



DOI:10.14188/j.ajsh.2018.03.007

三种食物喂养的黑水虻幼虫营养测定与比较

何 钊^{1,2}, 赵 敏^{1,2}, 孙 龙^{1,2}, 王成业^{1,2}, 冯 颖^{1,2*}

(1. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224;

2. 国家林业局 资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要: 黑水虻幼虫在国内外被普遍用于处理有机废弃物, 得到的黑水虻幼虫由于富含蛋白质又可用于畜禽养殖, 或用于提取油脂、蛋白及甲壳素等物质。本文利用云南省昆明市宜良县汤池镇当地较多的有机废弃物(豆腐渣、鸡粪及发酵鸡粪)饲养黑水虻幼虫, 15 d后, 对三种幼虫进行营养测定, 并比较不同食物饲养幼虫营养成分的差异, 可根据测定结果对不同用途幼虫选择较合适的饲养物质。结果表明豆腐渣饲养幼虫的蛋白(52.3%)、油脂(22.6%)及氨基酸(36.80%)含量均高于两种鸡粪饲养的幼虫(蛋白含量为46.9%及45.9%、油脂为5.13%及4.30%、氨基酸为23.51%及28.48%), 灰分(9.89%)含量低于这两种鸡粪饲养的幼虫(23.2%及19.6%); 两种鸡粪饲养的黑水虻幼虫中锌、铜及铅等部分金属元素含量较高。三种食物饲养的黑水虻幼虫营养成分存在一定差异, 其中豆腐渣饲养的黑水虻幼虫营养较为丰富, 且重金属含量较低, 更适合用于畜禽养殖。

关键词: 黑水虻; 幼虫; 营养成分

中图分类号: Q 965

文献标识码: A

文章编号: 2096-3491(2018)03-0240-06

Analysis and comparison of nutrient composition of black soldier fly larvae fed with three organic substrates

HE Zhao^{1,2}, ZHAO Ming^{1,2}, SUN Long^{1,2}, WANG Chengye^{1,2}, FENG Ying^{1,2*}

(1. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Resource Insects, State Forestry Administration of the P.R. China, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: The larvae of black soldier fly (*Hermetia illucens* L. 1758) have been successfully used to reduce mass of municipal waste, food scrapes, restaurant and market waste, and may be used as animal feed or for production of secondary products (fat, protein, chitin). Black soldier fly larvae, collected in Tangci Town, Yiliang County, Kunming City, Yunnan Province, were fed with bean curd, chicken manure and fermented chicken manure, and nutritional determination of these larvae was carried out for comparing the nutritional differences. The results showed that the protein (52.3%), oil (22.6%) and total amino acid (36.80%) contents of the larvae fed with bean curd were higher than larvae fed with chicken manure and fermented chicken manure (protein ratio were 46.9% and 45.9% respectively, oil ratio were 5.13% and 4.30% respectively, total amino acid were 23.51% and 28.48%), and the ash content (9.89%) was lower than other two larvae (23.2% and 19.6%). Some element contents, including zinc, copper and lead, in the larvae fed with two kinds of chicken manure were higher. There were some differences in the nutritional composition of these lar-

收稿日期: 2017-06-28 修回日期: 2018-01-26

作者简介: 何钊(1976-), 男, 博士, 研究方向: 资源昆虫, E-mail: zhe999@hotmail.com

*通讯联系人 E-mail: yingf@hotmail.com

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(riricaf2014002Z)

引用格式: He Z, Zhao M, Sun L, *et al.* Analysis and comparison of nutrient composition of black soldier fly larvae fed with three organic substrates [J]. Biotic Resources, 2018, 40(3): 240-245.

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.

vae, and larvae fed bean curd were more suitable for livestock and poultry farming.

Key words: black soldier fly; larva; nutrient composition

0 引言

黑水虻(black soldier fly)学名亮斑扁角水虻(*Hermetia illucens* L. 1758),为双翅目(Diptera)水虻科(Stratiomyidae)昆虫,在全球大部地区均有分布,一年发生多代。幼虫食性广,在自然界以腐烂有机物和动物粪便为食^[1],目前已被广泛用于转化餐厨余、猪粪、食品厂废渣等有机废弃物^[2,3],而且黑水虻幼虫能够减少禽畜粪便堆积和臭气,降低粪便中家蝇和大肠杆菌数量^[4,5],是一种重要的环境昆虫。同时黑水虻因其繁殖迅速,生物量大,食性广泛、吸收转化率高,容易管理、饲养成本低,动物适口性好等特点,具有很好的资源化利用价值^[6];而转化有机废弃物的黑水虻幼虫富含蛋白、油脂等成分,可作为动物饲料的添加成分^[7,8]。有研究者尝试用鸡粪饲养的黑水虻幼虫喂养斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)和罗非鱼(*Tilapia aurea*)^[9],以及用餐厨垃圾饲养的两种不同营养成分黑水虻幼虫喂养大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)^[10],结果均显示黑水虻幼虫可作为鱼类饲养的原料,但不同鱼种喂养的生长效果存在一定差异,黑水虻幼虫可以作为饲料添加剂部分替代鱼粉用于鱼类饲养,饲养出的鱼与以鱼粉饲养的鱼没有显著性差异^[8]。

但由于黑水虻食物来源广泛,用不同食物饲养的黑水虻营养存在一定差异,利用中药渣养殖黑水虻幼虫^[2]与利用新鲜猪粪饲养^[4]、牛猪粪便^[5]、高蛋白组和高糖组饲料喂养^[11]黑水虻幼虫,在粗蛋白、粗脂肪及矿物元素含量等方面均有较大差异,所以需要不同食物来源黑水虻的营养成分进行测定以确定合适的用途。本文以三种当地农户生产的有机废弃物为原料喂养黑水虻,测定这三种不同物质饲养的黑水虻幼虫营养成分并评价其营养价值,以期合理利用黑水虻奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

黑水虻幼虫:由位于云南昆明宜良县汤池镇的云南阔阳农业科技有限公司提供,黑水虻卵接种在豆腐渣、未发酵鸡粪及发酵鸡粪(与未发酵鸡粪同一批次物质)三种基质上,这三种物质为当地农户生产豆腐及养鸡场的有机废弃物,幼虫大量孵化后饲养15 d,收集鲜幼虫。

1.2 营养成分测定方法

水分根据《GB5009.3-2010 食品中水分的测定》方法采用重量法^[12]测定,烘干样品粉碎后置于4℃冰箱备用;粗蛋白含量根据《GB5009.5 食品中蛋白质的测定》方法采用凯氏定氮法^[13]测定(使用仪器为瑞典FOSS公司Kjeltec 2300凯氏定氮仪),脂肪含量根据《GB5009.6 食品中脂肪的测定》方法中的索氏提取法^[14]测定,灰分含量根据《GB5009.4 食品中灰分的测定》方法采用灼烧法^[15]测定(美国Thermo Fisher公司的Thermconcept KLS05/11烘箱)。17种氨基酸的含量酸水解后根据《GB5009.124 食品中氨基酸的测定》方法由氨基酸分析仪测定^[16](英国Biochrom公司的Biochrom 30+氨基酸分析仪。微波消解法前处理样品(德国Berghof公司的SW-4微波消化仪),原子吸收法测定K、Ca、Na、Mg、Zn、Fe、Cu含量(美国Thermo Fisher公司的iCE3500原子吸收光谱仪);其余元素采用电感耦合等离子体发射光谱法测定^[17](美国Thermo Fisher公司的iCAP Q)。脂肪酸成分根据《GB17376-2008》甲酯化衍生后^[18]依据《GB17377-2008》采用GC-MS测定^[19,20](美国Thermo Fisher公司ITQ900气相色谱质谱仪),通过脂肪酸甲酯标准品的相对保留时间进行定性,面积归一化法测定相对含量。

2 结果与分析

2.1 常规营养成分

三种食物喂养的黑水虻幼虫常规营养成分结果如表1所示。豆腐渣饲养黑水虻幼虫的蛋白、油脂含量均高于鸡粪饲养的两种幼虫,而灰分含量却远低于后两者。用鸡粪饲养的两种幼虫营养成分则相差较小。

三种饲料饲养的黑水虻幼虫粗蛋白含量高于文献报道的牛粪、猪粪及中药渣饲养的黑水虻幼虫,但脂肪含量低于其它食物饲养的幼虫,其中鸡粪饲养的幼虫油脂含量尤为低,而鸡粪饲养的幼虫灰分含量则远高于中药渣和牛、猪粪饲养的幼虫。

2.2 元素含量

三种食物喂养黑水虻幼虫元素含量如表2所示。不同食物喂养的幼虫体内元素含量存在较大差异,三种幼虫测定的元素含量,以发酵鸡粪为食物的幼虫中大部分元素含量均较高,以豆腐渣为食

表1 不同食物饲养黑水虻幼虫主要营养成分
Tab. 1 Contents of nutrients of the larvae fed with different feeds

饲养食物	水分 (鲜重)	蛋白质 (干重)	油脂 (干重)	灰分 (干重)
豆腐渣	76.0	52.3	22.60	9.89
未发酵鸡粪	78.6	46.9	5.13	23.20
发酵鸡粪	73.7	45.9	4.30	19.60
牛粪 ^[5]	—	42.1	34.80	14.60
猪粪 ^[5]	—	45.2	31.40	8.30
中药渣 ^[2]	—	35.1	37.10	8.50

表2 三种食物饲养黑水虻幼虫元素含量
Tab. 2 Content of elements in the larvae fed with three feeds
mg/kg

元素	食物		
	豆腐渣	未发酵鸡粪	发酵鸡粪
钾(K)	14 000.00	11 800.00	23 200.00
钙(Ca)	2 210.00	37 800.00	45 400.00
钠(Na)	1 180.00	1 940.00	2 640.00
铝(Al)	39.00	480.30	224.30
镁(Mg)	3 740.00	4 700.00	6 740.00
铁(Fe)	226.00	442.00	567.00
锌(Zn)	110.90	274.00	545.00
磷(P)	10 400.00	12 000.00	15 600.00
钴(Co)	475.00	1.10	0.70
铜(Cu)	10.70	30.80	54.70
锰(Mn)	155.90	489.00	1 100.00
铬(Cr)	未检出	7.60	9.00
镍(Ni)	0.25	7.00	4.80
镉(Cd)	未检出	0.56	1.52
汞(Hg)	0.02	0.03	0.03
铅(Pb)	0.02	1.38	10.50
砷(As)	未检出	0.26	0.23

物幼虫的多数元素含量相对较低。其中食用豆腐渣幼虫的钙元素含量远低于其余两种鸡粪饲养的幼虫,如果添加在饲料中使用需要与其它含钙量高物质搭配使用。

在鸡等禽畜饲养过程中为畜禽健康及其它方面多种原因,饲料中添加了含砷、铜及锌等元素的物质,这些元素在禽畜粪中富集^[21]。黑水虻幼虫以这些畜禽粪便为食物进行饲养后,体内会积累这些金属元素^[22,23],表2中可以明显体现。以鸡粪喂食

的黑水虻幼虫体内铜、锰、铬及铅等元素含量高于以豆腐渣饲养的幼虫,其中发酵鸡粪喂养的黑水虻幼虫体内铅含量已超过《GB13078-2001 饲料卫生标准》^[24]中鱼粉中铅含量低于 10 mg/kg 的限量标准。

2.3 氨基酸成分

三种幼虫的氨基酸含量如表3所示。三种食物饲养的黑水虻幼虫均未检测到胱氨酸,以豆腐渣饲养的幼虫体内各氨基酸含量均高于鸡粪及发酵鸡粪饲养的两种幼虫,也高于喂养猪粪黑水虻幼虫的氨基酸含量;以鸡粪饲养的幼虫氨基酸含量最低。虽然食用鸡粪的黑水虻幼虫的蛋白含量和食用猪粪的幼虫相当,但前者的氨基酸含量低于后者,这可能是因为鸡粪中灰分含量远大于猪粪。

表3 三种幼虫氨基酸含量
Tab. 3 Contents of amino acids in the larvae fed with three feeds

氨基酸	食物			
	豆腐渣	鸡粪	发酵鸡粪	猪粪 ^[5]
天门冬氨酸(Asp)	3.48	2.26	2.62	3.04
苏氨酸(Thr)	1.71	1.22	1.36	1.41
丝氨酸(Ser)	2.04	1.25	1.54	1.47
谷氨酸(Glu)	4.07	2.82	3.81	3.99
甘氨酸(Gly)	2.41	1.67	2.12	2.07
丙氨酸(Ala)	3.88	2.41	2.88	2.55
胱氨酸(Cys)	未检出	未检出	未检出	0.31
缬氨酸(Val)	2.72	1.77	2.08	2.23
蛋氨酸(Met)	1.17	0.83	0.93	0.83
异亮氨酸(Ile)	1.65	1.09	1.27	1.51
亮氨酸(Leu)	2.98	1.93	2.15	2.61
酪氨酸(Tyr)	2.50	1.31	1.52	2.38
苯丙氨酸(Phe)	1.53	0.89	0.95	1.49
赖氨酸(Lys)	3.22	1.82	2.36	2.21
组氨酸(His)	1.03	0.55	0.83	0.96
精氨酸(Arg)	1.90	1.19	1.62	1.77
脯氨酸(Pro)	0.51	0.50	0.44	2.12
氨基酸总量	36.80	23.51	28.48	32.95

2.4 黑水虻幼虫脂肪酸成分

由于以鸡粪喂养的黑水虻幼虫中脂类物质含量较低,使用价值较低,故未分析其脂肪酸成分,仅对含量较高的以豆腐渣喂养黑水虻幼虫中脂类物质的脂肪酸进行分析,结果如表4所示。

以豆腐渣喂养的黑水虻幼虫油脂含 10 种类

型脂肪酸,主要以亚油酸(32.57%)、棕榈酸(20.90%)及月桂酸(17.15%)为主,不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的51.83%,单不饱和脂肪酸占19.26%,双不饱和脂肪酸占32.57%。脂肪酸的种类及含量与猪粪^[4]、牛粪^[5]喂养的幼虫不尽相同,已有文献报道^[5]改变喂养食物将影响黑水虻幼虫体内脂肪酸含量,因此喂养食物的不同应该是幼虫油脂中脂肪酸种类和含量的差异原因,通过调整食物种类可以影响黑水虻幼虫油脂的脂肪酸种类及含量。

表4 喂养豆腐渣黑水虻幼虫油脂的脂肪酸成分
Tab. 4 Fatty acid composition of the larvae fed with bean curd

种类(饱和脂肪酸)	含量	种类(不饱和脂肪酸)	含量
癸酸 C _{10:0}	1.24	肉豆蔻油酸 C _{14:1}	1.56
月桂酸 C _{12:0}	17.15	棕榈油酸 C _{16:1}	7.11
肉豆蔻酸 C _{14:0}	3.40	油酸 C _{18:1}	9.15
硬脂酸 C _{18:0}	5.48	亚油酸 C _{18:2}	32.57
棕榈酸 C _{16:0}	20.90	花生油酸 C _{20:1}	1.44

3. 讨论

对豆腐渣、鸡粪及发酵鸡粪喂养的黑水虻幼虫营养成分进行测定,结果显示豆腐渣喂养黑水虻幼虫的灰分(9.89%)远低于鸡粪及发酵鸡粪喂养幼虫的灰分含量(23.2%及19.6%),且蛋白和油脂含量较高,以两种鸡粪喂养的黑水虻幼虫中油脂含量较低,仅为5.13%(鸡粪喂养)和4.30%(发酵鸡粪喂养);相应的豆腐渣喂养黑水虻幼虫的氨基酸含量较两种鸡粪喂养幼虫较高,但三种幼虫体内均未检测到胱氨酸;豆腐渣喂养的黑水虻幼虫钙含量(2210 mg/kg)相对较低,而两种鸡粪喂养黑水虻幼虫中锌、锰、铜、铬及铅等金属元素相对较高,这与鸡饲料中金属元素添加剂通过食物链传递到黑水虻体内有关;豆腐渣喂养黑水虻幼虫油脂含10种类型脂肪酸,以亚油酸(32.57%)棕榈酸(20.9%)和月桂酸(17.15%)为主。

目前,国内外已开始将黑水虻幼虫用于处理餐厨垃圾、养殖厂畜禽粪便等有机固体废弃物,并取得良好的效果。由于这些有机废弃物来源广泛,喂养的黑水虻幼虫在营养成分上存在一定差异^[11]。根据文献报道豆渣中粗蛋白含量为22.3%、粗脂肪为9.1%,粗纤维为55.9%^[25];鸡粪中粗蛋白含量为15.03%~31.70%,粗脂肪为2.34%~5.13%,而灰分为22.14%~35.63%;中药渣粗蛋白含量为11.5%、粗脂肪占3.62%、灰分占1.31%^[2]。豆渣和

鸡粪的蛋白含量相当但均高于中药渣,豆腐渣中脂肪含量略高于鸡粪、药渣,但鸡粪中灰分含量远高于豆渣及中药渣。因此,鸡粪中高灰分含量有可能影响其饲养的幼虫中灰分含量,而中药渣中蛋白含量较低也不利于黑水虻幼虫蛋白积累。此外,由于食物不同可能造成幼虫发育时间上存在差异,猪粪饲养黑水虻幼虫发育期约为21 d、猪饲料喂养约为15 d、餐厨垃圾喂养约为18 d^[26],故食用鸡粪幼虫有可能比饲用豆腐渣幼虫发育迟缓,以至于在同等饲养时间的幼虫在体内油脂积累较少,测定的油脂含量偏低,这需要测定不同饲养时间幼虫体内油脂含量进行比较。

由于禽畜养殖中使用饲料添加剂的影响,取食禽畜粪便的黑水虻幼虫体内部分金属元素含量较高,这在本文测定的取食鸡粪两种幼虫中得以体现,而且这两种幼虫的油脂含量也较低。因此,将这些黑水虻幼虫用在饲料中时,应考虑不同食物来源造成的幼虫营养差异化现象。

参考文献

- [1] Yu G H, Li Y P, Yang Y H, *et al.* Effects of the artificial diet with low water content on 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.
- [2] Liu Y B, Jing X, Ge Y Z, *et al.* Feeding black soldier fly with herbal waste [J]. China Feed, 2017, (5): 38-40.
刘瑜彬,金鑫,葛亚中,等.利用中药渣养殖饲用昆虫黑水虻[J].中国饲料.2017, (5): 38-40.
- [3] Popa R, Green T R. Using black soldier fly larvae for processing organic leachates [J]. J Econ Entomol. 2012, 105(2): 374-378.
- [4] Yang S Y, Li W J, Liu C X, *et al.* Effects of fermented swine manure on the conversion ratio of *Hermetia illucens* and nutritional components detection of *Hermetia illucens* larva and sandworm [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2016, 44(21): 69-70.
杨树义,李卫娟,刘春雪,等.发酵猪粪对黑水虻转化率的影响及黑水虻幼虫和虫沙营养成分测定[J].安徽农业科学.2016, 44(21): 69-70.
- [5] Yu G H, Chen Y H, Yu Z N, *et al.* Research progression on the larvae and prepupae of black soldier fly *Hermetia illucens* used as animal feedstuff [J]. Chinese bulletin of entomology, 2009, 46(1): 41-45.

- 喻国辉,陈燕红,喻子牛,等.黑水虻幼虫和预蛹的饲料价值研究进展[J].昆虫知识.2009,46(1):41-45.
- [6] Ma J K, Guo H R, Wang L X. The influences of the fresh duck manure to blackwater fly larvae growth and rate of waste conversion [J]. Journal of Anhui Sci & Tech University, 2016, 30(1): 12-18.
马加康,郭浩然,王立新.新鲜鸭粪对黑水虻幼虫生长发育及粪便转化率的影响[J].安徽科技学院学报.2016,30(1):12-18.
- [7] Stamer A. Insect proteins—a new source for animal feed: the use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles [J]. EMBO reports. 2015, 16(6): 676-680.
- [8] Henry M, Gasco L, Piccolo G, *et al.* Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future [J]. Animal Feed Sci & Tech. 2015, 203(5): 1-22.
- [9] Bondari K, Sheppard D C. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production [J]. Aquaculture. 1981, 24: 103-109.
- [10] Lock E R, Arsiwalla T, Waagbø R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt [J]. Aquaculture nutrition. 2016, 22(6): 1202-1213.
- [11] Tschirner M, Simon A. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed [J]. Journal of insects as food and feed. 2015, 1(4): 249-259.
- [12] China National Standardization Management Committee. GB/T 5009.3-2010 Determination of moisture in foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2010.
中国国家标准化管理委员会. GB5009.3-2010 食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [13] China National Standardization Management Committee. GB/T 5009.5-2010 Determination of protein in foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2010.
中国国家标准化管理委员会. GB5009.5-2010 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [14] China National Standardization Management Committee. GB/T 5009.6-2003 Determination of fat in foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
中国国家标准化管理委员会. GB5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [15] China National Standardization Management Committee. GB/T 5009.4-2010 Determination of ash in foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2010.
中国国家标准化管理委员会. GB5009.4-2010 食品中灰分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.
- [16] China National Standardization Management Committee. GB/T 5009.124-2003 Determination of amino acid in foods [S]. Beijing: China Standard Press, 2003.
中国国家标准化管理委员会. GB5009.124-2003 食品中氨基酸的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [17] Jiang Y Y, Zhao M, He Z, *et al.* Nutrition composition and evaluation of six edible dragonfly naiads [J]. Biotic Resources, 2017, (5): 352-359.
蒋筠雅,赵敏,何钊,等.六种食用蜻蜓稚虫营养成分分析和评价[J].生物资源.2017,(5):352-359.
- [18] China National Standardization Management Committee. GB17376-2008 Animal and vegetable fats and oils—preparation of methyl esters of fatty acids [S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
中国国家标准化管理委员会. GB17376-2008 动植物油脂 脂肪酸甲酯制备 [S].北京:中国标准出版社,2008.
- [19] China National Standardization Management Committee. GB17377-2008 Animal and vegetable fats and oils—analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids [S]. Beijing: China Standard Press, 2008.
中国国家标准化管理委员会. GB17376-2008 动植物油脂 脂肪酸甲酯的气相色谱分析 [S].北京:中国标准出版社,2008.
- [20] Jiang Y Y, He Z, Zhao M, *et al.* Oil content and fatty acid composition of six kinds of common edible dragonfly naiads [J]. China Oils and Fats, 2017, (3): 135-139.
蒋筠雅,何钊,赵敏,等.6种常见食用蜻蜓稚虫含油率与脂肪酸组成分析[J].中国油脂.2017,(3):135-139.
- [21] Yao L X, Huang L X, Jiang Z Y, *et al.* Investigation of As, Cu and Zn species and concentrations in animal feeds [J]. Environmental Science, 2013, 34(2): 732-739.
姚丽贤,黄连喜,蒋宗勇,等.动物饲料中砷、铜和锌调查及分析[J].环境科学.2013,34(2):732-739.
- [22] Xia Q, Liao Y, Zhu W, *et al.* Accumulation and distribution of heavy metal Zn^{2+} in two successive generations black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) [J]. Journal of Hunan University of Sci & Tech (Natural Science Edition), 2013, 28(2): 110-114.
夏婧,廖业,朱伟,等. Zn^{2+} 在不同世代黑水虻体内累积及分布规律[J].湖南科技大学学报(自然科学版).2013,28(2):110-114.
- [23] Xia q, Liao Y, Zhu W, *et al.* Migration of Cu^{2+} in black soldier flies and its effects on the development [J]. Journal of Zunyi medical university, 2014, 37(3): 300-303.

- 夏婧,朱伟,廖业,等.Cu²⁺在黑水虻体内迁移及其发育影响[J]. 遵义医学院学报. 2014, 37(3): 300-303.
- [24] China National Standardization Management Committee. GB/T 13078-2001 Hygienical standard of feeds [S]. Beijing: China Standard Press, 2001.
- 中国国家标准化管理委员会. GB/T 13078-2001 饲料卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社,2001.
- [25] Zhu Y P, Li X T, Liu R S, *et al.* Antioxidant activity and nutritional characterization of okara fermented by various microorganisms [J]. J Chinese Institute of Food Sci & Tech, 2014, 14(9): 20-27.
- 朱运平,李秀婷,刘瑞山,等.不同菌种发酵豆渣的营养及抗氧化特性研究 [J]. 中国食品学报. 2014, 14(9): 20-27.
- [26] Xu J. Effects of fermented feed on the growth performance of black soldier fly larvae, digestive enzyme activity and intestinal flora [D]. South China Agricultural University, 2016.
- 徐健.发酵饲料对黑水虻生长性能的影响及黑水虻消化酶活和肠道菌群的特征研究[D]. 华南农业大学, 2016.
-