



字晓, 和培铎, 杨献清, 段艳涛, 倪喜云, 王敦, 单麟茜, 张顺仁. 不同饲养密度对亮斑扁角水虻幼虫生长发育及新鲜牛粪转化率的影响[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 282–286.

不同饲养密度对亮斑扁角水虻幼虫生长发育及新鲜牛粪转化率的影响

字 晓^{1,2}, 和培铎², 刘 龙¹, 杨献清², 段艳涛², 倪喜云²,
王 敦^{1*}, 单麟茜², 张顺仁²

(1. 西北农林科技大学昆虫学研究所, 陕西杨凌 712100; 2. 大理白族自治州农业科学推广研究院, 云南大理 671005)

摘要: 为了解决养牛业中粪便污染问题, 本研究利用亮斑扁角水虻(黑水虻)来转化利用牛粪, 探讨了饲养密度对新鲜牛粪的转化效率。本试验以亮斑扁角水虻为研究对象, 选择设置每 20.0 kg 牛粪投入 3 500 头、8 750 头、17 500 头 4 日龄幼虫 3 个处理密度, 在每个密度日均 1.0 kg 等量饲喂条件下, 分析亮斑扁角水虻幼虫百虫重、粗蛋白、粗脂肪、牛粪转化率指标的差异, 探索一种适于亮斑扁角水虻幼虫处理新鲜牛粪的饲养密度。结果表明: 百虫重、粗蛋白、粗脂肪 3 个指标在 3 组处理之间都存在极显著差异。百虫重和粗脂肪两个指标和试验组密度情况在 0.01 的水平上显著负相关, 但 3 个处理中转化率最高的为 8 750 头的饲养密度。综合评价认为亮斑扁角水虻 4 日龄幼虫 8 750 头/20.0 kg 牛粪的投入量为实验范围内最佳饲养密度。

关键词: 亮斑扁角水虻; 新鲜牛粪; 饲养密度; 转化率

中图分类号: Q969.97; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 02-0282-05

The effect of different rearing density of *Hermetia illucens* on its development and conversion rate of fresh cow manure

ZI Xiao^{1,2}, HE Pei-Cheng², LIU Long¹, YANG Xian-Qing², DUAN Yan-Tao², NI Xi-Yun², WANG Dun^{1*}, SHAN Lin-Qian², ZHANG Shun-Ren² (1. Institute of Entomology, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Dali Academy of Agricultural Sciences, Dali 671005, Yunnan Province, China)

Abstract: Concerning the cow manure pollution in cattle industry, the rearing density of black soldier fly (BSF), *Hermetia illucens* was studied to convert the fresh cow manure. The four-day-old larvae of BSF were used as feeding assay insects. Totally three densities: 3 500, 8 750 and 17 500 larvae per 20.0 kg fresh cow manure of BSF larvae were fed with the fresh cow manure under the same condition. After 20 days of feeding with 1.0 kg fresh cow manure per treatment, the 100-larval weight, crude protein, crude fat and cow manure conversion rate were analyzed, and a suitable feeding density for larvae of BSF was explored. The results showed that there were significant differences among the three treatments in the weight of 100-larval weight, crude protein and crude fat. There was a significant negative correlation between the weight of 100 worms and the density of crude fat in the experimental group at the level of

基金项目: 杨凌国家级农业高新技术产业示范区科技创新项目 (2017CXY-12); 陕西省科技创新产业链项目 (2014KTCL02-14)

作者简介: 字晓, 女, 1987 年生, 本科, 农艺师, 主要研究方向为农业环保, E-mail: 651552504@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 王敦, 博士, 教授, 主要研究方向为昆虫分子生物学、资源昆虫等, E-mail: dunwang@foxmail.com; wanghande@nau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-03-26; 接受日期 Accepted: 2019-11-25

0.01 , however , the highest conversion rate of the three treatments was a density of 8 750 larvae. In conclusion , the best rearing density of four-day-old BSF larvae was 8 750 larvae/20.0 kg fresh cow manure in this study.

Key words: *Hermetia illucens*; fresh cow manure; rearing density; conversion rate

亮斑扁角水虻 *Hermetia illucens* L. 又叫黑水虻 (black soldier fly), 属双翅目 Diptera 水虻科 Stratiomyidae 昆虫。之前国外的研究发现, 黑水虻幼虫取食猪粪便具有较高的转化效率, 处理后粪便干物质所含的各种营养元素如氮、磷等得到不同程度的减少, 同时消除了粪便的臭味, 极大的减少了粪便对环境的不利影响 (Diener *et al.* , 2009; 李志刚等, 2011; Cicková *et al.* , 2012; 刘良等, 2017; Gold *et al.* , 2018)。国内对利用亮斑扁角水虻转化废弃物的研究起步较迟, 也多集中在对猪粪、鸡粪的转化利用上 (安新城等, 2010; 刘韶娜等, 2016; 刘良等, 2017; 于怀龙等, 2018), 针对养牛业废物利用转化的研究报道相对较少 (陈兆强等, 2018)。对于亮斑扁角水虻的人工养殖技术研究较多, 如食料含水率、非取食性物质影响等 (喻国辉等, 2014; 姬越等, 2018), 但尚无相关饲养密度与牛粪转化效率方面的研究报道。

大理地区是传统的奶牛养殖地区, 也是奶牛粪便污染的重点防控区, 随着洱海保护治理压力的不断加大, 流域内奶牛养殖废弃物综合治理已迫在眉睫。本研究以亮斑扁角水虻为研究对象, 选择4日龄幼虫设置3个处理密度, 通过分析等量饲喂条件下, 不同饲养密度亮斑扁角水虻幼虫百虫重、粗蛋白、粗脂肪、水分、牛粪转化率指标的差异, 旨在探索一种适于亮斑扁角水虻幼虫处理新鲜牛粪的饲养密度, 为畜牧养殖废弃物资源化利用提供一种新型、可循环的环保处理方式。

1 材料与方法

1.1 试验条件及材料

1.1.1 黑水虻幼虫

亮斑扁角水虻幼虫, 由畜禽粪便资源化利用产业技术体系——大理试验站繁育并提供适龄幼虫。

1.1.2 试验设施

种虫室1间 (面积 20 m²), 转化室1间 (面积 60 m²), 转化池 (转化池规格: 200 cm × 180 cm ×

22 cm) 及试验用转化小池 (50 cm × 70 cm × 22 cm) 若干。种虫室控制室内条件为: 温度在 38 ± 2℃, 湿度为 82% ± 3%; 转化室控制室内条件为: 温度为 27 ± 3℃, 相对湿度为 82% ± 3%。

1.1.3 材料及工具

新鲜奶牛粪 (购自大理市喜洲镇农户); 自制集卵器若干 (集卵器由长宽厚度相等的长方形木板叠加7块组成, 每块木板规格为: 20 cm × 5 cm × 1 cm); 自制孵化盘若干 (自制孵化盘规格: 40 cm × 30 cm × 5 cm, 盘内放置饲料, 盘上用纱网覆盖固定, 卵块放置在纱网上放入恒温箱孵化); 幼虫培育塑料盒; 以及刮刀、刷子、铲子等工具若干。

1.2 试验设计

试验密度设置3个处理, A组使用孵化的4日龄幼虫3500头; B组使用孵化的4日龄幼虫8750头; C组使用孵化的4日龄幼虫17500头。每个处理3次重复。在温度为27 ± 3℃, 湿度为82% ± 3%的均一条件下, 每天喂养黑水虻新鲜牛粪1.0 kg (同一转化室室温基本一致, 同一批新鲜牛粪水分含量基本一致), 各处理加样频率一致。处理方式如表1。

表1 试验处理设计
Table 1 Bioassay design

处理编号 Treatment No.	4日龄幼虫 使用量 (头) Density of four-day-old larvae	每日牛粪 投喂量 (kg) Feeding amount of cow manure daily
A1	3 500	1
A2	3 500	1
A3	3 500	1
B1	8 750	1
B2	8 750	1
B3	8 750	1
C1	17 500	1
C2	17 500	1
C3	17 500	1

1.3 试验管理与样品测定

根据试验设计, 收集同日产的亮斑扁角水虻卵一批用于试验, 进行单独孵化。虫卵置于孵化盘的孵化网上, 孵化盘内有含水率 70% 的纯饲料 (豆粕、玉米粉、米糠混合饲料, 使用比例为 1:2:3), 放置于恒温培养箱中, 于 30℃ 的条件下培养 3~4 d。

将孵化出的 4 日龄幼虫按上述 3 个密度分 A、B、C 组。将分好的幼虫接入试验转化小池, 做好试验组编号, 在同等温湿度下, 每天喂养亮斑扁角水虻新鲜牛粪 1 kg, 并测定新鲜牛粪含水率。使用牛粪喂养 20 d (试验时间为夏季, 幼虫期一般在 20 d 左右), 在第 21 天筛分虫粪, 分离的幼虫用毛刷刷去虫体粘附的粪便, 随机选取 100 头幼虫, 称量记录百虫重; 并对残料重量称重记录, 并取样进行检测, 检测项目为残料水分。再随机挑出的幼虫 200 头, 称重后 50 头用于测定水分含量, 150 头立即烫死后 60℃ 烘干 (双五金 101A-3E 干燥箱, 上海实验仪器厂), 用于后续测定虫体粗蛋白、虫体粗脂肪。干燥样品送云南省分析测试中心进行测定, 粗蛋白用凯氏定氮仪测定, 粗脂肪利用索氏抽提器提取测定, 依据标准《食品安全国

家标准 食品中蛋白质的测定》(GB5009.5-2016)。

1.4 数据处理

转化率 (%) = (投喂牛粪总干重(kg) - 残料总干重(kg)) / 投喂牛粪总干重(g) × 100。

其中添加料干重减去剩余料干重则为消耗料干重, 根据新鲜牛粪含水率和残料含水率计算干重, 计算可得转化率。

实验数据由 EXCEL 2007 和 SPSS 21.0 软件进行统计处理。

2 结果和分析

2.1 不同饲养密度对亮斑扁角水虻生长发育的影响

2.1.1 不同饲养密度对亮斑扁角水虻百虫重的影响

在 20 日龄时, 百虫重指标 A 组 (12.77 g) 最高, B 组 (10.47 g) 次之, C 组 (7.83 g) 最低, 3 个处理之间差异极显著。由表 3 的相关性分析可知, 百虫重和亮斑扁角水虻饲养密度极显著负相关。表明, 虫群密度越大, 百虫重越小 (表 2)。

表 2 不同饲养密度下黑水虻百虫重显著性分析

Table 2 Analysis of 100-larvae weight of *Hermetia illucens* under different rearing densities

处理 Treatment	均值 (g) Average	标准误 SE	95% 置信区间 Confidence interval at 95%	
			下限 Lower	上限 Upper
A	12.767 ^{Aa}	0.318	11.399	14.135
B	10.467 ^{Bb}	0.176	9.708	11.226
C	7.833 ^{Bb}	0.291	6.583	9.084

注: A、B、C 表示饲养密度分别为 3500 头/kg、8750 头/kg、17500 头/kg (4 龄幼虫数量/20.0 kg 牛粪)。同一列字母相同为差异不显著 ($P > 0.05$), 小写字母不同为差异显著 ($P < 0.05$), 大写字母不同为差异极显著 ($P < 0.01$); 下同不再注释。Note: A, B, C mean the rearing densities were 3 500 larvae / kg, 8 750 larvae / kg and 17 500 larvae / kg (4-day-old larvae / 20.0 kg cow manure). The same letter means no significant difference; the different lowercase letters mean significant differences at 0.05 and the different uppercase letters mean significant differences at 0.01. The same meaning was indicated in the following tables.

2.1.2 不同饲养密度对亮斑扁角水虻虫体营养指标的影响

在 20 日龄时, 粗蛋白指标 A 组 (54.87 g) 最高, C 组 (51.4 g) 次之, B 组 (47.3 g) 最低, 3 个处理之间差异极显著。粗脂肪指标 A 组 (22.87 g) 最高, B 组 (18.20 g) 次之, C 组

(10.37 g) 最低, 3 个处理之间差异极显著。但相关性分析发现, 粗蛋白和黑水虻饲养密度相关性不显著; 而粗脂肪和亮斑扁角水虻饲养密度极显著负相关。表明, 虫群密度越大, 粗脂肪含量越低 (表 3)。

表 3 不同饲喂密度下亮斑扁角水虻粗蛋白和粗脂肪分析

Table 3 Analysis of crude protein and crude fat of *Hermetia illucens* under different rearing densities

成分 Component	处理 Treatment	均值 (%) Average	标准误 SE	95% 置信区间 Confidence interval at 95%	
				下限 Lower	上限 Upper
粗蛋白 Crude protein	A	54. 867 ^{Aa}	0. 470	52. 844	56. 890
	B	47. 300 ^{Bb}	0. 208	46. 404	48. 196
	C	51. 400 ^{Bb}	0. 700	48. 388	54. 412
粗脂肪 Crude fat	A	22. 867 ^{Aa}	0. 186	22. 068	23. 665
	B	18. 200 ^{Bb}	0. 252	17. 117	19. 283
	C	10. 367 ^{Bb}	0. 067	10. 080	10. 654

2.2 不同饲养密度下亮斑扁角水虻对牛粪的转化率分析

计算数据均折算成干物质进行计量, 转化率是根据消耗料的干物质与投喂量的干物质比值得出, 这个计算方法忽略虫体排泄物对试验物料带

入的额外影响。从表 4 中可以看出, 在 20 日龄时, 转化率最高为 B 组 (48. 66%), C 组 (42. 33%) 次之, A 组 (35. 11%) 最低。结果表明, B 组的密度是一个较适合本试验鲜牛粪用量的转化密度。

表 4 亮斑扁角水虻对牛粪的转化率分析

Table 4 The conversion rate of cow manure by *Hermetia illucens*

处理 Treatment	残料总重 (kg) Residual feed	残料水分 (%) Water content of residual feed	转化率 (%) Conversion rate
A	8. 932 ± 0. 24	72. 172 ± 0. 73	35. 107 ± 0. 56
B	6. 901 ± 0. 62	71. 939 ± 1. 88	48. 663 ± 1. 87
C	8. 024 ± 0. 13	73. 104 ± 0. 26	42. 326 ± 1. 11

注: 鲜牛粪水分均以检测得到 81. 3% 计算, 投入总量为 20. 0 kg。Note: The water content of fresh manure was calculated by a ratio of 81. 3% as pre-tested value and the total cow manure for feeding was 20. 0 kg.

3 结论与讨论

3.1 结论

在每日投喂量为 1 kg、投喂 20 d 的条件下, B 组的转化率最高, 其次是 C 组, A 组转化率最低。C 组转化率小于 B 组, 说明并非密度越大转化率越高, 超过一定范围将会影响亮斑扁角水虻幼虫的生活环境, 从而降低转化率; 而 C 组转化率大于 A 组, 可以看出即使生活环境受到影响, 高密度虫群仍能转化较多牛粪。因此认为: B 组密度较符合亮斑扁角水虻转化牛粪的密度条件, 此时亮斑扁角水虻既能够摄取足够生长的养分, 又能够较完全的转化处理牛粪。

3.2 讨论

本研究使用新鲜牛粪饲养亮斑扁角水虻幼虫

进行试验, 试验中虫体粗蛋白含量检测得到 47. 3% ~ 54. 9% , 与安新城和吕欣 (2007) 研究的黑水虻幼虫 “黑水虻预蛹的干物质当中, 粗蛋白含量约为 42. 1% ” 基本一致; 粗脂肪含量为 10. 4% ~ 22. 9% , 与 Liu 等 (2018) 研究结果类似。说明在适宜的喂养密度下, 亮斑扁角水虻也能够较好的吸收利用牛粪的营养物质, 转化为自身营养。因此, 新鲜牛粪饲喂的亮斑扁角水虻幼虫, 也能够很好地替代传统的蛋白源和脂肪源添加剂, 成为豆粕和鱼粉等传统蛋白质饲料的替代品 (Secci *et al.* , 2018; Zhou *et al.* , 2018) 。

分析 3 组处理的虫体营养指标可知, A 组中亮斑扁角水虻幼虫的各项营养指标 (百虫重、粗蛋白、粗脂肪) 高于 B、C 组, B 组在百虫重、粗脂肪两个指标上高于 C 组。由此可以认为, 虫群密度较低的时候, 幼虫能获得的营养物质较高。这

与前人研究结果类似 (Diener *et al.*, 2009; Gold *et al.*, 2018), 过高的密度并不适于亮斑扁角水虻对废弃物的利用效率。当然, 亮斑扁角水虻的发育速率也会影响到其对有机物的转化效率 (徐齐云等, 2014), 虫群密度的大小是否通过影响到亮斑扁角水虻的发育速率而导致其对牛粪转化率的影响, 尚待进一步深入研究。

亮斑扁角水虻处理农业废弃物是目前普遍认为较好的一种生物 (胡俊茹等, 2017), 特别是亮斑扁角水虻幼虫也可以作为优质的动物饲料蛋白原料 (宋宇琨等, 2019), 利用亮斑扁角水虻转化畜禽业养殖废弃物不仅可以消除大量的污染物, 也能够降低产生高附加值的产品, 间接降低畜禽业成本。尽管亮斑扁角水虻在很多情况下是用来处理餐厨垃圾和废弃物, 但餐厨垃圾中的调料、盐等物质对亮斑扁角水虻的生长会产生不利影响 (姬越等, 2018), 而动物粪便则不存在这些问题。因此, 相比处理餐厨垃圾废物, 对于动物粪便的处理可能会更具前景。

参考文献 (References)

- An XC, Li J, Lv X. Development of manure management system with *Hermetia illucens* [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33 (3): 113–116. [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]
- An XC, Lv X. The biology and nutritional value of black soldier fly [J]. *Animals Breeding and Feed*, 2007, 11: 67–68. [安新城, 吕欣. 黑水虻的生物学特性及营养价值 [J]. 养殖与饲料, 2007, 11: 67–68]
- Chen ZQ, Miu F, Sun Z, *et al.* Research on the growth law of blackwater fly larvae in the mixed medium of cow dung and bran with different proportions [J]. *Tropical Agricultural Engineering*, 2018, 42 (2): 7–10. [陈兆强, 缪菲, 孙铮, 等. 黑水虻幼虫在不同比例牛粪与麸皮混合基质中生长规律的研究 [J]. 热带农业工程, 2018, 42 (2): 7–10]
- Cicková H, Kozánek M, Morávek I, *et al.* A behavioral method for separation of house fly (Diptera: Muscidae) larvae from processed pig manure [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2012, 105 (1): 62–66.
- Diener S, Zurbügg C, Tockner K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates [J]. *Waste Management & Research*, 2009, 27 (6): 603–610.
- Gold M, Tomberlin JK, Diener S, *et al.* Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review [J]. *Waste Management*, 2018, 82: 302–318.
- Hu JR, He F, Mo WY, *et al.* Analysis of feeding value of black soldier fly *Hermetia illucens* larvae feeding with different organic wastes [J]. *China Feed*, 2017, 15: 24–27. [胡俊茹, 何飞, 莫文艳, 等. 采食不同有机废弃物黑水虻幼虫饲料价值分析 [J]. 中国饲料, 2017, 15: 24–27]
- Ji Y, Ren DZ, Ye MQ, *et al.* Tolerance of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) to pH value, pungency, and NaCl in foodstuffs [J]. *China J. Appl. Environ. Biol.*, 2018, 24 (3): 636–639. [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]
- Li Z, Tan LH, Lai JX, Long YZ, *et al.* Application prospects of the tropical agricultural waste biotransformation using black soldier fly [J]. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2011, 2 (3): 287–290. [李志刚, 谭乐和, 赖剑雄, 等. 利用黑水虻生物转化热带农业废弃物的应用前景 [J]. 热带生物学报, 2011, 2 (3): 287–290]
- Liu L, Gong MT. Analysis on the potential of black soldier fly to control solid waste from pig farm [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53 (8): 105–108. [刘良, 鞠美庭. 黑水虻治理猪场生物固体废弃物的潜力分析 [J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53 (8): 105–108]
- Liu SN, Zhao ZY. Development of animal manure treatment by black soldier fly [J]. *Swine Production*, 2016, 2: 81–83. [刘韶娜, 赵智勇. 黑水虻对畜禽废弃物治理的研究进展 [J]. 养猪, 2016, 2: 81–83]
- Liu Z, Minor M, Morel PCH, *et al.* Bioconversion of three organic wastes by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae [J]. *Environmental Entomology*, 2018, 47 (6): 1609–1617.
- Secchi G, Bovera F, Nizza S, *et al.* Quality of eggs from lohmann brown classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soybean [J]. *Animal*, 2018, 12 (10): 2191–2197.
- Song YK, He J. Nutritional characteristics of four animal protein feeds and their application in livestock and poultry industry [J]. *Acta Zoonutrimenta*, 2019, 31 (1): 120–129. [宋宇琨, 何俊. 4 种动物性蛋白质饲料的营养特性及其在畜禽养殖中的应用 [J]. 动物营养学报, 2019, 31 (1): 120–129]
- Xu QY, Long JC, Ye MQ, *et al.* Development rate and food conversion efficiency of black soldier fly, *Hermetia illucens* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (4): 561–564. [徐齐云, 龙镜池, 叶明强, 等. 黑水虻幼虫的发育速率及食物转化率研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (4): 561–564]
- Yu GH, Li Y, Yang YH, *et al.* Effects of the artificial diet with low water content on the growth and development of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2014, 57 (8): 943–950. [喻国辉, 李一平, 杨玉环, 等. 低含水量饲料对黑水虻生长发育的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (8): 943–950]
- Yu HL, Huang XY. Research on the resource utilization of black soldier fly [J]. *Siliao Gongye*, 2018, 39 (6): 60–64. [于怀龙, 黄小燕. 黑水虻资源化利用研究 [J]. 饲料工业, 2018, 39 (6): 60–64]
- Zhou JS, Liu SS, Ji H, *et al.* Effect of replacing dietary fish meal with black soldier fly larvae meal on growth and fatty acid composition of Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, 24 (1): 424–433.