

脂肪酸钙对应激肉鸡氧化还原状态和免疫功能的影响

王莹¹, 刘子微¹, 朱建津^{*1}, 蒋蓉²

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 无锡三智生物科技有限公司, 江苏 无锡 214155)

摘要: 为探究脂肪酸钙对应激肉鸡氧化还原状态和免疫功能的影响, 将 360 只一日龄黄羽肉鸡随机分为 4 组, 对照组 (I 组) 和应激组 (II 组、III 组、IV 组), 各组饲料中添加的油脂分别为豆油 (I 组)、豆油 (II 组)、饲料级猪油 (III 组)、豆油脂肪酸钙 (IV 组), 每组 9 个重复栏, 实验周期为 63 d, 检测肉鸡血液、肝脏和肠道中氧化还原状态和免疫功能相关的指标。结果如下: (1) IV 组肉鸡空肠、血浆 HSP70 含量显著低于 II 组和 III 组 ($P < 0.05$), 血浆 ACTH、CORT 含量显著低于 II 组和 III 组 ($P < 0.05$) 且接近 I 组。 (2) IV 组肝脏 CAT 活力、肝脏和十二指肠总 SOD 活力显著高于 III 组 ($P < 0.05$), 血清、肝脏和十二指肠 MDA 含量显著低于 III 组 ($P < 0.05$), 肝脏 MDA 含量显著低于 II 组且与 I 组无显著性差异。 (3) IV 组血浆 IgG 含量、血浆 IgA 含量显著高于 III 组 ($P < 0.05$), IV 组血浆、肝脏 IL-6 含量显著低于 III 组 ($P < 0.05$)。以上结果表明, 脂肪酸钙能够改善应激肉鸡体内的氧化还原状态, 缓解应激对肉鸡免疫功能的不利影响, 增强抗应激能力。

关键词: 脂肪酸钙; 应激; 肉鸡; 抗氧化; 免疫

中图分类号: S 816.79 文章编号: 1673-1689(2020)04-0055-09 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.04.008

Effects of Fatty Acid Calcium on Redox State and Immune Function in Stressed Broiler Chickens

WANG Ying¹, LIU Ziwei¹, ZHU Jianjin^{*1}, JIANG Rong²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi Sanzhi Biological Technology Co. Ltd., Wuxi 214155, China)

Abstract: The aim of the present study was to evaluate the effect of fatty acid calcium on redox status and immune function of stressed broilers. A total of 360 yellow-feather broilers with 1-day-age were randomly divided into 4 groups: control (group I) and stress groups (group II, group III, group IV). The oils added in each group were soybean oil (group I), soybean oil (group II), feed grade lard (group III), soybean oil fatty acid calcium (group IV), with 9 repetitions per group. After 63 days, the

收稿日期: 2018-09-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31700301)。

* 通信作者: 朱建津 (1966—), 男, 博士, 副教授, 主要从事营养与代谢调控研究。E-mail: 13706191551@163.com

redox status and immune function related indicators in blood, liver and intestine were detected. The content of HSP70 in jejunum and plasma of group IV was significantly lower than that of group II and III ($P < 0.05$). The levels of ACTH and CORT in plasma of group IV were significantly lower than those of group II and III ($P < 0.05$) and close to those of group I. The liver CAT activity, liver and duodenal total SOD activities in group IV were significantly higher than those in group III ($P < 0.05$), and the MDA content in serum, liver and duodenum was significantly lower than that in group III ($P < 0.05$). Liver MDA content was significantly lower than group II and there was no significant difference from group I. Plasma IgG and IgA contents in group IV were significantly higher than those in group III ($P < 0.05$). The plasma and liver IL-6 levels in group IV were significantly lower than those in group III ($P < 0.05$). The results indicated that, the redox state of stressed broilers was improved, the adverse effects of stress on the immune function of broilers was relieved, and the anti-stress ability was enhanced by fatty acid calcium.

Keywords: calcium fatty acids, stressed, broiler chickens, antioxidant, immunity

高密度饲养的广泛应用,使得家禽在饲养过程中面临各种应激。适当应激有利于机体度过短期恶劣环境,但长期慢性应激会使能量过度消耗,激素分泌紊乱,甚至导致疾病的发生^[1-3]。机体应激主要表现为以 HPA 轴(下丘脑-垂体-肾上腺轴)兴奋为主的一系列神经内分泌反应,过度应激使内环境稳态受到威胁,氧化还原失衡,免疫功能紊乱^[4-5]。我国在肉鸡饲料中通常添加大豆油和猪油作为脂肪来源,饲料级猪油因成本较低成为更多工厂的选择,但这种猪油通常会出现一定程度的氧化,摄入之后会影响肉鸡正常的生理功能,造成机体应激^[6-8]。脂肪酸钙是一种新型的脂肪来源,它可通过油脂加工过程中产生的副产物加含钙化合物制成,常作为过瘤胃脂肪来源用于反刍动物日粮中^[9]。有研究者发现脂肪酸钙可以代替部分油脂作为肉鸡的能量补充饲料,不影响生产性能指标,同时可降低饲料的生产成本,是较为理想的饲料油脂替代品^[10]。但脂肪酸钙与甘油三酯结构不同,在体内的消化过程也不同,其对肉鸡机体氧化还原状态和免疫功能的影响未见报道^[11]。因此,作者在肉鸡基础日粮中添加脂肪酸钙,研究其对应激肉鸡氧化还原状态和免疫功能的影响,为脂肪酸钙在黄羽肉鸡日粮中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

豆油为市售食用级 4 级大豆油, PV 值 3.93, 猪油为市售饲料级猪油, PV 值 10.62, 脂肪酸钙为大

豆油脂脂肪酸钙, 纯度为 80%, 脂肪质量分数 75%, 钙质量分数 9%。实验动物为 1 日龄中速三黄肉鸡(浙江绿园禽业有限公司提供), 经动物卫生监督所检验合格。

1.2 实验试剂

鸡 CRH (促肾上腺皮质激素释放激素)、鸡 ACTH (促肾上腺皮质激素)、鸡 CORT (皮质酮) 试剂盒、鸡 IgG (免疫球蛋白 G) 试剂盒、鸡 IgA (免疫球蛋白 A) 试剂盒、IL-6 (白介素-6) 试剂盒、鸡 HSP70 (热休克蛋白 70) 试剂盒: 厦门慧嘉生物科技有限公司产品; CAT (过氧化氢酶) 试剂盒, MDA (丙二醛) 试剂盒, SOD (超氧化物歧化酶) 试剂盒: 南京建成生物工程研究所产品; 总蛋白定量 (BCA 法) 试剂盒: 上海碧云天生物技术有限公司产品。指标测定严格按照试剂盒说明书操作。

1.3 动物分组与饲养

将 360 羽 1 日龄中速黄羽肉鸡随机分为 4 组: 正常对照组 (I 组) 和应激组 (II 组、III 组、IV 组), 每组 9 个重复栏, 每栏 10 羽。各组饲料中添加的油脂分别为豆油 (I 组)、豆油 (II 组)、饲料级猪油 (III 组)、豆油脂脂肪酸钙 (IV 组)。对照组为平养模式, 按常规饲养模式控温, 第一周 35 °C, 之后每周降 2 °C, 直至温度维持在 24 °C。应激模型为高温高密度笼养应激模型, 应激组每只鸡占笼位面积约 390 cm², 饲养温度维持在 35 °C。两组都在肉鸡进舍之前, 用福尔马林和高锰酸钾对鸡舍进行熏蒸消毒, 实验周期 63 d, 常规免疫和饲养管理。

实验饲料配方:根据三黄鸡的营养需要配制,饲料配方见表1。

表1 基础日粮配方

Table 1 Composition of the basal diet

配料	质量分数/%		
	小鸡料 (0-3周)	中鸡料 (4-6周)	大鸡料 (7-9周)
玉米	60.2	62.2	64.4
豆粕 43	30.0	27.0	24.0
鱼粉 62	2.0	0.0	0.0
进口 DDGS	2.0	4.0	4.0
油脂	1.5	2.5	3.5
磷酸氢钙	1.5	1.5	1.3
碳酸钙	1.5	1.5	1.5
预混料	1.3	1.3	1.3
合计	100	100	100

1.4 试验样品采集与测定

63 d 实验期结束时,每组随机抽取 9 羽黄羽鸡,共 36 羽进行实验各指标检测分析。取静脉血入采血管中,4℃,3 000 r/min 离心 10 min,取上层血清,-80℃保存备用。取血入抗凝采血管中,4℃,3 000 r/min 离心 10 min,取上层血浆,-80℃保存备用。取肝脏、空肠、十二指肠加入预冷的生理盐水匀浆制得质量分数 10%组织匀浆,离心 10 min 后取上清液,-80℃保存,用于测定各项生化指标。

1.5 主要试验设备

综合 Epoch 微孔板分光光度计:美国 Biotek 公司产品;台式高速冷冻离心机 5804R:Eppendorf 公司产品;R686VLT 超低温冷冻冰箱:美国 INVETRO 公司产品;电热压力蒸汽灭菌器:上海申安医疗仪器仪表厂产品;Mettler Toledo AB204-N 电子天平、Mettler Toledo 320pH 计:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产品;XB70 制冰机:美国 GRANT 公司产品;恒温水浴锅:精宏实验设备有限公司产品。

1.6 数据的处理和统计分析方法

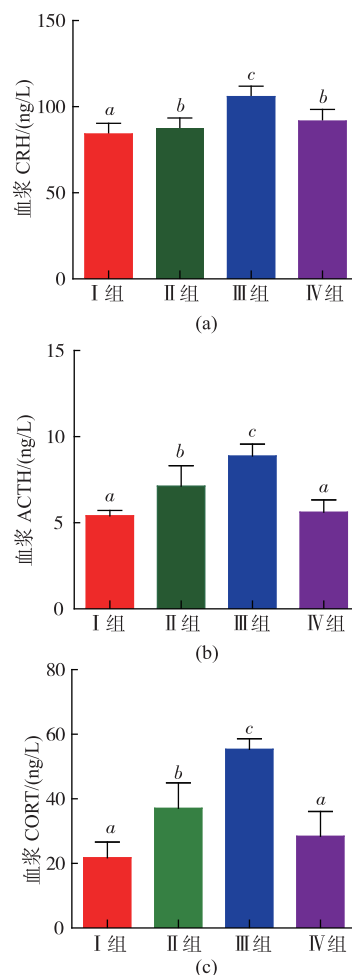
实验数据采用 SPSS19.0 对数据进行方差分析,结果以平均值±标准差表示,显著水平为 $P<0.05$,极显著水平为 $P<0.01$,采用 GraphPad Prism 5.01 软件作图。

2 结果与分析

2.1 脂肪酸钙对应激肉鸡应激相关指标的影响

由图1可知,与对照组相比,Ⅱ组和Ⅲ组肉鸡

血浆 CRH、ACTH、CORT 质量浓度显著升高 ($P<0.05$),且Ⅲ组肉鸡血浆 ACTH 极显著高于对照组 ($P<0.01$)。在应激组中,Ⅲ组肉鸡血浆 CRH、ACTH、CORT 质量浓度显著高于其他组 ($P<0.05$),其中血浆 CORT 质量浓度极显著高于Ⅳ组 ($P<0.01$)。Ⅳ组肉鸡血浆 ACTH、CORT 含量显著低于Ⅱ组和Ⅲ组 ($P<0.05$)且接近Ⅰ组。HPA 轴是神经内分泌免疫网络的枢纽,是应激反应的核心反应轴路^[12-13]。当应激发生时,HPA 轴被激活,机体血浆 CRH、ACTH 和 CORT 升高^[14-15]。实验结果表明,综合应激使肉鸡 HPA 轴相关激素质量浓度上升,饲料级猪油加剧肉鸡机体应激状况,而脂肪酸钙能有效地改善肉鸡机体应激状况,并且部分相关激素能恢复至正对照组的水平。



数据表示为 mean±SD, $n=9$, 同列不同字母表示存在显著性差异 ($P<0.05$), 下同。

图1 脂肪酸钙对应激肉鸡 HPA 轴激素的影响

Fig. 1 Effect of fatty acid calcium on HPA axis hormone in stressed broiler chickens

由图 2 可知, 应激组肉鸡血浆、肝脏和空肠 HSP70 质量浓度均显著($P<0.05$)高于对照组, 其中 II 组和 III 组肉鸡肝脏 HSP70 质量浓度极显著高于对照组($P<0.01$)。应激组中, III 组肝脏与血浆 HSP70 质量浓度显著高于 II 组和 IV 组($P<0.05$), III 组空肠 HSP70 质量浓度极显著高于 IV 组($P<0.01$); IV 组肉鸡空肠、血浆 HSP70 质量浓度显著低于 II 组和 III 组($P<0.05$)。热休克蛋白(heat shock proteins, HSPs)是生物在多种应激源作用下均可产生的一组保护性蛋白, 用于增强细胞对损害的耐受程度, 抵抗过度应激所造成的组织细胞损伤^[16]。HSP70 是 HSPs 家族中最重要的一员, 在应激状态下的细胞中合成最为显著^[17]。实验结果表明脂肪酸钙可抑制机体 HSP70 的过量表达, 缓解过度应激对机体产生的负面影响。

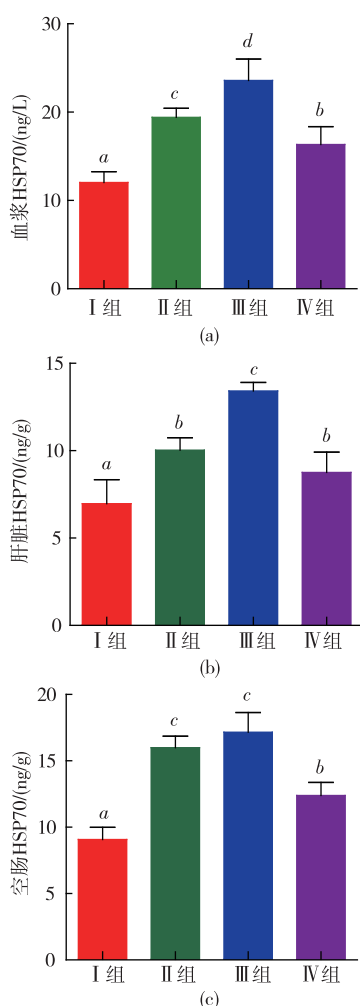


图 2 脂肪酸钙对应激肉鸡 HSP70 的影响

Fig. 2 Effect of fatty acid calcium on HSP70 in stressed broiler chickens

2.2 脂肪酸钙对应激肉鸡氧化还原状态的影响

如图 3 所示, 与对照组相比, 应激组 CAT 活力显著降低($P<0.05$), III 组血清 CAT 活力极显著低于对照组($P<0.01$)。应激组中, II 组和 IV 组血清 CAT 活力显著高于 III 组($P<0.05$), IV 组肝脏 CAT 活力显著高于 III 组($P<0.05$), 且十二指肠 CAT 活力极显著高于 III 组($P<0.01$)。CAT 可以清除生物体内的过氧化氢, 抑制体内羟基自由基的形成, 进而提高机体的抗氧化能力^[18]。试验结果表明, 综合应激使肉鸡体内 CAT 活力降低, 脂肪酸钙可以提高应激肉鸡体内 CAT 活力。

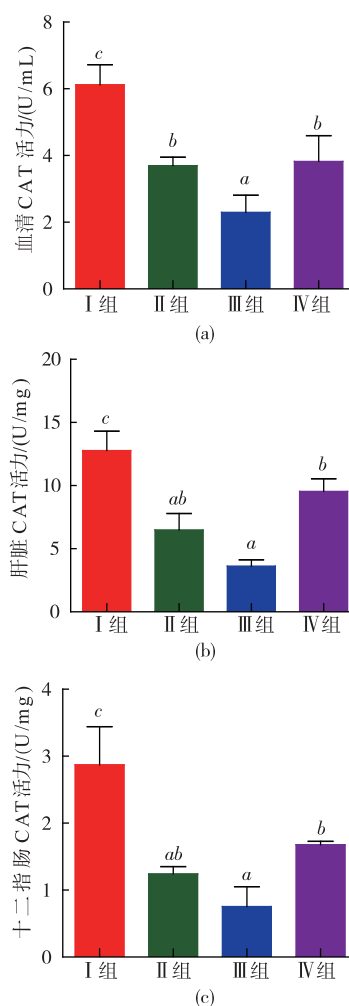


图 3 脂肪酸钙对应激肉鸡 CAT 活力的影响

Fig. 3 Effect of fatty acid calcium on CAT activity in stressed broiler chickens

如图 4 所示, 与对照组相比, 应激组肉鸡 MDA 含量升高, II 组和 III 组血清 MDA 含量极显著高于对照组($P<0.01$)。应激组中, 与 III 组相比, II 组肝脏和十二指肠 MDA 含量显著降低($P<0.05$), 但血清

MDA 含量差异不显著。IV组血清、肝脏和十二指肠 MDA 含量显著低于 III 组 ($P<0.05$), 肝脏 MDA 含量显著低于 II 组且与对照组无显著性差异。MDA 是脂质过氧化物代谢过程中形成的小分子产物, 其含量常被用作机体组织细胞脂质过氧化程度的生物标志物, 过量的 MDA 会引起膜脂、膜蛋白交联, 使膜蛋白构象发生改变, 影响细胞的各种功能^[19-21]。试验结果表明, 综合应激使肉鸡体内脂质过氧化程度升高, 脂肪酸钙可以改善这种情况的发生。

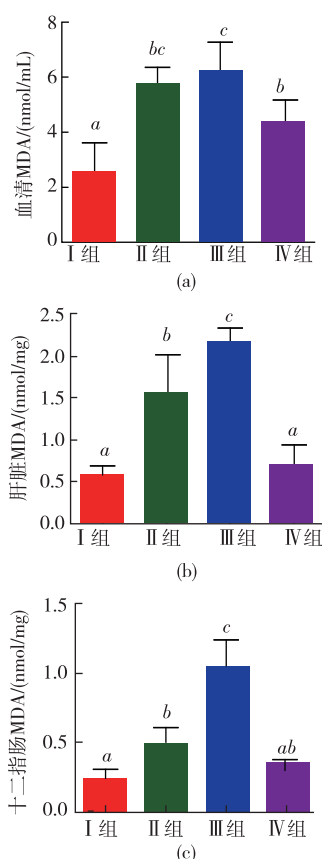


图4 脂肪酸钙对应激肉鸡 MDA 含量的影响

Fig. 4 Effect of fatty acid calcium on MDA content in stressed broiler chickens

如图 5 所示, 与对照组相比, 应激组肉鸡总 SOD 活力降低, III 组血清、肝脏、十二指肠总 SOD 活力显著低于对照组 ($P<0.05$)。应激组中, 与 III 组相比, II 组肝脏和十二指肠总 SOD 活力显著升高 ($P<0.05$), 但血清总 SOD 活力差异不显著。IV 组血清、肝脏和十二指肠总 SOD 活力显著高于 III 组 ($P<0.05$), 肝脏总 SOD 活力与对照组无显著性差异。SOD 是生物体中的最重要的抗氧化酶之一, 它可以催化氧自由基链中超氧自由基生成过氧化氢, 是机

体中天然存在的超氧自由基清除因子, SOD 活性的高低反映了组织细胞清除超氧阴离子的能力^[19-20]。试验结果表明, 综合应激使肉鸡体内 SOD 活性降低, 脂肪酸钙相较饲料级猪油可以提高应激肉鸡体内 SOD 活力。

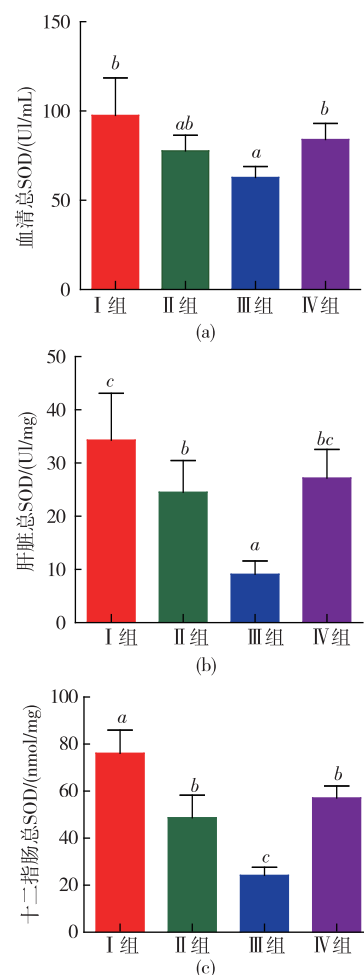


图5 脂肪酸钙对应激肉鸡总 SOD 活力的影响

Fig. 5 Effect of fatty acid calcium on T-SOD activity in stressed broiler chickens

2.3 脂肪酸钙对应激肉鸡免疫功能的影响

如图 6 所示, 与对照组相比, II 组血浆、空肠 IgG 含量显著降低 ($P<0.05$), III 组血浆 IgG 含量极显著降低 ($P<0.01$), IV 组血浆、空肠 IgG 含量无显著性差异。应激组中, II 组空肠 IgG 含量显著高于 III 组 ($P<0.05$), IV 组血浆 IgG 含量显著高于 III 组 ($P<0.05$)。IgG 是再次免疫应答产生的主要免疫球蛋白, 是机体发生体液免疫的“主力军”, IgG 能通过结合补体、中和毒素、增强免疫细胞吞噬功能调节免疫功能, 在介导抗体依赖性细胞毒性中也发挥着重要作

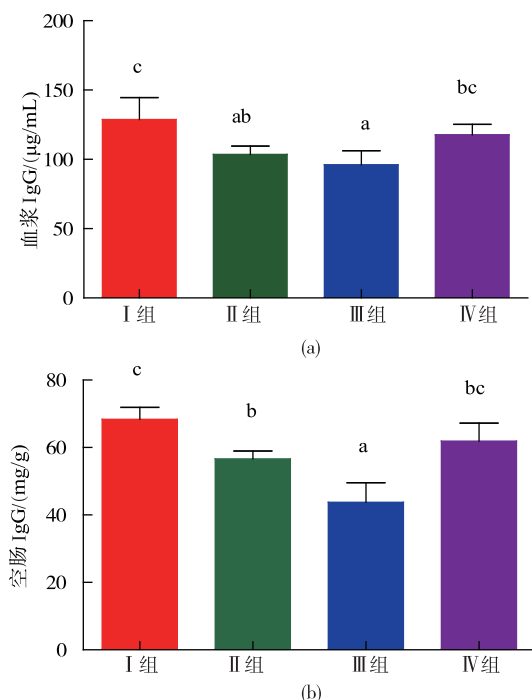


图6 脂肪酸钙对应激肉鸡 IgG 的影响

Fig. 6 Effect of fatty acid calcium on IgG content in stressed broiler chickens

用^[22-23]。实验结果表明,综合应激使肉鸡体内 IgG 含量下降,脂肪酸钙能提高应激肉鸡体内 IgG 含量。

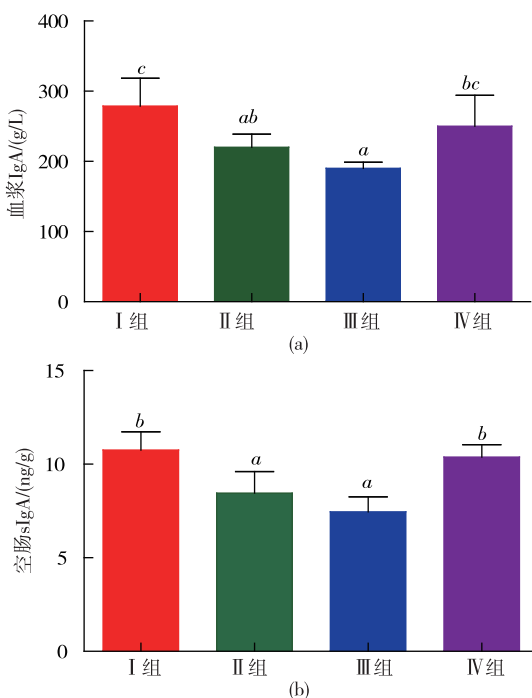


图7 脂肪酸钙对应激肉鸡 IgA 的影响

Fig. 7 Effect of fatty acid calcium on IgA content in stressed broiler chickens

如图7所示,与对照组相比,Ⅱ组血浆 IgA、空肠 sIgA 含量显著降低($P<0.05$),Ⅲ组空肠 sIgA 含量极显著降低($P<0.01$),Ⅳ组血浆 IgA、空肠 sIgA 含量无显著性差异。应激组中,Ⅳ组血浆 IgA 含量显著高于Ⅲ组($P<0.05$),空肠 sIgA 含量极显著高于Ⅲ组($P<0.01$)。sIgA 是肠道黏膜免疫最重要的免疫效应分子,含量占黏膜相关组织产生所有抗体的 80% 以上,其独特的分泌成分能阻碍微生物的黏附,从而发挥对黏膜的保护作用^[24]。实验结果表明,综合应激使肉鸡体内 IgA 含量下降,饲料级猪油加剧了 IgA 含量的降低,脂肪酸钙能提高应激肉鸡体内 IgA 含量。

如图8所示,与对照组相比,应激组肉鸡 IL-6 含量升高,Ⅲ组血浆 IL-6 含量极显著升高($P<0.01$)。应激组中,与Ⅲ组相比,Ⅱ组血浆、空肠 IL-6 含量显著降低($P<0.05$),肝脏 IL-6 含量差异不显

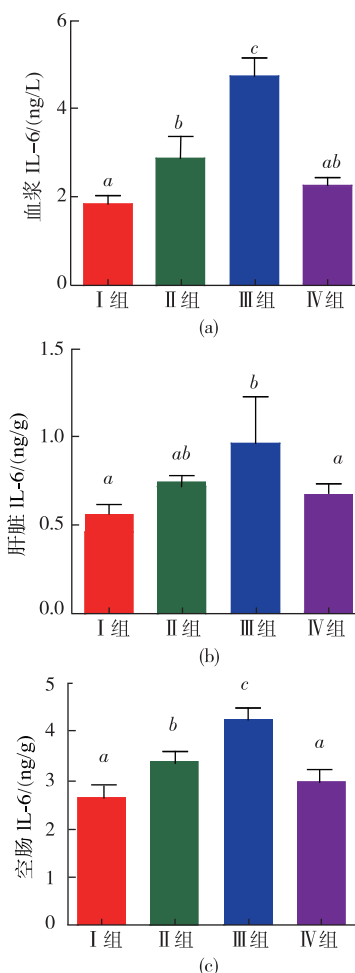


图8 脂肪酸钙对应激肉鸡 IL-6 的影响

Fig. 8 Effect of fatty acid calcium on IL-6 content in stressed broiler chickens

著。Ⅳ组血浆、肝脏 IL-6 含量显著低于Ⅲ组 ($P<0.05$),空肠 IL-6 含量极显著低于Ⅲ组 ($P<0.01$)。IL-6 是机体内皮细胞、上皮细胞以及肥大细胞分泌的细胞因子之一,IL-6 可以通过调节结肠上皮细胞电解质分泌、改变内皮细胞通透性引起炎症反应^[25-27]。实验结果表明,综合应激使肉鸡体内 IL-6 含量上升,脂肪酸钙能够缓解应激肉鸡 IL-6 的升高。

3 讨论

应激反应、机体氧化还原状态、免疫功能三者之间有着密切的关系^[28]。免疫功能的变化是应激反应的主要效应之一,免疫反应与 HPA 轴之间具有双向的交流通路^[24]。Tarcic 等发现束缚应激导致小鼠胸腺退化,CD4+胸腺细胞亚群减少,胸腺 DNA 断裂,且内源性糖皮质激素参与了对胸腺的抑制作用^[29]。Regnier 等发现慢性热应激和冷应激抑制了禽类体外 T 淋巴细胞的增殖^[30]。Hangalapura 等认为应激调节细胞免疫和血浆 CORT 的水平取决于应激的持续时间^[31]。严重应激使肉鸡抗氧化能力下降,活性氧代谢失衡,当细胞积累的活性氧超过正常生理代谢所需含量时,活性氧就会通过抑制转录使蛋白质表达异常;从而引起免疫功能的变化^[32]。Lin 等研究发现,急性热应激可诱导 5 周龄肉鸡氧化应激,肝脏比心脏更容易发生氧化应激^[33]。Zhao 等研究发现,应激影响免疫器官中抗氧化酶的活性,急性应激使雏鸡 T-AOC 活性显著降低,免疫器官中 MDA 水平

升高,Hsps 表达水平显著增加^[34]。Chi 等认为应激通过 NF- κ B 信号通路介导炎症反应,使 ROS 含量升高引发氧化失衡,其共同作用损害鸡外周血淋巴细胞^[35]。本实验中应激导致肉鸡 HPA 轴相关激素含量上升,体内抗氧化能力降低,免疫功能受损等与前人研究结果一致。

脂肪酸钙与普通油脂消化吸收方式不同,它在胃中分解为游离脂肪酸,在肠道中部分游离脂肪酸合成为甘油一酯,从而发挥乳化剂的作用,提高了脂肪的利用率^[36]。过度应激会使脂肪酶活性下降,机体消化吸收能力降低,代谢紊乱^[37],这时脂肪酸钙在消化吸收方式上的不同成为一大优势,增强了肉鸡对脂肪的消化能力,为机体提供充足的能量和必需脂肪酸,提高了肉鸡的抗应激能力。刘艳琴等发现脂肪酸钙对奶牛的热应激有一定的抵抗作用,这种作用与脂肪酸钙的添加量有关^[38]。本试验中,Ⅳ组采用的是脂肪酸钙完全替代油脂的饲喂方法,脂肪酸钙部分代替油脂饲喂肉鸡是否会有更好的结果还需进一步实验确定。

4 结语

综上所述,集约化养殖使肉鸡处于应激状态,体内抗氧化能力降低,免疫功能下降。饲料级猪油加剧了应激的负面影响,脂肪酸钙可以改善应激肉鸡体内的氧化还原状态,缓解应激对肉鸡免疫功能的不利影响,增强抗应激能力。

参考文献:

- [1] BELOOR J, KANG H K, KIM Y J, et al. The effect of stocking density on stress related genes and telomeric length in broiler chickens[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2010, 23(4): 437-443.
- [2] WANG J, LI N, XU S. Effects of acute and chronic cold stress on the antioxidative function of gastrocnemius and serum in chicken[J]. *Chinese Agricultural Science*, 2007, 41(11): 3816-3821. (in Chinese)
- [3] AZAD MA, KIKUSATO M, MAEKAWA T, et al. Metabolic characteristics and oxidative damage to skeletal muscle in broiler chickens exposed to chronic heat stress[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 2010, 155(3): 401-406.
- [4] KANG S W, KUENZEL W J. Regulation of gene expression of vasotocin and corticotropin-releasing hormone receptors in the avian anterior pituitary by corticosterone[J]. *General & Comparative Endocrinology*, 2014, 204(8): 25-32.
- [5] CHARIL A, LAPLANTE D P, VAILLANCOURT C, et al. Prenatal stress and brain development[J]. *Brain Research Reviews*, 2010, 65(1): 56-79.
- [6] LIN H, DECUYPERE E, BUYSE J. Acute heat stress induces oxidative stress in broiler chickens.[J]. *Comparative Biochemistry & Physiology Part A*, 2006, 144(1): 11-17.
- [7] SYAFWAN S, R. P. KWAKKEL, M. W. A. VERSTEGEN. Heat stress and feeding strategies in meat-type chickens[J]. *Worlds Poultry Science Journal*, 2011, 67(4): 653-674.
- [8] ZHAO F Q, ZHANG Z W, QU J P, et al. Cold stress induces antioxidants and Hsps in chicken immune organs[J]. *Cell Stress &*

- Chaperones**, 2014, 19(5):635-648.
- [9] HIGHTSHOE R B, COCHRAN R C, CORAH L R, et al. Effects of calcium soaps of fatty acids on postpartum reproductive function in beef cows[J]. **Journal of Animal Science**, 1991, 69(10):4097.
- [10] WANG Wenjie, MU Shuqin, ZHANG Jing, et al. Experiment of feeding broilers with fat alternative soybean fatty acid calcium[J]. **Feed Research**, 2003(8): 8-9. (in Chinese)
- [11] CARLIER H, BERNARD A, CASELLI C. Digestion and absorption of polyunsaturated fatty acids[J]. **Reprod Nutr Dev**, 1991, 31(5):475-500.
- [12] LIN H, DECUYPERE E, BUYSE J. Oxidative stress induced by corticosterone administration in broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*)2. Short-term effect[J]. **Comparative Biochemistry & Physiology Part B**, 2004, 139(4):745-751.
- [13] POST J, REBEL J M, HUURNE A T. Physiological effects of elevated plasma corticosterone concentrations in broiler chickens. An alternative means by which to assess the physiological effects of stress[J]. **Poultry Science**, 2003, 82(8):1313.
- [14] EDENS F W, SIEGEL H S. Adrenal responses in high and low ACTH response lines of chickens during acute heat stress[J]. **General & Comparative Endocrinology**, 1975, 25(1):64-73.
- [15] TROUT J M, MASHALY M M. The effects of adrenocorticotrophic hormone and heat stress on the distribution of lymphocyte populations in immature male chickens[J]. **Poultry Science**, 1994, 73(11):1694.
- [16] PEN G, MMIDA S, MAZZI C M, et al. Heat or cold chronic stress affects organ weights and Hsp70 levels in chicken embryos[J]. **Canadian Journal of Animal Science**, 2001, 81(1):83-87.
- [17] SOLEIMANI A F, ZULKIFLI I, OMAR A R, et al. Physiological responses of 3 chicken breeds to acute heat stress[J]. **Poultry Science**, 2011, 90(7):1435-40.
- [18] ZHAO F Q, ZHANG Z W, QU J P, et al. Cold stress induces antioxidants and Hsps in chicken immune organs[J]. **Cell Stress & Chaperones**, 2014, 19(5):635-648.
- [19] ZOIDIS E, PAPPAS A C, GEORGIOU C A, et al. Selenium affects the expression of GPx4 and catalase in the liver of chicken[J]. **Comparative Biochemistry & Physiology Part B**, 2010, 155(3):294.
- [20] ROZBICKAWIECZOREK A J, SZARPAK E, BRZOSKA F, et al. Dietary lycopenes, selenium compounds and fish oil affect the profile of fatty acids and oxidative stress in chicken breast muscle[J]. **Journal of Animal & Feed Sciences**, 2012, 21(4):705-724.
- [21] YOU Xin. Food antioxidants and human health [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2006, 25(2):7-13. (in Chinese)
- [22] TAGLIABUE A, NENCIONI L, VILLA L, et al. Antibody-dependent cell-mediated antibacterial activity of intestinal lymphocytes with secretory IgA[J]. **Nature**, 1983, 306(5939):184-186.
- [23] Boa-Amponsem K, Price S E H, Picard M, et al. Vitamin E and immune response of broiler pure line chicken [J]. **Poultry Science**, 2000, 79(4):466-470.
- [24] BLALOCK J E. A molecular basis for bidirectional communication between the immune and neuroendocrine systems[J]. **Progress in Immunology**, 1986, 69(1):619-628.
- [25] MCCORD J M, EDEAS M A. SOD, oxidative stress and human pathologies: A brief history and a future vision [J]. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, 2005, 59(4):139-142.
- [26] DONKER R A, NEEUWLAND M G B, ZIJPP A J V D. Heat-stress influences on antibody production in chicken lines selected for high and low immune responsiveness[J]. **Poultry Science**, 1990, 69(4):599-607.
- [27] WU Q J, ZHOU Y M, WU Y N, et al. The effects of natural and modified clinoptilolite on intestinal barrier function and immune response to LPS in broiler chickens[J]. **Veterinary Immunology & Immunopathology**, 2013, 153(1-2):70-76.
- [28] ZELKO I N, MARIANI T J, FOLZ R J. Superoxide dismutase multigene family: A comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution, and expression[J]. **Free Radical Biology & Medicine**, 2002, 33(3):337-349.
- [29] TARCIC N, OVADIA H, WEISS D W, et al. Restraint stress-induced thymic involution and cell apoptosis are dependent on endogenous glucocorticoids[J]. **Journal of Neuroimmunology**, 1998, 82(1):40-46.
- [30] REGNIER J A, KELLEY K W. Heat- and cold-stress suppresses in vivo and in vitro cellular immune responses of chickens[J].

- American Journal of Veterinary Research**, 1981, 42(2):294-299.
- [31] HANGALAPURA B N, NIEUWLAND M G B, BUYSE J, et al. Effect of duration of cold stress on plasma adrenal and thyroid hormone levels and immune responses in chicken lines divergently selected for antibody responses [J]. **Poultry Science**, 2004, 83(10):1644.
- [32] CIRCU M L, AW T Y. Reactive oxygen species, cellular redox systems, and apoptosis[J]. **Free Radical Biology & Medicine**, 2010, 48(6):749-762.
- [33] LIN H, DECUYPERE E, BUYSE J. Acute heat stress induces oxidative stress in broiler chickens[J]. **Comparative Biochemistry & Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology**, 2006, 144(1):11-17.
- [34] ZHAO F Q, ZHANG Z W, QU J P, et al. Cold stress induces antioxidants and Hsps in chicken immune organs[J]. **Cell Stress & Chaperones**, 2014, 19(5):635-648.
- [35] CHI Q, CHI X, HU X, et al. The effects of atmospheric hydrogen sulfide on peripheral blood lymphocytes of chickens: Perspectives on inflammation, oxidative stress and energy metabolism[J]. **Environmental Research**, 2018, 167:1-6.
- [36] RETTERSTOL K, LUND A M, TVERDAL S, et al. Metabolism of some radiolabeled essential fatty acids in isolated rat hepatocytes is affected by dietary ethanol[J]. **Alcohol**, 2000, 21(1):19-26.
- [37] ROUTMAN K S, YOSHIDA L, AC F D L, et al. Intestinal and pancreas enzyme activity of broilers exposed to thermal stress[J]. **Revista Brasileira De Ciência Avícola**, 2003, 5(1):23-27.
- [38] LIU Yanqin, Gao Jie, Gao Yuhong, et al. Study on the effect of adding fatty acid calcium on heat stress in dairy cows in hot summer[J]. **Herbivorous Livestock**, 1999(4):37-39. (in Chinese)

科技信息

加拿大批准在某些饮料中使用番茄红素提取物

2020年3月13日,加拿大卫生部发布 NOM/ADM-0143 号文件,拟修订允许使用的色素清单,批准在某些添加了维生素和矿物质营养素的非碳酸甜味水基饮料和运动饮料中使用番茄红素提取物。

据了解,从番茄中提取的番茄红素在加拿大已经被允许作为食品着色剂用于各种食品,包括某些饮料。此次修订自2022年3月12日起生效。

[信息来源]食品伙伴网. 加拿大批准在某些饮料中使用番茄红素提取物 [EB/OL]. (2020-3-16). <http://news.foodmate.net/2020/03/553479.html>

澳新拟批准两种来自转基因里氏木霉的酶制剂作为加工助剂

2020年3月10日,澳新食品标准局发布 117-20 号通知,其中 A1174 和 A1182 号申请,分别申请将来自转基因里氏木霉的木聚糖酶(Xylanase)和葡萄糖氧化酶(glucose oxidase)作为加工助剂。

据通知,木聚糖酶用于制造面包和其他谷类产品,葡萄糖氧化酶用于谷物产品制造(烘焙)和鸡蛋加工中。

[信息来源]食品伙伴网. 澳新拟批准两种来自转基因里氏木霉的酶制剂作为加工助剂[EB/OL]. (2020-3-11). <http://news.foodmate.net/2020/03/553035.html>