗脂肪含量上升了 2.43 个百分点,粗灰分含量降低了 7.24 个百分点,而干物质质量则增加了 5.25 mg。这些变化表明,通过定向选育,黑水虻的营养成分发生了重构,尤其是脂肪含量和干物质

质量的提高可能增加了其作为饲料原料的价值,但同时也需要关注蛋白质含量的下降趋势。

黑水虻各世代 6 龄幼虫的必需氨基酸含量列于表 3。

表 3 各世代黑水虻 6 龄幼虫的必需氨基酸含量

世代	质量分数/%								
	赖氨酸	蛋氨酸	苏氨酸	色氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	缬氨酸	苯丙氨酸	组氨酸
F0	2.21±0.15	0.83±0.08	1.43±0.11	0.53±0.05	1.51±0.12	2.61±0.18	2.23±0.16	1.65±0.13	1.16±0.09
F1	2.23±0.14	0.85±0.07	1.45±0.10	0.54±0.04	1.53±0.11	2.63±0.17	2.25±0.15	1.67±0.12	1.18±0.08
F2	2.20±0.16	0.84±0.09	1.44±0.12	0.52±0.06	1.50±0.13	2.60±0.19	2.22±0.17	1.64±0.14	1.15±0.10
F3	2.22±0.13	0.82±0.08	1.46±0.09	0.55±0.05	1.52±0.10	2.62±0.16	2.24±0.14	1.66±0.11	1.17±0.07
F4	2.24±0.17	0.86±0.06	1.42±0.13	0.53±0.07	1.54±0.14	2.64±0.20	2.26±0.18	1.68±0.15	1.19±0.11
F5	2.21±0.15	0.85±0.07	1.45±0.11	0.54±0.05	1.51±0.12	2.61±0.18	2.23±0.16	1.65±0.13	1.16±0.09

结果表明,各世代 6 龄幼虫必需氨基酸的含量保持相对稳定,赖氨酸、亮氨酸和缬氨酸的含量相对较高,而蛋氨酸和色氨酸的含量相对较低。这些结果说明,尽管通过多世代选育改善了黑水虻的某

些生长性能,但其必需氨基酸组成仍保持稳定,这种稳定性对于评估和利用黑水虻作为可持续蛋白质源具有重要意义。

2.3 不同世代黑水虻对鸡粪的处理效果

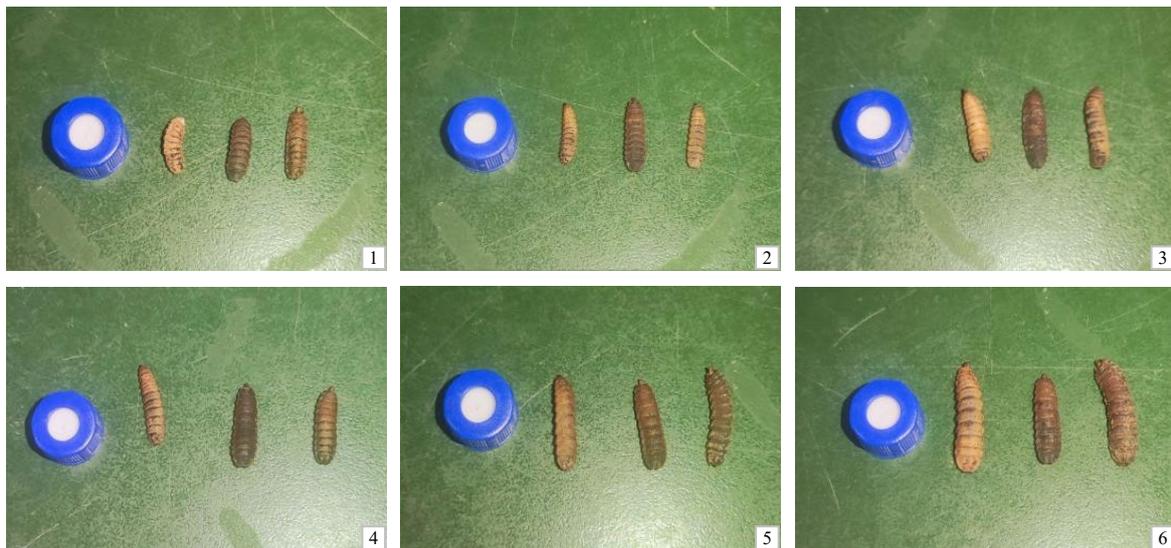
为了探究鸡粪定向选育对黑水虻对鸡粪处理效果的影响,将各世代对鸡粪饲料处理前后的质量和含水量所测数据列于表4。

表4 各世代黑水虻幼虫处理鸡粪的减量率和虫沙含水量

Table 4 Chicken manure decrease rate and moisture content of insect sand under treatment black soldier fly from different generations

世代	鸡粪减量率/%	虫沙含水量/%
F0	(40.3±2.1)c	(48.2±1.5)a
F1	(40.1±2.3)c	(47.5±1.7)a
F2	(41.1±2.5)bc	(46.8±2.9)a
F3	(42.6±2.7)ab	(43.3±2.1)b
F4	(43.2±2.9)a	(42.9±2.3)bc
F5	(43.8±3.1)a	(40.6±2.5)c

同列不同字母表示世代间的差异有统计学意义($P<0.05$)。



1 F0代; 2 F1代; 3 F2代; 4 F3代; 5 F4代; 6 F5代。

图1 各世代黑水虻幼虫和蛹的外观形态

Fig. 1 Morphological appearance of black soldier fly larvae and pupae across different generations

对比表明, F5代相较于F0代, 虫体大小、质量得到了显著提升, 说明黑水虻的定向选育可行, 这将对黑水虻的生产提供更高的市场价值。

3 结论与讨论

通过连续5个世代的定向选育, 黑水虻的幼虫期历期、体质量、化蛹率等生长性能均得到明显改善。历期定向选育成功缩短了昆虫的发育周期^[11-12], 从而可以快速选育出目标性状的昆虫品系。

营养成分分析显示, 选育过程中, 黑水虻虫体

结果表明, 经过5个世代的定向选育, 黑水虻对鸡粪的转化效率显著提高。随着世代增加, 鸡粪减量率呈升高趋势, 鸡粪减量率与含水量呈负相关。随着世代增加, 处理后的鸡粪含水量降低。鸡粪减量率增加了3.5个百分点。另一方面, 处理后的鸡粪含水量降低了7.6个百分点。

2.4 不同世代黑水虻的外观形态及发育期

经过5个世代的选育, 得到了发育更快且幼虫体质量更大的F5代黑水虻。随机选取各世代幼虫、蛹(图1), 每张图片从左至右依次为参照物(11.31 mm)、5龄幼虫、蛹、6龄(预蛹期)幼虫。

粗脂肪、干物质质量显著提高。这种变化趋势与OONINCX等^[13]的研究结果相似, 他们发现不同饲料来源可能导致昆虫虫体组成的变化。而总体蛋白质含量略有下降, 但必需氨基酸的组成在几个世代中保持相对稳定, 这种氨基酸组成的稳定性与SPRANGHERS等^[14]的研究结果一致, 他们发现不同饲养条件下黑水虻的氨基酸谱相对稳定。这些变化可能是选育过程中代谢重构的结果, 反映了黑水虻对选育压力的适应。

本研究仍存在一些局限性, 需要加以改进。

第一, 5 个世代的选育, 在选育时间尺度上相对较短。长期的选育效应可能会在更多世代后才显现, 因此未来的研究应考虑延长选育周期, 以观察潜在的长期变化趋势。

第二, 连续 5 个世代的定向选育, 在控制环境条件下进行的, 可能无法完全反映实际生产条件下的情况。在不同的环境压力和饲养条件下, 选育品系的表现可能会有所不同。

第三, 选育的黑水虻是在武汉驯化品系的基础上进行定向选育得到的, 为提高其遗传多样性, 今后可考虑从野外黑水虻种群中定向选育转化鸡粪的黑水虻品系。

参考文献:

- [1] LI Q, ZHENG L Y, QIU N, et al. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly(Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production[J]. Waste Management, 2011, 31(6): 1316–1320.
- [2] ČIČKOVÁ H, NEWTON G, L, LACY R, C, et al. The use of fly larvae for organic waste treatment[J]. Waste Management, 2015, 35: 68–80.
- [3] 姜慧敏, 王文霞, 任苗苗, 等. 黑水虻转化厨余垃圾过程中病原菌灭活规律的研究与综合评价[J]. 环境科学学报, 2020, 40(3): 1011–1022.
- [4] 陆丽珠, 邓盾, 马平, 等. 黑水虻堆肥促畜禽粪便分解的研究进展[J]. 广东农业科学, 2020, 47(8): 110–117.
- [5] 张晓林, 贺永惠, 段永改. 基于黑水虻养殖的鸡粪资源化技术初探[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(1): 155–158.
- [6] 蔡影峰, 牛世华, 刘朔, 等. 黑水虻幼虫处理鸡粪后虫体营养及虫沙评价[J]. 农业环境科学学报, 2021, 40(9): 2006–2013.
- [7] 郭会茹, 王清华, 刘奇凡, 等. 黑水虻幼虫处理鸡粪后虫体饲料和鸡粪肥料的评价[J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(8): 213–217.
- [8] 闫荣荣. 鸡粪堆肥过程中的氮素转化及损失控制[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2016, 32(3): 44–47.
- [9] 李峰, 张文蕾, 郝小雨, 等. 利用黑水虻处理餐厨垃圾和豆腐渣及幼虫营养价值分析[J]. 河南水产, 2020(1): 21–25.
- [10] BARRAGAN-FONSECA K B, DICKE M, VAN LOON J J A. Nutritional value of the black soldier fly(*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed: a review[J]. Journal of Insects as Food and Feed, 2017, 3(2): 105–120.
- [11] PRATISSOLI D, DAMASCENA A P, PIFFER A B P M, et al. Biology of *Spodoptera eridania*(Cramer, 1792) (Lepidoptera: Noctuidae) at different temperatures and diet sources[J]. Revista de Gestão Social e Ambiental, 2024, 18(1): e06382.
- [12] STARCZAK, M, GAWRONSKI M, WASILOW A, et al. Dynamic changes in genomic 5-hydroxymethyluracil and N6-methyladenine levels in the *Drosophila melanogaster* life cycle and in response to different temperature conditions[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 17552.
- [13] OONINCX D G A B, VAN BROEKHOVEN S, VAN HUIS A, et al. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products[J]. PLoS One, 2015, 10(12): e0144601.
- [14] SPRANGHERS T, OTTOBONI M, KLOOTWIJK C, et al. Nutritional composition of black soldier fly(*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(8): 2594–2600.

责任编辑: 罗慧敏

英文编辑: 罗维