动物营养学报 2021,33(10):5545-5556
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2021.10.015

饲粮色氨酸水平对肉鸡生长性能、血清生化指标、器官指数及肠道组织形态的影响

伏春燕[1] 董以雷[1] 阎佩佩[1] 王文彬[1] 燕 磊[2] 黄 河[2] 朱应波[3]
魏祥法[1] 刘瑞亭[1] 石天虹[1] 刘雪兰[1*]
(1.山东省农业科学院家禽研究所,济南 250023;2.山东新希望六和集团有限公司,青岛 266100;
3.东营蓝海生态养殖公司,东营 257100)

摘 要: 本试验旨在研究色氨酸作为功能性氨基酸,对肉鸡生长性能、血清生化指标、器官指数及肠道组织形态的影响。试验采用单因素6水平试验设计。选取1日龄爱拔益加(AA)肉用仔鸡720只,随机分为6组,每组6个重复,每个重复20只。对照组饲喂基础饲粮(色氨酸水平1~21日龄为0.23%,22~42日龄为0.20%),5个试验组分别在基础饲粮中添加0.03%、0.06%、0.09%、0.12%、0.15%的色氨酸。试验鸡自由采食和饮水,试验期42 d。结果显示:1)与对照组相比,基础饲粮添加0.03%和0.12%色氨酸显著降低了21日龄肉鸡体重($P<0.05$),添加0.03%、0.09%、0.12%色氨酸显著降低了1~21日龄肉鸡的平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)($P<0.05$);添加色氨酸对42日龄肉鸡体重,22~42日龄和1~42日龄ADFI、ADG、料重比(F/G)以及1~21日龄F/G均没有显著影响($P>0.05$)。2)与对照组相比,基础饲粮添加0.12%色氨酸显著升高了21日龄肉鸡的胸腺指数($P<0.05$),显著降低了肝脏指数($P<0.05$),添加0.15%色氨酸显著降低了21日龄肉鸡的胸腺指数和肝脏指数($P<0.05$),且胸腺指数随色氨酸添加水平的增加呈二次曲线显著增加($P<0.05$),而肝脏指数呈线性和二次曲线显著降低($P<0.05$);基础饲粮中添加色氨酸对42日龄肉鸡的器官指数均没有显著影响($P>0.05$)。3)与对照组相比,基础饲粮中添加0.06%色氨酸显著升高了21和42日龄肉鸡血清中超氧化物歧化酶(SOD)活性($P<0.05$),且随色氨酸添加水平的升高,21和42日龄肉鸡血清SOD活性呈显著二次曲线升高($P<0.05$),21日龄肉鸡血清中总抗氧化力、丙二醛含量呈显著线性和二次曲线降低($P<0.05$)。4)与对照组相比,基础饲粮中添加0.09%色氨酸显著升高了21日龄肉鸡血清中免疫球蛋白A含量($P<0.05$)。5)与对照组相比,基础饲粮中添加0.12%、0.15%色氨酸显著降低了21日龄肉鸡十二指肠绒毛高度(VH)($P<0.05$),显著增加了空肠和回肠的VH和隐窝深度(CD)($P<0.05$)。基础饲粮中添加色氨酸对42日龄肉鸡的十二指肠和空肠发育均没有显著影响($P>0.05$),但空肠VH、绒毛高度/隐窝深度(V/C)有显著线性降低的变化($P<0.05$),回肠VH和V/C随色氨酸的添加水平增加而显著降低($P<0.05$)。综上所述,基础饲粮中适量添加色氨酸对肉鸡后期生长性能和器官指数以及十二指肠和空肠的发育没有显著影响,并可以提高肉鸡的抗氧化能力和免疫功能。

收稿日期:2021-03-16
基金项目:山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY020602,2019JZZY020611);山东省农业科学院农业科技创新工程(CXGC2020D01);东营市科技计划项目(2020JCYJ105);东营市生态农牧业生物技术重点实验室;国家自然科学基金项目(31902176);山东省自然科学基金项目(ZR2019BC005)
作者简介:伏春燕(1990—),女,山东临邑人,助理研究员,博士,研究方向为家禽营养。E-mail: fuchunyan1004@126.com
*通信作者:刘雪兰,研究员,E-mail: jqsliuxl@163.com

关键词：色氨酸；肉鸡；生长性能；免疫和抗氧化功能；器官指数；肠道发育
中图分类号：S831 **文献标识码**：A **文章编号**：1006-267X(2021)10-5545-12

色氨酸是家禽饲粮的限制性氨基酸，属于功能性氨基酸[1-2]。在体内除了参与体蛋白的合成外，色氨酸也是体内多种生物活性分子的前体，如5-羟色胺、褪黑素等，在调节动物采食量、生长、应激、免疫等多个方面也发挥重要的作用[3-8]。研究显示，饲粮添加0.202%色氨酸可显著提高1~21日龄北京鸭的平均日采食量(ADFI)[9]。色氨酸缺乏或过量均会导致家禽的采食量以及体增重的降低[10-11]。除对生长性能的影响外，色氨酸对家禽的营养物质代谢、免疫力和肠道发育也具有显著的调控作用。研究显示，饲粮添加色氨酸显著提高了肉仔鸡血清免疫球蛋白(Ig)G和IgA的含量，以及鸭的胸腺、脾脏和法氏囊指数[12-13]。Davoudi等[14]研究发现，色氨酸通过提高肝脏中乳酸脱氢酶、丙氨酸转氨酶和碱性磷酸酶的活性，降低了肉仔鸡血液中甘油三酯的含量。近年来的研究显示，饲粮0.21%~0.25%的色氨酸水平能够满足肉仔鸡生长的需要[15]。但由于色氨酸除具有合成体蛋白的功能外还具有其他生物学功能，那么适量添加色氨酸，在正常生产条件下是否会对肉鸡的生长、代谢等有进一步的提升呢？本试验旨在研究玉米-豆粕型饲粮中添加色氨酸对肉鸡生长性能、血清生化指标、免疫器官指数以及肠道发育的影响，以进一步了解色氨酸作为功能性氨基酸的营养调控作用，为其在肉鸡饲粮中更广泛地使用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用单因素试验设计，选取1日龄体重相近的雄性爱拔益加(AA)肉仔鸡720只，随机分为6组，每组6个重复，每个重复20只。对照组饲喂基础饲粮，营养水平参照《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)设计低色氨酸水平的基础饲粮，基础饲粮组成及营养水平见表1。其中，在1~21日龄和22~42日龄基础饲粮中色氨酸的水平分别为0.26%和0.23%。试验组分别在基础饲粮中额外添加0.03%、0.06%、0.09%、0.12%、0.15%的色氨酸。所有饲粮除色氨酸水平外，其余养分水平相同。

表1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

项目 Items	1~21日龄 1 to 21 days of age	22~42日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	60.0	65.0
豆粕 Soybean meal	30.0	23.5
鱼粉 Fish meal	2.0	3.5
豆油 Soybean oil	3.0	4.0
预混料 Premix[1)]	5.0	5.0
合计 Total	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.22	12.97
粗蛋白质 CP	21.50	20.00
钙 Ca	1.00	0.90
有效磷 AP	0.45	0.40
蛋氨酸 Met	0.46	0.45
赖氨酸 Lys	1.15	1.00
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.91	0.76
色氨酸 Trp	0.23	0.20

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 10 000 IU, VB_1 1.96 mg, VB_2 5.76 mg, VB_6 3.92 mg, VB_{12} 0.02 mg, VD_3 2 000 IU, VE 15 mg, VK_3 63.8 mg, 生物素 biotin 0.50 mg, 叶酸 folic acid 0.98 mg, *D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 11.76 mg, 烟酸 nicotinic acid 39.2 mg, Cu (as copper sulfate) 0.80 mg, Fe (as ferrous sulfate) 8 mg, Mn (as manganese sulfate) 10 mg, Zn (as zinc sulfate) 7.52 mg, I (as potassium iodide) 0.04 mg, Se (as sodium selenite) 0.04 mg。

2)色氨酸为测定值，其他营养水平为计算值。Trp was a measured value, while the other nutrient levels were calculated values.

1.2 饲养管理

动物试验在山东省农业科学院家禽研究所试验基地开展。试验期42 d，采用网面平养。育雏第1周每天光照24 h，随后每周递减1~2 h光照时长。试验期间，试验鸡自由采食和饮水，按照正常程序进行免疫接种。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能

试验期间观察各组试验鸡的生长和健康状况,并记录死淘情况。

试验第 20 天和第 41 天 21:00 开始禁食,第 2 天 09:00 以重复为单位称重,计算各组 ADFI、平均日增重(ADG)和料重比(F/G, ADFI/ADG)。

1.3.2 血清生化指标

试验第 21 天和第 42 天,每个重复随机选取 2 只肉鸡,称重后翅静脉采血、静置、离心(3 000 r/min,10 min),制备血清,于-20 ℃保存待测。检测血清中 IgA、IgG、IgM 含量,总抗氧化能力(T-AOC),丙二醛(MDA)含量及谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、超氧化物歧化酶(SOD)活性。试剂盒购自武汉基因美科技有限公司。

1.3.3 免疫器官指数

每重复随机选取 2 只肉仔鸡,采血后,左颈静脉放血致死,取肝脏、脾脏、胸腺、法氏囊等器官并称重,计算各器官指数。

21 日龄器官指数(g/g)= 器官鲜重(g)/肉鸡活重(g);

42 日龄器官指数(g/kg)= 器官鲜重(g)/肉鸡活重(kg)。

1.3.4 肠道组织形态

取十二指肠、空肠、回肠中段约 1 cm 肠管,固定于 4%多聚甲醛中。24 h 后,经过冲水、梯度酒精脱水、二甲苯透明、石蜡包埋等处理后,以 5 μm 的厚度切片,常规苏木精-伊红(HE)染色。用普通光学显微镜测量绒毛高度和隐窝深度,计算绒毛高度/隐窝深度(V/C)。

1.4 数据统计分析

试验数据用平均值±标准差表示,用 SAS 9.1.3统计软件中的 ANOVA 过程进行单因素方差分析,通过 Duncan 氏法进行多重比较,$P<0.05$ 为差异显著。

2 结　果

2.1 饲粮色氨酸水平对肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知,饲粮色氨酸水平对 1~21 日龄、22~42 日龄和 1~42 日龄肉鸡的 F/G,以及 22~42 日龄和 1~42 日龄肉鸡的 ADFI、ADG 没有显著影响($P>0.05$)。与对照组相比,添加 0.03%和 0.12%色氨酸显著降低了 21 日龄肉鸡体重和 1~21 日龄肉鸡的 ADFI、ADG($P<0.05$),添加 0.09%色氨酸显著降低了 1~21 日龄肉鸡的 ADG($P<0.05$)。基础饲粮中添加 0.06%和 0.15%色氨酸对 1~21 日龄肉鸡的 ADFI、ADG 没有显著影响($P>0.05$)。此外,随着饲粮色氨酸添加水平的增加,1~21 日龄肉鸡的 ADFI($P=0.057$)和 ADG($P=0.096$)呈二次曲线升高趋势。饲粮添加色氨酸对 42 日龄肉鸡体重没有显著影响($P>0.05$)

表 2 饲粮色氨酸水平对肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary tryptophan levels on growth performance of broilers

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					*P* 值 *P*-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
1 日龄体重 BW at 1 day of age/g	46.54 ±0.73	46.21 ±0.56	46.79 ±0.52	46.38 ±0.87	46.67 ±0.07	46.73 ±2.27	0.983	0.685	0.912
21 日龄体重 BW at 21 days of age/g	734.38 ±23.83^{ab}	677.02 ±18.14^{cd}	719.57 ±11.31^{ab}	705.40 ±17.13^{bc}	657.87 ±25.94^{d}	750.78 ±9.38^{a}	<0.001	0.955	0.125
42 日龄体重 BW at 42 days of age/kg	2.52 ±0.13	2.41 ±0.04	0.41 ±0.09	2.45 ±0.13	2.40 ±0.09	2.42 ±0.22	0.870	0.393	0.570
1~21 日龄 1 to 21 days of age									
平均日采食量 ADFI/(g/d)	44.86 ±1.37^{a}	40.77 ±0.78^{cd}	43.29 ±0.86^{ab}	41.72 ±1.58^{bc}	39.44 ±0.57^{d}	43.09 ±1.00^{ab}	<0.001	0.151	0.057
平均日增重 ADG/(g/d)	33.40 ±1.07^{a}	30.03 ±0.84^{cd}	32.02 ±0.55^{ab}	31.37 ±0.83^{bc}	29.09 ±1.25^{d}	32.81 ±1.00^{ab}	0.001	0.462	0.096

续表 2

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					*P* 值 *P*-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
料重比 F/G	1.34 ±0.01	1.36 ±0.01	1.35 ±0.02	1.33 ±0.02	1.36 ±0.07	1.31 ±0.02	0.543	0.292	0.387
22~42 日龄 22 to 42 days of age									
平均日采食量 ADFI/(g/d)	134.56 ±5.97	131.40 ±3.97	132.59 ±3.31	132.97 ±12.41	135.13 ±14.93	128.91 ±12.89	0.976	0.361	0.668
平均日增重 ADG/(g/d)	84.89 ±4.87	82.67 ±2.32	80.69 ±3.95	83.25 ±5.88	82.85 ±3.54	79.49 ±10.62	0.888	0.360	0.667
料重比 F/G	1.59 ±0.02	1.59 ±0.03	1.64 ±0.03	1.60 ±0.04	1.64 ±0.23	1.63 ±0.06	0.962	0.508	0.785
1~42 日龄 1 to 42 days of age									
平均日采食量 ADFI/(g/d)	89.71 ±3.13	86.08 ±2.05	87.94 ±1.49	87.34 ±6.59	87.29 ±7.63	86.00 ±6.30	0.950	0.491	0.785
平均日增重 ADG/(g/d)	59.14 ±2.67	56.35 ±0.99	56.36 ±2.10	57.31 ±3.04	55.97 ±2.18	56.15 ±4.97	0.766	0.258	0.435
料重比 F/G	1.52 ±0.02	1.53 ±0.02	1.56 ±0.03	1.52 ±0.04	1.56 ±0.19	1.53 ±0.03	0.963	0.491	0.784

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 饲粮色氨酸水平对肉鸡器官指数的影响

由表 3 可知,饲粮色氨酸水平对 21 日龄肉鸡的法氏囊指数、脾脏指数,以及 42 日龄肉鸡的胸腺指数、肝脏指数、法氏囊指数、脾脏指数没有显著影响($P>0.05$)。而与对照组相比,21 日龄肉鸡的胸腺指数在 0.12%色氨酸添加组显著升高了 24.68%($P<0.05$),但 0.15%色氨酸添加组显著降低了 18.70%($P<0.05$),且随着饲粮色氨酸添加水平的增加,21 日龄肉鸡的胸腺指数呈二次曲线显著升高($P<0.05$)。与对照组相比,添加 0.12%和 0.15%色氨酸显著降低了 21 日龄肉鸡的肝脏指数($P<0.05$),且随着饲粮色氨酸添加水平的增加,21 日龄肉鸡的肝脏指数呈线性和二次曲线显著降低($P<0.05$)。

表 3 饲粮色氨酸水平对肉鸡器官指数的影响

Table 3 Effects of dietary tryptophan levels on organ indexes of broilers

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					*P* 值 *P*-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
21 日龄 21 days of age									
胸腺指数 Thymus index/(g/g)	3.85 ±0.42^{bc}	3.59 ±0.63^{cd}	4.43 ±0.67^{ab}	3.85 ±0.50^{bc}	4.80 ±0.66^{a}	3.13 ±0.40^{d}	<0.001	0.987	0.042
肝脏指数 Liver index/(g/g)	28.04 ±1.39^{a}	28.84 ±2.74^{a}	28.08 ±3.69^{a}	27.20 ±2.17^{ab}	24.90 ±1.66^{bc}	23.13 ±1.78^{c}	<0.001	<0.001	<0.001
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index/(g/g)	2.62 ±0.52^{ab}	2.39 ±0.40^{b}	2.97 ±0.12^{a}	2.40 ±0.50^{b}	2.28 ±0.54^{b}	2.50 ±0.62^{ab}	0.156	0.320	0.597

续表 3

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					P 值 P-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
脾脏指数 Spleen index/(g/g)	0.76 ±0.23	0.78 ±0.21	0.91 ±0.17	0.75 ±0.15	0.81 ±0.07	0.82 ±0.11	0.514	0.668	0.755
42 日龄 42 days of age									
胸腺指数 Thymus index/(g/kg)	3.73 ±0.91	3.40 ±0.46	3.67 ±0.61	3.13 ±0.36	3.61 ±0.48	3.65 ±0.54	0.480	0.832	0.507
肝脏指数 Liver index/(g/kg)	18.13 ±1.44	18.50 ±1.89	20.20 ±2.91	19.22 ±1.50	18.43 ±1.58	18.70 ±1.85	0.320	0.776	0.830
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index/(g/kg)	2.15 ±0.11^{ab}	2.00 ±0.25^{ab}	1.84 ±0.27^{b}	2.23 ±0.20^{a}	2.06 ±0.35^{ab}	1.91 ±0.38^{ab}	0.123	0.446	0.750
脾脏指数 Spleen index/(g/kg)	1.36 ±0.47	1.21 ±0.29	1.28 ±0.19	1.17 ±0.33	1.08 ±0.14	1.20 ±0.25	0.561	0.141	0.257

2.3　饲粮色氨酸水平对肉鸡血清抗氧化指标的影响

由表 4 可知,饲粮色氨酸添加水平对 21 和 42 日龄肉鸡血清中 GSH-Px 活性、T-AOC,以及 21 日龄肉鸡血清中 MDA 含量均没有显著影响($P>0.05$)。与对照组相比,添加 0.03%、0.06%、0.12%、0.15%色氨酸使 21 日龄肉鸡血清中 SOD 活性显著升高了 32.38%~41.62%($P<0.05$)。随着饲粮色氨酸添加水平的增加,21 日龄肉鸡血清中 SOD 活性、T-AOC 均呈线性($P<0.05$)和二次曲线($P<0.05$)显著升高,而血清中 MDA 含量呈线性($P<0.05$)和二次曲线($P<0.05$)显著降低。

与对照组相比,添加 0.06%和 0.09%色氨酸后 42 日龄肉鸡血清中 SOD 活性显著升高($P<0.05$),而血清中 MDA 含量有降低趋势($P=0.054$)。随着饲粮色氨酸添加水平的增加,42 日龄肉鸡血清中 SOD 活性呈二次曲线显著升高($P<0.05$)。

表 4　饲粮色氨酸水平对肉鸡血清抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of dietary tryptophan levels on antioxidant indices in serum of broilers

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					P 值 P-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
21 日龄 21 days of age									
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	112.09 ±4.19	109.58 ±17.13	111.58 ±15.57	110.71 ±15.26	105.69 ±9.02	106.68 ±10.18	0.928	0.279	0.309
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	214.63 ±20.74^{b}	284.13 ±41.21^{a}	290.95 ±52.00^{a}	253.41 ±17.05^{ab}	303.96 ±41.27^{a}	294.21 ±47.22^{a}	0.022	0.004	<0.001
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	6.82 ±.38	6.84 ±0.91	6.27 ±1.04	5.84 ±1.23	6.51 ±1.56	5.52 ±0.10	0.263	0.047	0.013
丙二醛 MDA/(mmol/L)	7.03 ±0.74	7.03 ±1.22	6.59 ±1.01	6.98 ±0.73	6.09 ±0.84	6.01 ±0.60	0.166	0.015	0.004
42 日龄 42 days of age									
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	100.40 ±27.16	99.44 ±25.57	95.85 ±15.39	106.87 ±22.85	99.89 ±17.53	110.00 ±24.78	0.822	0.358	0.555

续表 4

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					P 值 P-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
超氧化物歧化酶 SOD/(pg/mL)	1 514.74 ±333.83^{b}	1 746.10 ±221.80^{ab}	1 866.50 ±176.16^{a}	1 825.71 ±210.27^{a}	1 508.51 ±128.49^{b}	1 480.07 ±564.31^{b}	0.015	0.353	<0.001
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	242.36 ±53.41^{b}	279.38 ±35.49^{ab}	298.64 ±28.19^{a}	292.11 ±33.64^{a}	241.36 ±20.56^{b}	236.81 ±90.29^{b}	0.662	0.162	0.351
丙二醛 MDA/(mmol/L)	7.53 ±0.93	5.61 ±0.99	7.10 ±1.12	6.74 ±1.32	6.42 ±1.40	6.00 ±1.46	0.054	0.160	0.376

2.4 饲粮色氨酸水平对肉鸡血清免疫指标的影响

由表 5 可知,饲粮色氨酸水平对 21 日龄肉鸡血清中 IgG、IgM 含量,以及 42 日龄肉鸡血清中 IgA、IgM 含量均没有显著影响($P>0.05$)。与对照组相比,添加 0.09%色氨酸显著升高了 21 日龄肉鸡血清中 IgA 含量($P<0.05$)。与对照组相比,添加 0.03%色氨酸显著降低了 42 日龄肉鸡血清中 IgG 含量($P<0.05$),但随着饲粮色氨酸添加水平的增加,血清中 IgG 含量呈二次曲线显著升高($P<0.05$)。

表 5 饲粮色氨酸水平对肉鸡血清免疫指标的影响

Table 5 Effects of dietary tryptophan levels on immune indexes in serum of broilers

项目 Items	对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					P 值 P-value		
		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
21 日龄 21 days of age									
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	17.18 ±3.19	17.71 ±3.81	18.87 ±4.15	18.30 ±3.88	18.79 ±4.72	20.44 ±4.35	0.682	0.106	0.268
免疫球蛋白 A IgA/(μg/mL)	62.82 ±8.75^{b}	62.56 ±12.58^{b}	65.51 ±12.90^{b}	83.30 ±2.63^{a}	67.54 ±9.97^{b}	62.67 ±14.01^{b}	0.029	0.487	0.127
免疫球蛋白 M IgM/(ng/mL)	405.23 ±80.20	380.76 ±43.66	396.17 ±108.67	371.95 ±77.69	396.88 ±83.39	437.09 ±69.13	0.679	0.449	0.279
42 日龄 42 days of age									
免疫球蛋白 G IgG/(μg/mL)	18.73 ±2.84^{ab}	14.36 ±1.23^{c}	16.89 ±3.02^{bc}	19.88 ±4.29^{ab}	19.16 ±4.98^{ab}	21.81 ±3.06^{a}	0.011	0.208	0.014
免疫球蛋白 A IgA/(μg/mL)	73.34 ±10.75	74.08 ±2.09	60.61 ±5.50	71.44 ±8.29	69.37 ±17.10	72.51 ±17.75	0.319	0.829	0.341
免疫球蛋白 M IgM/(ng/mL)	410.10 ±87.15	425.09 ±100.45	362.92 ±21.69	385.10 ±94.12	409.51 ±61.20	448.17 ±84.39	0.581	0.648	0.298

2.5 饲粮色氨酸水平对肉鸡肠道形态的影响

由表 6 可知,饲粮色氨酸水平对 21 日龄肉鸡的十二指肠 VH、CD、V/C 以及空肠和回肠 V/C 均没有显著影响($P>0.05$)。与对照组相比,添加 0.09%、0.12%、0.15%色氨酸显著增加了 21 日龄肉鸡空肠 VH 和 CD($P<0.05$),添加 0.06%、0.09%、0.12%、0.15%色氨酸显著增加了 21 日龄肉鸡空肠 CD($P<0.05$)。与对照组相比,0.03%色氨酸添加组肉鸡回肠 VH 显著降低($P<0.05$),0.12%色氨酸添加组肉鸡回肠 VH、CD 均显著增加($P<0.05$)。随着饲粮色氨酸添加水平的增加,21 日龄肉鸡的十二指肠 CD 呈线性($P<0.05$)和二次曲线($P<0.05$)显著降低,十二指肠 V/C、空肠 VH、空肠 CD、回肠 CD 均呈线性($P<0.05$)和二次曲线($P<0.05$)显著升高。回肠 VH 随饲粮中色氨酸添加水平的升高呈线性升高趋势($P=0.050$)。

表 6　饲粮色氨酸水平对 21 日龄肉鸡肠道组织形态的影响

Table 6　Effects of dietary tryptophan levels on intestinal tissue morphology of 21-day-old broilers

项目 Items		对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					*P* 值 *P*-value		
			0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 VH/μm	1 248.93 ±208.26	1 136.46 ±184.03	1 163.26 ±175.52	1 255.77 ±131.98	1 256.69 ±114.87	1 262.33 ±204.23	0.572	0.341	0.445
	隐窝深度 CD/μm	150.02 ±15.28^{a}	141.68 ±25.28^{ab}	135.97 ±19.48^{ab}	138.96 ±14.38^{ab}	130.30 ±12.70^{b}	126.14 ±10.93^{b}	0.100	0.003	0.014
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	8.78 ±1.46	9.18 ±1.75	9.26 ±1.70	9.10 ±1.13	9.91 ±1.92	10.17 ±1.50	0.567	0.012	0.041
空肠 Jejunum	绒毛高度 VH/μm	676.39 ±51.91^{c}	767.31 ±119.315^{bc}	735.01 ±107.60^{bc}	943.42 ±162.89^{a}	1 001.82 ±194.83^{a}	848.78 ±156.86^{ab}	<0.001	0.001	0.001
	隐窝深度 CD/μm	86.40 ±15.24^{d}	92.31 ±11.86^{cd}	106.97 ±7.96^{abc}	115.29 ±15.29^{ab}	122.78 ±22.79^{a}	102.13 ±18.34^{bcd}	<0.001	0.002	<0.001
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	8.03 ±1.42	7.69 ±1.17	8.22 ±1.36	8.23 ±1.31	8.25 ±1.65	8.40 ±1.42	0.947	0.398	0.698
回肠 Ileum	绒毛高度 VH/μm	549.79 ±42.42^{b}	454.51 ±75.30^{c}	476.25 ±62.25^{bc}	565.92 ±83.38^{b}	663.34 ±133.29^{a}	526.69 ±78.19^{bc}	0.000	0.050	0.145
	隐窝深度 CD/μm	108.82 ±12.16^{bc}	99.16 ±11.24^{c}	101.24 ±13.86^{bc}	114.32 ±12.86^{ab}	125.62 ±13.77^{a}	114.44 ±13.30^{ab}	0.003	0.008	0.024
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	5.13 ±0.87	4.58 ±0.57	4.79 ±0.94	5.01 ±0.94	5.55 ±0.95	4.67 ±0.89	0.301	0.829	0.973

由表 7 可知,饲粮色氨酸添加水平对 42 日龄肉鸡的十二指肠、空肠的 VH、CD、V/C 没有显著影响($P>0.05$)。但空肠 VH 和 V/C 随饲粮中色氨酸添加水平的增加而呈线性显著降低($P<0.05$),并呈二次曲线降低的趋势($P>0.05$)。而与对照组相比,添加 0.03%、0.06%、0.15%色氨酸显著降低了 42 日龄肉鸡的回肠 VH、V/C($P<0.05$)。随饲粮中色氨酸添加水平的升高,回肠 VH 呈线性降低趋势($P=0.051$),而 V/C 呈线性($P<0.05$)和二次曲线($P<0.05$)显著降低。基础饲粮中添加色氨酸对 42 日龄肉鸡的回肠 CD 没有显著影响($P>0.05$)。

表 7　饲粮色氨酸水平对 42 日龄肉鸡肠道组织形态的影响

Table 7　Effects of dietary tryptophan levels on intestinal tissue morphology of 42-day-old broilers

项目 Items		对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					*P* 值 *P*-value		
			0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 VH/μm	1 602.46 ±229.41	1 603.31 ±204.76	1 575.60 ±286.60	1 690.92 ±200.30	1 772.07 ±174.16	1 551.57 ±153.52	0.325	0.870	0.973
	隐窝深度 CD/μm	143.64 ±19.69	143.11 ±26.60	134.54 ±21.21	147.15 ±14.52	146.01 ±18.04	150.79 ±15.65	0.694	0.328	0.409
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	11.28 ±1.89	11.52 ±2.27	12.53 ±2.15	11.54 ±1.45	12.30 ±1.89	10.38 ±1.42	0.287	0.601	0.148

续表 7

项目 Items		对照组 Control group	色氨酸水平 Tryptophan level/%					*P* 值 *P*-value		
			0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic
空肠 Jejunum	绒毛高度 VH/μm	1 343.93 ±227.87	1 331.26 ±234.73	1 222.01 ±214.11	1 224.15 ±217.80	1 261.28 ±120.03	1 081.27 ±158.25	0.181	0.015	0.052
	隐窝深度 CD/μm	124.78 ±18.29	129.14 ±23.39	121.52 ±11.62	125.35 ±16.21	114.55 ±18.43	125.03 ±11.56	0.727	0.514	0.771
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	10.84 ±1.74	10.38 ±1.22	10.07 ±1.58	9.83 ±1.85	9.41 ±1.44	9.23 ±1.71	0.390	0.020	0.068
回肠 Ileum	绒毛高度 VH/μm	927.98 ±146.86^{a}	742.05 ±107.61^{bc}	675.82 ±116.55^{bc}	816.69 ±132.49^{ab}	740.47 ±135.60^{bc}	669.44 ±108.55^{c}	0.023	0.051	0.136
	隐窝深度 CD/μm	112.35 ±18.48	110.89 ±15.77	111.44 ±13.47	111.93 ±17.84	108.74 ±12.37	114.34 ±11.00	0.987	0.927	0.903
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	8.35 ±1.37^{a}	6.76 ±1.00^{bc}	6.05 ±0.58^{c}	7.41 ±1.41^{ab}	6.76 ±0.69^{bc}	5.85 ±0.74^{c}	<0.001	0.005	0.017

3 讨 论

3.1 饲粮色氨酸水平对肉鸡生长性能的影响

动物的采食量决定其养分摄入量,进而影响动物的生长性能。王鹏[12]的研究发现,基础饲粮中添加 0.06%~0.09%色氨酸可显著提高 0~3 周龄 AA 肉仔鸡的体重,同时降低耗料量。但也有研究发现,基础饲粮中添加色氨酸对肉种鸡和蛋鸡的生长性能均没有显著影响[16-17]。本研究结果显示,基础饲粮中添加色氨酸显著降低了 21 日龄肉鸡的体重、ADFI、ADG,但对 42 日龄肉鸡的体重,以及 22~42 日龄和 1~42 日龄 ADFI、ADG、F/G 和 1~21 日龄的 F/G 均没有显著影响。这可能是色氨酸在体内代谢产生 5-羟色胺(5-HT)的作用。研究显示,5-HT 可增加动物的饱食感,当它超过生理水平时可抑制动物的采食[18-19]。饲粮中过高的色氨酸水平会导致 5-HT 含量过高,直接抑制采食,影响蛋雏鸭的生长发育[20]。Lacy 等[21]认为,色氨酸可能是直接作用于氨基酸受体,或者通过增加外周 5-HT 含量而调节采食行为。由此可知,本研究基础饲粮中的色氨酸水平已满足肉鸡的生长需要。

3.2 饲粮色氨酸水平对肉鸡器官指数的影响

免疫器官的生长发育直接决定了畜禽的免疫水平。而禽类免疫器官是机体免疫作用的物质基础,其不同的发育状态在一定程度上反映机体免疫系统的状态。色氨酸作为免疫相关蛋白的限制性氨基酸,可促进急性期反应蛋白、免疫球蛋白合成,促进机体对病原微生物的清除,减少炎症反应[22]。张括等[23]的研究发现,金定蛋鸭饲粮中添加 0.247%~0.260%的色氨酸,可显著提高法氏囊指数、胸腺指数、脾脏指数,促进免疫器官的发育。蛋雏鸭饲粮中添加 0.04%~0.06%色氨酸可显著提高胸腺指数、脾脏指数[20]。本研究发现,基础饲粮中添加 0.12%色氨酸显著提高了 21 日龄肉鸡的胸腺指数。这与色氨酸在体内代谢产生 5-HT 和褪黑素有关[24]。研究显示,5-HT 作为一种免疫调节因子,可以结合不同的受体,发挥免疫调节功能,而褪黑素则可以促进免疫器官的增大,使淋巴细胞体积增生[25]。但本研究还发现,添加色氨酸对 42 日龄肉鸡的器官指数没有显著影响。当添加水平升高至 0.15%时,则会降低 21 日龄肉鸡的肝脏指数。以上结果既反映了色氨酸对肉鸡免疫器官发育的正向调控作用,也表明过量色氨酸会导致肉鸡免疫器官发育的抑制。

3.3 饲粮色氨酸水平对肉鸡血清抗氧化指标的影响

机体的抗氧化防御体系与健康存在着密切的关系,体内的抗氧化酶活性的高低反映了机体抗氧化能力的强弱,特别是机体的健康状况。其中,

GSH-Px 可特异性催化谷胱甘肽(GSH)对过氧化氢(H_2O_2)的还原反应,是细胞内 H_2O_2 和脂质自由基的清除剂。SOD 能清除自由基,保护细胞免受损伤。MDA 是自由基引发的脂质过氧化物的最终分解产物,可以反映机体内脂质过氧化的程度,也间接反映了机体受到自由基攻击的程度。色氨酸的代谢产物之一是褪黑素。褪黑素通过提供电子清除活性氧,以及调控其受体的活性,来影响细胞及组织内的一些氧化和抗氧化酶类,如能增强 SOD、GSH-Px 等的活性,达到清除过氧化自由基的作用。本研究结果显示,基础饲粮中添加色氨酸(特别是 0.06%~0.09%的色氨酸添加水平)能使血清中 SOD 活性升高,且随色氨酸添加水平的增加 SOD 活性呈二次曲线显著升高变化,而 MDA 含量呈降低趋势。这与马玉娥等[17]在肉种鸡上的研究结果相似,进一步验证了色氨酸可提高动物抗氧化能力的功能。

3.4　饲粮色氨酸水平对肉鸡血清免疫指标的影响

免疫球蛋白指具有抗体活性或化学结构上与抗体相似的球蛋白,用于介导体液免疫的重要免疫分子。IgG、IgA 和 IgM 是在禽类上已确证的 3 种免疫球蛋白,普遍存在于组织液、血液及外分泌物中,具有抗菌、抗病毒等功效。色氨酸及其代谢产物通过调节免疫球蛋白和淋巴细胞的生成,提高机体免疫力,调节动物免疫功能。研究发现,饲粮中添加色氨酸可显著提高 1~21 日龄肉鸡血清 IgG 和 IgA 含量,增加扬州鹅血清 IgG 和 IgM 含量[12,26]。本研究结果显示,与对照组相比,基础饲粮中添加 0.09%色氨酸显著升高了 21 日龄肉鸡血清中 IgA 含量,而对 21 和 42 日龄肉鸡血清中 IgG、IgM 含量以及 42 日龄肉鸡血清中的 IgA 含量均没有显著影响。但值得注意的是,42 日龄肉鸡血清中 IgG、IgA、IgM 的含量有随色氨酸添加水平的增加而先升高、后降低的变化趋势。这表明饲粮中适量添加色氨酸可以提高机体的免疫力,而高水平色氨酸添加则会降低机体免疫功能。这可能与色氨酸代谢限速酶-吲哚 2,3-双加氧酶活性升高,导致线粒体产生过量活性氧,使免疫细胞功能受到抑制有关[23]。因此,色氨酸作为与免疫蛋白相关的限制性氨基酸,可直接参与家禽的细胞免疫和体液免疫[27]。

3.5　饲粮色氨酸水平对肉鸡肠道形态的影响

肠道作为动物主要消化吸收器官,其中肠道 VH、CD 及 V/C 是反映肠道结构完整性的重要指标,当内、外源性细菌、病毒侵入时,肠道屏障保护动物机体免受损伤。Koopmans 等[28]试验表明,饲粮中添加 0.5%的色氨酸,可缓解仔猪合群应激导致的血清皮质醇含量升高,改善肠道形态。Kim 等[29]研究发现,饲粮中添加色氨酸可增加小肠 VH,降低结肠炎仔猪肠道的通透性,维持肠道屏障功能。本研究发现,基础饲粮中添加 0.12%色氨酸显著升高了 21 日龄肉鸡空肠、回肠的 VH、CD,对 42 日龄肉鸡的十二指肠和空肠发育没有显著影响。这与色氨酸的代谢产物 5-HT 的功能有关。5-HT 是调节肠道蠕动的重要物质,分布在肠黏膜的上皮细胞中,因此,色氨酸具有维持机体肠道屏障的功能[30]。但随着饲粮中色氨酸添加水平的增加,42 日龄肉鸡空肠 VH、V/C 有呈线性降低的变化,回肠 VH 和 V/C 也随色氨酸添加水平的增加而降低。这可能是饲粮中添加高水平的色氨酸,影响其他大分子中性氨基酸的吸收利用导致的。

4　结　论

在基础饲粮中色氨酸水平能够满足肉鸡生长的情况下,添加 0.06%~0.09%色氨酸对肉鸡后期生长性能和器官指数以及十二指肠和空肠的发育没有显著影响,但可以提高肉鸡血清的抗氧化能力和免疫功能。

参考文献:

[1] KIM S W,MATEO R D,YIN Y L,et al.Functional amino acids and fatty acids for enhancing production performance of sows and piglets[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2007,20(2):295-306.

[2] WANG S J,LI J Y,WANG H,et al.A review on tibetan swine(a)-carcass,meat quality,basic nutrition component,amino acids,fatty acids,inosine monophosphate and muscle fiber[J].Agricultural Science & Technology,2013,14(10):1369-1374,1391.

[3] LAM D D,GARFIELD A S,MARSTON O J,et al.Brain serotonin system in the coordination of food intake and body weight[J].Pharmacology Biochemistry and Behavior,2010,97(1):84-91.

[4] MONTI J M.Serotonin control of sleep-wake behavior[J].Sleep Medicine Reviews,2011,15(4):269-281.

[5] BENTLEY P J. The chemical structure, polymorphism, and evolution of hormones[M]//Comparative vertebrate endocrinology. Cambridge: Cambridge University Press, 1998: 65-176.

[6] GERSHON M D. Serotonin and the motility of the gastrointestinal tract[J]. Gastroenterology, 1968, 54(3): 453-456.

[7] HUETHER G. Melatonin synthesis in the gastrointestinal tract and the impact of nutritional factors on circulating melatonin[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1994, 719: 146-158.

[8] BUBENIK G A. Gastrointestinal melatonin: localization, function, and clinical relevance[J]. Digestive Diseases and Sciences, 2002, 47(10): 2336-2348.

[9] 韩旭峰.日粮色氨酸与烟酸互作效应对生长前期北京鸭生长发育的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2010.
HAN X F A. Study on the interaction between tryptophan and niacin of early Pekin ducklings[D]. Master's Thesis. Yangling: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)

[10] BIRKL P, KJAER J B, SZKOTNICKI W, et al. Acute tryptophan depletion: the first method validation in an avian species (*Gallus gallus domesticus*)[J]. Poultry Science, 2017, 96(9): 3021-3025.

[11] DUARTE K F, JUNQUEIRA O M, DA SILVA FILARDI R, et al. Digestible tryptophan requirements for broilers from 22 to 42 days old[J]. Revista Brasileira de Zootecnia, 2013, 42(10): 728-733.

[12] 王鹏.饲粮中色氨酸对0~3周龄肉仔鸡生长及生化指标的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2011.
WANG P. Effects of dietary tryptophan on growth and biochemical indexes of 0 to 3 weeks AA broilers[D]. Master's Thesis. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011in Chinese)

[13] HARDEN J L, LEWIS S M, LISH S R, et al. The tryptophan metabolism enzyme *L*-kynureninase is a novel inflammatory factor in psoriasis and other inflammatory diseases[J]. The Journal of Allergy and Clinical Immunology, 2016, 137(6): 1830-1840.

[14] DAVOUDI P, DANESHYAR M. Effect of different levels of tryptophane on performance, carcass characteristics and blood parameters of broiler chickens under heat stress condition[J]. Journal of Veterinary Research, 2017, 72(2): 157-164.

[15] 景寒松,徐淼,杨桂芹.色氨酸的来源、代谢途径及其在家禽生产上的应用[J].动物营养学报,2018,30(12):4813-4820.
JING H S, XU M, YANG G Q. Sources, metabolic pathways and application of tryptophan in poultry[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(12): 4813-4820. (in Chinese)

[16] 周斌.日粮色氨酸水平对蛋鸡生产性能与蛋品质的影响及其机理探讨[D].硕士学位论文.杭州:浙江大学,2010.
ZHOU B. Research on the effects of dietary tryptophan levels on the production performance and egg quality in laying hens and approach to the mechanism[D]. Master's Thesis. Hangzhou: Zhejiang University, 2010. (in Chinese)

[17] 马玉娥,占秀安,朱巧明,等.饲粮色氨酸水平对黄羽肉种鸡生产性能、抗氧化功能及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2011,23(12):2177-2182.
MA Y E, ZHAN X A, ZHU Q M, et al. Dietary tryptophan level affects performance, antioxidant function and serum biochemical indices of yellow-feathered broiler breeders[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(12): 2177-2182. (in Chinese)

[18] 陈守云,孙正修,徐海涛.色氨酸在动物体内的营养代谢研究[J].青海畜牧兽医杂志,2010,40(4):48-49.
CHEN S Y, SUN Z X, XU H T. The nutritional metabolism of tryptophan in animals[J]. Chinese Qighai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2010, 40(4): 48-49. (in Chinese)

[19] 张鏸予,傅伟龙.色氨酸在猪营养中的作用[J].饲料博览,2011,1(1):8-11.
ZHANG H Y, FU W L. The roles of tryptophan in swine nutrition[J]. Feed Review, 2011(1): 8-11. (in Chinese)

[20] 刘肖挺.色氨酸水平对0~4周龄蛋雏鸭生长性能及血液生化指标的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2013.
LIU X T. Effect of levels of tryptophan on growth and blood biochemistry indexes of 0 to 4 week-old ducklings[D]. Master's Thesis. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013. (in Chinese)

[21] LACY M P, VAN KREY H P, SKEWES P A, et al. Intraperitoneal injections of tryptophan inhibit food intake in the fowl[J]. Poultry Science, 1986, 65(4): 786-788.

[22] 李秋粉,欧阳经鑫,黎观红.色氨酸调控畜禽热应激研究进展[J].动物营养学报,2021,33(2):

658-668.
LI Q F,OU YANG J X,LI G H.Research progress on role of tryptophan in conuteracting heat stress in livestock and poultry[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2021,33(2):658-668.(in Chinese)
[23] 张括,王安,刘洋景.12~17 周龄金定蛋鸭色氨酸适宜需要量的研究[J].饲料工业,2011,32(20):6-9.
ZHANG K,WANG A,LIU Y J.Research on adequate requirement of tryptophan of 12 to 17 weeks *Jinding* ducks[J].Feed Industry,2011,32(20):6-9.(in Chinese)
[24] 朱艳芝,马文锋,陈晓晨,等.色氨酸分解代谢及其在猪饲粮中的应用进展[J].动物营养学报,2020,32(3):1019-1024.
ZHU Y Z,MA W F,CHEN X C,et al.Tryptophan catabolism and its application in pig diets[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2020,32(3):1019-1024.(in Chinese)
[25] WU G.Amino acids:metabolism,functions,and nutrition[J].Amino Acids,2009,37(1):1-17.
[26] 魏宗友.色氨酸对鹅组织蛋白质代谢调控机制的影响[D].博士学位论文.扬州:扬州大学,2012.
WEI Z Y.Effect of dietary tryptophan levels on tissue protein metabolism and its manipulating mechanism in goslings[D].Ph.D.Thesis.Yangzhou:Yangzhou University,2012.(in Chinese)
[27] EMADI M,JAHANSHIRI F,KAVEH K,et al.Nutrition and immunity:the effects of the combination of arginine and tryptophan on growth performance,serum parameters and immune response in broiler chickens challenged with infectious bursal disease vaccine[J].Avian Pathology,2011,40(1):63-72.
[28] KOOPMANS S J,GUZIK A C,VAN DER MEULEN J,et al.Effects of supplemental *L*-tryptophan on serotonin,cortisol,intestinal integrity,and behavior in weanling piglets[J].Journal of Animal Science,2006,84(4):963-971.
[29] KIM C J,KOVACS-NOLAN J A,YANG C,et al.*L*-tryptophan exhibits therapeutic function in a porcine model of dextran sodium sulfate (DSS)-induced colitis[J].Journal of Nutritional Biochemistry,2010,21(6):468-475.
[30] 张文杰,马健,王志远,等.色氨酸的代谢与功能及其在动物生产中的应用[J].家畜生态学报,2020,41(7):73-78.
ZHANG W J,MA J,WANG Z Y,et al.Metabolism and function of tryptophan and its application in animal production[J].Acta Ecologae Animalis Domastici,2020,41(7):73-78.(in Chinese)

Effects of Dietary Tryptophan Levels on Growth Performance, Serum Biochemical Indices, Organ Indexes and Intestinal Morphology of Broilers

FU Chunyan[1]　DONG Yilei[1]　YAN Peipei[1]　WANG Wenbin[1]　YAN Lei[2]　HUANG He[2]
ZHU Yingbo[3]　WEI Xiangfa[1]　LIU Ruiting[1]　SHI Tianhong[1]　LIU Xuelan[1*]
(1. *Poultry Institute*, *Shandong Academy of Agricultural Sciences*, *Jinan* 250023, *China*; 2. *Shandong New Hope Liuhe Group Co.*, *Ltd.*, *Qingdao* 266100, *China*; 3. *Dongying Blue Sea Ecological Aquaculture Company*, *Dongying* 257100, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of tryptophan, as functional amino acids, on growth performance, serum biochemical indices, organ indexes, and intestinal morphology of broilers. A single factor and six addition levels of trial was designed. A total of 360 one-day-old male Arbor Acres broilers were randomly divided into 6 groups with 6 replicates per group and 20 birds per replicate. Broilers in the control group were fed a basal diet (the tryptophan level was 0.23% at 1 to 21 days of age and 0.20% at 22 to 42 days of age), and others in the 5 experimental groups were fed the basal diet supplemented with 0.03%,

* Corresponding author, professor, E-mail: jqsliuxl@163.com

0.06%, 0.09%, 0.12% and 0.15% tryptophan, respectively. The chickens were free to feed and drink. And the experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with the control group, 0.03% and 0.12% tryptophan supplementation significantly reduced the body weight of broilers at 21 days of age ($P<0.05$), while 0.03%, 0.09% and 0.12% tryptophan supplementation significantly decreased the average daily feed intake (ADFI), the average daily gain (ADG) and the feed to gain ratio (F/G) of broiler from 1 to 21 days of age ($P<0.05$). The supplementation of tryptophan in basal diets has no significant influence on the body weight of broilers at 42 days of age, and the ADFI, ADG, and feed/gain (F/G) of broilers at 22 to 42 days of age, or 1 to 42 days of age, as well as the F/G of broilers at 1 to 21 days of age ($P>0.05$). 2) Compared with control group, 0.12% tryptophan supplementation significantly increased the thymus index ($P<0.05$), but significantly decreased the liver index of broilers at 21 days of age ($P<0.05$). 0.15% tryptophan supplementation significantly decreased the thymus index and liver index of broilers at 21 days of age ($P<0.05$). The thymus index significantly increased quadratically with the supplementation of tryptophan ($P<0.05$), while the liver index was significantly decreased linearly and quadratically ($P<0.05$). The supplementation of tryptophan in basal diet had no influence on the organ indexes of broilers at 42 days of age ($P>0.05$). 3) Compared with the control group, the basal diet supplemented with 0.06% tryptophan significantly increased the activity of superoxide dismutase (SOD) in serum of broilers at 21 and 42 days of age ($P<0.05$). Furthermore, the serum SOD activity significantly increased linearly and quadratically ($P<0.05$) with the supplementation of tryptophan. 4) 0.09% tryptophan significantly increased the serum immunoglobulin A content in broilers at 21 days of age ($P<0.05$). 5) Compared with the control group, the basal diet supplemented with 0.12% and 0.15% tryptophan significantly decreased the duodenum villus height (VH) of broilers at 21 days of age ($P<0.05$), and significantly increased the jejunum ileum VH and crypt depth (CD, $P<0.05$). For the broilers at 42 days of age, tryptophan supplementation in the basal diet had no significant influence on the development of duodenum and jejunum ($P>0.05$), but the jejunum VH and villus height/crypt depth (V/C) decreased linearly ($P<0.05$), as well as that of ileum. In conclusion, tryptophan supplementation in basal diet has no significant influence on the growth performance, organ indexes and the development of jejunum and ileum of broilers in later growth stage, but can increase the serum antioxidant and immune ability of broilers. [***Chinese Journal of Animal Nutrition***, **2021**, **33**(**10**):**5545-5556**]

Key words: tryptophan; broilers; growth performance; immune and antioxidant functions; organ indexes; intestinal morphology

(责任编辑 陈 鑫)