

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.01.010

李锡锋, 桂福星, 仲崇华, 等. 黑水虻幼虫粉对四川白鹅生长性能、抗氧化能力、抗体水平和血清生化指标的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(1): 112-121.

# 黑水虻幼虫粉对四川白鹅生长性能、抗氧化能力、抗体水平和血清生化指标的影响

李锡锋<sup>1</sup>, 桂福星<sup>1</sup>, 仲崇华<sup>2</sup>, 黄欢<sup>1</sup>,  
杨萍瑞<sup>1</sup>, 郝永峰<sup>3</sup>, 何先林<sup>3</sup>, 曹立亭<sup>1,4</sup>1. 西南大学 动物医学院, 重庆 荣昌 402460; 2. 重庆市荣昌区职业教育中心, 重庆 荣昌 402460;  
3. 重庆三峡职业学院 动物科技学院, 重庆 万州 404155; 4. 西南大学 中兽医医药研究所, 重庆 荣昌 402460

**摘要:** 为探究黑水虻幼虫粉(HILM)替代饲料蛋白对四川白鹅生长性能、抗氧化能力、抗体水平和血清生化指标的影响, 选取 64 只健康状况良好的 1 日龄四川白鹅, 随机分成 4 组, 每组 4 个重复, 每个重复 4 只, 即对照组、2% HILM 组、4% HILM 组、8% HILM 组, 分别饲喂含 0、2%、4%、8% 黑水虻幼虫粉的等能等氮饲料, 试验期 40 d, 期间自由采食和饮水。结果表明: 与对照组相比, HILM 替代饲料蛋白可提高试验鹅只平均日增质量(ADG), 其中 2% HILM 组效果明显( $p < 0.05$ ); 各 HILM 替代组血清总抗氧化能力(T-AOC)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)呈上升趋势, 其中 8% HILM 组血清 GSH-Px 上升明显( $p < 0.05$ ); 二次免疫后 1 周, 各 HILM 替代组可提高血清 H5-R13 和 H7-R4 的抗体滴度, 其中 2% HILM 组血清 H5-R13 抗体滴度显著升高( $p < 0.05$ ), 4% HILM 组血清 H7-R4 抗体滴度显著升高( $p < 0.05$ ); 各 HILM 替代组血清生化指标和器官指数变化无统计学意义( $p > 0.05$ )。综合表明: 黑水虻幼虫粉替代饲料蛋白能提高四川白鹅的生长性能和抗氧化能力, 对禽流感疫苗免疫效果有增强作用, 以 2% HILM 组为适宜替代量。

**关键词:** 黑水虻幼虫粉; 四川白鹅; 生长性能; 抗体水平;  
抗氧化能力

中图分类号: S831.5

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1673-9868(2025)01-0112-10



## Effects of *Hermetia illucens* Larvae Meal on Growth Performance, Antioxidant Capacity, Antibody Level and Serum Biochemical Indexes of Sichuan White Geese

收稿日期: 2023-08-30

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscxx-lyjsBX0003, cstc2021jscxx-lyjsAX0008); 重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJQN202303511, KJQN201903509)。

作者简介: 李锡锋, 硕士研究生, 主要从事临床兽医学研究。

通信作者: 曹立亭, 博士, 教授, 硕士研究生导师。

LI Xifeng<sup>1</sup>, GUI Fuxing<sup>1</sup>, ZHONG Chonghua<sup>2</sup>, HUANG Huan<sup>1</sup>,  
YANG Pingrui<sup>1</sup>, HAO Yongfeng<sup>3</sup>, HE Xianlin<sup>3</sup>, CAO Liting<sup>1,4</sup>

1. College of Veterinary Medicine, Southwest University, Rongchang Chongqing 402460, China;

2. Chongqing Rongchang Vocational Education Center, Rongchang Chongqing 402460, China;

3. College of Animal Science and Technology, Chongqing Three Gorges Vocational College,  
Wanzhou Chongqing 404155, China;

4. Institute of Traditional Chinese Veterinary Medicine, Southwest University, Rongchang Chongqing 402460, China

**Abstract:** This study was conducted to investigate the effects of replacing feed protein by *Hermetia illucens* larvae meal (HILM) on growth performance, antioxidant capacity, antibody level and serum biochemical indexes of Sichuan white geese. A total of 64 healthy 1-day-old Sichuan white geese were randomly allocated into 4 groups with 4 replicates in each group and 4 geese in each replicate, namely Control, 2% HILM, 4% HILM and 8% HILM groups, and were fed with diets containing 0, 2%, 4% and 8% of HILM, respectively. The geese can access to food and water ad libitum in the 40 d of experiment period. The results showed that compared with the control group, the replacement of feed protein with HILM could increase the Average Daily Gain (ADG) of geese, with a significant difference in 2% HILM group ( $p < 0.05$ ). The serum Total Antioxidant Capacity (T-AOC) and Glutathione Peroxidase (GSH-Px) in each HILM replacement group showed an increasing trend, and the serum GSH-Px in the 8% HILM group increased significantly ( $p < 0.05$ ). 7 d after the 2<sup>nd</sup> immunization, the serum H5-R13 and H7-R4 antibody titer were increased in each HILM replacement group. The serum H5-R13 antibody titer in the 2% HILM group and the serum H7-R4 antibody titer in the 4% HILM group were both significantly increased ( $p < 0.05$ ). There was no significant effect on serum biochemical indexes and organ indexes in each HILM replacement group ( $p > 0.05$ ). In conclusion, HILM can improve the growth performance, antioxidant capacity and enhance the immunity effect of avian influenza vaccine of Sichuan white geese, and the suitable replacement level is 2%.

**Key words:** *Hermetia illucens* larvae meal; Sichuan white geese; growth performance; antibody level; antioxidant capacity

随着畜牧养殖业的规模化、集约化发展,饲料的需求也随之增长,给饲料蛋白质原料的供应带来巨大挑战<sup>[1]</sup>。如何进一步降低养殖成本、提高生产性能和效益已成为养殖业主要追求的目标。目前,我国大豆、鱼粉等饲料蛋白质原料仍需大量进口,同时由于全球气候变化和可种植区域的不断减少,进口饲料原料价格日益走高,发掘新型饲料蛋白质原料已成为我国畜牧业可持续发展中亟待解决的问题。黑水虻(*Hermetia illucens*)是一种腐生性的水虻科昆虫,其干虫粉含有丰富的粗蛋白质(42%~61%)、粗脂肪(33%~47%)及钙(4.4%~6.0%)、磷(0.80%~0.95%)<sup>[2]</sup>,同时还富含多种必需氨基酸,其中赖氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和苏氨酸等氨基酸水平接近豆粕<sup>[3]</sup>,此外还含有抗菌肽、烟酸、脂肪酸(月桂酸)、几丁质、生育酚等活性物质和锌、锰、硒等多种微量元素<sup>[4]</sup>,具有良好的营养价值。四川白鹅是我国优秀的地方品种,饲养

区域覆盖全国 20 多个省, 饲养总量超过 1 亿只, 是我国鹅业生产的主体品种<sup>[5]</sup>。据报道, 黑水虻幼虫粉 (*Hermetia illucens* larvae meal, HILM) 能促进肉鸡生长, 提高肉鸡抗氧化能力, 且对机体无不利影响<sup>[6-7]</sup>; 也有研究报道, 添加 HILM 可显著提高建水黄褐鸭的屠宰性能, 调节其血清生化指标<sup>[8]</sup>。有关黑水虻在鹅上的应用目前还未见报道, 本试验通过探究黑水虻幼虫粉对四川白鹅生长性能、抗氧化能力、抗体水平和血清生化指标的影响, 以期黑水虻幼虫粉替代饲料蛋白原料提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 黑水虻幼虫粉

黑水虻幼虫粉购自郑州某农业科技有限公司, 按照《饲料采样》(GB/T 14699—2023) 的要求采样并对其营养物质进行检测分析, 结果见表 1。

表 1 黑水虻幼虫粉的营养水平

项目	营养水平/%	项目	营养水平/%
粗蛋白	42.69	谷氨酸	4.18
粗脂肪/(g·kg <sup>-1</sup> )	278.00	甘氨酸	1.92
粗纤维	5.00	丙氨酸	2.15
粗灰分	15.10	缬氨酸	2.21
水分	4.10	异亮氨酸	1.63
钙	4.72	亮氨酸	2.56
总磷	0.83	酪氨酸	2.45
色氨酸	0.41	苯丙氨酸	1.63
胱氨酸	0.35	组氨酸	1.33
蛋氨酸	0.58	赖氨酸	2.40
天门冬氨酸	3.61	精氨酸	1.51
苏氨酸	1.43	脯氨酸	1.83
丝氨酸	1.46		

#### 1.1.2 试验试剂

鹅血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、总抗氧化能力(T-AOC)以及丙二醛(MDA)试剂盒, 南京建成生物工程研究所; 重组禽流感病毒(H5+H7)三价灭活疫苗, 哈药集团有限公司; 禽流感病毒抗体检测试剂盒, 深圳芬德生物技术有限公司。

### 1.2 试验设计与饲养管理

64 只健康状况良好的 1 日龄清洁级四川白鹅随机分成 4 组, 每组 4 个重复, 每个重复 4 只鹅, 分别为对照组、2%黑水虻幼虫粉替代组(2% HILM 组)、4%黑水虻幼虫粉替代组(4% HILM 组)和 8%黑水虻幼虫粉替代组(8% HILM 组), 各组试验鹅只的初始体质量差异无统计学意义。对照组饲喂基础日粮, 试验组分别饲喂 2%、4%、8%黑水虻幼虫粉替代蛋白饲料, 试验期 40 d。整个试验周期内试验鹅只分栏饲养, 自由采食和饮水, 于 12 日龄和 33 日龄免疫重组禽流感病毒(H5+H7)三价灭活疫苗。参照美国 NRC(1994)鹅的营养需要配制试验饲料, 饲料组成及营养水平见表 2。

表 2 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

项目	营养水平/%			
	对照组	2% HILM 组	4% HILM 组	8% HILM 组
玉米	65.40	65.28	64.60	63.50
豆粕	28.00	25.57	23.14	19.20
苜蓿草颗粒	3.00	3.78	5.22	6.00
膨润土	0	0	0	0.80
黑水虻幼虫粉	0	2.00	4.00	8.00
石粉	1.20	1.10	0.86	0.44
磷酸氢钙	0.80	0.65	0.55	0.43
氯化钠	0.33	0.35	0.35	0.35
L-赖氨酸	0.19	0.19	0.19	0.18
L-蛋氨酸	0.08	0.08	0.08	0.08
L-苏氨酸	0	0	0.01	0.02
预混料	1	1	1	1
合计	100	100	100	100
营养水平代谢能/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	11.81	11.75	11.76	11.76
粗蛋白质	18.12	18.00	18.01	18.03
钙	0.80	0.81	0.80	0.80
总磷	0.51	0.47	0.47	0.48
有效磷	0.31	0.31	0.30	0.30

注: 预混料为每千克饲料提供: 维生素 A 10 000 IU, 维生素 D 3 000 IU, 维生素 E 25 IU, 维生素 K 2.5 mg, 维生素 B<sub>1</sub> 3 mg, 维生素 B<sub>2</sub> 12 mg, 维生素 B<sub>6</sub> 8 mg, 维生素 B<sub>12</sub> 0.08 mg, 泛酸 25 mg, 烟酸 80 mg, 叶酸 3 mg, 生物素 0.25 mg, 氯化胆碱 1.5 g, Cu (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O) 0.015 g, Fe (FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) 85 mg, Zn (ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) 80 mg, Mn (MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O) 8 mg, I 0.5 mg, Se 0.3 mg。代谢能和有效磷为计算值, 其余为实测值。

### 1.3 指标测定

#### 1.3.1 生长性能

分别于试验第 1 d 和第 40 d 空腹称质量, 试验期间按重复准确记录饲喂量和剩料质量, 按重复计算平均日增质量(ADG, 以  $G$  表示)、平均日采食量(ADFI, 以  $F$  表示)和料肉比( $F/G$ )。

$$F = \frac{A}{c} \times d \quad (1)$$

$$G = \frac{B}{c} \times d \quad (2)$$

式中:  $A$  为总采食量(g);  $B$  为总增体质量(g);  $c$  为每重复鹅只数;  $d$  为试验天数。

#### 1.3.2 器官指数

饲养至第 40 d, 处死所有试验鹅只, 精确摘取法氏囊、脾脏、肝脏、胸腺组织, 吸干残留的血液后称质量, 计算器官指数( $O$ )。

$$O = \frac{G}{H} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $G$  为器官鲜质量(g);  $H$  为宰前空腹活体质量(kg)。

### 1.3.3 抗氧化指标

饲养至第 40 d, 无菌操作采集所有试验鹅只翅下静脉血 10 mL, 分离血清, 按照试剂盒操作说明测定鹅血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、总抗氧化能力(T-AOC)以及丙二醛(MDA)水平。

### 1.3.4 抗体水平

分别于初次免疫后 7、14、21 d 和二次免疫后 7 d, 翅下静脉采血并分离血清, 采用血凝抑制试验检测血清禽流感抗体滴度, 按照试剂盒操作说明测定血清禽流感特异性抗体水平。

### 1.3.5 血清生化指标

饲养至第 40 d, 无菌操作采集所有试验鹅只翅下静脉血并分离血清, 采用全自动生化分析仪分析血清生化指标: 谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿酸(UA)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TCHO)。

## 1.4 统计分析

试验数据经 Excel 2016 处理, 采用 SPSS 22.0 对数据进行分析, 并使用 GraphPad Prism 9.0 绘制数据统计图表。数据以  $\bar{x} \pm s$  表示,  $p < 0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑水虻幼虫粉对四川白鹅生长性能的影响

由表 3 可知, 与对照组相比, 2% HILM 组平均日增质量(ADG)显著升高( $p < 0.05$ ); 各 HILM 替代组平均日采食量(ADFI)呈现升高趋势, 但差异无统计学意义( $p > 0.05$ )。

表 3 黑水虻幼虫粉对四川白鹅生产性能的影响

日龄/d	项目	组别				均值标准误	p 值
		对照组	2% HILM 组	4% HILM 组	8% HILM 组		
1~40	ADG/(g · d <sup>-1</sup> )	38.67a	43.55b	42.95a	40.56a	0.75	0.037
	ADFI/(g · d <sup>-1</sup> )	95.76a	101.10a	96.68a	96.48a	3.42	0.409
	料质量比	2.54a	2.68a	2.46a	2.99a	0.25	0.906

注: 小写字母不同表示  $p < 0.05$ , 差异有统计学意义。

### 2.2 黑水虻幼虫粉对四川白鹅器官指数的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, 各 HILM 替代组胸腺、脾脏、法氏囊和肝脏指数差异无统计学意义( $p > 0.05$ )。

表 4 黑水虻幼虫粉对四川白鹅器官指数的影响

项目	组别				均值标准误	p 值
	对照组	2% HILM 组	4% HILM 组	8% HILM 组		
胸腺指数	1.67	2.04	2.11	2.20	0.08	0.062
脾脏指数	1.37	1.57	1.30	1.20	0.06	0.140
法氏囊指数	0.89	0.82	0.94	0.87	0.02	0.756
肝脏指数	23.06	23.26	24.48	24.52	0.32	0.230

### 2.3 黑水虻幼虫粉对四川白鹅血清抗氧化能力的影响

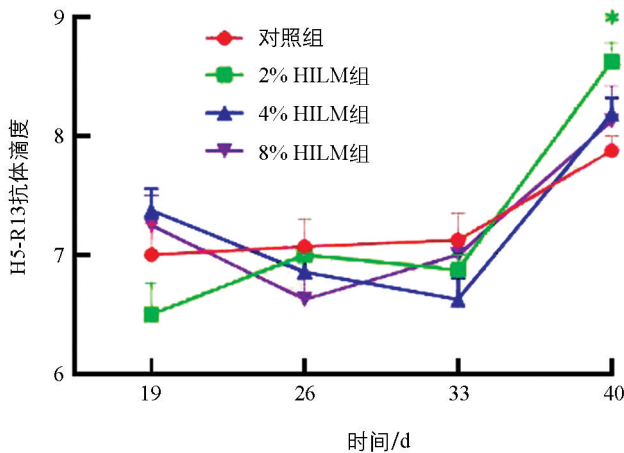
由表 5 可知, 与对照组相比, 各 HILM 替代组谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)呈现升高趋势, 其中 8% HILM 组差异有统计学意义( $p < 0.05$ ); 各 HILM 替代组血清丙二醛(MDA)呈现下降趋势, 总抗氧化能力(T-AOC)呈现升高趋势, 但差异无统计学意义( $p > 0.05$ )。

表 5 黑水虻幼虫粉对四川白鹅抗氧化能力的影响

项目	组别				均值标准误	<i>p</i> 值
	对照组	2% HILM 组	4% HILM 组	8% HILM 组		
MDA/(nmol · mL <sup>-1</sup> )	3.78a	3.03a	2.95a	3.11a	0.26	0.629
SOD/(U · mL <sup>-1</sup> )	9.88a	10.12a	9.52a	10.02a	0.12	0.538
T-AOC/(U · mL <sup>-1</sup> )	0.39a	0.42a	0.43a	0.54a	0.02	0.098
GSH-Px/(U · mL <sup>-1</sup> )	334.90a	350.40a	359.60a	376.20b	5.06	0.028

## 2.4 黑水虻幼虫粉对四川白鹅抗体水平的影响

与对照组相比, 二次免疫后 1 周, 各 HILM 替代组对四川白鹅血清禽流感 H5-R13 抗体滴度影响呈现升高趋势, 其中 2% HILM 组升高明显 ( $p < 0.05$ ), 见图 1。各 HILM 替代组对四川白鹅血清禽流感 H5-R14 抗体滴度影响不大 ( $p > 0.05$ ), 见图 2。2% 和 4% HILM 组对四川白鹅血清禽流感 H7-R4 抗体滴度呈现不同程度的升高趋势, 其中二免后 1 周 4% HILM 组 H7-R4 抗体滴度升高明显 ( $p < 0.05$ ), 见图 3; 各 HILM 替代组对四川白鹅血清禽流感特异性抗体水平影响不明显 ( $p > 0.05$ ), 见图 4。



\* 表示与对照组相比差异有统计学意义 ( $p < 0.05$ )。

图 1 黑水虻幼虫粉对四川白鹅血清禽流感 H5-R13 抗体滴度的影响

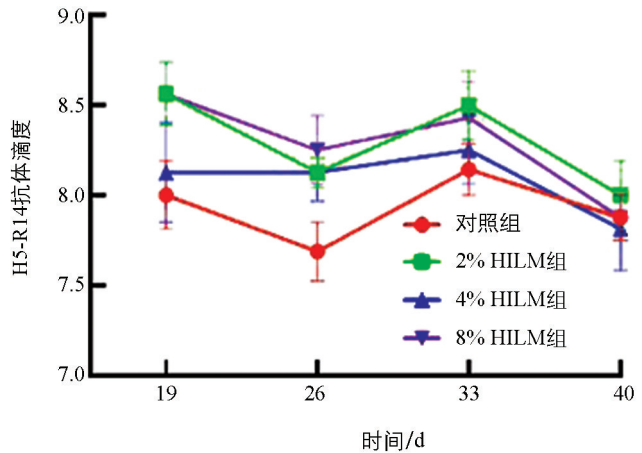
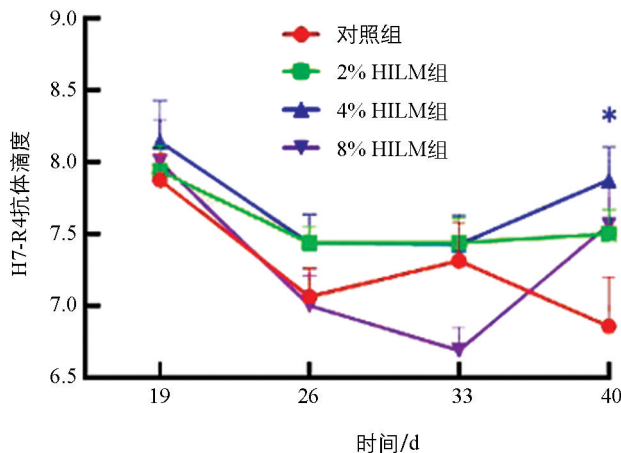


图 2 黑水虻幼虫粉对四川白鹅血清禽流感 H5-R14 抗体滴度的影响



\* 表示与对照组相比差异有统计学意义 ( $p < 0.05$ )。

图 3 黑水虻幼虫粉对四川白鹅血清禽流感 H7-R4 抗体滴度的影响

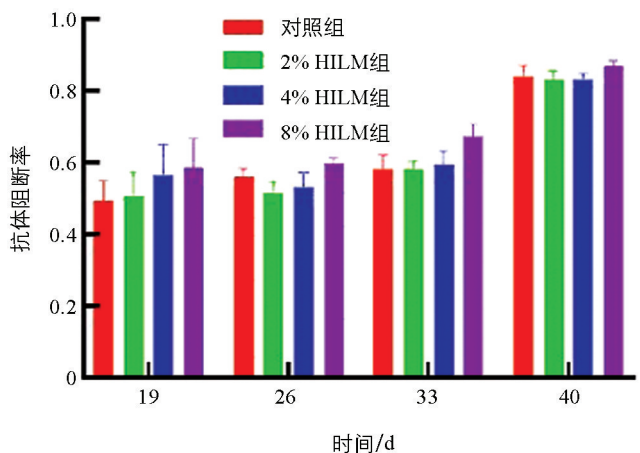


图 4 黑水虻幼虫粉对四川白鹅禽流感特异性抗体水平的影响

## 2.5 黑水虻幼虫粉对四川白鹅血清生化指标的影响

由表 6 可知,与对照组相比,各 HILM 替代组血清谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)呈现降低趋势,碱性磷酸酶(ALP)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)和总胆固醇(TCHO)呈现升高趋势,差异无统计学意义( $p > 0.05$ )。

表 6 黑水虻幼虫粉对四川白鹅血清生化指标的影响

项目	组别				均值标准误	$p$ 值
	对照组	2% HILM 组	4% HILM 组	8% HILM 组		
ALT/(U·L <sup>-1</sup> )	25.00	20.33	19.33	21.00	1.35	0.528
AST/(U·L <sup>-1</sup> )	78.33	75.67	74.00	67.00	1.92	0.187
ALP/(U·L <sup>-1</sup> )	935.00	1 094.00	1 012.00	1 017.00	30.41	0.371
TP/(g·L <sup>-1</sup> )	38.67	42.33	46.00	44.33	1.39	0.302
ALB/(g·L <sup>-1</sup> )	15.67	16.00	17.00	16.67	0.41	0.207
GLB/(g·L <sup>-1</sup> )	23.00	26.33	29.00	27.67	1.04	0.718
UA/(μmol·L <sup>-1</sup> )	240.70	273.00	218.30	269.70	8.82	0.060
TG/(nmol·L <sup>-1</sup> )	0.80	0.83	0.63	0.71	0.04	0.230
TCHO/(nmol·L <sup>-1</sup> )	5.50	6.70	6.53	7.27	0.26	0.093

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

#### 3.1.1 对四川白鹅生长性能的影响

黑水虻作为一种新型饲料蛋白质原料<sup>[9-10]</sup>,是目前禽类和鱼类饲料蛋白质添加或替代品中的研究热点。在家禽方面,采用不同 HILM 替代水平或形态,对各种家禽的影响也不尽相同<sup>[11-13]</sup>。据报道,家禽的种类、日龄阶段、性别、原饲料蛋白质原料种类和饲养环境等的差异会对黑水虻替代饲料蛋白的喂养结果造成不同影响<sup>[14-17]</sup>。基于此,在养殖实践中应用黑水虻替代饲料蛋白应该进行综合考虑。生长性能可直接反映动物的生长状况,本研究中 2% HILM 组可显著提高四川白鹅的 ADG,这与王海堂等<sup>[18]</sup>研究结果相一致。

#### 3.1.2 对四川白鹅器官指数的影响

胸腺、脾脏和法氏囊是禽类的主要免疫器官,能反映机体免疫机能的强弱;肝脏是禽类的主要营养代谢器官,对机体的健康生长有重要意义。器官指数减弱了体质量对器官健康的影响,一定范围内,器官指数越大,内脏功能活动越旺盛<sup>[19]</sup>。本研究结果显示,与对照组相比,HILM 替代饲料蛋白对四川白鹅胸腺、脾脏、法氏囊和肝脏指数影响均无统计学意义,胸腺和肝脏指数有上升趋势,这与王斌等<sup>[20]</sup>和金鑫鑫等<sup>[21]</sup>研究结果相一致。

#### 3.1.3 对四川白鹅血清抗氧化能力的影响

活性氧(reactive oxygen species, ROS)是需氧生物体体细胞的有氧代谢产物,ROS 在较低水平维持动态平衡,对机体有重要的生理意义<sup>[22]</sup>。机体处于炎症或免疫应激等病理状态时,引发机体氧化与抗氧化失衡,当 ROS 水平超过机体抗氧化能力时,会对脂质、DNA、蛋白质等大分子造成氧化损伤<sup>[23]</sup>。丙二醛(MDA)水平能直接反映机体内脂质过氧化程度,间接反映机体细胞氧化损伤程度<sup>[24]</sup>。总抗氧化能力(T-AOC)能反映机体应激时的抗氧化能力,包括抗氧化酶系统和非抗氧化酶系统对于外来刺激的应对能力。超氧化物歧化酶(SOD)能歧化氧自由基生成 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>。谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)能清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

和羟基自由基等活性氧<sup>[25]</sup>,因此,SOD和GSH-Px能提高机体对自由基引发疾病的抵抗力。本试验结果表明,8% HILM组能显著提高四川白鹅血清GSH-Px活性,与Dabbou等<sup>[6]</sup>对肉鸡的研究结果相一致。黑水虻幼虫体内含生育酚,能增强机体的抗氧化能力<sup>[26]</sup>。本试验中2% HILM组抗氧化指标显示抗氧化能力有增强的趋势,表明HILM对提高四川白鹅机体的抗氧化能力有促进作用,可缓解应激对机体带来的不利影响。

### 3.1.4 对四川白鹅 H5+H7 三价禽流感灭活苗抗体水平的影响

禽流感抗体水平反映禽流感疫苗免疫后机体的特异性体液免疫,其状态直接影响抗体水平的高低。据报道,黑水虻能增强动物机体的先天免疫功能<sup>[27]</sup>。本试验结果显示,二次免疫后1周,2% HILM组血清禽流感H5-R13抗体滴度显著升高,4% HILM组显著提升了血清禽流感H7-R4的抗体滴度水平。2% HILM组禽流感灭活苗H5-R14株和H7-R4株抗体滴度在免疫后试验周期内均高于对照组,8% HILM组抗体阻断率在免疫后试验周期内也均高于对照组,表明2%~8% HILM替代量对禽流感疫苗免疫效果有增强作用。

### 3.1.5 对四川白鹅血清生化指标的影响

血清生化指标在一定程度上反映了动物的生理、营养、代谢等多种生命活动状态,是衡量动物机体生理状态的重要标准<sup>[28]</sup>。谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)能催化转氨作用,是肝脏和心脏机能的重要指标<sup>[29]</sup>。血清总蛋白(TP)质量浓度增加可以促进蛋白质的合成,进而促进动物生长<sup>[30]</sup>。TP可分为白蛋白(ALB)和球蛋白(GLB),ALB是血液中脂肪酸的携带者,GLB水平与机体免疫机能有关。本研究中AST和ALT水平有下降趋势,TP、ALB、GLB有上升趋势,这与王桂英等<sup>[31]</sup>对海兰褐蛋雏鸡的研究结果相一致。碱性磷酸酶(ALP)通过水解磷酸单酯对核酸、蛋白、生物碱等对应底物去磷酸化,其活性可反映动物的生长状况和对应激的适应能力<sup>[32]</sup>。本研究中,各HILM替代组ALP水平有上升趋势,提示HILM可提高四川白鹅的生产性能。甘油三酯(TG)和总胆固醇(TCHO)主要反映机体脂质的吸收和代谢情况<sup>[33-35]</sup>。本研究中各HILM替代组TG和TCHO水平无明显变化,这与余苗等<sup>[36]</sup>的研究结果相一致;但Gariglio等<sup>[37]</sup>研究发现,3%、6%、9% HILM组替代豆粕可显著降低3~50日龄阶段番鸭血液中的甘油三酯和胆固醇水平,出现该现象的原因可能是血清中TG和TCHO水平变化与饲料组成和试验动物有关。

## 3.2 结论

黑水虻幼虫粉替代饲料蛋白可提高1~40日龄四川白鹅的生长性能和抗氧化能力,对禽流感疫苗免疫效果有增强作用,其中2%替代量为适宜替代量。

## 参考文献:

- [1] 孙良媛,刘涛,张乐. 中国规模化畜禽养殖的现状及其对生态环境的影响 [J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2016, 15(2): 23-30.
- [2] GASCO L, BIASATO I, DABBOU S, et al. Animals Fed Insect-Based Diets: State-of-the-Art on Digestibility, Performance and Product Quality [J]. *Animals*, 2019, 9(4): 170.
- [3] WANG Y S, SHELOMI M. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food [J]. *Foods*, 2017, 6(10): 91.
- [4] CALIGIANI A, MARSEGLIA A, LENI G, et al. Composition of Black Soldier Fly Prepupae and Systematic Approaches for Extraction and Fractionation of Proteins, Lipids and Chitin [J]. *Food Research International*, 2018, 105: 812-820.
- [5] 王阳铭,王启贵. 四川白鹅 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.



- [6] 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): 49.
- [7] KIM B, BANG H T, JEONG J Y, et al. Effects of Dietary Supplementation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Oil on Broiler Health [J]. The Journal of Poultry Science, 2021, 58(4): 222-229.
- [8] 鲍晓伟, 张汝, 胡清泉, 等. 日粮中添加黑水虻幼虫粉对建水黄褐鸭生产性能、屠宰性能、蛋品质及血清生化指标的影响 [J]. 饲料研究, 2022, 45(21): 50-54.
- [9] SHAH AA, TOTAKUL P, MATRA M, et al. Nutritional Composition of Various Insects and Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets [J]. Animal Bioscience, 2022, 35(2): 317-331.
- [10] CALVEZ J, GAUDICHON C. Insects on the Menu: Characterization of Protein Quality to Evaluate Potential as an Alternative Protein Source for Human Consumption [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2021, 114(3): 833-834.
- [11] KAWASAKI K, HASHIMOTO Y, HORI A, et al. Evaluation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae and Pre-Pupae Raised on Household Organic Waste, as Potential Ingredients for Poultry Feed [J]. Animals, 2019, 9(3): 98.
- [12] TAHAMTANI F M, IVARSSON E, WIKLICKY V, et al. Feeding Live Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) to Laying Hens; Effects on Feed Consumption, Hen Health, Hen Behavior, and Egg Quality [J]. Poultry Science, 2021, 100(10): 101400.
- [13] 赵燕, 侯凤香, 郑远博, 等. 黑水虻幼虫干对肉鸡生产性能、血清生化指标及鸡肉养分含量的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(2): 156-160.
- [14] RUHNKE I, NORMANT C, CAMPBELLD 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.
- [15] ZHAO J L, KAWASAKI K, MIYAWAKI H, et al. Egg Quality and Laying Performance of Julia Laying Hens Fed with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal as a Long-Term Substitute for Fish Meal [J]. Poultry Science, 2022, 101(8): 101986.
- [16] HEUEL M, SANDROCK C, LEIBER F, et al. Black Soldier Fly Larvae Meal and Fat Can Completely Replace Soybean Cake and Oil in Diets for Laying Hens [J]. Poultry Science, 2021, 100(4): 101034.
- [17] SEYEDALMOOSAVI MM, MIELENZ M, GÖRS S, et al. Effects of Increasing Levels of Whole Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae in Broiler Rations on Acceptance, Nutrient and Energy Intakes and Utilization, and Growth Performance of Broilers [J]. Poultry Science, 2022, 101(12): 102202.
- [18] 王海堂, 李孟孟, 王桂英, 等. 黑水虻幼虫粉对蛋鸡育成期生长性能和养分消化率的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(8): 206-209.
- [19] 刘雯雯, 周万海, 胡连清, 等. 饲料中添加油樟叶对肉兔生长性能、屠宰性能、肌肉品质、器官指数和血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2023, 35(4): 2533-2545.
- [20] 王斌, 邹仕庚, 彭运智, 等. 日粮添加黑水虻虫粉对肉鸭生长性能、羽毛生长和屠宰性能的影响 [J]. 中国家禽, 2021, 43(1): 50-55.
- [21] 金鑫鑫, 吴文湘, 刘明明, 等. 日粮添加黑水虻虫粉对 11~47 日龄马岗鹅生长性能的影响 [J]. 天津农学院学报, 2022, 29(1): 42-46.
- [22] 姚雯, 杨天衡, 刘学波. 根根碱清除自由基及抑制生物大分子氧化的作用 [J]. 食品科学, 2014, 35(9): 137-141.
- [23] 郁军超, 薛连璧. 机体 ROS 的产生及对生物大分子的毒性作用 [J]. 山东医药, 2012, 52(8): 94-96, 102.
- [24] 徐燕红, 殷太岳, 王宝维, 等. 饲料维生素 K<sub>3</sub> 添加水平对五龙鹅胫骨发育、免疫器官指数及抗氧化性能的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(6): 2642-2650.

- [25] TELFORD N A, WATSON A J, SCHULTZ G A. Transition from Maternal to Embryonic Control in Early Mammalian Development: A Comparison of Several Species [J]. *Molecular Reproduction and Development*, 1990, 26(1): 90-100.
- [26] 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.
- [27] AGBOHESSOUP S, MANDIKI S N M, MBONDO BIYONG S R, et al. Intestinal Histopathology and Immune Responses Following *Escherichia Coli* Lipopolysaccharide Challenge in Nile Tilapia Fed Enriched Black Soldier Fly Larval (BSF) Meal Supplemented with Chitinase [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2022, 128: 620-633.
- [28] POZZO L, SALAMANO G, MELLIA E, et al. Feeding a Diet Contaminated with Ochratoxin a for Chickens at the Maximum Level Recommended by the EU for Poultry Feeds (0.1 mg/kg). 1. Effects on Growth and Slaughter Performance, Haematological and Serum Traits [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2013, 97: 13-22.
- [29] 何航, 陈脊宇, 唐弋钦, 等. 饲料粗纤维水平对四川白鹅生长性能、屠宰性能及血清生化指标的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(6): 44-51.
- [30] TANG Z R, YIN Y L, NYACHOTI C M, et al. Effect of Dietary Supplementation of Chitosan and Galacto-Mannan-Oligosaccharide on Serum Parameters and the Insulin-Like Growth Factor-I mRNA Expression in Early-Weaned Piglets [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2005, 28(4): 430-441.
- [31] 王桂英, 王奎明, 李路胜, 等. 黑水虻幼虫粉对蛋雏鸡生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(8): 3615-3623.
- [32] SHARMA U, PAL D, PRASAD R. Alkaline Phosphatase: An Overview [J]. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 2014, 29(3): 269-278.
- [33] 张依裕, 潘兰兵, 林家栋. 天柱番鸭 ApoVLDL-II 基因多态对肉质和血清生化指标的遗传效应分析 [J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2013, 28(4): 488-493.
- [34] 张书汁, 赵瑞, 黄艳群, 等. 酶制剂和益生菌组合对朗德鹅产肝性能和血清生化指标的影响 [J]. *河南农业大学学报*, 2011, 45(3): 318-322.
- [35] 李常营, 徐兰梦, 何航, 等. 发酵杂交构树对四川白鹅生产性能、生理生化指标和肉品质的影响 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2024, 46(12): 71-83.
- [36] 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.
- [37] GARIGLIO M, DABBOU S, CRISPO M, et al. Effects of the Dietary Inclusion of Partially Defatted Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Meal on the Blood Chemistry and Tissue (Spleen, Liver, Thymus, and Bursa of Fabricius) Histology of Muscovy Ducks (*Cairina moschata domestica*) [J]. *Animals*, 2019, 9(6): 307.