动物营养学报 2022,34(9):5691-5701
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2022.09.024

棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡生长性能以及血清生化、抗氧化和免疫指标的影响

孙晓晓　邓生青　叶晓梦　王钰明　张　虎　赵　峰　萨仁娜*

(中国农业科学院北京畜牧兽医研究所,动物营养学国家重点实验室,北京 100193)

摘　要: 本试验旨在研究不同水平的棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡生长性能以及血清生化、抗氧化和免疫指标的影响,为豆粕减量化实施提供依据。选取 192 只 28 日龄体重相近的爱拔益加(AA)雄性肉鸡,随机分为 4 组,每组 6 个重复,每个重复 8 只鸡。对照组饲喂玉米-豆粕型基础饲粮,试验组分别饲喂棉籽粕水平分别为 5%、8%和 16%的试验饲粮,各组饲粮营养水平一致。试验期 14 d。结果表明:1)各组之间肉鸡终末体重、平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)均无显著差异($P>0.05$)。其中,5%棉籽粕水平组 F/G 最低。2)各组之间血清钾、钠、氯、钙、磷含量以及谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性均无显著差异($P>0.05$)。16%棉籽粕水平组血清铁含量显著低于对照组($P<0.05$)。3)各组之间血清总抗氧化能力(T-AOC)和丙二醛(MDA)含量及超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性均无显著差异($P>0.05$)。4)16%棉籽粕水平组血清免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M(IgM)含量显著高于对照组($P<0.05$)。各组之间血清肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、白细胞介素-6 (IL-6)和白细胞介素-10 (IL-10)含量均无显著差异($P>0.05$)。5)各组之间血清总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、球蛋白(GLB)、尿酸(UA)、尿素氮(UN)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)含量均无显著差异($P>0.05$)。由此可见,在 28~42 日龄肉鸡饲粮中使用 5%和 8%的棉籽粕替代豆粕不影响肉鸡的生长性能及血清生化、抗氧化指标,可有效替代豆粕。

关键词: 棉籽粕;豆粕;肉鸡;生长性能;生化;抗氧化;免疫

中图分类号:S831　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2022)09-5691-11

随着养殖业规模化的快速发展,饲料原料需求量逐年上升,同时我国的豆粕依然需要大量进口。在当前形势下,一方面大豆的进口量下降,一方面需求量增加,造成饲料成本不断升高。为解决供需矛盾,保障饲料原料有效供给,减轻对进口原料的依赖,2021 年 3 月 15 日我国农业农村部畜牧兽医局发布《饲料中玉米豆粕减量替代工作方案》,强调利用现有资源,优化饲料配方结构,降低玉米、豆粕比例。因此,本试验开展棉籽粕替代豆粕的研究,为减量替代技术和畜牧业可持续发展提供科学依据。

我国是世界第一大产棉国,2020 年棉籽粕产量高达 300 万~500 万 t[1]。棉籽粕是棉籽脱壳榨油后的副产品,粗蛋白质含量高达 43.5%~47.0%[2],常被用做畜禽饲粮中豆粕的替代品[3]。一定比例的棉籽粕替代豆粕对生长后期肉鹅[4]和肉鸡[5]的生长性能无影响。棉籽粕在畜禽饲粮中的利用与畜禽日龄和棉籽粕添加水平有关。肉鸡

收稿日期:2022-03-11

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07)

作者简介:孙晓晓(1996—),女,山东枣庄人,硕士研究生,从事饲料养分生物学效价评定研究。E-mail: 17805429653@163.com

* **通信作者:**萨仁娜,副研究员,硕士生导师,E-mail: sarenna@caas.cn

在 7 日龄时消化道发育不完善,对棉籽粕氨基酸的利用率远低于豆粕[6]。有研究表明,饲粮 10%的棉籽粕水平显著降低了 1~28 日龄肉鸡的体增重,但对 29~42 日龄体增重无显著影响,且改善了料重比(F/G)[7]。倪海球等[8]研究发现,与玉米-豆粕型基础饲粮相比,生长期使用 5%的棉籽粕显著降低了猪的日增重,但育肥期使用 10%的棉籽粕不影响猪的生长。章双杰等[9]研究报道,使用 3%和 5%棉籽粕替代豆粕,肉鹅生长性能与玉米-豆粕组相近,而使用 8%的棉籽粕替代豆粕显著降低了肉鹅的日增重。Mishra 等[10]研究表明,玉米-豆粕型饲粮中添加 10%的棉籽粕对 15~35 日龄肉鸡的体重和 F/G 无显著影响,但添加 15%的棉籽粕则显著降低了肉鸡的体重,提高了 F/G。由此可见,幼龄动物使用棉籽粕不利于生长性能的提高,同时育肥阶段也要控制棉籽粕的用量。

过高棉籽粕水平降低畜禽生长性能,一方面是由于棉籽粕中的抗营养因子棉酚与许多功能性蛋白质、矿物质以及一些重要的酶结合,影响营养物质的消化吸收,对畜禽生理状态产生不利影响[11];另一方面可能是由于其氨基酸消化率较低[12]。饲粮棉酚含量高达 320 mg/kg 时,肝脏代谢功能受损,血清总蛋白含量和机体蛋白质沉积降低[13-14]。方琴音[15]研究报道,饲粮棉酚含量高达 200 mg/kg 时,蛋鸡血清铁离子含量显著降低,易造成贫血。育肥猪采食棉籽粕饲粮(棉酚含量为 58.95 mg/kg)降低了机体抗氧化能力及免疫力[8]。此外,也有学者发现一定水平棉酚不会影响畜禽生理。He 等[16]研究表明,产蛋鸡采食棉籽粕饲粮(棉酚含量为 28.35 mg/kg)对肝脏及肾脏等组织未产生不利影响。Özdoğan 等[17]研究报道,肉鸡采食棉籽粕饲粮(棉酚含量为186 mg/kg)不影响血液血红蛋白含量、红细胞压积和铁含量。因此,关于棉籽粕影响畜禽生理生化指标的结果并不统一。目前对棉籽粕的研究多集中在棉酚脱毒技术、发酵棉籽粕的应用等方面[18-20],有关不同水平的棉籽粕替代豆粕对肉鸡生理状态和健康影响的研究相对较少。因此,本试验旨在研究不同水平的棉籽粕替代豆粕对生长后期肉鸡生长性能以及血清生化、抗氧化和免疫指标的影响,以评估棉籽粕在 28~42 日龄肉鸡饲粮中的适宜添加水平,为棉籽粕替代豆粕提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与试验饲粮

棉籽粕购自北京三元禾丰牧业有限公司,按照国标 GB/T 6432—2018 的方法测定其粗蛋白质含量为 46.0%,按照国标 GB/T 13086—2020 的方法测定其棉酚含量为 1 160 mg/kg。

试验采用单因素完全随机设计,选取 192 只健康、体重相近的 28 日龄爱拔益加(AA)雄性肉鸡,随机分为 4 组,每组 6 个重复,每个重复 8 只鸡。对照组饲喂玉米-豆粕型基础饲粮,试验组分别饲喂棉籽粕水平分别为 5%、8%和 16%的试验饲粮。饲粮参照 NRC(1994)和《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)进行配制,各组饲粮营养水平一致,试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

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

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%			
	0	5	8	16
原料 Ingredients				
玉米 Corn	61.95	61.87	61.91	61.86
豆粕 Soybean meal	26.60	21.10	17.80	9.00
棉籽粕 Cottonseed meal		5.00	8.00	16.00
玉米蛋白粉 Corn protein meal	4.00	4.00	4.00	4.00
豆油 Soybean oil	3.70	4.20	4.40	5.10
石粉 Limestone	1.07	1.11	1.14	1.21
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.61	1.56	1.54	1.47
食盐 NaCl	0.25	0.25	0.25	0.25
赖氨酸 Lys (70%)	0.22	0.28	0.32	0.42

续表 1

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%			
	0	5	8	16
蛋氨酸 Met (98%)	0.09	0.09	0.09	0.10
苏氨酸 Thr (98%)	0.01	0.04	0.05	0.09
胆碱 Choline (50%)	0.24	0.24	0.24	0.24
预混料 Premix[1)]	0.26	0.26	0.26	0.26
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
干物质 DM	90.48	90.89	91.21	91.04
粗蛋白质 CP	19.74	19.86	19.82	19.55
代谢能 ME/(MJ/kg)	13.14	13.14	13.14	13.14
粗纤维 CF	2.99	3.19	3.31	3.63
钙 Ca	0.86	0.86	0.86	0.86
总磷 TP	0.64	0.65	0.66	0.68
有效磷 AP	0.42	0.42	0.42	0.42
赖氨酸 Lys	1.12	1.12	1.12	1.12
蛋氨酸 Met	0.44	0.44	0.44	0.44
苏氨酸 Thr	0.74	0.74	0.74	0.74
色氨酸 Trp	0.21	0.20	0.20	0.20
棉酚 Gossypol/(mg/kg)		58.0	92.8	185.6

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets:VA 6 000 IU,VD_3 1 000 IU,VE 15.0 mg,VK_3 0.5 mg,VB_1 2.0 mg,VB_2 6.0 mg,VB_6 4.0 mg,VB_{12} 0.01 mg,泛酸 pantothenic acid 10 mg,烟酸 nicotinic acid 35.0 mg,叶酸 folic acid 0.6 mg,生物素 biotin 0.2 mg,Cu 8.0 mg,Fe 80.0 mg,Zn 80.0 mg,Mn 100.0 mg,Se 0.3 mg,I 0.7 mg。

2)干物质和粗蛋白质为实测值,其余为计算值。DM and CP were measured values, while the others were calculated values.

1.2　饲养管理

试验在动物营养学国家重点实验室昌平基地开展。试验前对鸡舍、鸡笼、饮水器及料槽等进行冲洗和消毒。肉鸡饲养采用 3 层立体笼养方式,自由采食和饮水。日常饲养管理按照《爱拔益加肉鸡管理手册》进行。每日观察并记录鸡只健康状况、采食情况及粪便情况,定期清粪打扫鸡舍,试验期 14 d。

1.3　指标测定及方法

1.3.1　生长性能

准确记录试验期内的耗料量。在肉鸡 42 日龄,空腹 12 h 后以重复为单位进行称重,计算终末体重,并计算整个试验期间(28~42 日龄)平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和 F/G。

1.3.2　血清制备及指标测定

在肉鸡 42 日龄,每个重复随机选取 2 只鸡进行翅静脉采血(采血前空腹 12 h)5 mL,将采血管室温倾斜静置,待血清析出后,4 ℃条件下 3 000 r/min离心 15 min,取上清液 1.0~1.5 mL 置于 2 mL EP 管中,-20 ℃冰箱冷冻保存待测。

血清矿物元素含量及转氨酶活性测定。使用日立 7600 全自动生化分析仪及试剂盒(北京利得曼生化股份有限公司)测定血清钙(邻甲酚酞络合酮法)、钾(丙酮酸激酶法)、钠(半乳糖苷酶法)、氯(硫氰酸汞法)、磷(磷钼酸盐法)、铁(Ferene 法)含量。采用比色法,使用 Multiskan MK3 酶标仪(Thermo,美国)及试剂盒(南京生物建成生物工程研究所)测定血清谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性。

血清抗氧化指标测定。采用硫代巴比妥酸法测定血清丙二醛(MDA)含量,比色法测定谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性,黄嘌呤氧化酶法(羟胺法)测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,微板法测定总抗氧化能力(T-AOC)。所用仪器为 Multiskan MK3 酶标仪(Thermo,美国),试剂盒购自南京建成生物工程研究所,操作方法参考说明书进行。

血清免疫指标测定。采用免疫比浊法测定血清免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 G(IgG)、免疫球蛋白 M(IgM)含量,酶联免疫吸附测定法测定肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、白细胞介素-6(IL-6)和白细胞介素-10(IL-10)含量。所用仪器为日立 7600 全自动生化仪,试剂盒购自北京利得曼生化股份有限公司。

血清蛋白质和脂类代谢指标测定。使用日立 7600 全自动生化分析仪及试剂盒(北京利得曼生化股份有限公司)测定血清总蛋白(TP,双缩脲法)、白蛋白(ALB,溴甲酚绿法)、球蛋白(GLB,溴甲酚绿法)、尿酸(UA,尿酸酶法)、尿素氮(UN,尿素酶-谷氨酸脱氢酶法)、总胆固醇(TC,CHOD-PAP 法)、甘油三酯(TG,GPO-PAP 法)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C,直接法)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C,直接法)含量。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2020 软件对数据进行初步处理,采用 SAS 9.4 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),采用 Duncan 氏法进行多重比较检验。试验结果用平均值和均值标准误(SEM)表示,$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结 果

2.1 棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知,各组之间组肉鸡终末体重、ADG、ADFI 和 F/G 均无显著差异($P>0.05$)。5%棉籽粕水平组 F/G 最低,比对照组降低了 3.88%。

表 2 棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of cottonseed meal replaced soybean meal on growth performance of broilers aged from 28 to 42 days

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%				SEM	*P* 值 *P*-value
	0(对照 Control)	5	8	16		
初始体重 Initial body weight/g	1 456.23	1 451.09	1 450.44	1 461.09	6.27	0.607
终末体重 Final body weight/g	2 718.63	2 770.45	2 744.74	2 686.10	48.39	0.652
平均日增重 ADG/g	90.17	94.24	92.45	87.50	3.36	0.539
平均日采食量 ADFI/g	192.15	193.78	194.94	192.55	4.14	0.963
料重比 F/G	2.14	2.06	2.12	2.21	0.04	0.082

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

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

2.2 棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清矿物元素含量和转氨酶活性的影响

由表 3 可知,16%棉籽粕水平组血清铁含量显著低于对照组($P<0.05$)。各组之间血清钾、钠、氯、钙、磷含量均无显著差异($P>0.05$)。同时,各组之间血清 ALT、AST 活性均无显著差异($P>0.05$)。

表 3 棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清矿物元素含量和转氨酶活性的影响

Table 3 Effects of cottonseed meal replaced soybean meal on serum mineral element contents and transaminase activities of broilers aged from 28 to 42 days

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%				SEM	*P* 值 *P*-value
	0(对照 Control)	5	8	16		
铁 Fe/(μmol/L)	16.78^{a}	15.61^{ab}	15.30^{ab}	14.67^{b}	0.51	0.049
钾 K/(mmol/L)	1.00	0.96	1.03	1.02	0.03	0.434
钠 Na/(mmol/L)	176.08	182.31	191.50	186.55	4.40	0.109
氯 Cl/(mmol/L)	41.05	40.34	40.30	40.57	0.28	0.219
钙 Ca/(mmol/L)	2.38	2.32	2.18	2.08	0.12	0.284
磷 P/(mmol/L)	4.07	3.98	4.07	3.89	0.12	0.645
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	3.39	3.10	3.05	2.49	0.33	0.305
谷草转氨酶 AST/(U/L)	315.53	382.09	376.30	324.51	38.65	0.507

2.3　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清抗氧化指标的影响

由表4可知,各组之间血清T-AOC、GSH-Px、SOD 活性和 MDA 含量均无显著差异(P>0.05)。

表 4　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清抗氧化指标的影响

Table 4　Effects of cottonseed meal replaced soybean meal on serum antioxidant indices of broilers aged from 28 to 42 days

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%				SEM	P 值 P-value
	0(对照 Control)	5	8	16		
总抗氧化能力 T-AOC/(mmol/L)	0.50	0.46	0.46	0.43	0.03	0.554
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	174.76	172.97	172.12	167.20	5.01	0.742
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	328.98	291.15	269.36	269.62	19.48	0.126
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.64	3.78	3.87	4.31	0.48	0.787

2.4　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清免疫指标的影响

由表 5 可知,8%和 16%棉籽粕水平组血清 IgA 含量显著高于对照组和 5%棉籽粕水平组(P<0.05),16%棉籽粕水平组血清 IgG、IgM 含量显著高于其他各组(P<0.05)。各组之间血清 TNF-α、IL-6 和 IL-10 含量均无显著差异(P>0.05)。

表 5　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清免疫指标的影响

Table 5　Effects of cottonseed meal replaced soybean meal on serum immune indices of broilers aged from 28 to 42 days

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%				SEM	P 值 P-value
	0(对照 Control)	5	8	16		
免疫球蛋白 A IgA/(g/L)	0.93^{b}	1.00^{b}	1.20^{a}	1.34^{a}	0.06	<0.001
免疫球蛋白 G IgG/(g/L)	5.17^{b}	5.71^{b}	5.99^{b}	7.73^{a}	0.29	<0.001
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	0.96^{b}	0.99^{b}	0.98^{b}	1.10^{a}	0.03	0.019
肿瘤坏死因子-α TNF-α/(pg/mL)	64.88	63.22	61.82	59.67	1.58	0.144
白细胞介素-6 IL-6/(pg/mL)	68.74	68.61	69.02	65.96	1.46	0.433
白细胞介素-10 IL-10/(pg/mL)	13.40	11.79	12.51	12.76	0.71	0.454

2.5　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清蛋白质和脂类代谢指标的影响

由表 6 可知,各组之间血清 TP、ALB、GLB、UA、UN、TC、TG、HDL-C、LDL-C 含量均无显著差异(P>0.05)。

3　讨　论

3.1　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡生长性能的影响

在《饲料中玉米豆粕减量替代工作方案》中,提出棉籽粕、菜籽粕等杂粕可合理替代豆粕,以减少豆粕使用量。其中,肉鸡饲粮中使用 2.5%~10.5%的棉籽粕替代豆粕,豆粕用量可降低 2%~10%。本试验在肉鸡生长后期,分别用 5%、8%和 16%的棉籽粕替代部分豆粕,发现 3 个水平的棉籽粕对肉鸡出栏时的生长性能无显著影响,5%棉籽粕水平组的 F/G 有降低趋势,比对照组降低了 3.88%,比 8%棉籽粕水平组降低了 2.91%,比 16%棉籽粕水平组降低了 7.28%。由此可见,一定水平棉籽粕能够有效替代豆粕,而且低水平棉籽粕替代豆粕有利于出栏体重和饲料转化效率的提高,这与前人研究结果类似。Mishra 等[10]研究报道,10%的棉籽粕替代豆粕对 15~35 日龄肉鸡生长性能无显著影响。Abdallh 等[3]研究表明,18%的棉籽粕替代豆粕不影响 25~35 日龄肉鸡的生长性能。Haribhau 等[7]研究报道,10%的棉籽粕替代豆粕可改善 28~42 日龄肉鸡的 F/G。

表 6 棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清蛋白质和脂类代谢指标的影响

Table 6 Effects of cottonseed meal replaced soybean meal on serum protein and lipid metabolism indices of broilers aged from 28 to 42 days

项目 Items	饲粮棉籽粕水平 Dietary cottonseed meal level/%				SEM	*P* 值 *P*-value
	0(对照 Control)	5	8	16		
总蛋白 TP/(g/L)	27.24	29.25	28.85	30.78	1.56	0.470
白蛋白 ALB/(g/L)	13.58	14.34	14.15	14.23	0.58	0.792
球蛋白 GLB/(g/L)	13.66	14.91	14.70	16.55	1.21	0.417
尿酸 UA/(μmol/L)	379.3	347.4	336.4	339.8	45.2	0.904
尿素氮 UN/(mmol/L)	1.39	1.39	1.48	1.38	0.07	0.743
总胆固醇 TC/(mmol/L)	2.93	3.12	2.99	3.03	0.18	0.912
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.87	0.80	0.84	1.18	0.13	0.179
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	1.78	1.80	1.69	1.70	0.13	0.918
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	0.87	0.86	0.84	0.95	0.07	0.720

3.2 棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清矿物元素含量和转氨酶活性的影响

动物机体内的矿物元素作为物质代谢通路的辅助因子或者辅酶,调控营养物质代谢、维持机体渗透压和酸碱平衡等,是保证机体健康不可缺少的微量物质[21]。在正常生长和生产条件下,血液和组织中的矿物元素含量在相当窄的范围内,一旦偏离正常值时即表明矿物元素营养不平衡,机体代谢紊乱[22]。本试验测定了肉鸡血清中多种矿物元素的含量变化,结果表明,5%、8%和16%的棉籽粕替代豆粕对血清钾、钠、氯、钙和磷含量均无显著影响,表明在含有棉籽粕的饲粮中,低于16%的添加水平不影响矿物元素的利用和代谢。有研究显示,饲粮中棉酚含量在77~550 mg/kg变动时不影响绵羊血清磷、钠、氯和钾含量[23]。Yu等[4]研究报道,26.91%的棉籽粕饲粮(棉酚含量为40.37 mg/kg)不影响70日龄肉鹅血清钙、磷含量。何斌[24]研究发现,11.9%的棉籽粕饲粮(棉酚含量为79 mg/kg)不影响46周龄产蛋鸡中血清钾和钙含量。朱洛毅[25]研究报道,12%的棉籽粕饲粮(棉酚含量为83 mg/kg)不影响24~32周龄蛋鸡所产蛋中钾含量。由于棉酚易与血液中铁离子结合形成棉酚-铁离子混合物,降低游离铁离子含量[14]。方琴音[15]研究报道,当饲粮中的棉酚含量高达200 mg/kg时,蛋鸡血清亚铁离子含量显著降低,从而造成动物贫血。Henry等[26]研究报道,饲粮中添加800 mg/kg的棉酚显著降低了23日龄肉鸡血液中铁含量和红细胞压积。本试验结果与上述研究结果相近。本试验所用棉籽粕的棉酚含量为1 160 mg/kg,3个棉籽粕饲粮的棉酚含量分别为58.0、92.8和185.6 mg/kg,当棉酚含量达185.6 mg/kg时显著影响了肉鸡体内铁代谢。因此,16%的棉籽粕替代豆粕可能会使生长后期肉鸡铁代谢改变,影响动物生长。有学者在棉籽粕饲粮中添加铁,以消除棉籽粕引起的机体红细胞数量下降、红细胞渗透脆性较差、血红蛋白含量较低等血液参数方面的负面影响[27]。

肝脏是体内主要代谢和解毒组织器官,多种物质合成与分解在肝脏中完成[28]。AST和ALT是肝损伤标志物[29],血清AST和ALT活性升高与肝脏脂肪积累增加和过度炎症密切相关[30]。本试验结果显示,5%、8%和16%的棉籽粕替代豆粕对血清ALT和AST活性无显著影响,表明低于16%的棉籽粕添加水平对肉鸡肝脏代谢功能无不良影响。这与前人研究结果相一致,Wang等[5]研究报道,7.5%的棉籽粕饲粮不影响42日龄肉鸡血清ALT、AST活性。Zeng等[14]研究表明,23%的棉籽粕替代豆粕对35日龄肉鸭血清ALT、AST活性无显著影响。但随着饲粮中棉籽粕添加水平的增加,饲粮中棉酚含量升高,对肝脏的损害程度显著增加[13]。当饲粮中棉酚含量达到320 mg/kg时,会造成肝脏受损[31]。

3.3　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清抗氧化和免疫指标的影响

动物机体氧化系统与抗氧化系统的平衡是反映畜禽机体健康的重要标志。在现代规模化养殖中,家禽容易受到高温、疾病以及饲粮或饮水中有毒物质等因素的影响,产生氧化应激[32]。GSH-Px 和 SOD 等重要抗氧化酶是抗氧化损伤的第 1 道防线,MDA 是脂质过氧化反应的终产物,它们共同反映机体抗氧化的潜在能力[33-34]。有研究表明,棉酚易与线粒体电子转移链上的蛋白质结合,干扰线粒体的功能,导致活性氧的过度产生[35],从而抑制各种酶的活性,引起氧化应激的产生[36]。本研究检测了血清中抗氧化酶活性和脂质过氧化产物含量,结果表明,5%、8%和 16%的棉籽粕替代豆粕对肉鸡血清 GSH-Px、SOD 活性、MDA 含量以及 T-AOC 均无显著影响。这与前人研究结果相近,张爱婷等[37]研究表明,6%的棉籽粕(棉酚含量为 74.59 mg/kg)替代豆粕不影响蛋鸡血清 GSH-Px、SOD 活性和 MDA 含量以及 T-AOC。杨茹洁[38]研究报道,饲粮中添加 25%的棉籽粕(棉酚含量为 143 mg/kg)对蛋鸡血清 SOD 活性没有显著影响。焦洪超[39]研究发现,高棉酚含量(200 mg/kg)饲粮饲喂蛋鸡 32 周,不影响血清 SOD、GSH-Px 活性及 MDA 含量。但倪海球等[8]研究表明,10%的棉籽粕(棉酚含量为 58.95 mg/kg)替代豆粕显著降低育肥猪血清 GSH-Px、SOD 活性以及 T-AOC 能力。Wang 等[5]研究显示,7.5%的棉籽粕(棉酚含量为 61.50 mg/kg)替代豆粕显著降低育肥猪 T-AOC。张海涛等[40]研究报道,随着棉籽粕水平(6.25%~18.75%)的增加,凡纳滨对虾血清 SOD 活性下降,MDA 含量增加。这可能是由于不同动物对棉籽粕中棉酚的耐受性不同所致。在本试验条件下,低于 16%的棉籽粕替代豆粕对抗氧化酶活性和 MDA 含量无显著影响。

血清抗体 IgA、IgG 及 IgM 是机体抵抗感染的重要物质,其含量增加表明机体近期受到抗原物质侵害[41],或者机体产生应激反应[42]。细胞因子 TNF-α 和 IL-6 分泌过多会对组织造成损伤,导致生长性能降低[43]。细胞因子 IL-10 属抗炎因子,在抵御病原微生物入侵的过程中发挥着关键作用[44]。本试验结果显示,16%的棉籽粕替代豆粕饲喂肉鸡,血清 IgA、IgG 和 IgM 含量显著升高,各组之间血清 TNF-α、IL-6 和 IL-10 含量无显著差异。16%棉籽粕水平组饲粮中的棉酚含量较高,在长期采食情况下,机体有可能分泌 IgA、IgM 和 IgG,以消除高剂量棉酚的不利作用。研究表明,当机体受到应激时会引起体内 IgM 含量的升高[42],本试验未引起细胞因子含量的改变,可能是抗营养因子水平不足以诱导肉鸡发生炎症反应。目前关于棉籽粕对肉鸡血清免疫功能影响的研究报道较少,棉籽粕中的棉酚及其他抗营养因子是否会对其产生影响有待进一步研究。

3.4　棉籽粕替代豆粕对 28~42 日龄肉鸡血清蛋白质和脂类代谢指标的影响

血清 TP、ALB、GLB、UA、UN 含量是反映动物体内蛋白质合成和分解代谢动态平衡的重要指标。TC、TG、HDL-C、LDL-C 参与机体的能量代谢,是反映动物机体脂质代谢情况的重要指标[45]。本试验结果显示,各组之间血清 TP、ALB、GLB、UA、UN 含量均无显著差异,表明生长后期肉鸡饲粮棉酚含量在 185.6 mg/kg 以下时不影响肉鸡蛋白质代谢。这与其他研究结果一致,He 等[16]研究报道,添加 18.9%的棉籽粕饲粮(棉酚含量为 28.44 mg/kg)不影响产蛋鸡血清 TP、ALB、GLB 含量。Zhu 等[31]研究表明,随着饲粮中棉酚含量(80~320 mg/kg)的增加,肉鸭血清 TP 和 ALB 含量逐渐下降;当棉酚含量达到 320 mg/kg 时,肉鸭血清 TP 和 ALB 含量显著低于饲喂玉米-豆粕型基础饲粮的对照组,机体蛋白质沉积显著降低。这可能是由于棉酚含量过高时与血清蛋白质、必需氨基酸特别是赖氨酸的游离氨基结合所致。血清 TC、TG 含量的高低反映了机体脂类的吸收状况,HDL-C、LDL-C 含量反映了脂类的转运与沉积状况[46]。本试验结果显示,各组之间血清脂类代谢指标均无显著差异,表明 5%、8%和 16%的棉籽粕替代豆粕对肉鸡脂质代谢无不良影响。这与前人研究结果相一致,Yu 等[4]报道,26.91%的棉籽粕替代豆粕对 70 日龄肉鹅血清 TC 和 TG 含量无显著影响。

4　结　论

在 28~42 日龄肉鸡饲粮中使用 5%和 8%的棉籽粕替代豆粕不影响肉鸡的生长性能及血清生化、抗氧化指标,可有效替代豆粕;使用 16%的棉籽粕替代豆粕对生长性能无显著影响,但降低了血清铁含量,提高了血清免疫球蛋白含量。因此,

根据本试验结果,在 28~42 日龄肉鸡饲粮中,棉籽粕替代豆粕的水平不宜超过 8%。

参考文献:

[1] 胡春雷,李孝华,何锡玉,等.2020 年棉花加工行业产业发展报告(下)[J].中国棉花加工,2021(2):4-15.
HU C L,LI X H,HE X Y,et al.2020 Industrial development report of cotton processing industry (part 2)[J].China Cotton Processing,2021(2):4-15.(in Chinese)

[2] 中国饲料数据库.中国饲料成分及营养价值表(2021 年第 32 版)(待续)[J].中国饲料,2021(23):98-107.
Chinese Feed Database.Tables of feed composition and nutritive values in China (2021 thirty-second edition) (be continued)[J].China Feed,2021(23):98-107.(in Chinese)

[3] ABDALLH M E,MUSIGWA S,AHIWE E U,et al.Replacement value of cottonseed meal for soybean meal in broiler chicken diets with or without microbial enzymes[J].Journal of Animal Science and Technology,2020,62(2):159-173.

[4] YU J,WANG Z Y,YANG H M,et al.Effects of cottonseed meal on growth performance,small intestinal morphology,digestive enzyme activities,and serum biochemical parameters of geese[J].Poultry Science,2019,98(5):2066-2071.

[5] WANG Y W,DENG Q Q,SONG D,et al.Effects of fermented cottonseed meal on growth performance,serum biochemical parameters,immune functions,antioxidative abilities,and cecal microflora in broilers[J].Food and Agricultural Immunology,2017,28(4):725-738.

[6] GARCIA A R,BATAL A B,DALE N M.A comparison of methods to determine amino acid digestibility of feed ingredients for chickens[J].Poultry Science,2007,86(1):94-101.

[7] HARIBHAU G A,VIJAYA LAKSHMI K,ALEXANDER G,et al.Effect of supplementation of multiple enzymes to the diets containing variable protein sources on performance and nutrient utilization in commercial broilers[J].Tropical Animal Health and Production,2020,52(4):1739-1744.

[8] 倪海球,孙杰,杨玉娟,等.棉籽粕膨化前后品质变化及对生长育肥猪生长性能、血清生化指标及营养物质表观消化率的影响[J].动物营养学报,2018,30(5):1936-1949.
NI H Q,SUN J,YANG Y J,et al.Quality changes of cottonseed meal before and after expansion and their effects on growth performance,serum biochemical indices and nutrient apparent digestibility of growing-finishing pigs[J].Chinese Journal of Animal Nutrition,2018,30(5):1936-1949.(in Chinese)

[9] 章双杰,张斌,刘宏祥,等.不同水平棉籽粕和菜籽粕对育肥期肉鹅生产及屠宰性能的影响[J].中国家禽,2019,41(20):28-32.
ZHANG S J,ZHANG B,LIU H X,et al.Effects of different levels of cottonseed meal and rapeseed meal on production performance and slaughter performance of meat goose at fattening stage[J].China Poultry,2019,41(20):28-32.(in Chinese)

[10] MISHRA A,RAY S,SARKAR S K,et al.Cotton seed meal as a partial replacement for soybean meal in Cobb 400 broiler rations[J].Indian Journal of Animal Nutrition,2015,32(1):69-74.

[11] OLUKOMAIYA O,FERNANDO C,MEREDDY R,et al.Solid-state fermented plant protein sources in the diets of broiler chickens:a review[J].Animal Nutrition,2019,5(4):319-330.

[12] GU X L,LI Z Q,WANG J,et al.Fermented cottonseed meal as a partial replacement for soybean meal could improve the growth performance,immunity and antioxidant properties,and nutrient digestibility by altering the gut microbiota profile of weaned piglets[J].Frontiers in Microbiology,2021,12:734389.

[13] ZENG Q F,YANG G L,LIU G N,et al.Effects of dietary gossypol concentration on growth performance,blood profiles,and hepatic histopathology in meat ducks[J].Poultry Science,2014,93(8):2000-2009.

[14] ZENG Q F,BAI P,WANG J P,et al.The response of meat ducks from 15 to 35 d of age to gossypol from cottonseed meal[J].Poultry Science,2015,94(6):1277-1286.

[15] 方琴音.饲粮不同棉籽饼用量对商品蛋鸡生产性能、蛋品质、血液生化指标的影响研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2004.
FANG Q Y.Effects of different dietary cotton meal contents on performance,egg quality and plasma biological parameters of layers[D].Master's Thesis.Ya'an:Sichuan Agricultural University,2004.(in Chinese)

[16] HE T,ZHANG H J,WANG J,et al.Application of low-gossypol cottonseed meal in laying hens' diet

[J].Poultry Science,2015,94(10):2456-2463.

[17] ÖZDOĞAN M, WELLMANN K, PAKSUZ E. Effect of gossypol on blood serum parameters and small intestinal morphology of male broilers[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2012, 96(1):95-101.

[18] 亓秀晔,谢全喜,于佳民,等.高效降解棉籽粕中游离棉酚菌株的筛选及复配发酵方式的优化[J].中国粮油学报,2019,34(1):99-106.
QI X Y, XIE Q X, YU J M, et al. Screening of free gossypol strain in high efficient degrading cottonseed meal and the optimization of compound fermentation [J].Journal of the Chinese Cereals and Oils Association,2019,34(1):99-106.(in Chinese)

[19] 杨文婷,陈程,张文举.棉酚降解酶及热带假丝酵母 ZD-3 对棉籽粕脱毒的对比研究[J].饲料工业,2019,40(24):32-35.
YANG W T, CHEN C, ZHANG W J. Comparative study on detoxification of cottonseed meal by gossypol degrading enzyme and *Candida tropicalis* ZD-3[J]. Feed Industry,2019,40(24):32-35.(in Chinese)

[20] 魏莲清,牛俊丽,张文举,等.发酵棉粕的营养特性及其在肉鸡生产中的应用[J].现代畜牧兽医,2019(12):22-28.
WEI L Q, NIU J L, ZHANG W J, et al. Nutritional characteristics of fermented cottonseed meal and its substitution in broiler production[J]. Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine,2019(12):22-28.(in Chinese)

[21] SILANIKOVE N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants[J]. Livestock Production Science,2000,67(1/2):1-18.

[22] 王迪.矿物质元素稳态失衡对绵羊中性粒细胞代谢、转录和功能的影响[D].博士学位论文.大庆:黑龙江八一农垦大学,2021.
WANG D. Effects of mineral element homeostasis imbalance on metabolism, transcription and function of neutrophils in sheep[D]. Ph. D. Thesis. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University,2021.(in Chinese)

[23] 哈丽代·热合木江,王永力,麦尔哈巴·阿不都耐毕,等.日粮中添加不同比例棉副产品对绵羊生产性能、营养物质消化率及血液生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2016,43(12):3184-3192.
REHEMUJIANG H L D, WANG Y L, ABUDOUNAIBI M, et al. Effects of different dietary cotton byproducts levels on production performance, nutrient digestibility and blood biochemical indexes of sheep [J].China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2016,43(12):3184-3192.(in Chinese)

[24] 何斌.饲粮棉粕水平对产蛋鸡产蛋性能、鸡蛋品质及棉酚残留影响的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2014.
HE B. Study of dietary cottonseed meal on the laying performance, egg quality, and the residue of gossypol in egg and tissue of laying hens[D].Master's Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2014.(in Chinese)

[25] 朱洛毅.日粮中添加棉粕和棉籽油对鸡蛋质量的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2018.
ZHU L Y. Effects of dietary cottonseed meal and cottonseed oil supplementation on the quality of egg[D]. Master's Thesis. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2018.(in Chinese)

[26] HENRY M H, PESTI G M, BROWN T P. Pathology and histopathology of gossypol toxicity in broiler chicks[J].Avian Diseases,2001,45(3):598-604.

[27] THIRUMALAISAMY G, PURUSHOTHAMAN M R, KUMAR P V, et al. Effect of feeding cottonseed meal on some hematological and serum biochemical parameters in broiler birds[J]. Veterinary World, 2016,9(7):723-727.

[28] PANDIT K, KUMAR A, KAUR S, et al. Amelioration of oxidative stress by trans-anethole via modulating phase Ⅰ and phase Ⅱ enzymes against hepatic damage induced by CCl_4 in male Wistar rats[J]. Environmental Science and Pollution Research,2022,29(4):6317-6333.

[29] JIA J J, YANG Y, LIU F C, et al. The association between serum alanine aminotransferase and hypertension: a national based cross-sectional analysis among over 21 million Chinese adults[J].BMC Cardiovascular Disorders,2021,21(1):145.

[30] FENG X R, WEN Y Q, PENG F F, et al. Association between aminotransferase/alanine aminotransferase ratio and cardiovascular disease mortality in patients on peritoneal dialysis: a multi-center retrospective study [J].BMC Nephrology,2020,21(1):209.

[31] ZHU Y W, PAN Z Y, QIN J F, et al. Relative toxicity of dietary free gossypol concentration in ducklings from 1 to 21 d of age[J]. Animal Feed Science and Technology,2017,228:32-38.

[32] CHEN S W, YONG Y H, JU X H. Effect of heat stress on growth and production performance of livestock

and poultry: mechanism to prevention[J]. Journal of Thermal Biology, 2021, 99: 103019.

[33] ZHANG L, HONG Y X, LIAO Y Y, et al. Dietary *Lasia spinosa* Thw. improves growth performance in broilers[J]. Frontiers in Nutrition, 2021, 8: 775223.

[34] HU Y N, WANG Y W, LI A K, et al. Effects of fermented rapeseed meal on antioxidant functions, serum biochemical parameters and intestinal morphology in broilers[J]. Food and Agricultural Immunology, 2016, 27(2): 182-193.

[35] AITKEN R J, MUSCIO L, WHITING S, et al. Analysis of the effects of polyphenols on human spermatozoa reveals unexpected impacts on mitochondrial membrane potential, oxidative stress and DNA integrity; implications for assisted reproductive technology[J]. Biochemical Pharmacology, 2016, 121: 78-96.

[36] 师慧敏,刘爽,赵光卿,等.醋酸棉酚对小鼠睾丸抗氧化损伤的作用[J].中国兽医杂志,2021,57(11):62-65.
SHI H M, LIU S, ZHAO G Q, et al. Effect of gossypol acetate on anti-oxidative damage to testis in mice[J]. Chinese Journal of Veterinary Medicine, 2021, 57(11): 62-65. (in Chinese)

[37] 张爱婷,朱巧明,顾林英,等.膨化棉籽粕对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(6):1143-1149.
ZHANG A T, ZHU Q M, GU L Y, et al. Expanded cottonseed meal affects performance, egg quality and serum biochemical indices of laying hens[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(6): 1143-1149. (in Chinese)

[38] 杨茹洁.可消化 AA 平衡的高棉粕饲粮对蛋鸡的生产性能、健康状况及蛋品质的影响[D].硕士学位论文.晋中:山西农业大学,2003.
YANG R J. Effect of higher cottonseed meal diet formulated on the digestible amino acid basis on the performance, healthy, and egg quality of laying hens[D]. Master's Thesis. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2003. (in Chinese)

[39] 焦洪超.棉粕日粮对蛋鸡生产性能和肝脏脂肪代谢的影响及其机制研究[D].博士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.
JIAO H C. Effect of cotton meal on production performance and liver lipid metabolism of laying hens and the underlying mechanism[D]. Ph.D. Thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2014. (in Chinese)

[40] 张海涛,蒲雪松,杨奇慧,等.高蛋白棉粕替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能、非特异性免疫指标及抗病力的影响[J].广东海洋大学学报,2018,38(4):20-26.
ZHANG H T, PU X S, YANG Q H, et al. Effects of replacing fish meal with high-protein cottonseed meal on growth performance, non-specific immune index and disease resistance for Litopenaeus vannamei[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2018, 38(4): 20-26. (in Chinese)

[41] 郭广振,杨伟光,刘娟,等.岩藻多糖对断奶羔羊生长性能、器官指数及血清生化、抗氧化和免疫指标的影响[J].动物营养学报,2022,34(5):3122-3131.
GUO G Z, YANG W G, LIU J, et al. Effects of fucoidan on growth performance, organ indices and serum biochemical, antioxidant and immune indices of weaned lambs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(5): 3122-3131. (in Chinese)

[42] HONDA B T B, CALEFI A S, COSTOLA-DE-SOUZA C, et al. Effects of heat stress on peripheral T and B lymphocyte profiles and IgG and IgM serum levels in broiler chickens vaccinated for Newcastle disease virus[J]. Poultry Science, 2015, 94(10): 2375-2381.

[43] MUHAMMAD YUSOFF F, WONG K K, MOHD REDZWAN N. Th1, Th2, and Th17 cytokines in systemic lupus erythematosus[J]. Autoimmunity, 2020, 53(1): 8-20.

[44] LIAO H F, YE J, GAO L L, et al. The main bioactive compounds of Scutellaria baicalensis Georgi. for alleviation of inflammatory cytokines: a comprehensive review[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2021, 133: 110917.

[45] ZHANG C, LI C X, SHAO Q, et al. Effects of *Glycyrrhiza* polysaccharide in diet on growth performance, serum antioxidant capacity, and biochemistry of broilers[J]. Poultry Science, 2021, 100(3): 100927.

[46] HELKIN A, STEIN J J, LIN S, et al. Dyslipidemia part 1—review of lipid metabolism and vascular cell physiology[J]. Vascular and Endovascular Surgery, 2016, 50(2): 107-118.

Effects of Cottonseed Meal Replaced Soybean Meal on Growth Performance and Serum Biochemical, Antioxidant and Immune Indices of Broilers Aged from 28 to 42 Days

SUN Xiaoxiao　DENG Shengqing　YE Xiaomeng　WANG Yuming
ZHANG Hu　ZHAO Feng　SA Renna*
(*State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *Institute of Animal Sciences*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of different levels of cottonseed meal replaced soybean meal on growth performance and serum biochemical, antioxidant and immune indices of broilers aged from 28 to 42 days, and to provide basis for the implementation of soybean meal reduction. A total of 192 twenty-eight-day-old male Arbor Acres (AA) broilers were randomly allocated into 4 groups with 6 replicates per group and 8 broilers per replicate. Broilers in the control group were fed a corn-soybean meal basal diet, and others in experimental groups were fed experimental diets which cottonseed meal levels were 5%, 8% and 16%, respectively. The nutrient levels of each group were consistent. The experiment lasted for 14 days. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in final body weight, average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed to gain ratio (F/G) of broilers among all groups ($P>0.05$). Among them, the F/G of 5% cottonseed meal level group was the lowest. 2) There were no significant differences in the contents of potassium, sodium, chlorine, calcium, phosphorus and the activities of alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST) in serum among all groups ($P>0.05$). The serum iron content of 16% cottonseed meal level group was significantly lower than that of the control group ($P<0.05$). 3) There were no significant differences in the total antioxidant capacity (T-AOC), malondialdehyde (MDA) content and superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px) activities in serum among all groups ($P>0.05$). 4) The contents of immunoglobulin A (IgA), immunoglobulin G (IgG), and immunoglobulin M (IgM) in serum of 16% cottonseed meal level group was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). There were no significant differences in the contents of tumor necrosis factor-α (TNF-α), interleukin-6 (IL-6) and interleukin-10 (IL-10) in serum among all groups ($P>0.05$). 5) There were no significant differences in the contents of total protein (TP), albumin (ALB), globulin (GLB), uric acid (UA), urea nitrogen (UN), total cholesterol (TC), triglyceride (TG), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) in serum among all groups ($P>0.05$). In summary, using 5% and 8% cottonseed meal replaced soybean meal in the diet of broilers aged from 28 to 42 days does not affect the growth performance and serum biochemical, antioxidant indices of broilers, and can effectively replace soybean meal. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(9): 5691-5701**]

Key words: cottonseed meal; soybean meal; broilers; growth performance; biochemical; antioxidant; immune

* Corresponding author, associate professor, E-mail: sarenna@caas.cn

(责任编辑　武海龙)