

不同环境温度下黑水虻幼虫生长和有机垃圾处理效率研究

王苏芹¹, 王建东², 邓艳芳³, 李永萍⁴, 李标利⁴, 曲家鹏^{1*} (1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海西宁 810008; 2. 青海省共和县林业站, 青海共和 813099; 3. 祁连山公园青海服务保障中心, 青海西宁 810008; 4. 青海昆杰环保科技有限公司, 青海西宁 810003)

摘要 为探讨高原地区黑水虻幼虫的生长和处理有机垃圾的效率, 测定了环境温度 24、27、30 ℃, 相对湿度 60% 条件下黑水虻幼虫对厨余垃圾、牦牛胃肠内容物和薯渣及其与酵母菌混合后的饲料的转化效率。将黑水虻虫卵统一孵化 3 d 后, 转移到放在恒温箱内的饲养盒中饲养, 记录饲喂 6 d 后黑水虻幼虫的重量、数量和存活率以及料虫比和残渣重量等参数。结果表明: 温度、饲料类型和是否添加酵母菌对黑水虻幼虫数量和存活率均没有显著影响。在 24~30 ℃ 内, 随着温度的升高, 黑水虻幼虫产量随之增加, 除 30 ℃ 外黑水虻厨余垃圾组幼虫产量显著高于牦牛胃肠内容物组和薯渣组。是否添加酵母菌对黑水虻料虫比没有显著影响。无论是否添加酵母菌, 饲喂厨余垃圾后料虫比和残渣重量分别为 5.80~7.60 和 67.89~106.30 g。由此可见, 高原地区适当增加温度可以加快黑水虻幼虫的生长, 提高黑水虻的转化效率, 降低料虫比, 减少残渣。黑水虻幼虫对厨余垃圾的转化效率高于牦牛胃肠内容物和薯渣。

关键词 黑水虻; 温度; 存活率; 高原地区

中图分类号 X 174 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)17-0070-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.17.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on the Growth of Black Solider Fly Larvae and Its Efficiency to Dispose Organic Waste at Different Environment Temperatures

WANG Su-qin¹, WANG Jian-dong², DENG Yan-fang³ et al (1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, Qinghai 810008; 2. Forestry Station in Gonghe County, Gonghe, Qinghai 813099; 3. Service Support Center of Qilian Mountain Park, Xining, Qinghai 810008)

Abstract In order to investigate the growth of black solider fly larvae and its efficiency to dispose organic waste in plateau area, the efficiency to dispose kitchen waste, gastrointestinal contents of yak, potato residue and feed mixed with yeast by black solider fly larvae was determined under the conditions of temperature of 24, 27, 30 ℃, relative humidity of 60%. The eggs of black solider fly were incubated for 3 days, and then transferred to a feeding box in a constant temperature incubator. The weight, number and survival rate of black solider fly larvae, as well as feed-larvae ratio and residue weight after feeding for 6 days were recorded. The results showed that temperature, feed type and adding yeast or not had no significant effect on larvae number and survival rate of black solider fly. In the range of 24~30 ℃, the yield of black solider fly larvae increased significantly with the increase of temperature, the larvae yield in kitchen waste group was significantly higher than that in yak gastrointestinal contents group and potato residue group (except 30 ℃). Adding yeast or not had no significant effects on the feed-larvae ratio whether adding yeast or not, the feed-larvae ratio and residue weight in kitchen waste group were being 5.80~7.60 and 67.89~106.30 g, respectively. In conclusion, increasing temperature could accelerate the growth of black solider fly larvae, improve the transformation efficiency of black solider fly larvae, reduce the feed-larvae ratio, and reduce the residues in plateau area. The transformation efficiency of kitchen waste by black solider fly larvae was higher than that of yak gastrointestinal contents and potato residue.

Key words Black solider fly; Temperature; Survival rate; Plateau area

黑水虻, 学名斑斑扁角水虻 (*Hermetia illucens* L.), 隶属双翅目扁角水虻属, 是一种腐食性昆虫, 原产于美洲, 在我国广东、云南、湖南、湖北、山东、河南等地均有发现^[1-2]。黑水虻能够取食畜禽粪便和生活垃圾, 生产高价值的动物蛋白饲料, 因其具有繁殖迅速、食性广、转化率高、易繁育和管理、饲养成本低等优点, 可以对有机垃圾进行无害化处理和资源化利用, 其幼虫与蝇蛆、黄粉虫、大麦虫被称为四大资源昆虫, 在全世界范围内广泛养殖^[3-5]。黑水虻虫卵孵化后 2~4 d, 幼虫可以自动爬到有机垃圾中大量进食, 经过 5~7 d 的饲养, 幼虫进入蛹期; 15 d 后进入成虫期, 成虫不进食也不进入人居环境, 在 10 d 的生活期内可产卵 1 000 余枚^[6-7]。

大量研究表明, 黑水虻幼虫的最优饲养温度为 25~30 ℃, 适宜湿度为 60%~80%^[7-8]。目前黑水虻在我国南方地区饲养广泛^[4], 而在北方地区(如山东、河南、陕西等地)也

有较好的推广应用^[7-9]。青海地处青藏高原, 海拔高、气温低, 7 月份日均气温为 12~26 ℃, 1 月份日均气温为 -16~2 ℃, 自然环境不适宜黑水虻的生长。青海是我国牦牛、藏羊的主产区, 每年屠宰的牛、羊数量庞大^[10]。随着居住和旅游人口的增加, 青海厨余垃圾的产量也在逐年增加。为了有效处理有机垃圾, 笔者研究不同温度下黑水虻幼虫处理有机垃圾的效率和幼虫的产量, 探索青海高原地区利用黑水虻处理有机垃圾的潜力, 旨在为促进以黑水虻为中介的低碳畜牧业绿色、可持续发展提供新途径。

1 材料与方法

1.1 黑水虻幼虫的孵化 黑水虻虫卵购自广州安芮洁环保科技有限公司, 虫卵产于该公司位于广州市白云区江高镇茅山工业聚集区的黑水虻养殖场。黑水虻虫卵运至位于青海西宁的实验室后, 当天转入孵化基质中进行孵化培养。孵化基质是将厨余垃圾(湿重)与小麦麸皮(风干重)按 7:3 的比例均匀混合, 再用纯净水将含水量调至 65%。将 500 g 孵化基质平铺在 10 目的筛网上, 放置在容量 4 L 的正方形孵化箱内, 在孵化基质上加入 25 g 虫卵, 孵化箱上方覆盖 2 层无纺布, 并用夹子固定, 27 ℃ 室温下进行孵化。4~6 d 后, 虫卵孵

基金项目 青海省科技援青合作项目(2020-QY-219); 青海省“科技助力经济 2020”重点专项(2020-SF-ZL33)。

作者简介 王苏芹(1996—), 女, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 研究方向: 动物生态学。* 通信作者, 研究员, 博士, 从事动物生态学研究。

收稿日期 2021-11-22

化出肉眼可见的小幼虫,小幼虫经 10 目筛网自行掉落,从而与孵化基质分离,将幼虫称重和计数后用于后续试验。

1.2 有机垃圾的制备 厨余垃圾和牦牛胃肠内容物均来自青海裕泰畜产品有限公司,薯渣来自青海互助威思顿精淀粉有限责任公司,试验地点位于青海昆杰环保科技有限公司的有机垃圾处理实验室。将试验用厨余垃圾、牦牛胃肠内容物和薯渣匀浆处理后,分成 2 份:一份直接分装后置于-20 ℃冰箱内;另一份按照 1.5%的接种比例加入商业化酵母菌,于 25 ℃下发酵 24 h 后分装后置于-20 ℃冰箱内,作为黑水虻幼虫的饲料。饲料的湿度保持在 75%左右。

1.3 不同温度对黑水虻幼虫的影响 试验设置 24、27 和 30 ℃3 个温度梯度,厨余垃圾、牦牛胃肠内容物、薯渣 3 种饲料采用直接使用或添加酵母菌发酵 24 h 后添加 2 种处理方法,共分成 18 组,每组设计 3 个重复,每个重复采用 1 个饲养盒(65 cm × 38 cm × 25 cm)。每个饲养盒初次放入 100 g 饲料、接种大小相近的幼虫 800 条(约 6 g)。使用恒温箱控制饲养盒的温湿度,恒温箱的温度范围为± 0.5 ℃,湿度范围在(60±1)%。

试验于 2021 年 6 月 21 日开始,试验过程中观察黑水虻幼虫的采食情况,每天将 50 g 饲料快速解冻后补充到饲养盒中,有机饲料累计添加量为 350 g。接种小幼虫 6 d 后开始收虫,使用震动分级筛进行虫渣分离,将鲜虫和残渣分别称重,对每个饲养盒的幼虫数量进行计数,按照以下公式计算料虫比和幼虫存活率:

$$\text{料虫比} = \frac{\text{饲料累计添加量}}{(\text{幼虫总鲜重} - \text{接种小幼虫重量})} \quad (1)$$

$$\text{存活率} = \frac{\text{收虫时幼虫数量}}{800} \quad (2)$$

1.4 数据统计与分析 试验数据使用 Excel 2020 软件进行整理,使用 R 4.1.1 统计软件对温度、饲料类型、是否添加酵母菌 3 个因素进行方差分析,采用 Tukey 氏固定差距检验法

对有显著差异的参数进行多重比较。试验数据均以平均值±标准误表示。 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 温度、饲料类型以及是否添加酵母菌对黑水虻幼虫生长的影响 从表 1 可以看出,温度、饲料类型和是否添加酵母菌对黑水虻幼虫数量和存活率均没有显著影响($P > 0.05$)。无论是否添加酵母菌发酵,27 ℃环境下幼虫产量与 24 ℃相比无显著差异($P > 0.05$),30 ℃下幼虫产量均显著高于 27 ℃($P < 0.05$)。这表明温度是影响黑水虻幼虫生长的重要因素之一。

从不同饲料类型对黑水虻幼虫生长的影响来看,除 30 ℃外,无论饲料发酵时是否添加酵母菌,使用厨余垃圾饲喂黑水虻后幼虫产量均显著高于饲喂牦牛胃肠内容物组,而饲喂牦牛胃肠内容物组幼虫产量亦显著高于饲喂薯渣组。在不添加酵母菌发酵的情况下,24 ℃下厨余垃圾组的幼虫产量分别比牦牛胃肠内容物组和薯渣组高 66.80%和 214.03%($P < 0.05$),27 ℃下厨余垃圾组的幼虫产量分别比牦牛胃肠内容物组和薯渣组高 92.66%和 226.10%($P < 0.05$),30 ℃下厨余垃圾组的幼虫产量分别比牦牛胃肠内容物组和薯渣组高 52.66%($P > 0.05$)和 109.37%($P < 0.05$)。在添加酵母菌发酵的情况下,24 ℃下厨余垃圾组的幼虫产量分别比牦牛胃肠内容物组和薯渣组高 57.14%和 159.95%($P < 0.05$),27 ℃下厨余垃圾组的幼虫产量分别比牦牛胃肠内容物组和薯渣组高 39.54%和 182.11%($P < 0.05$),30 ℃下厨余垃圾组的幼虫产量分别比牦牛胃肠内容物组和薯渣组高 12.89%($P > 0.05$)和 115.20%($P < 0.05$)。由此可见,厨余垃圾为黑水虻幼虫的适宜饲料,牦牛胃肠内容物和薯渣也可用于饲喂黑水虻,但饲喂牦牛胃肠内容物和薯渣的黑水虻幼虫产量显著低于厨余垃圾(30 ℃除外)。

表 1 温度、饲料类型及是否添加酵母菌对黑水虻幼虫生长的影响

Table 1 Effects of temperature, feed type and adding yeast or not on the growth of black soldier fly larvae

组别 Group	幼虫产量 Larvae yield//g			幼虫数量 Larvae number//条			存活率 Survival rate		
	24 ℃	27 ℃	30 ℃	24 ℃	27 ℃	30 ℃	24 ℃	27 ℃	30 ℃
牦牛胃肠内容物组 Yakgastrointestinal contents group	35.30± 1.07 bB	33.53± 3.37 bB	43.49± 2.47 aA	540.70± 13.81	419.67± 37.87	680.33± 7.51	0.68± 0.03	0.52± 0.03	0.85± 0.04
厨余垃圾组 Kitchen waste group	58.88± 2.63 bA	64.60± 2.58 bA	66.39± 1.60 aA	472.30± 9.33	521.01± 2.65	602.33± 45.18	0.59± 0.03	0.65± 0.03	0.75± 0.04
薯渣组 Potato residue group	18.75± 1.09 bC	19.81± 0.62 bC	31.71± 1.48 aB	608.30± 16.09	481.30± 16.18	511.20± 33.65	0.76± 0.04	0.60± 0.03	0.64± 0.03
牦牛胃肠内容物+酵母菌组 Yakgastrointestinal contents + yeast group	33.83± 1.10 bB	37.30± 1.73 bB	55.93± 1.10 aA	579.30± 20.17	368.67± 59.48	433.33± 14.05	0.72± 0.04	0.46± 0.02	0.54± 0.03
厨余垃圾+酵母菌组 Kitchen waste+yeast group	53.16± 0.75 bA	52.05± 1.59 bA	63.14± 1.20 aA	477.30± 10.87	525.33± 25.57	556.30± 14.01	0.60± 0.03	0.66± 0.03	0.70± 0.03
薯渣+酵母菌组 Potato residue+yeast group	20.45± 1.66 bC	18.45± 0.36 bC	29.34± 1.89 aB	573.20± 37.40	427.67± 42.25	540.20± 19.66	0.72± 0.04	0.53± 0.03	0.68± 0.03

注:同一指标同行不同小写字母表示不同温度间差异显著($P < 0.05$),同行相同小写字母或无字母表示不同温度间差异不显著($P > 0.05$);同一指标同列不同大写字母表示不同组别间差异显著($P < 0.05$),同列相同大写字母或无字母表示不同组别间差异不显著($P > 0.05$)

Note: As for the same index, different small letters in the same row indicated significant difference among different temperature($P < 0.05$), the same small letter or no letter marked in the same row indicated no significant difference among different temperature($P > 0.05$). As for the same index, different capital letters in the same column indicated significant difference among different groups($P < 0.05$), the same capital letters or no letter marked in the same column indicated significant difference among different groups($P > 0.05$)

2.2 温度、饲料及是否添加酵母菌对黑水虻转化效率的影响 料虫比是添加饲料量与黑水虻幼虫增重的比值,反映了黑水虻幼虫对饲料的转化效率,料虫比越小,饲料转化效率越高。从表2可以看出,是否添加酵母菌对黑水虻的料虫比没有显著影响($P>0.05$),30℃下牦牛胃肠内容物组和薯渣组的料虫比均显著低于24和27℃($P<0.05$)。不同温度下厨余垃圾组的料虫比均低于牦牛胃肠内容物组,牦牛胃肠内

容物组的料虫比显著低于薯渣组($P<0.05$)。

残渣是有机垃圾处理后的废渣与黑水虻幼虫粪便的混合物。从表2可以看出,24℃下无论是否添加酵母菌,厨余垃圾组的残渣重量均显著高于27和30℃下。无论温度高低和是否添加酵母菌,厨余垃圾组的残渣重量均低于牦牛胃肠内容物组和薯渣组,表明黑水虻对厨余垃圾的转化效率最高。

表2 温度、饲料类型及是否添加酵母菌对黑水虻幼虫料虫比和残渣重量的影响

Table 2 Effects of temperature, feed type and adding yeast or not on feed-larvae ratio and residue weight of black soldier fly larvae

组别 Group	料虫比 Feed-larvae ratio			残渣重量 Residue weight//g		
	24℃	27℃	30℃	24℃	27℃	30℃
牦牛胃肠内容物组 Yak gastrointestinal contents group	12.07±0.60 aB	12.71±0.64 aB	5.19±0.26 bB	183.70±3.89 aA	139.17±1.26 bA	136.33±8.12 bA
厨余垃圾组 Kitchen waste group	6.62±0.33 aC	5.97±0.30 aC	5.80±0.29 aB	97.30±2.25 aC	67.89±0.94 bB	76.07±0.76 bB
薯渣组 Potato residue group	27.45±1.37 aA	25.34±1.27 aA	13.61±0.68 bA	103.00±9.71 bC	133.14±14.72 aA	129.60±9.03 aA
牦牛胃肠内容物+酵母菌组 Yak gastrointestinal contents + yeast group	12.58±0.63 aB	11.18±0.56 aB	7.01±0.35 bB	127.67±5.66 aB	133.10±7.06 aA	111.70±3.67 bA
厨余垃圾+酵母菌组 Kitchen waste+yeast group	7.42±0.37 aC	7.60±0.38 aC	6.13±0.31 aB	106.30±0.64 aC	85.33±1.07 bB	81.40±2.29 bB
薯渣+酵母菌组 Potato residue+ yeast group	24.22±1.21 aA	28.11±1.41 aA	15.10±0.75 bA	126.77±6.33 aB	135.36±17.47 aA	129.57±3.52 aA

注:同一指标同行不同小写字母表示不同温度间差异显著($P<0.05$),同行相同小写字母或无字母表示不同温度间差异不显著($P>0.05$);同一指标同列不同大写字母表示不同组别间差异显著($P<0.05$),同列相同大写字母或无字母表示不同组别间差异不显著($P>0.05$)

Note: As for the same index, different small letters in the same row indicated significant difference among different temperature ($P<0.05$), the same small letter or no letter marked in the same row indicated no significant difference among different temperature ($P>0.05$). As for the same index, different capital letters in the same column indicated significant difference among different groups ($P<0.05$), the same capital letters or no letter marked in the same column indicated significant difference among different groups ($P>0.05$)

3 讨论

3.1 温度对黑水虻幼虫生长的影响 大量研究表明,温度是影响黑水虻生长发育的重要因素。Tomberlin等^[11]、郭凤达^[12]的研究表明,黑水虻幼虫饲养的最适温度范围为25~28℃,当温度低于15℃时黑水虻幼虫全部死亡,预蛹死亡率高达80.9%,总体成活率低于5%;当温度高于33℃时,黑水虻生长发育各阶段的死亡率也会增加。姬越等^[13]研究发现28℃下黑水虻幼虫阶段的生长发育参数最佳。该试验中不同温度下黑水虻幼虫的数量和存活率均没有显著差异,这与孙振涛等^[7]、雷明港等^[8]的研究结果相一致。该试验发现30℃下幼虫产量显著高于24和27℃,这与Tomberlin等^[11]和姬越等^[13]的研究结果基本一致。

青海地处青藏高原,属于大陆性高原半干旱气候,昼夜温差大,全年日均温-1~15℃,自然环境温度不适宜黑水虻的生长发育,因此在高原地区采用黑水虻处理有机垃圾必须采取增温保温措施^[14]。该试验结果表明,在24~30℃内黑水虻幼虫均能够处理厨余垃圾、牦牛胃肠内容物和薯渣,随着温度的升高,黑水虻幼虫处理垃圾的效率显著提高。因此,需要在人工增温保温成本与垃圾处理效率之间找到平衡点,以达到最优的适宜温度。刘晓叶^[15]研究发现,在厨余垃圾中添加酿酒酵母等发酵44.5h后作为黑水虻幼虫的饲料,能够显著提高幼虫的产量和存活率。该试验中添加酵母菌对3种饲料发酵24h,是否添加酵母菌发酵对黑水虻幼虫产量没有显著影响,这可能是由于发酵时间较短所致。

3.2 黑水虻对有机垃圾的转化效率 利用黑水虻进行有机

垃圾的无害化处理和资源化利用,必须建立规模化、产业化的黑水虻生产模式,因此黑水虻对有机垃圾的转化效率至关重要。料虫比反映了黑水虻对饲料的转化效率,是衡量黑水虻处理垃圾效率的重要参数之一。黑水虻最常见用来处理厨余垃圾^[6,15]。该试验结果表明黑水虻对家畜屠宰后的胃肠内容物、薯渣等也有一定的处理效果。不同废弃物中的蛋白质、氨基酸等含量和适口性不同,导致黑水虻对其转化效率也存在明显差异^[2,12]。姜慧敏等^[6]研究发现黑水虻对厨余垃圾的减量化率可高达79.1%,虫体转化率高达19.4%,且垃圾中大肠杆菌等全部灭活,是一种高效、安全的有机垃圾资源化途径。

以前有关黑水虻处理畜禽粪便的研究较多。例如,黑水虻在饲喂鸡粪后的料虫比达到8.79,幼虫可增重72.16mg^[7],比对猪粪的转化率高12.47%^[8]。家畜屠宰后的胃肠内容物含有丰富的蛋白质成分,通常采用堆肥处理或被随意丢弃,既污染环境,又会造成不必要的浪费。该试验结果发现,黑水虻对家畜屠宰后的胃肠内容物也具有较好的转化作用,可以为打造“青海绿色有机农畜产品输出地”和绿色低碳畜牧业发展提供重要支撑。

马铃薯是全球第四大重要的粮食作物,仅次于小麦、稻谷和玉米。我国是世界上马铃薯种植、产量和消费量最大的国家,马铃薯淀粉的加工占据了产业的主体地位。在马铃薯淀粉生产的过程中,会产生大量的薯渣。由于薯渣水分含量高、含有多种微生物,运输与储存难度大,且容易出现腐败变

(下转第75页)

不饱和脂肪酸与鲜味氨基酸^[15]。肉类挥发性风味物质含量与其所含脂肪酸中亚油酸、亚麻酸和花生四烯酸含量相关^[15]。鸡肉中氨基酸对肉质风味品质具有重要影响。天门冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸是形成鸡肉鲜味的主要呈味物质^[18]。鲁西斗鸡鸡肉蛋白、脂肪含量较高,不饱和脂肪酸含量丰富,鲜味和甜味等呈味氨基酸含量高,能够提供大量的香味前体物质和鲜味。因此,鲁西斗鸡肉质风味浓郁,与独有的脂肪、蛋白等物质含量和组成有关。鲁西斗鸡丰富的有机成分,也在一定程度上解释了斗鸡肉风味独特的内在机理。

4 小结

鲁西斗鸡屠宰率、全净膛率和腿肌率较高。鸡肉营养丰富,富含不饱和脂肪酸和氨基酸,营养丰富,风味浓郁,适合作为肉鸡开发使用。

参考文献

- [1] 陈宽维,刘海良,邓荣臻,等. 鲁西斗鸡的生物学特性与驯养[J]. 中国家禽,2001,23(22):45-46.
- [2] 谌澄光,李良鉴,李兴辉,等. 江西宁都黄鸡肉质性状的研究[J]. 中国家禽,2003,25(10):7-9.
- [3] 李文嘉,孙全友,魏凤仙,等. 饲养方式对北京油鸡生长和屠宰性能、肉质以及肌肉脂肪酸含量的影响[J]. 动物营养学报,2019,31(4):1585-1595.
- [4] 徐廷生,雷雪芹,袁志发. 河南斗鸡肉用性能与肉质特性研究[J]. 西北农业学报,2001,10(2):25-27.

(上接第 72 页)

质等问题。如何有效处理薯渣是马铃薯产业发展需要破解的难题之一^[16]。该试验采用黑水虻处理薯渣,不添加酵母菌发酵时其料虫比为 13.61~27.45,远高于厨余垃圾组料虫比。这表明黑水虻对薯渣具有一定的转化作用,但转化技术还有待进一步改善。

4 结论

该研究结果表明,在不同温度、饲料类型下黑水虻幼虫数量和存活率没有显著差异。在 24~30℃内,随着温度的升高,黑水虻对有机垃圾的转化效率明显提高。厨余垃圾是黑水虻最优的饲料,黑水虻对家畜屠宰后胃肠道内容物和薯渣也具有一定的转化作用,但转化效率还有待进一步提升。

参考文献

- [1] YILDIRIM-AKSOY M, ELJACK R, BECK B H. Nutritional value of frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in a channel catfish, *Ictalurus punctatus*, diet[J]. Aquaculture nutrition, 2020, 26(3):812-819.
- [2] 张俊哲,刘执平,陈国忠. 黑水虻的养殖及其处理畜禽粪便的研究进展[J]. 山东畜牧兽医,2019,40(1):72-74.
- [3] SEALEY W M, GAYLORD T G, BARROWS F T, et al. Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*[J]. Journal of the world aquaculture society, 2011, 42(1):34-45.
- [4] 彭才望,许道军,贺喜,等. 黑水虻处理的猪粪有机肥离散元仿真模型参数标定[J]. 农业工程学报,2020,36(17):212-218.

- [5] 王福刚,刘召乾. 浅谈鲁西斗鸡的选育与利用[J]. 中国畜禽种业,2009,5(3):93-95.
- [6] 金恒,邱光忠,钟云平,等. 饲养方式对宁都三黄鸡肌肉品质及矿物元素含量的影响[J]. 江西农业学报,2019,31(11):122-126.
- [7] 王帅,李浩然,井文倩,等. 琅琊鸡肉品质的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2019(7):18-24.
- [8] 贾汝敏,姚晶宁,黄毓青. 海大香鸡不同品系屠宰性能与肉质性状的比较[C]//吴常信. 家禽研究最新进展——第十一次全国家禽学术讨论会论文集. 长春:吉林科学技术出版社,2003:166-168.
- [9] 薛正芬,郭立,张文举,等. 吐鲁番斗鸡肉用性能研究[J]. 新疆畜牧业,2016(1):34-35.
- [10] 孙厚法,唐辉,张秀梅,等. 山东省四个地方鸡种体尺及屠宰性状比较研究[J]. 中国家禽,2015,37(23):12-15.
- [11] 李炳霞,张相伦,杨在宾. 饲料蛋白水平对鲁西斗鸡产肉性能及内脏器官发育影响的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2014,45(1):10-16.
- [12] 薛帮群,武大椿. 河南斗鸡的解剖观察(二)[J]. 豫西农专学报,1990(1):17-21,26.
- [13] 杨翠军,崔文典,葛剑. 放养河北柴鸡与现代笼养白鸡肉、蛋理化性状和营养成分分析[J]. 黑龙江畜牧兽医(科技版),2012(21):63-65.
- [14] 张秀梅,康丽,李显耀,等. 汶上芦花鸡和济宁百日鸡母鸡的肌肉营养成分及风味的比较[J]. 中国畜牧兽医,2015,42(1):109-117.
- [15] 骆科印,张军,徐龙飞,等. 乌蒙凤鸡肉品质分析[J]. 黑龙江畜牧兽医,2019(18):51-55.
- [16] 黄红涛,冯若楠,夏天宇,等. 脂肪对肉品质的影响[J]. 畜牧兽医杂志,2018,37(1):59-60.
- [17] 周同永,任飞,邓黎,等. γ -亚麻酸及其生理生化功能研究进展[J]. 贵州农业科学,2011,39(3):53-58.
- [18] 吕学泽,杨卫芳,王梁,等. 不同饲养方式下北京油鸡产品风味和营养物质差异研究[J]. 食品研究与开发,2019,40(4):52-56.

- [1] 孙运奇,苗金辉,周田田,等. 黑水虻生物转化有机废弃物研究进展[J]. 安徽农业科学,2021,49(15):10-13,17.
- [2] 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.
- [3] 孙振涛,赵爱民,高鹏翔,等. 温湿度对黑水虻繁殖率及幼虫转化鸡粪效率的研究[J]. 家畜生态学报,2021,42(1):61-64.
- [4] 雷明港,孙振涛,王桂英,等. 不同温湿度环境对黑水虻成虫繁殖率和幼虫转化畜禽粪便效率的研究[J]. 中国畜牧杂志,2020,56(12):205-208.
- [5] RAMZY R R, EL-DAKAR M A, WANG D, et al. Conversion efficiency of lignin-rich olive pomace to produce nutrient-rich insect biomass by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*[J]. Waste and biomass valorization, 2022,13(2):893-903.
- [6] 西宁市人民政府. 西宁市人民政府关于印发《青海绿色有机农畜产品示范省建设西宁市工作方案》的通知[J]. 西宁市人民政府公报,2020(3):8-15.
- [7] TOMBERLIN J K, SHEPPARD D C, JOYCE J A. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera:Stratiomyidae) reared on three Artificial diets[J]. Annals of the entomological society of America, 2002, 95(3):379-386.
- [8] 郭凤达. 亮斑扁角水虻生物学及其幼虫肠道细菌的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2012.
- [9] 姬越,任德珠,叶明强,等. 亮斑扁角水虻人工饲养条件下适宜温度的研究[J]. 环境昆虫学报,2017,39(2):390-395.
- [10] 余苗,李贞明,容庭,等. 黑水虻在低碳畜牧业中的应用研究进展[J]. 广东农业科学,2020,47(12):122-133.
- [11] 刘晓叶. 餐厨垃圾固态发酵制备蛋白饲料及在黑水虻饲养中的应用[D]. 镇江:江苏大学,2019.
- [12] 梁瑞雪,侯艳,茹义博,等. 马铃薯渣的降解及应用研究进展[J]. 食品工业,2021,42(8):249-254.