

## 黑水虻幼虫处理鸡粪后虫体营养及虫沙评价

蔡影峰, 牛世华, 刘朔, 程增文, 廖新倮, 邢斯程

### 引用本文:

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.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0320>

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

### 异位发酵床处理农村厕所黑水的效果研究

李佳彬, 李路瑶, 刘雪, 陈卓帛, 宋婷婷, 朱昌雄, 耿兵

*农业环境科学学报*. 2021, 40(9): 1998–2005 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0393>

### 施用鸡粪有机肥对种植小油菜土壤微生物群落结构多样性的影响

李可, 孙彤, 孙涛, 徐应明, 孙约兵

*农业环境科学学报*. 2020, 39(10): 2316–2324 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0036>

### 洛克沙肿代谢物在土壤中的累积及其植物有效性研究

黄连喜, 魏岚, 姚丽贤, 何兆桓, 周昌敏

*农业环境科学学报*. 2019, 38(5): 1079–1088 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0834>

### 宁夏养鸡场粪污及周边土壤重金属和细菌群落特征研究

张俊华, 贾萍萍, 刘吉利, 孙媛, 尚天浩

*农业环境科学学报*. 2020, 39(8): 1692–1705 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0303>

### 不同钝化剂对重金属在土壤-油菜中迁移的影响

沈章军, 侯万青, 徐德聪, 吴江峰, 季涛涛

*农业环境科学学报*. 2020, 39(12): 2779–2788 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0397>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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.

CAI Y F, NIU S H, LIU S, et al. Evaluation of growth performance and nutrient composition of black soldier fly larvae treated with laying-hen manure[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2021, 40(9): 2006–2013.



开放科学 OSID

# 黑水虻幼虫处理鸡粪后虫体营养及虫沙评价

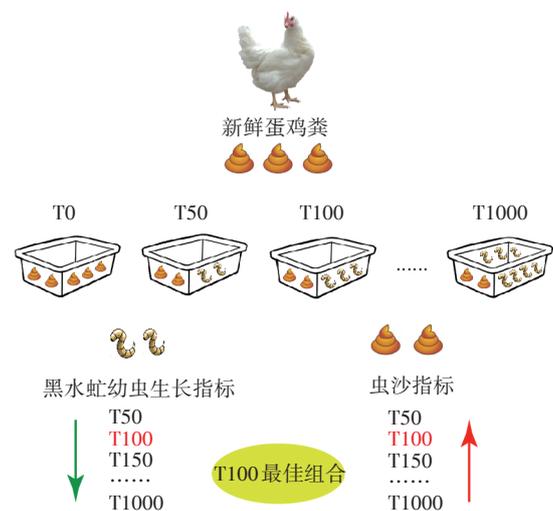
蔡影峰<sup>1</sup>, 牛世华<sup>1</sup>, 刘朔<sup>1</sup>, 程增文<sup>1</sup>, 廖新倮<sup>1,2,3</sup>, 邢斯程<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 华南农业大学动物科学学院, 广州 510642; 2. 广东省畜禽废弃物处理与资源化利用工程技术研究中心, 广州 510642; 3. 农业农村部鸡遗传育种与繁殖重点实验室, 广州 510642)

**摘要:**为探讨不同比例黑水虻幼虫处理鸡粪对黑水虻幼虫生长性能和虫沙肥料的影响,选择150日龄新鲜蛋鸡粪(各处理均为100 g),在人工气候培养箱中设置14组不同初始投放条数密度的3日龄黑水虻幼虫(0、50、100、…、1 000条,分别表示为T0、T50、T100、…、T1000),对黑水虻幼虫生长性能及营养成分和鸡粪营养物质变化进行研究。结果表明:T50组与T100组黑水虻幼虫生长性能显著高于其他幼虫处理组( $P<0.05$ ),其中T50组和T100组每条幼虫鲜质量分别可达134.70 mg和98.47 mg,干物质含量分别可达37.49%和34.61%。T100~T1000组虫沙含水率显著低于新鲜鸡粪组(CK)、无虫组(T0)和T50组( $P<0.05$ );虫沙pH总体偏碱性,幼虫处理组pH均高于CK组,只有T100组pH为8.48,符合《有机肥料》(NY 525—2012);虫沙粗蛋白含量幼虫处理组显著低于CK组和T0组( $P<0.05$ ),T350组虫沙粗蛋白含量最低,仅为7.32%,T50~T1000组虫沙类腐植酸含量显著低于CK组和T0组( $P<0.05$ );CK组虫沙类胡敏酸含量显著高于T50和T100组,而T50和T100组虫沙类胡敏酸含量显著高于其他幼虫处理组( $P<0.05$ ),并且其他幼虫处理组虫沙类胡敏酸含量接近于0;T50和T100组虫沙各重金属含量均符合《有机肥料标准》。研究表明,T100组即100条黑水虻幼虫与100 g鸡粪的比例满足了幼虫和虫沙的需求,幼虫具有更高水平的生长性能及营养成分,虫沙被黑水虻幼虫充分利用后仍保留较多有利于提高植物品质的类腐植酸和类胡敏酸,其中pH、有机质、总养分含量及重金属含量均满足我国《有机肥料》(NY 525—2012),对虫沙进行再加工可生产出商品有机肥料,因此T100组是黑水虻幼虫高效处理鸡粪的合理比例,有利于指导黑水虻幼虫的饲养管理,高效地针对蛋鸡粪实现变废为宝。

**关键词:**黑水虻幼虫;蛋鸡粪;虫沙;生长性能;有机肥

中图分类号:X713;X174 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2021)09-2006-08 doi:10.11654/jaes.2021-0320



## Evaluation of growth performance and nutrient composition of black soldier fly larvae treated with laying-hen manure

CAI Yingfeng<sup>1</sup>, NIU Shihua<sup>1</sup>, LIU Shuo<sup>1</sup>, CHENG Zengwen<sup>1</sup>, LIAO Xindi<sup>1,2,3</sup>, XING Sicheng<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Engineering Technology Research Center of Livestock and Poultry Waste Treatment and Resource Utilization of Guangdong Province, Guangzhou 510642, China; 3. Key Laboratory

收稿日期:2021-03-17 录用日期:2021-05-17

作者简介:蔡影峰(1997—),男,广东佛山人,硕士研究生,主要从事动物健康养殖与安全生产研究。E-mail:ying872807836@qq.com

\*通信作者:邢斯程 E-mail:smileforsicheng@foxmail.com

基金项目:国家自然科学基金项目(32072783);国家现代农业产业技术体系项目(CARS-40)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(32072783); China Agriculture Research System(CARS-40)

of Chicken Genetics, Breeding and Reproduction, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** This study aims at investigating the effects of treatment by different proportions of laying-hen manure on the growth performance and insect sand fertilizer potential of black soldier fly larvae. In this study, fourteen groups of 3-day-old black soldier fly larvae with different densities were cultured in 150-day-old laying-hen manure in an artificial climate incubator. The study examined the growth performance and nutrient composition of black soldier fly larvae and the changes of nutrients in laying-hen manure. Results of the study showed that the growth performance of larvae in the T50 and T100 groups was significantly greater than that in other larva treatment groups ( $P < 0.05$ ). The fresh weight of larvae in the T50 and T100 groups reached 134.70 mg and 98.47 mg, respectively. The dry matter content in the two groups reached 37.49% and 34.61%, respectively. The moisture content of insect sand in T100 to T1000 groups was significantly less than that in the CK (fresh laying-hen manure), T0 (insect-free), and the T50 groups ( $P < 0.05$ ). The pH of the insect sand was generally alkaline. The pH of the larva treatment group was higher than that of the CK group. The pH of only the larva treatment T100 group met the *Organic Fertilizer* (NY 525—2012). The crude protein content of insect sand in the larva treatment groups was significantly lower than that in the CK and T0 groups ( $P < 0.05$ ). The T350 group had the lowest crude protein content of insect sand (7.32%). The humic acid content of insect sand in the CK and T0 groups was greater than that in the T50~T1000 groups ( $P < 0.05$ ). The humic acid content in the CK group was significantly greater than that in the T50 and T100 groups. Meanwhile, the humic acid content of insect sand in the larva treatment groups T50 and T100 was greater than that in other larva treatment groups ( $P < 0.05$ ), which is nearly zero. All heavy metal concentrations in larva treatment groups T50 and T100 met the *Organic Fertilizer*. Further, the ratio of 100 black soldier fly larvae to 100 g of laying-hen manure met the requirements of larvae and insect sand. Black soldier fly larvae have higher levels of growth performance and nutrients with the treatment by laying-hen manure than without. With treatment, insect sand retains more humic acid, which is conducive to improving plant growth. Furthermore, with this treatment, pH, total nutrient content, and heavy metal concentrations meet the *Organic Fertilizer* in China. Results show that the larvae to manure ratio in the T100 group provides an efficient treatment of laying-hen manure by black soldier fly larvae, is conducive to the feeding and management of black soldier fly larvae, and can effectively turn poultry waste into a profitable product.

**Keywords:** black soldier fly larvae; laying-hen manure; insect sand; growth performance; organic fertilizer

随着畜禽养殖业发展,养殖方式由散养转变成集约化养殖,养殖场由原来农区、牧区逐步转移到城镇郊区,从而导致农牧严重脱节<sup>[1]</sup>。据农业农村部官方数据显示,截至2018年全国畜禽粪污年产量约38亿t,其中畜禽直接排泄的粪便约为18亿t<sup>[2]</sup>。我国蛋鸡产量连续34年位居世界第一<sup>[3]</sup>,蛋鸡粪在所有畜禽粪便中养分最高,蛋鸡产粪量约为其采食量的110%~120%,且鸡粪中含有大量有机物、氮、磷、钾<sup>[4]</sup>,新鲜鸡粪粗蛋白含量可达17%<sup>[5]</sup>,因此将鸡粪进行后续资源化利用具有巨大潜质。

黑水虻幼虫作为处理畜禽粪便的典型媒介,可合理资源化利用鸡粪,避免对环境造成污染,处理完粪便后收集的虫体还可作为蛋白饲料。刘良等<sup>[6]</sup>的研究发现,黑水虻幼虫对猪粪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,极大地减少了粪便对环境的不利影响。NEWTON等<sup>[7]</sup>发现黑水虻幼虫处理鸡粪后可降低50%左右的鸡粪质量,且其虫体粗蛋白可达42.1%,粗脂肪达34.8%。目前,黑水虻幼虫应用于动物饲料是通过虫糜、虫干、虫粉、虫油等方式<sup>[8]</sup>,其可在猪、肉鸡、蛋鸡日粮中替代部分

豆粕或鱼粉<sup>[9-13]</sup>。因此,保证黑水虻高效处理畜禽粪便的同时保证其作为饲料的质量是推广黑水虻处理养殖废弃物及资源化利用的重要技术探究。

已有研究报道,黑水虻幼虫可处理多种营养废弃物,但是不同基质养殖黑水虻幼虫所要求的密度差异较大。窦永芳等<sup>[14]</sup>选择7日龄黑水虻幼虫按5个养殖密度类型分配到尺寸统一的15个饲养盒后用餐厨垃圾米饭进行饲养,发现D2000组(0.51只·cm<sup>-3</sup>)密度适合于小规模选育,D2500组(0.64只·cm<sup>-3</sup>)适合于幼虫在餐厨垃圾中的工厂化生产;宇晓等<sup>[15]</sup>发现将4日龄黑水虻幼虫8750条投加到20.0kg牛粪中为实验范围内最佳饲养密度。但利用蛋鸡粪养殖黑水虻幼虫的密度尚未确定。同种基质要求养殖黑水虻幼虫的密度也有较大的差别,例如幼虫密度过大,鸡粪量不能满足幼虫生长发育所需要的营养,会导致幼虫生长发育停止,幼虫营养成分减少;幼虫密度太小,鸡粪中营养物质不能得到充分利用且产出的虫沙难以直接利用。郭会茹等<sup>[16]</sup>发现在鸡粪中添加283.69g·t<sup>-1</sup>黑水虻虫卵,处理后的虫沙可达到《有机肥料》(NY 525—2012)。综上所述,虫子的投放密度对得到质量高的虫体及达标的虫沙有机肥具

有重要作用。

因此,为利用黑水虻高效处理鸡粪,使得到的虫沙可以达到有机肥料标准,同时虫子的生长发育不受影响,虫体可作为高质量饲料,本研究通过设置不同幼虫投放条数,测定不同幼虫条数处理粪便后虫沙中关键物质的含量及虫体营养成分,初步得出最佳的幼虫投放比例,为今后利用黑水虻高效处理鸡粪并同时保证虫体质量的生产和研究提供理论支持和数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样鸡场与虫卵购置

选择广东绿杨农业股份有限公司的蛋鸡场,采集150日龄新鲜蛋鸡粪。黑水虻虫卵购买于广州无两生物科技有限公司。

### 1.2 主要仪器及试剂

人工气候培养箱、万级天平、游标卡尺、pH计、元素分析仪。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 黑水虻幼虫养殖与分组

本试验采用麦麸对黑水虻虫卵进行孵化,其含水率为75%,温度28~30℃。幼虫孵育到3日龄后,将黑水虻幼虫按不同比例添加到100g蛋鸡粪中,试验设14个处理组和1个空白组,每组3个重复,具体试验分组设计如表1所示。所有处理组用塑料盒(11.5cm×8.5cm×4.5cm)装载并置于人工气候培养箱中饲养,饲养条件为24h黑暗,湿度70%~80%,温度28~30℃,当50%幼虫变成黑棕色预蛹时停止饲喂,幼虫及虫沙保存于-80℃冰箱。培养过程中,各组每3d随机选择5条幼虫称质量、测体长。各组第1d和最后1d收集10g鸡粪保存于-80℃中用于检测。

#### 1.3.2 幼虫生长发育指标测定方法

每3d选取各组生长发育速度一致的黑水虻幼虫5条,用游标卡尺测量体长,用万级电子天平称量鲜质量。待50%幼虫进入预蛹阶段时,记录幼虫发育日龄。收获黑水虻幼虫后,分别统计各组活虫数并计算存活率。

#### 1.3.3 幼虫营养指标测定方法

各组取50条6龄黑水虻幼虫用蒸馏水洗净,称质量,60℃烘干至恒质量后测定10条6龄幼虫的平均干质量并计算水分含量。将烘干后的幼虫磨碎,过20目筛,4℃密封保存用于测定营养指标。称取2mg虫粉,用样品纸包好,放入元素分析仪的样品槽中,选

表1 试验分组

Table 1 Experimental grouping

处理 Treatment	组别 Group	黑水虻幼虫(条):鸡粪(g) Black soldier fly larvae(Item):laying hens manure(g)
CK	新鲜鸡粪组	不处理
T0	无虫处理组	0:100
T50	处理组	50:100
T100	处理组	100:100
T150	处理组	150:100
T200	处理组	200:100
T250	处理组	250:100
T300	处理组	300:100
T350	处理组	350:100
T400	处理组	400:100
T500	处理组	500:100
T600	处理组	600:100
T700	处理组	700:100
T800	处理组	800:100
T1000	处理组	1 000:100

定CHSN测试模式,测出总氮含量;粗蛋白含量为总氮含量×6.25×100%。粗灰分根据《食品中灰分的测定》(GB 5009.4—2016)方法测定。

#### 1.3.4 虫沙理化指标

称取2g虫沙样品,加20mL超纯水,涡旋混匀1min,然后静置15min,用pH计测定样品pH。称取2g样品在105℃烘干至恒质量后再次称质量,计算虫沙含水率。称取2mg虫沙,用样品纸包好,放入元素分析仪的样品槽中,选定CHSN测试模式,测出总氮、总碳含量并计算C/N。粗蛋白含量为总氮含量×6.25×100%。全磷测定采用硫酸-双氧水消煮-钼钼黄比色法;全钾测定采用硫酸-双氧水消煮-火焰原子吸收分光光度法。总砷、总镉、总铬、总铅和总汞采用《肥料中砷、镉、铬、铅、汞含量的测定》(GB/T 23349—2020)方法测定。

#### 1.3.5 虫沙生物学指标测定方法

有机质:高温外加热重铬酸钾氧化-容量法;类腐植酸:焦磷酸钠浸提-重铬酸钾氧化-容量法;类富里酸和类胡敏酸:焦磷酸钠-氢氧化钠提取重铬酸钾氧化容量法(NY/T 1867—2010)。

## 1.4 数据分析

检测数据经Excel初步处理,GraphPad Prism 8.0软件作图,SPSS 22.0软件进行单因素方差分析,结果以“平均数±标准误”表示, $P<0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑水虻幼虫生长性能及营养成分分析

由表2可知,随着幼虫比例的增加,黑水虻幼虫体长及鲜质量变小,T50组每条黑水虻幼虫体长及鲜质量显著高于其他处理组,分别达到17.60 mm和134.70 mg,幼虫鲜质量是T1000组的10倍。成活率在T50~T400组及T800组间无显著差异,均在93%以上,但显著高于T500、T600、T700和T1000组。幼虫干物质含量T50和T100组显著高于T150~T1000组,随着幼虫比例的增加,幼虫干物质含量呈现下降趋势。T50~T300组幼虫粗蛋白含量(DM基础,下同)随着幼虫比例增加呈下降趋势,T300~T1000组呈上升趋势且在T1000组达到最高,为39.70%,显著高于低幼虫比例组。T50和T100组幼虫粗灰分显著低于其他组,分别为21.97%和25.52%,说明T50和T100组幼虫营养成分显著高于其他处理组。

### 2.2 黑水虻虫沙成分分析

由表3可知,黑水虻幼虫可大幅降低鸡粪的含水率,T100~T1000组虫沙含水率显著低于CK、T0和T50组,在21.47%~42.97%间呈无显著差异的动态平衡。虫沙pH总体偏碱性,幼虫处理组pH均高于CK组,T300达到最高9.36。《有机肥料》(NY 525—2012)要求肥料pH在5.5~8.5之间,因此幼虫处理组只有T100组符合要求。虫沙粗蛋白含量总体呈降低趋势,幼虫处理组显著低于CK和T0组,T350组虫沙粗

蛋白含量最低,说明黑水虻幼虫可以充分利用鸡粪的粗蛋白。幼虫处理新鲜鸡粪后,虫沙粗灰分含量均有显著提高,说明黑水虻幼虫可有效处理新鲜鸡粪中大部分营养物质。幼虫组虫沙总氮含量显著低于CK和T0组,主要分布在11.71~20.04 g·kg<sup>-1</sup>之间。总磷和总钾含量均在T100组达到最高,且显著高于CK组。

由图1可知,虫沙类腐植酸在CK组中含量最高,达到34.89%,T0组略有降低,T50~T1000组虫沙类腐植酸含量显著低于CK组和T0组,在17.46%~23.42%范围内达到动态平衡。说明黑水虻幼虫可以利用鸡粪中的类腐植酸,并且幼虫比例的上升不会对鸡粪类腐植酸的含量产生较大影响。表3显示,T350组虫沙有机质含量最低为39.70%,T350组和T800组均低于45%,不符合有机肥料技术要求。低密度幼虫处理组T50~T150组虫沙有机质含量变化较小,随着幼虫密度的上升,虫沙有机质含量变化较大,这可能与虫沙的含水率变化有关。由图1可知,幼虫处理组总养分含量均低于CK组和T0组,并且随着幼虫比例的上升,虫沙总养分含量降低,说明幼虫的增多会利用鸡粪更多的总养分。T0、T50和T100组间总养分含量没有显著差异,T150~T1000组间没有显著差异,但幼虫处理组均显著低于CK组。经黑水虻处理的鸡粪总养分为5.78%~7.07%,均低于CK组和T0组,说明黑水虻幼虫利用了鸡粪中的部分总养分,并且随着幼虫密度的增加,总养分的含量降低,CK组显著高于T50~T1000组。

表2 各处理组6龄幼虫营养成分

Table 2 Nutrient composition of 6 instars larvae in each treatment group

处理 Treatment	粗蛋白 Crude protein/%	粗灰分 Crude ash/%	干物质 Dry matter/%	体长 Body length/mm	鲜质量 Fresh weight/mg	成活率 Surviving rate/%
T50	36.16±1.25bcd	21.97±0.58e	37.49±0.66a	17.60±0.29a	134.70±12.42a	98.00±3.46a
T100	36.18±0.76bcd	25.52±3.41d	34.61±0.36b	15.90±0.69b	98.47±5.59b	95.67±5.13a
T150	35.44±2.38cd	28.03±3.61cd	31.55±0.95c	14.43±0.92c	75.57±7.09c	97.56±4.23a
T200	35.38±0.65cd	29.20±0.73bc	29.89±0.29cd	13.55±0.15c	64.33±3.40d	99.67±0.58a
T250	34.68±1.49d	29.61±1.36bc	30.12±0.52cd	12.49±0.84d	44.67±6.28e	99.33±0.61a
T300	34.32±0.77d	31.73±0.46ab	30.74±1.07cd	11.93±0.34de	44.80±4.55e	98.22±1.39a
T350	35.09±1.23cd	31.91±0.65ab	29.24±2.18de	11.96±0.31de	40.63±2.99e	94.67±2.31a
T400	35.60±1.21cd	31.14±1.64ab	27.89±0.90ef	11.32±0.51ef	40.07±1.70e	93.92±1.01a
T500	38.80±1.27ab	30.80±0.50abc	26.75±0.90fg	10.45±0.38fg	27.57±3.44f	87.27±2.83b
T600	37.65±1.71abc	30.78±0.57abc	26.46±0.89fg	9.77±0.93g	24.47±5.01f	83.00±1.61b
T700	38.86±0.85ab	31.42±0.58ab	25.31±1.34g	8.74±0.61h	18.27±2.48fg	86.52±7.04b
T800	39.31±0.89a	32.90±0.53a	25.32±1.43g	7.91±0.76hi	14.67±1.79g	94.30±2.75a
T1000	39.70±2.87a	33.20±0.15a	27.00±0.88fg	7.57±0.40i	13.63±1.78g	81.67±2.80b

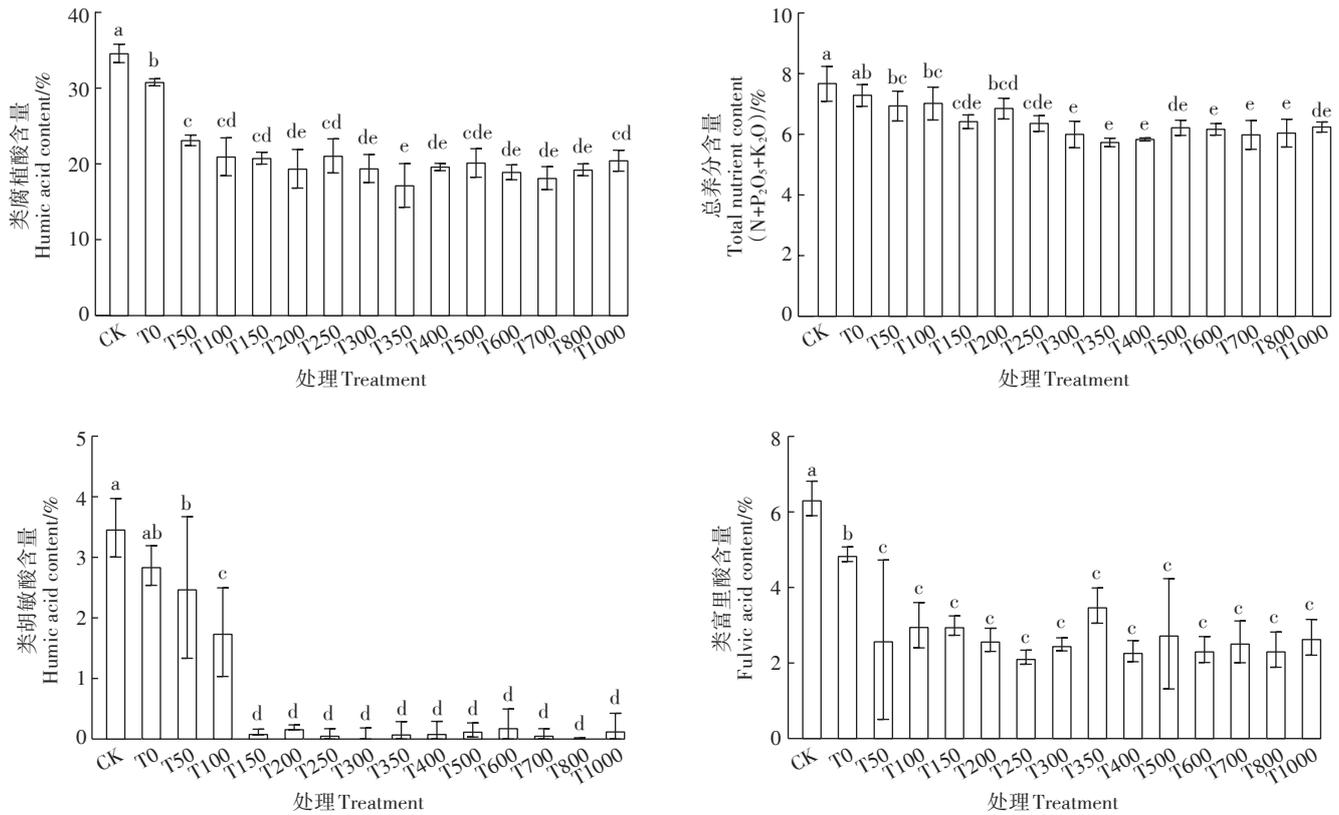
注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P<0.05$ ). The same below.

表3 各处理组虫沙成分

Table 3 Insect sand composition of each treatment group

处理 Treatment	含水率 Moisture content/%	pH	粗蛋白 Crude protein/%	粗灰分 Crude ash/ %	总氮 Total nitrogen/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphorus/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total potassium/ (g·kg <sup>-1</sup> )	类腐植酸 Humic acid/ %	有机质 Organic matter/ %
CK	83.96±2.71a	7.89±<0.01d	24.26±3.80a	34.42±2.45e	38.81±6.08a	14.55±0.14e	23.75±0.71c	34.89±1.22a	48.64±7.56a
T0	57.14±1.80b	8.74±0.15bcd	15.75±1.09b	44.75±1.84abcd	25.20±1.73b	20.03±1.07bcd	28.05±3.00ab	31.08±0.48b	50.48±3.14a
T50	54.83±1.48b	8.62±0.25cd	10.62±0.67cd	41.97±3.88d	16.99±1.07cd	21.49±1.52ab	31.29±2.78a	23.42±0.69c	50.27±2.04a
T100	42.97±1.41c	8.48±0.39d	10.61±1.74cd	47.45±2.13abc	16.98±2.77cd	22.09±1.70a	31.61±2.76a	21.25±2.50cd	48.24±3.56a
T150	32.71±15.53cde	8.95±0.19abc	11.11±1.88cd	47.12±0.20abcd	17.77±3.02cd	20.22±0.61bcd	26.60±2.47bc	21.06±0.78cd	47.28±6.53a
T200	29.13±8.63de	8.75±0.02bcd	12.52±1.45c	46.21±3.88abcd	20.04±2.31c	21.32±0.65abc	27.59±1.96abc	19.65±2.55de	45.90±4.14a
T250	27.97±5.06de	9.20±0.11a	9.94±0.47cde	44.12±2.11bcd	15.91±0.75cde	19.08±0.90d	29.03±1.76ab	21.36±2.25cd	45.98±1.26a
T300	24.71±4.41de	9.36±0.07a	7.85±0.81e	47.10±3.30abcd	12.56±1.30e	18.74±1.18d	29.09±3.06ab	19.70±1.84de	43.23±6.61a
T350	24.68±4.85de	8.96±0.64abc	7.32±0.37e	48.64±3.32ab	11.71±0.60e	19.75±0.23cd	26.36±0.59bc	17.46±2.89e	39.70±6.82a
T400	25.85±6.08de	9.18±0.27ab	7.46±0.29e	43.90±3.08bcd	11.93±0.46e	19.55±0.82cd	27.32±0.20abc	19.90±0.49de	49.09±11.62a
T500	21.47±2.28e	9.33±0.14a	9.15±0.91de	43.77±2.30bcd	14.64±1.45de	19.13±0.73d	28.83±1.07ab	20.43±1.87cde	45.23±2.33a
T600	29.75±8.82de	9.27±0.04a	8.87±0.89de	45.82±2.37abcd	14.19±1.43de	19.61±0.74cd	28.29±1.13ab	19.20±0.97de	51.89±9.85a
T700	34.69±6.99cd	9.16±0.12ab	7.87±0.45e	43.08±1.30cd	12.59±0.72e	19.25±1.03d	28.47±3.87ab	18.42±1.52de	49.10±4.67a
T800	28.30±6.99de	9.17±0.13ab	8.94±0.91de	49.85±3.77a	14.30±1.45de	19.72±0.63cd	26.82±2.51bc	19.53±0.79de	43.00±4.67a
T1000	27.10±3.26de	9.15±0.15ab	9.04±0.96de	46.73±2.38abcd	14.46±1.53de	20.27±0.46bcd	28.20±1.64ab	20.73±1.38cd	45.97±6.15a



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )  
 Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P < 0.05$ )

图1 虫沙中各成分含量

Figure 1 Each component content of insect sand

如图1所示,CK组虫沙类胡敏酸含量显著高于T50和T100组,而T50和T100组虫沙类胡敏酸含量显著高于其他幼虫处理组,并且其他幼虫处理组虫沙类胡敏酸含量接近于0,说明黑水虻幼虫数量的增多促进了鸡粪中类胡敏酸的矿化分解,黑水虻幼虫可能摄取鸡粪中的胡敏酸类物质。类富里酸是腐植酸中活性较大、氧化程度较高的组分,对促进矿物质的分解和养分的释放具有十分重要的作用<sup>[17]</sup>。如图1所示,CK组和T0组虫沙类富里酸含量均显著高于幼虫处理组,幼虫处理组间无显著差异。说明黑水虻幼虫可促进鸡粪中类富里酸的降解,但随着幼虫比例的上升,类富里酸含量没有显著变化,这可能是由于类富里酸分子较小、结构简单、活性较高、容易被鸡粪中的微生物利用。T50和T100组虫沙类胡敏酸和类富里酸总含量显著高于其他幼虫处理组。由表4可知,CK、T50和T100组虫沙中各重金属指标均符合《有机肥料》标准,因此T50组和T100组的虫沙用作有机肥料施用于农田效果更好。

### 3 讨论

#### 3.1 不同黑水虻幼虫投放密度对虫体生长性能及营养成分的影响

饲养密度对黑水虻幼虫生长性能以及营养成分起着非常关键的作用。本研究发现幼虫鲜质量及体长均随着密度的增加而降低,体长与鲜质量最大值均在T50组。王子维等<sup>[17]</sup>研究认为,密度越大,幼虫平均体质量可能越轻,这与本文研究结果一致。试验中T50组幼虫在第14 d进入蛹期,T100组幼虫进入蛹期需要16 d,T150组需要18 d,而T200组到第20 d仅约20%的幼虫进入蛹期,其余幼虫停止发育,不能进入蛹期,T250~T1000组幼虫停止发育,不进入蛹期。这是由于幼虫密度增加,鸡粪营养物质不能满足黑水虻幼虫生长发育的需求而停止生长发育,继续添加鸡粪则可以使幼虫再次生长发育。申高林<sup>[18]</sup>的研究表明,

更多的幼虫需利用更多的饲料,这与本文研究结果一致。幼虫粗蛋白含量在T50~T300组呈降低趋势,在T350~T1000组呈上升趋势,这可能与幼虫在不同发育阶段虫体内营养物质的转化有关,T50~T300组幼虫密度较小,幼虫发育完全,虫体蛋白质降低,而密度高的幼虫处理组(T350~T1000组)因为幼虫停止发育,蛋白质含量没有转化成其他营养物质,因此幼虫蛋白质含量较高。LIU等<sup>[19]</sup>的研究发现,幼虫粗蛋白含量在第6 d前迅速上升,第7 d到第14 d粗蛋白呈下降趋势,最多可降低30.00%,蛹期粗蛋白含量虽略有上升但与第9 d的幼虫相比减少1.60%,这与本研究结果一致,试验中高密度组幼虫可能在第9 d前已经停止生长发育,粗蛋白含量保持在较高水平,因此粗蛋白含量比T50~T300组高。幼虫干物质含量整体呈下降趋势,说明随着幼虫的生长发育,虫体内水分减少。但粗灰分含量整体呈上升趋势,说明随着幼虫的发育,虫体干物质中粗灰分比例变小,同时干物质含量上升,说明幼虫在相同干质量下,密度越低的处理组,幼虫营养物质含量越高。幼虫成活率在T50~T300组呈动态平衡,成活率均高于97.56%,T350~T1000组成活率呈下降趋势,虽然T800组成活率略有回升,但随着幼虫密度的增加,成活率总体呈下降趋势。本研究发现,幼虫的营养成分与生长性能随着幼虫密度的增大而降低,这是由于在鸡粪饲喂量不变的情况下,随着幼虫密度的增大,鸡粪中的营养物质难以满足幼虫摄食需求,幼虫不能获得足够的营养物质,从而停止生长发育,体内营养物质不再积累,甚至导致幼虫死亡。此外,随着幼虫密度的增加,幼虫之间的竞争更为激烈,这也可能是导致幼虫成活率下降的原因,这与前人研究结果类似<sup>[20-21]</sup>。

#### 3.2 不同黑水虻幼虫投放密度对虫沙成分的影响

鸡粪经过合理密度的黑水虻幼虫处理后产出的虫沙符合《有机肥料》(NY 525—2012)的技术要求,并且可以直接作为有机肥产品进行销售。本研究表

表4 虫沙中重金属指标(mg·kg<sup>-1</sup>)

Table 4 Heavy metals index of insect sand(mg·kg<sup>-1</sup>)

重金属 Heavy metal	CK	T50	T100	有机肥料技术要求 Technical requirements for organic fertilizers
总镉	0.43±0.01	0.60±0.02	0.59±0.02	≤3
总铬	7.11±0.54	7.33±0.77	6.81±0.25	≤150
总铅	1.22±0.09	1.57±0.19	1.61±0.20	≤50
总砷	0.42±0.03	0.51±0.04	0.53±0.07	≤15
总汞	0.07±0.02	0.09±0.04	0.10±0.02	≤2

明,幼虫可大幅度降低鸡粪含水率,虫沙含水率最多可降低至21.47%,这可能与幼虫在鸡粪中的蠕动有关,幼虫的活动加快了鸡粪中水分的蒸发。虫沙pH总体偏碱性,幼虫处理鸡粪后,pH呈上升趋势,可能是由于鸡粪中有机酸分解,产生大量 $\text{NH}_3$ 所致<sup>[22]</sup>。根据《有机肥料》标准中pH 5.5~8.5的要求,CK组和T100组符合要求,分别为7.89和8.48。研究发现幼虫处理鸡粪后,虫沙粗蛋白含量大幅降低,并且幼虫密度越大,虫沙粗蛋白含量越低;虫沙粗灰分含量升高,说明幼虫可以充分利用鸡粪中的粗蛋白,从而转化为自身的营养物质,并且幼虫密度越大,鸡粪中粗蛋白的利用越充分。虫沙中磷和钾的含量相比新鲜鸡粪略有上升,在T100组达到最大值,同时总养分含量( $\text{N}+\text{P}_2\text{O}_5+\text{K}_2\text{O}$ )在T100组也达到最大值。徐伟栋<sup>[23]</sup>的研究发现,由于经过黑水虻幼虫与微生物对有机物的转化, $\text{CO}_2$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 等的损失,使鸡粪体积和干质量降低,而磷和钾不会挥发损失,因此虫沙中磷和钾的含量略有上升;此外,由于黑水虻幼虫密度较小,不能充分利用 $\text{N}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ ,而随着幼虫密度的增加,幼虫充分利用 $\text{N}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 后使总养分降低。但所有幼虫处理组虫沙总养分均高于《有机肥料》(NY 525—2012)标准要求( $\geq 5\%$ ),说明鸡粪经黑水虻幼虫处理后可达到有机肥产品的标准。

本试验发现,幼虫处理鸡粪后,虫沙类腐植酸含量显著低于CK组和T0组,说明黑水虻幼虫不能完全利用类腐植酸物质,虫沙中仍留有较高的类腐植酸含量(17.46%~23.42%)。因此,虫沙作为有机肥,其类腐植酸可能会提高植物产量与品质。类胡敏酸和类富里酸是类腐殖质的重要组成部分,在很大程度上对类腐殖质的质量起决定作用<sup>[24]</sup>。类胡敏酸是一种含有羧基、酚羟基等多种功能基团的高分子聚合物<sup>[25]</sup>,施入农田后,对土壤结构的形成及养分保持具有重要意义<sup>[26]</sup>。本研究发现,只有CK组和T0~T100组具有较高的类胡敏酸含量,而T150~T1000组虫沙含有极少量类胡敏酸,说明减少黑水虻幼虫密度可增加虫沙中类胡敏酸的含量,此外虽然T100组的类胡敏酸含量比T50组低29.20%,但T100组产出鲜虫数量比T50组多一倍;T50组与T100组重金属指标中总镉、总铬、总铅、总砷、总汞的含量均符合《有机肥料》标准;因此结合幼虫与虫沙的最优比例,T100组虫沙质量较好。

#### 4 结论

(1)T50组与T100组黑水虻幼虫具有更高水平的

生长性能及营养成分,鸡粪与幼虫的比例满足黑水虻幼虫正常生长发育的需求。

(2)T100组虫沙被黑水虻幼虫充分利用后仍保留较多有利于提高植物品质的类腐植酸和类胡敏酸,其中pH、有机质、总养分含量及重金属含量均满足我国《有机肥料》(NY 525—2012)的要求,对该虫沙进行再加工可生产出商品有机肥料。

(3)综合考虑既要满足黑水虻幼虫生长性能及营养成分的需要,又尽可能满足《有机肥料》标准对虫沙的需求,T100组即100条黑水虻幼虫与100g鸡粪的比例是黑水虻幼虫高效处理鸡粪的合理比例。

#### 参考文献:

- [1] 董雪松. 集约化畜禽养殖污染的现状及解决方法[J]. 畜牧兽医科技信息, 2019(8):36. DONG X S. Current situation and solution of pollution from intensive livestock and poultry breeding[J]. *Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019(8):36.
- [2] 全国每年38亿吨畜禽废弃物综合利用率只有6成[J]. 家禽科学, 2018(3):5. Only 60 percent of China's 3.8 billion tons of livestock and poultry waste is utilized annually[J]. *Poultry Science*, 2018(3):5.
- [3] 顾海洋, 李宇, 蔡小丽, 等. 蛋鸡粪能源化处理模式的问题及思考[J]. 农业开发与装备, 2019(6):48-67. GU H Y, LI Y, CAI X L, et al. The problem and consideration of energy treatment mode of laying hens manure[J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2019(6):48-67.
- [4] 任景乐, 郝海玉, 祝贵华, 等. 蛋鸡粪便处理模式探索与思考[J]. 山东畜牧兽医, 2018, 39(6):59-62. REN J L, HAO H Y, ZHU G H, et al. Exploration and thinking on the treatment mode of laying hens' feces[J]. *Shandong Animal Husbandry and Veterinary*, 2018, 39(6):59-62.
- [5] 范京辉, 李庆海, 张雷, 等. 蛋鸡饲料中主要营养物质及重金属流向[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(5):1027-1030. FAN J H, LI Q H, ZHANG L, et al. Flow directions of main nutrients and heavy metal in feed for laying hens[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(5):1027-1030.
- [6] 刘良, 鞠美庭. 黑水虻治理猪场生物质固体废弃物的潜力分析[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(8):105-108. LIU L, JU M T. *Hermetia illucens* management potential to biomass solid waste of pig farm[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(8):105-108.
- [7] NEWTON L, SHEPPARD C, WATSON D W, et al. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure[J]. *Countryside & Small Stock Journal*, 2005, 1(6):1-16.
- [8] 李朝云. 黑水虻的东游记[J]. 广东饲料, 2019, 28(9):15-18. LI Z Y. Industrialize development of *Hermetia illucens* in China[J]. *Guangdong Feed*, 2019, 28(9):15-18.
- [9] 余苗, 李贞明, 陈卫东, 等. 黑水虻幼虫粉对育肥猪营养物质消化率、血清生化指标和氨基酸组成的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31

- (7):3330-3337. YU M, LI Z M, CHEN W D, et al. Effects of *Hermetia illucens* L. larvae meal on nutrient digestibility, serum biochemical indices and amino acid composition of finishing pigs[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(7):3330-3337.
- [10] MARCO M D, MARTÍNEZ S, HERNANDEZ F, et al. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2015, 209:211-218.
- [11] SCHIAVONE A, MARCO M D, MARTÍNEZ S, et al. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2017, 8(1):51-59.
- [12] RUHNKE I, NORMANT C, CAMPBELL D L M, et al. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens[J]. *Animal Nutrition*, 2018, 4(4):452-460.
- [13] CUTRIGENLLI M I, MESSINA M, TULLI F, et al. Evaluation of an insect meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as soybean substitute intestinal morphometry, enzymatic and microbial activity in laying hens[J]. *Research in Veterinary Science*, 2018, 117:209-215.
- [14] 窦永芳, 吉红, 徐歆歆. 养殖密度对黑水虻生长及体成分的影响[J]. 养殖与饲料, 2020, 19(11):25-28. DOU Y F, JI H, XU X X. Effects of culture density on growth and body composition of black soldier fly[J]. *Animals Breeding and Feed*, 2020, 19(11):25-28.
- [15] 字晓, 和培铖, 刘龙, 等. 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. ZI X, HE P C, LIU L, et al. The effect of different rearing density of *Hermetia illucens* on its development and conversion rate of fresh cow manure[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42(2):282-286.
- [16] 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. GUO H R, WANG Q H, LIU Q F, et al. Evaluation of insect body feed and manure fertilizer after treatment of chicken manure by black soldier fly larvae[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(8):213-217.
- [17] 王子维, 宋志刚. 鸡粪饲养黑水虻的密度初探[J]. 山东畜牧兽医, 2020, 41(9):13-14. WANG Z W, SONG Z G. Preliminary study on density of black water fly reared with chicken manure[J]. *Shandong Animal Husbandry and Veterinary*, 2020, 41(9):13-14.
- [18] 申高林. 黑水虻饲养条件优化及其富硒研究[D]. 南昌:南昌大学, 2016:29-33. SHEN G L. Study on the optimization of feeding condition and selenium-rich technology of black soldier fly[D]. Nanchang: Nanchang University, 2016:29-33.
- [19] 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):e0182601.
- [20] DIENER S, ZURBRÜGG 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.
- [21] GOLD M, TOMBERLIN J K, DIENER S, et al. Decomposition of bio-waste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review[J]. *Waste Management*, 2018, 82:302-318.
- [22] 马开星, 邹长明, 赵建荣. 鸡粪堆肥腐熟过程中腐熟度参数的变化[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3):289-292. MA K X, ZOU C M, ZHAO J R. Changes of maturity indexes during the chicken manure composting[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(3):289-292.
- [23] 徐伟栋. 鸡粪发酵的影响因素及堆肥腐熟度的快速评估[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2017:22-25. XU W D. Study on the influencing factors of chicken manure fermentation and rapid evaluation of compost maturity[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2017:22-25.
- [24] 王俊. 腐植酸对砷在土壤中的形态转化和生物有效性的影响研究[D]. 重庆:西南大学, 2017:8-10. WANG J. Effects of humic acids on the speciation and bioavailability of arsenic in soils[D]. Chongqing: Southwest University, 2017:8-10.
- [25] 王玉军, 窦森, 张晋京, 等. 农业废弃物堆肥过程中腐殖质组成变化[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(8):79-81. WANG Y J, DOU S, ZHANG J J, et al. Changes of humic components during agricultural waste composting[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(8):79-81.
- [26] 姚武, 顾燕青, 巫阳, 等. 畜粪堆肥过程中腐殖质形成特征研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2014, 13(5):517-522. YAO W, GU Y Q, WU Y, et al. On the formation characteristics of humic substances in livestock manure compost[J]. *Journal of Hangzhou Normal University(Natural Science Edition)*, 2014, 13(5):517-522.