



蔡腾, 李嘉希, 李志强, 毛洪, 李喜贵, 单体江. 黑水虻幼虫氨基酸及其微量元素分析 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 684–689.

黑水虻幼虫氨基酸及其微量元素分析

蔡 腾¹, 李嘉希¹, 李志强², 毛 洪³, 李喜贵^{4*}, 单体江^{1*}

(1. 华南农业大学林学与风景园林学院/广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广州 510642; 2. 广东省科学院动物研究所, 广州 510260; 3. 四川汇达通机械设备制造有限公司, 成都 611230; 4. 广州市中科微量元素科学研究院, 广州 510075)

摘要: 黑水虻具有较高的营养价值, 是一种重要的环境友好型资源昆虫。本研究采用凯氏定氮法、茚三酮柱后衍生离子交换色谱法和微波消解-电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 等多种分析技术, 测定了厨余垃圾饲喂的黑水虻幼虫蛋白质、氨基酸和微量元素的组成及含量。研究结果表明, 黑水虻幼虫中蛋白质的含量为 40.60 g/100 g。在测定的 16 种氨基酸中含量最高的是谷氨酸 (GLU), 含量为 4.88 g/100 g, 其次是天冬氨酸 (ASP), 含量为 3.31 g/100 g; 有 7 种氨基酸的含量超过 2.00 g/100 g, 16 种水解氨基酸的总和为 36.16 g/100 g, 必需氨基酸占总氨基酸含量的 46.35%。从黑水虻幼虫中共检测出 28 种微量元素, 其中钙元素的含量最高, 为 25 787 mg/kg, 其次是 K、Na、Mg 和 Fe, 含量分别为 7 684 mg/kg、1 358 mg/kg、964 mg/kg 和 317 mg/kg; Al、Zn、Sr 和 Mn 的含量在 20~100 mg/kg 之间, 其他微量元素的含量均在 10 mg/kg 以下。黑水虻幼虫中有害元素含量均低于限量, 符合我国现行的饲料卫生标准 GB 13078-2017。本研究为黑水虻幼虫资源的开发和利用提供了重要的理论依据。

关键词: 黑水虻; 幼虫; 氨基酸; 微量元素**中图分类号:** Q968.1; Q969.97**文献标识码:** A**文章编号:** 1674-0858 (2021) 03-0684-06

Analysis of amino acid and trace element of *Hermetia illucens* larvae

CAI Teng¹, LI Jia-Xi¹, LI Zhi-Qiang², MAO Hong³, LI Xi-Gui^{4*}, SHAN Ti-Jiang^{1*} (1. Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642; 2. Institute of Zoology, Guangdong Academy of Science, Guangzhou 510260, China; 3. Sichuan Huidatong Machinery and Equipment Manufacturing Co., Ltd., Chengdu 611230, China; 4. Guangzhou Zhongke Research Institute of Trace Elements, Guangzhou 510075, China)

Abstract: *Hermetia illucens* are important environmental friendly and resource-oriented insects with high nutritional value. The compositions and contents of proteins, amino acids and trace elements in *H. illucens* larvae fed with kitchen wastes were determined by Kjeldahl method, ion exchange chromatography with ninhydrin post-column derivatization and microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method, respectively. The results showed that the protein content of *H. illucens* larvae was 40.60 g/100 g. Glutamate (GLU) had the highest content of 4.88 g/100 g, followed by aspartic acid (ASP) which was 3.31 g/100 g among the sixteen determination amino acids; the contents of seven amino acids were more than 2.00 g/100 g, and the total content of 16 hydrolyzed amino acids was 36.16 g/100 g. The essential amino acids accounted for 46.35 % of the total amino acids. There were a

基金项目: 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队建设项目 (2019KJ134)**作者简介:** 蔡腾, 男, 在读学生, E-mail: caiteng2000@126.com

* 共同通讯作者 Author for correspondence: 李喜贵, 男, 副研究员, 主要研究方向为微量元素的营养和功能, E-mail: 474663123@qq.com;

单体江, 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为植物和微生物的次生代谢, E-mail: tjshan@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-04-26; **接受日期** Accepted: 2020-06-03

total of 28 trace elements, and the content of calcium with 25 787 mg/kg was the highest, followed by K, Na, Mg and Fe, which were 7 684 mg/kg, 1 358 mg/kg, 964 mg/kg and 317 mg/kg, respectively; the contents of Al, Zn, Sr and Mn varied from 20 mg/kg to 100 mg/kg, and other trace elements were all below 10 mg/kg. The contents of harmful elements in *Hermetia illucens* larvae were all lower than the limit, which met the National Feed Hygiene Standard (GB 13078-2017). This study provided an important theoretical basis for the development and utilization of the larva resources of *H. illucens*.

Key words: *Hermetia illucens*; Larvae; Amino acid; Element analysis

黑水虻 *Hermetia illucens*, 又称亮斑扁角水虻, 隶属于双翅目 Diptera 水虻科 Stratiomyidae 扁角水虻属 *Hermetia*, 原产于南美洲, 目前在世界大部分地区都有分布, 在我国主要分布在广东、海南、云南、四川、河北和湖北等省 (柴志强等, 2012; 纪佳雨等, 2020)。目前, 对于黑水虻的研究主要集中在资源化利用和饲料替代等方面。资源化利用主要是利用其幼虫处理人和畜禽的粪便、餐厨垃圾等, 处理后的剩余物质能够被用作有机肥 (Lalander *et al.*, 2015; Mohd-Noor *et al.*, 2017; 姜慧敏等, 2020)。黑水虻能充分消解有机废弃物并进行转化, 对废弃物中的重金属、抗生素和致病菌等均具有降解作用 (梅瀚杰等, 2019)。黑水虻可以将废弃物中高浓度黄曲霉毒素 B₁ 进行生物降解和利用 (梁婷婷等, 2020); 对大肠杆菌、鼠伤寒沙门氏菌产生体液免疫分子 (姜慧敏等, 2020); 其抗菌肽粗提物对 HCT-8 细胞较为敏感, 在结肠癌药物的研发中具有良好的前景 (冯群等, 2020)。在饲料替代方面, 黑水虻幼虫不仅含有丰富的粗蛋白和脂肪, 还含有丰富的必需氨基酸与微量元素, 同时还能提取几丁质和抗菌肽等生物活性物质, 可作为动物饲料或饲料添加剂使用, 是一种优质蛋白质饲料原料 (Elhag *et al.*, 2017; Secci *et al.*, 2018; Danieli *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2019)。近年来, 黑水虻作为动物饲料原料被广泛用于农业和畜牧业。在饲料中添加黑水虻幼虫粉饲喂猪、鸡、鹌鹑、鱼类、生猪和虾类, 可以提高其生长性能或营养价值 (Cummins *et al.*, 2017; Dabbou *et al.*, 2018; Mawaddah *et al.*, 2018; Xiao *et al.*, 2018; 余苗等, 2020; 张金金等, 2020)。

微量元素是构成动物的必需成分, 微量元素的添加对完善饲料营养成分、提高饲料效率和促进动物生长发育及维护健康具有积极的作用 (胡俊茹等, 2017)。黑水虻幼虫中的蛋白质和氨基酸含量高, 营养价值丰富, 但是具体含量却因黑水

虻幼虫摄食不同基质而有所差异。目前对于采食餐余垃圾的黑水虻幼虫氨基酸和微量元素报道较少, 为更好的开发和利用黑水虻幼虫资源, 本研究以一种采食餐余垃圾的黑水虻幼虫为研究对象, 采用多种分析技术检测黑水虻幼虫氨基酸和微量元素的组成及含量, 以期黑水虻幼虫作为营养补充剂提供数据支持, 为黑水虻幼虫资源的进一步开发和利用提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

黑水虻幼虫由四川汇达通机械设备制造有限公司提供, 喂养基质为餐余垃圾。黑水虻 6 龄幼虫, 在用于烘干之前停止喂食 1 d; 烘干温度为 80℃, 干燥后的幼虫经粉碎机磨成粉后, 在 4℃ 条件下密封保存备用。

1.2 方法

精确称取黑水虻幼虫粉 30 g, 其中蛋白质含量的测定采用中华人民共和国国家标准 (GB 5009.5-2016) 中的凯氏定氮法, 黑水虻幼虫氨基酸的测定是参照中华人民共和国国家标准 (GB 5009.124-2016) 中的方法进行, 采用氨基酸分析仪 (茚三酮柱后衍生离子交换色谱仪) 测定黑水虻中的 16 种水解氨基酸, 具体测定过程不再详叙。黑水虻幼虫中的元素分析采用 ICP-MS 半定量分析法, 精确称取黑水虻幼虫粉 0.4123 g, 加 10 mL 硝酸微波处理; 定溶至 25 mL, 而后用 ICP-MS 上机测定。

2 结果与分析

2.1 黑水虻幼虫蛋白质和氨基酸分析

采用凯氏定氮法测定黑水虻幼虫中蛋白质的含量, 结果为 40.60 g/100 g。黑水虻幼虫氨基酸

的组成及含量测定结果如表 1 所示。在测定的 16 种氨基酸中含量最高的是谷氨酸 (GLU)，为 4.88 g/100 g，其次是天冬氨酸 (ASP)，含量为 3.31 g/100 g；此外，甘氨酸 (GLY)、丙氨酸 (ALA)、缬氨酸 (VAL)、亮氨酸 (LEU)、酪氨酸 (TYR)、赖氨酸 (LYS) 和脯氨酸 (PRO) 的含量均超过 2.00 g/100 g，其他氨基酸的含量在 2.00 g/100 g 以下。在分析的氨基酸中，必需氨基酸有 9 种，含量为 16.76 g/100 g，非必需氨基酸有 7 种，含量为 19.40 g/100 g，必需氨基酸在所有氨基酸中的占比为 46.35 %，16 种水解氨基酸的总和为 36.16 g/100 g。

表 1 黑水虻幼虫氨基酸组成和含量测定结果
Table 1 Composition and content of amino acid of *Hermetia illucens* larvae

氨基酸 Amino acids	含量 (g/100 g) Content
苏氨酸 (THR)	1.51
缬氨酸 (VAL)	2.21
蛋氨酸 (MET)	1.85
异亮氨酸 (ILE)	1.55
亮氨酸 (LEU)	2.64
苯丙氨酸 (PHE)	1.51
赖氨酸 (LYS)	2.22
组氨酸 (HIS)	1.34
精氨酸 (ARG)	1.93
必需氨基酸 Essential amino acids	16.76
天冬氨酸 (ASP)	3.31
丝氨酸 (SER)	1.67
谷氨酸 (GLU)	4.88
甘氨酸 (GLY)	2.16
丙氨酸 (ALA)	2.94
酪氨酸 (TYR)	2.35
脯氨酸 (PRO)	2.09
非必需氨基酸 Non-essential amino acids	19.40
氨基酸总量 Total of amino acids	36.16

2.2 黑水虻幼虫微量元素分析

黑水虻幼虫作为饲料或饲料补充剂，不仅含有丰富的蛋白质和脂肪等营养成分，其丰富的微量元素对改善饲料营养成分具有重要意义，同时对提升动物生长发育速率与维护动物健康具有积极的作用。本研究采用 ICP-MS 半定量分析法测定黑水虻幼虫中的微量元素，其结果如表 2 所示。从黑水虻幼虫中共分析和检测到 28 种微量元素，其中含有较多的微量元素有 4 种，钙元素的含量最高，为 25 787 mg/kg，其次是 K、Na、Mg 和 Fe，含量分别为 7 684、1 358、964 和 317 mg/kg；Al、Zn、Sr 和 Mn 的含量在 20 ~ 100 mg/kg 之间，含量分别为 98、69、53 和 25 mg/kg；其他微量元素的含量均在 10 mg/kg 以下。此外，黑水虻幼虫中 Ag、Sn 和 Sb 的含量均小于 0.1 mg/kg，Hg 的含量小于 0.05 mg/kg。同时也含有一定量的 Cr、As、Cd 和 Pb，其含量分别为：0.10、0.23、0.13 和 0.96 mg/kg。根据我国现行的饲料卫生标准 (GB 13078-2017)，黑水虻幼虫中有害元素的含量均低于标准中规定的限量要求，符合饲料卫生标准。

表 2 黑水虻幼虫微量元素分析结果
Table 2 Analysis results of trace element from *Hermetia illucens* larvae

元素 Element	含量 (mg/kg) Content	元素 Element	含量 (mg/kg) Content
锂 (Li)	0.15	镍 (Ni)	0.67
硼 (B)	<2	铜 (Cu)	9.3
钠 (Na)	1 358	锌 (Zn)	69
镁 (Mg)	964	砷 (As)	0.23
铝 (Al)	98	硒 (Se)	0.30
钾 (K)	7 684	铷 (Rb)	9.1
钙 (Ca)	25 787	锶 (Sr)	53
钛 (Ti)	5.8	银 (Ag)	<0.1
钒 (V)	0.53	镉 (Cd)	0.13
铬 (Cr)	0.10	锡 (Sn)	<0.1
锰 (Mn)	25	锑 (Sb)	<0.1
铁 (Fe)	317	钡 (Ba)	5.6
钴 (Co)	0.11	汞 (Hg)	<0.05
钼 (Mo)	0.96	铅 (Pb)	0.96

3 结论与讨论

本研究结果表明黑水虻幼虫中蛋白质含量高达 40.60 g/100 g; 氨基酸比例均衡, 16 种水解氨基酸的总量为 36.16 g/100 g, 必需氨基酸的总量为 16.76 g/100 g, 占总氨基酸含量的 46.35%, 所有氨基酸中谷氨酸的含量最高, 为 4.88 g/100 g; 含 28 种微量元素, 有害元素含量均符合我国现行的饲料卫生标准 (GB 13078-2017)。黑水虻虽营养丰富, 但营养成分含量因养殖基质不同存在较大差异。郑丽卿等 (2019) 研究发现黑水虻幼虫蛋白质含量为 47.30%, 韩星星等 (2020) 测定了 17 种氨基酸含量, 比本实验多胱氨酸, 除胱氨酸之外的 16 种氨基酸总量为 35.7 g/100 g, 本研究中蛋白质的含量为 40.6 g/100 g, 为 40.60%, 16 种水解氨基酸的总量为 36.16 g/100 g, 与文献报道基本一致。

黑水虻幼虫中的氨基酸比例均衡, 谷氨酸和天冬氨酸可赋予食物更好的风味和口感 (黄超等, 2018); 赖氨酸可促进脂肪代谢, 使动物的肉质更加鲜美; 甲硫氨酸可以使禽类羽毛丰满, 且有助于动物各项器官的发育, 更好的抵抗疾病的侵袭 (何书军, 2016); 甘氨酸在家畜体内合成量低, 如果雏鸡缺乏甘氨酸, 可引起麻痹症及羽毛发育不良等 (宋丽艳, 2011)。黑水虻幼虫的氨基酸谱和鱼粉十分相似, 所以黑水虻幼虫具有代替动物饲料的潜力 (纪佳雨等, 2020)。然黑水虻幼虫不宜作为饲料直接饲喂, 应通过加工作为蛋白质替代物或者补充料添加到组合饲料中。钟明智等 (2020) 发现单独饲喂黑水虻幼虫粉时, 多鳞白甲鱼仔鱼存活率最低, 为 60.00% ± 16.17%, 补充商品饲料后存活率下降程度减弱。脱脂黑水虻虫粉替代饲料中 80% 的鱼粉并不影响大黄鱼的存活率, 但完全替代则会显著降低存活率, 而且过高替代水平 (> 40%) 对其生长产生负面影响 (韩星星等, 2020)。微量元素在动物的生长和发育过程中具有重要的作用, 适量的 Se 可以提高家禽的抗氧化性能, 增强免疫力和精子的活力 (李蓉等, 2019); 适量 Fe 和 Mn 参与体内载体组成和物质代谢, 对预防新生动物腹泻具有重要意义; Cr 具有类似胰岛素的生物活性, 有助于动物体内代谢, 减少应激反应, 改善内分泌 (单春花等, 2018; 范振港等, 2019); Cu 是畜禽体内多种酶和激素

的组成成分或激活剂 (晏家友等, 2016); Zn 是“生命元素”, 能提高牛卵母细胞的成熟质量和体外受精胚胎的发育效率, 而且能提高反刍动物对饲料的利用率, 从而促进反刍动物生长、提高繁殖性能、改善机体免疫力和增强抗病性等 (俸云等, 2019; 李万栋等, 2019)。本研究采用餐余垃圾饲喂黑水虻幼虫, 但未对饲喂基质进行氨基酸和微量元素分析。幼虫所在的不同生长阶段以及饲喂基质的不同会影响黑水虻幼虫的营养成分 (Liu *et al.*, 2017; Spranghers *et al.*, 2017)。国内外学者在研究黑水虻营养价值时, 虽然对其来源、虫龄以及喂养方式作了详实的描述, 但对饲喂基质的营养成分和比例均未作分析, 黑水虻幼虫氨基酸和微量元素的组成和配比是否与饲喂基质的营养成分和组成有关还有待于进一步研究。本研究阐明了黑水虻幼虫中蛋白质和氨基酸以及微量元素的组成和比例, 为饲料更好的配比和应用提供了理论依据。

综上所述, 本研究结果有助于黑水虻幼虫粉在复合饲料中的合理配比和应用, 消除饲料因氨基酸比例失衡和部分有害元素过量对禽畜产生的负面影响, 为黑水虻幼虫的进一步开发和利用提供了重要的数据支撑。此外, 黑水虻标准化的自动繁育体系也需要不断改进和完善, 黑水虻幼虫功能性物质的提取、微生物的联合应用以及黑水虻生物安全性等方面的研究可以为黑水虻粪污资源化技术的产业化应用奠定基础。

参考文献 (References)

- Chai ZQ, Wang FB, Guo MF, *et al.* Research of Stratiomyidae and its utilization [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39 (10): 182–185, 195. 陈志强, 王付彬, 郭明昉, 等. 水虻科昆虫及其资源化利用研究 [J]. *广东农业科学*, 2012, 39 (10): 182–185, 195]
- Cummins VC, Rawles SD, Thompson KR, *et al.* Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. *Aquaculture*, 2017, 473: 337–344.
- Dabbou S, Gai F, Biasato I, *et al.* Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on growth performance, blood traits, gut morphology and histological features [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2018, 9 (1): 49–59.
- Danieli PP, Lussiana C, Gasco L, *et al.* The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae intended for

- animal feed [J]. *Animals*, 2019, 9 (4): 178–197.
- Elhag O, Zhou D, Song Q, *et al.* Screening, expression, purification and functional characterization of novel antimicrobial peptide genes from *Hermetia illucens* (L.) [J]. *PLoS ONE*, 2017, 12 (1): e0169582.
- Fan ZG, Xiao DF. Application of trace – elements in livestock and poultry breeding industry and its impact on environment [J]. *Feed Review*, 2019, 6: 19–23, 28. 阮振港, 肖定福. 微量元素在畜禽养殖业的应用及对环境的影响 [J]. 饲料博览, 2019, 6: 19–23, 28]
- Feng Q, Gao JM, Xia Q. Selection of tumor cells sensitive to crude extracts of antibacterial peptides from *H. illucens* larvae and study on related hemolysis [J]. *Medical Recapitulate*, 2020, 26 (6): 1214–1218, 1223. 冯群, 高嘉敏, 夏墙. 黑水虻幼虫抗菌肽粗提物敏感肿瘤细胞株筛选及溶血作用研究 [J]. 医学综述, 2020, 26 (6): 1214–1218, 1223]
- Feng Y, Zhao X, Ruan ZY, *et al.* Effects of zinc on bovine oocytes in vitro maturation and early embryonic development [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2019, 55 (10): 14–19. 陈云, 赵鑫, 阮子芸, 等. 微量元素锌对牛卵母细胞体外成熟及其体外受精胚胎发育的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55 (10): 14–19]
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of PRC. GB13078–2017 Hygienic Standard for Feeds [S]. Beijing: China Standards Press, 2017. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB13078–2017 饲料卫生标准 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017]
- Han XX, Ye K, Wang ZY, *et al.* Effect of substitution of fish meal with defatted black soldier fly larvae meal on growth, body composition, serum biochemical parameters and antioxidant capacity of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27 (5): 524–535. 韩星星, 叶坤, 王志勇, 等. 脱脂黑水虻虫粉替代鱼粉对大黄鱼生长、体成分、血清生化指标及抗氧化能力的影响 [J]. 中国水产科学, 2020, 27 (5): 524–535]
- He SJ. Application of amino acid in feed production [J]. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2016, 12 (10): 42–43. 何书军. 氨基酸在动物饲料中应用 [J]. 中国畜禽种业, 2016, 12 (10): 42–43]
- Hu JR, He F, Mo WY, *et al.* The feed value of black soldier fly *Hermetia illucens* larva fed 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]
- Huang C, Shen Q, Zhu D, *et al.* Amino acid composition and nutritional value of larva of *Hermetia illucens* [J]. *Guangdong Feed*, 2018, 27 (9): 22–24. 黄超, 沈侨, 朱定, 等. 黑水虻幼虫氨基酸组成及营养价值评估 [J]. 广东饲料, 2018, 27 (9): 22–24]
- Ji JY, Deng LC, Li GD, *et al.* Research progress on resource value, exploitation and application of black soldier fly [J]. *Journal of Economic Animal*, 2020, 24: 1–9. 纪佳雨, 邓玲聪, 李广东, 等. 黑水虻的资源价值化及其开发应用研究进展 [J]. 经济动物学报, 2020, 24: 1–9]
- Jiang HM, Wang WX, Ren MM, *et al.* An investigation and comprehensive evaluation on the pathogen inactivation process during the degradation of kitchen waste by the larvae of black soldier fly [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, 40 (3): 1011–1022. 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]
- Lalander CH, Fidjeland J, Diener S, *et al.* High waste – to – biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. production using black soldier fly for waste recycling [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35 (1): 261–271.
- Li R, Zhu YF, Chen XF, *et al.* Application of trace element selenium as feed additive in livestock and poultry breeding [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2019, 58 (22): 15–18. 李蓉, 朱云芬, 陈潇飞, 等. 微量元素硒作为饲料添加剂在畜禽养殖中的应用 [J]. 湖北农业科学, 2019, 58 (22): 15–18]
- Li WD, Zhang XW, Cui ZH, *et al.* Application research advances of trace element zinc in ruminants [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (10): 4442–4449. 李万栋, 张晓卫, 崔占鸿, 等. 微量元素锌在反刍动物中的应用研究进展 [J]. 动物营养学报, 2019, 31 (10): 4442–4449]
- Liang TT, Chen X, Chen HG, *et al.* Determination of aflatoxin B₁ in black soldier fly products by UPLC – Q – TOF / MS [J]. *Feed Research*, 2020, 3: 83–87. 梁婷婷, 陈想, 陈红歌, 等. 超高效液相色谱串联飞行时间质谱法检测黑水虻产品中黄曲霉素 B₁ [J]. 饲料研究, 2020, 3: 83–87]
- Liu CC, Wang CW, Yao HY. Comprehensive resource utilization of waste using the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) [J]. *Animals*, 2019, 9 (6): 349–367.
- Liu X, Chen X, Wang H, *et al.* Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly [J]. *PLoS ONE*, 2017, 12 (8): 1–21.
- 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.
- Mawaddah S, Hermana W, Nahrowi N. Pengaruh pemberian tepung defatted larva BSF (*Hermetia illucens*) terhadap performa produksi puyuh petelur (*Coturnix coturnix japonica*) [J]. *Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan*, 2018, 16 (3): 47–51.
- Mei HJ, Hu WF. A review of degradation of harmful substance by black soldier fly [J]. *Feed Industry*, 2019, 40 (20): 59–64. 梅瀚杰, 胡文锋. 黑水虻对有害物质的降解作用研究进展 [J]. 饲料工业, 2019, 40 (20): 59–64]
- Mohd – Noor S N, Wong C Y, Lim J W, *et al.* Optimization of self – fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid and protein yields [J]. *Renewable Energy*, 2017, 111 (1): 646–654.
- National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009. 124–2016 National Food Safety Standard Determination of Amino

- Acids in Foods [S]. Beijing: China Standards Press, 2016. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.124-2016 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016]
- National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.5-2016 National Food Safety Standard Determination of Protein in Foods [S]. Beijing: China Standards Press, 2016. [中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016]
- Secci G, Bovera F, Nizza S, et al. Quality of eggs from lohmann brown classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean [J]. *Animal*, 2018, 12 (10): 2191-2197.
- Shan CH, Liu Z, Yang XY, et al. Research progress of the feed additives of beef cattle aboard [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2018, 45 (6): 1543-1548. [单春花, 刘泽, 杨新宇, 等. 国外肉牛饲料添加剂的研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2018, 45 (6): 1543-1548]
- Song LY. Application of amino acid in feed production [J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2011, 4: 79. [宋丽艳. 氨基酸在动物饲料中的应用 [J]. 养殖技术顾问, 2011, 4: 79]
- Sprangers 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.
- Xiao X, Jin P, Zheng L, et al. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. 2018, 49 (4): 1569-1577.
- Yan JY, Zhang C, Tang L, et al. Research and application of different copper sources in livestock production [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 43 (12): 3227-3231. [晏家友, 张纯, 唐凌, 等. 不同铜源在畜禽养殖生产中的研究与应用 [J]. 中国畜牧兽医, 2016, 43 (12): 3227-3231]
- Yu M, Li ZM, Wang G, et al. Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the number of main microbes and metabolites in the cecal digesta of finishing pigs [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2020, 2: 299-310. [徐苗, 李贞明, 王刚, 等. 黑水虻幼虫粉对育肥猪盲肠食糜主要微生物数量和代谢产物的影响 [J]. 畜牧兽医学报, 2020, 2: 299-310]
- Zhang JJ, Wang RH, Zhang B, et al. Effects of black soldier fly larvae meal on performance, egg quality and blood physiological and biochemical parameters of hens during late laying period [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (4): 1-8. [张金金, 王瑞华, 张邦, 等. 黑水虻幼虫粉对蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质及血液生理生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32 (4): 1-8]
- Zheng LQ, Cui JL, Wang YH, et al. Nutritional component analysis of *Hermetia illucens* larvae [J]. *Gansu Animal Husbandry and Veterinary*, 2019, 49 (2): 55-56. [郑丽卿, 崔锦良, 王月晖, 等. 黑水虻幼体营养成分分析研究 [J]. 甘肃畜牧兽医, 2019, 49 (2): 55-56]
- Zhong MZ, Gou NN, Ji H, et al. Effects of using three single forage and their mixture on growth and survival rate of larva *Onychostoma macrolepis* [J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine*, 2020, 39 (1): 4-8. [钟明智, 苟妮娜, 吉红, 等. 三种饲料单独及组合投喂对多鳞白甲鱼仔鱼生长及存活率的影响 [J]. 畜牧兽医杂志, 2020, 39 (1): 4-8]