

王松波, 邓琳, 赵婕, 等. 热应激对肉鸡抗氧化能力及腓肠肌纤维类型的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(6): 23-28.

热应激对肉鸡抗氧化能力及腓肠肌纤维类型的影响

王松波, 邓琳, 赵婕, 朱晓彤, 束刚, 王丽娜, 高萍, 江青艳
(华南农业大学 动物科学学院, 广东广州 510642)

摘要:【目的】研究慢性热应激对黄羽肉鸡肝脏和肌肉的抗氧化能力与内质网应激以及腓肠肌肌纤维类型的影响。【方法】试验选用 20 只 47 日龄黄羽肉鸡, 随机分为常温组和慢性热应激组, 每组 10 只。鸡只饲养在人工气候室, 试验期 30 d。试验结束采集血液、肝脏和腓肠肌样品, 利用试剂盒法检测血清生化指标、血清激素以及血清和肝脏抗氧化指标。利用实时荧光定量 PCR 法检测内质网应激(Endoplasmic reticulum stress, ERS)相关基因和腓肠肌不同肌纤维肌球蛋白重链(Myosin heavy chain, *MyHC*)基因 mRNA 的表达。【结果和结论】慢性热应激显著降低肉鸡平均日增质量、血清甘油三酯(TG)、甲状腺激素(T_3 和 T_4)、胰岛素样生长因子 1(Insulin-like growth factor 1, IGF-1), 显著升高血清皮质酮(CORT)水平($P < 0.05$)。同时, 慢性热应激显著升高血清中丙二醛(MDA)含量, 降低血清和肝脏谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活性和肝脏总抗氧化能力(T-AOC)($P < 0.05$)。此外, 慢性热应激显著提高肉鸡肝脏和腓肠肌中热休克蛋白 70(Heat shock protein 70, *HSP70*)基因以及腓肠肌中转录激活因子 4(Activating transcription factor 4, *ATF4*)基因 mRNA 的表达($P < 0.05$), 降低腓肠肌中葡萄糖调节蛋白 78(Glucose-regulated protein 78, *GRP78*)基因 mRNA 的表达, 而对肝脏中 *ATF4* 和 *GRP78* 基因 mRNA 的表达量无显著影响。最后, 慢性热应激显著降低腓肠肌慢肌(Slow myofiber, SM) *MyHC* 基因 mRNA 表达量($P < 0.05$)而对快红肌(Fast red myofiber, FRM)和快白肌(Fast white myofiber, FWM) *MyHC* 基因 mRNA 表达量无影响。研究结果提示, 慢性热应激可能通过降低血清生长和代谢激素、机体抗氧化能力以及引发细胞内质网应激影响肉鸡生长和腓肠肌纤维类型。

关键词:慢性热应激; 黄羽肉鸡; 抗氧化能力; 内质网应激; 肌纤维类型
中图分类号:S831 文献标志码:A 文章编号:1001-411X(2015)06-0023-06

Effects of heat stress on antioxidant capacity and gastrocnemius muscle fiber types of broilers

WANG Songbo, DENG Lin, ZHAO Jie, ZHU Xiaotong,
SHU Gang, WANG Lina, GAO Ping, JIANG Qingyan
(College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】The present study was conducted to investigate the effects of chronic heat stress on antioxidant capacity, endoplasmic reticulum stress and gastrocnemius muscle fiber types of yellow feather broilers. 【Method】Twenty 47-day-old yellow feather broilers were randomly divided into control and chronic heat stress groups with 10 broilers in each group. The broilers were raised in an artificial climate chamber for 30 days. At the end of the trial, the samples of blood, liver and gastrocnemius muscle were collected. Serum biochemical indexes, hormones and antioxidant indexes of liver and gastrocnemius muscle were determined using the commercial assay kit method. And the mRNA expression of endoplasmic reticulum stress (ERS) related genes and myosin heavy chain (*MyHC*) of different skeletal muscle fiber

收稿日期:2015-01-12 优先出版时间:2015-10-16
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20151016.1446.012.html>
作者简介:王松波(1980—), 男, 副教授, 博士, E-mail: songbowang@scau.edu.cn; 通信作者: 江青艳(1966—), 男, 教授, 博士, E-mail: qyjiang@scau.edu.cn
基金项目: 广东省自然科学基金自由申请项目(S2012010010176); 广州市科技计划项目(2013J4100052)

types were detected using real-time quantitative PCR. 【Result and conclusion】Chronic heat stress significantly ($P < 0.05$) decreased the average daily gain, serum TG content, thyroid hormone (T_3 and T_4), and insulin-like growth factor 1 (IGF-1) levels, and increased serum corticosterone (CORT) concentration. Meanwhile, chronic heat stress markedly ($P < 0.05$) enhanced serum malondialdehyde (MDA) content, and reduced serum, GSH-PX activity and total antioxidant capacity (T-AOC) in liver. In addition, chronic heat stress remarkably ($P < 0.05$) elevated the mRNA expression of heat shock protein 70 (HSP70) in liver and gastrocnemius muscle, and of activating transcription factor 4 (ATF4) in gastrocnemius muscle, and decreased the glucose-regulated protein 78 (GRP78) mRNA expression in gastrocnemius muscle, with no obvious effect on the mRNA expression of ATF4 and GRP78 in liver. Moreover, chronic heat stress significantly ($P < 0.05$) inhibited the mRNA expression of slow myofiber *MyHC*, with no influence on *MyHC* mRNA expression of fast red myofiber and fast white myofiber. In conclusion, this results suggest that chronic heat stress may affect broiler growth and gastrocnemius muscle fiber types by decreasing serum hormones involved in growth and metabolism, antioxidant capacity and eliciting ERS.

Key words: chronic heat stress; yellow feather broile; antioxidant capacity; endoplasmic reticulum stress; muscle fiber type

夏季高温、高湿环境导致的热应激是影响家禽生产的主要环境因素之一. 热应激会导致肉鸡采食、抗氧化力和免疫力的降低,从而严重影响肉鸡生产性能^[1]. 因此,深入了解热应激影响肉鸡生理反应的内在机制,是研发安全有效抗热应激剂的前提.

机体细胞内环境的改变所引发的内质网内蛋白的错误折叠、未折叠蛋白质在内质网腔内聚集以及 Ca^{2+} 平衡紊乱的状态,称为内质网应激(Endoplasmic reticulum stress, ERS),而由此引发的提高内质网功能的反应即为非折叠蛋白反应(Unfolded protein response, UPR)^[2-3]. 研究表明,ERS 和 UPR 与各种代谢和免疫功能紊乱密切相关^[4],而热应激对肉鸡肝脏和肌肉中 ERS 和 UPR 有何影响还不清楚. 骨骼肌纤维类型与肉品质密切相关^[5-6]. 最新研究报道,热应激能够改变猪背最长肌肌纤维类型的组成^[7],而热应激能否影响肉鸡肌纤维类型鲜见报道.

本试验以黄羽肉鸡为研究对象,在研究热应激

对肉鸡生长、血液生化指标以及抗氧化能力影响的基础上,进一步探索热应激对肉鸡肝脏和肌肉 ERS 和 UPR 以及腓肠肌肌纤维类型的影响,旨在揭示热应激导致肉鸡生理功能变化的内在机制,为研发安全有效缓解热应激的营养调控物提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验动物与试验设计

试验选用 20 只 47 日龄江村黄肉母鸡,按体质量相近的原则随机分为常温对照组和热应激组,每组 10 只,试验期为 30 d. 鸡只饲养在人工气候室中,热应激组环境条件为:白天(09:00—17:00)(36 ± 1) $^{\circ}C$,晚上(17:00—翌日 09:00)(24 ± 1) $^{\circ}C$,湿度(75 ± 5)%. 常温组环境条件为:全天(24 ± 1) $^{\circ}C$,湿度(75 ± 5)%. 所有试验鸡均饲喂基础饲料. 基础饲料组成及营养水平见表 1.

表 1 47~77 日龄黄羽肉鸡基础饲料组成及营养水平¹⁾

Tab.1 Composition and nutrient levels of basal diets for yellow feather broilers aged from 47 to 77 days

试验鸡	w/%							
	粗蛋白质	粗纤维	粗灰分	总磷	钙	氯化钠	赖氨酸	蛋氨酸
中鸡	≥17	≤7	≤9	0.35~1.00	0.70~1.30	0.15~0.80	≥0.75	0.20~0.90
大鸡	≥15	≤7	≤9	0.35~1.00	0.70~1.30	0.20~0.80	≥0.70	0.18~0.90

1) 整个试验过程中,47~62 日龄使用 382 肉中鸡配合饲料,63~77 日龄使用 382 肉大鸡配合饲料;2 个阶段的饲料配方主要原料有玉米、豆粕、鱼粉、黄粉、石粉、磷酸氢钙、维生素、微量元素.

1.2 试验材料

人工气候室(Conviron,加拿大),Bio-Rad MyCycler PCR 仪(Bio-Rad,美国),HBPX220 型梯度 PCR 仪(HYBRID,英国),Mx3005P 荧光定量 PCR 仪(Stratagene,美国), γ 放免计数器科大中佳 GC-1200 (科大创新股份有限公司),鸡笼等.总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)检测试剂盒均购自南京建成生物有限公司.总胆固醇(TC)测定试剂盒购自北京北化康泰临床试剂有限公司.三酰甘油(TG)和血糖(GLU)测定试剂盒购自中生北控生物科技股份有限公司.血清激素:甲状腺激素(T_3 、 T_4)和胰岛素样生长因子1(IGF-1)测定试剂盒购自天津九鼎医学生物工程有限公司,皮质酮(CORT)ELISA 检测试剂盒购自武汉华美生物工程有限公司.

1.3 测定指标及方法

血液样品采集和检测:试验结束时,采集肉鸡血液于 10 mL 离心管中,离心分离血清,分装于 1.5 mL 离心管中,−20 ℃ 冰箱中保存备用.利用试剂盒检测血清生化指标:TC、GLU、TP 和 ALB.利用放射免疫分析法检测血清激素: T_3 、 T_4 和 IGF-1;利用 ELISA 法检测血清激素 CORT.利用试剂盒法检测血清抗氧化

指标:MDA、GSH-PX 和 SOD.

组织样品采集和检测:处死肉鸡后,剪开腹部皮肤,暴露内脏,用小剪刀分离肝脏,滤纸吸干,于固定位置剪下 0.5 g 组织样,放入 2 mL 离心管中,每只鸡在同侧腓肠肌位置取样装入 2 mL 管,迅速投入装有液氮的液氮罐中.采样结束后转移样品至 −80 ℃ 冰箱中保存备用.利用试剂盒法检测肝脏抗氧化指标:SOD、GSH-PX、CAT 和 T-AOC.

取肝脏和腓肠肌样品分别抽提总 RNA,使用一步法 RNA 抽提试剂 TRIzol,常规方法抽提,用 Oligo(dT)引物和 AMV 反转录酶进行反转录,RT-PCR 反应体系为 SYBR Premix Ex Taq,上、下游引物和 cDNA 模板,以 GAPDH 为内参,荧光定量 PCR 法检测肝脏和腓肠肌中内质网应激相关因子基因,即热休克蛋白 70(Heat shock protein 70, HSP70)基因、转录激活因子 4(Activating transcription factor 4, ATF4)基因和鸡葡萄糖调节蛋白 78(Glucose-regulated protein 78, GRP78)基因 mRNA 的表达.同时测定腓肠肌中慢肌肌球蛋白重链(Slow myofiber MyHC, MyHC-SM)基因、快红肌肌球蛋白重链(Fast red myofiber MyHC, MyHC-FRM)基因和快白肌肌球蛋白重链(Fast white myofiber MyHC, MyHC-FWM)基因 mRNA 的表达.相关基因的引物序列见表 2.

表 2 荧光定量 PCR 所用引物序列
Tab.2 The primer sequences used for real-time quantitative PCR

基因	GenBank 编号	序列(5'→3')	产物/bp
MyHC-SM	U85022	F: GGCAAGACCTCGTTCACA R: CCTCCACCTCCTCCTCATA	331
MyHC-FRM	M74086	F: ATCTGGTGGACAAACTGC R: AATCTATGGTCTTTATTCTCT	334
MyHC-FWM	M74087	F: GTGAAGGGTGACGCAAGT R: ATAGATGACAATGACATAAAAAAGCAACAC	93
HSP70	KC706515	F: GTAGAAGAGTTCAAGCGTAA R: TGGAGGTGTAGAAGTCAATG	166
ATF4	NM_204880	F: GATTTTGATGCCCTGTTAGGT R: GTATGAGTGGAGGTTCTTTTGTTG	196
GRP78	NM_205491	F: GACTTTGACCAGCGTGTATG R: TTCAATTCTAGCTTGCTGCTG	156
GAPDH	NM_204305	F: GAGGGTAGTGAAGGCTGCTG R: CGCATCAAAGGTGGAGGAAT	115

1.4 统计分析

试验结果用平均值 ± 标准误表示.统计分析采用 Sigmaplot 12.5 软件分析,对热应激组和常温对照组的数值进行 *t* 检验.

2 结果与分析

2.1 慢性热应激对肉鸡生长、血液生化指标以及血清激素水平的影响

慢性热应激对肉鸡生长、血清生化指标以及血

皮质激素水平的影响见表3。慢性热应激极显著($P < 0.01$)降低肉鸡终末体质量和平均日增质量,说明慢性热应激对肉鸡生长具有显著的抑制作用。此外,慢性热应激对肉鸡血清的 TC、GLU、TP 和 ALB 的浓度无显著影响,但却显著($P < 0.05$)降低血清 TG 浓度。慢性热应激可显著提高血清 CORT 的水平,但显著降低($P < 0.05$)血清 T_3 、 T_4 和 IGF-1 的水平。

表3 慢性热应激对黄羽肉鸡生长、血液生化指标以及血清激素水平的影响¹⁾

Tab.3 Effects of chronic heat stress on growth, serum biochemical indexes, and serum hormone levels of yellow feather broilers

组别	生长状况			血液生化指标					血清激素			
	初始	终末	日增	c(TG)/	c(TC)/	c(GLU)/	ρ(TP)/	ρ(ALB)/	ρ(T3)/	ρ(T4)/	ρ(IGF-1)/	ρ(CORT)/
	体质量/g	体质量/g	质量/g	(mmol·L ⁻¹)	(mmol·L ⁻¹)	(mmol·L ⁻¹)	(g·L ⁻¹)	(g·L ⁻¹)	(ng·mL ⁻¹)	(ng·mL ⁻¹)	(ng·mL ⁻¹)	(ng·mL ⁻¹)
常温对照	708.5±11.1	1 658.0±13.9	31.7±0.7	0.58±0.06	2.33±0.19	11.47±0.45	46.55±0.93	20.22±0.55	0.87±0.14	21.11±1.52	164.21±15.51	17.55±0.52
热应激	697.8±7.0	1 356.5±28.5 **	22.0±0.9 **	0.44±0.03 *	2.32±0.08	12.01±0.17	46.29±1.08	19.63±0.47	0.47±0.04 *	17.97±1.46 *	114.57±14.16 *	20.74±0.34 **

1)表中数据均为平均值±标准误,n=10,*、**分别表示与对照组相比差异达0.05、0.01显著水平(t检验)。

2.2 慢性热应激对肉鸡血液和肝脏抗氧化能力的影响

由表4可见,慢性热应激能显著提高($P < 0.05$)血清MDA含量,同时极显著降低($P < 0.01$)血清

GSH-PX活性,而对血清SOD活性无显著影响。在肝脏中,慢性热应激能显著降低GSH-PX活性($P < 0.01$)和T-AOC($P < 0.05$),而对SOD和CAT活性无影响。

表4 慢性热应激对黄羽肉鸡血清和肝脏抗氧化指标的影响¹⁾

Tab.4 Effects of chronic heat stress on serum and liver antioxidant indexes of yellow feather broilers

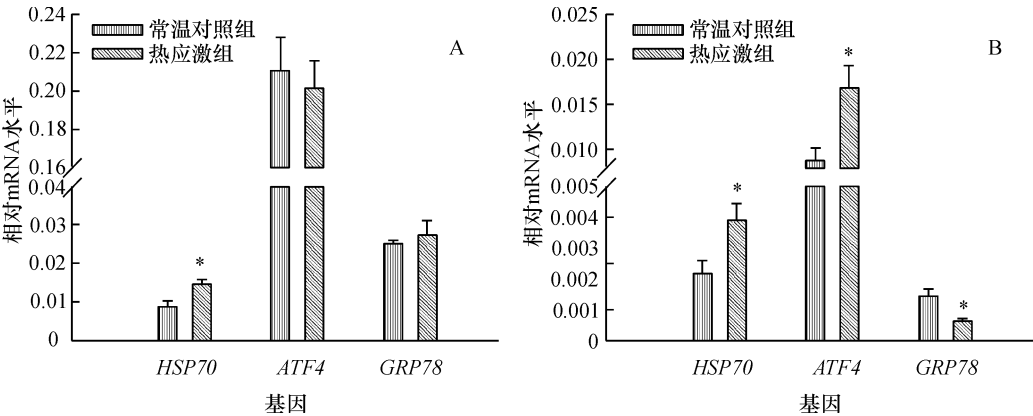
组别	血清			肝脏			
	c(MDA)/	GSH-PX活性/	SOD活性/	SOD活性/	GSH-PX活性/	CAT活性/	T-AOC/
	(nmol·mL ⁻¹)	(U·mL ⁻¹)	(U·mL ⁻¹)	(U·mg ⁻¹)	(U·mg ⁻¹)	(U·mg ⁻¹)	(U·mg ⁻¹)
常温对照	2.88±0.26	751.35±7.03	203.92±2.07	157.00±17.35	23.56±0.66	3.58±0.15	0.60±0.03
热应激	3.98±0.34 *	630.20±22.42 **	192.56±7.96	157.39±16.00	20.19±0.90 **	3.65±0.06	0.51±0.01 *

1)表中数据均为平均值±标准误,n=10,*、**分别表示与对照组相比差异达0.05、0.01显著水平(t检验)。

2.3 慢性热应激对肉鸡肝脏和肌肉内ERS与UPR相关因子基因mRNA表达的影响

如图1A所示,慢性热应激对肉鸡肝脏ATF4和GRP78基因mRNA表达量无显著影响,但能显著升

高($P < 0.05$)肉鸡肝脏HSP70基因mRNA的表达。由图1B可知,慢性热应激导致肉鸡腓肠肌HSP70和ATF4基因mRNA表达量显著升高($P < 0.05$),而GRP78基因表达量显著降低($P < 0.05$)。



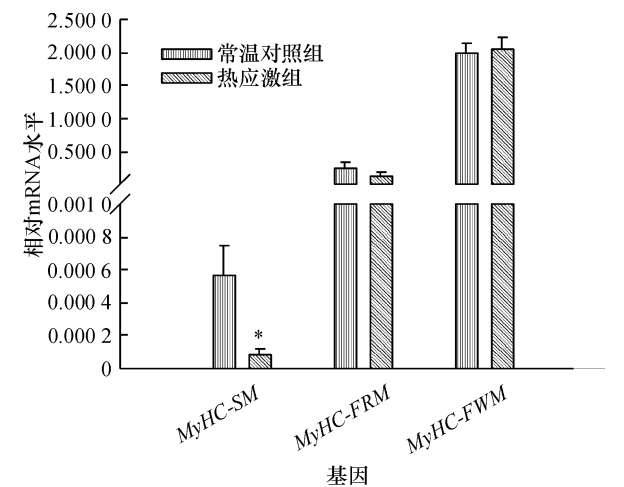
*表示与对照组相比差异达0.05显著水平(t检验)。

图1 慢性热应激对肉鸡肝脏(A)和腓肠肌(B)HSP70、ATF4和GRP78基因mRNA表达的影响

Fig.1 Effects of chronic heat stress on the mRNA expressions of HSP70, ATF4 and GRP78 genes in liver (A) and gastrocnemius muscle (B) of broilers

2.4 慢性热应激对肉鸡腓肠肌不同类型肌球蛋白重链 mRNA 的影响

如图 2 所示,慢性热应激虽然对 *MyHC-FRM* 基因和 *MyHC-FWM* 基因 mRNA 表达无影响,但却显著降低 ($P < 0.05$) *MyHC-SM* 基因 mRNA 的表达。



* 表示与对照组相比差异达 0.05 显著水平 (t 检验)。
图 2 慢性热应激对肉鸡腓肠肌不同肌纤维类型肌球蛋白重链基因 mRNA 表达的影响

Fig. 2 Effects of chronic heat stress on the mRNA expressions of different types of myosin heavy chain in gastrocnemius muscle of broilers

3 讨论与结论

3.1 慢性热应激对肉鸡生长、血清相关指标以及抗氧化能力的影响

已有较多报道发现,高温导致的热应激会使鸡的生产性能显著下降^[8-9],本试验中热应激导致肉鸡体质量和日增质量均极显著下降,与文献报道一致。李军乔^[10]研究发现,当肉鸡热暴露 3 周时,血液中三酰甘油含量显著降低,而血液中血糖、白蛋白、总蛋白水平无变化,本试验结果与上述报道一致。而热应激组血清三酰甘油含量显著降低,其可能原因是高温导致肉鸡营养不良、脂肪消化吸收障碍等。动物应激会引起体内应激激素的升高,本试验中也发现热应激可以显著升高肉鸡血清皮质酮水平,这与以往报道相一致^[11]。此外,本研究还发现,热应激导致 IGF-1 水平显著降低,而 IGF-1 与动物生长密切相关,因此,这与热应激显著降低肉鸡生长和体质量增加相一致。热应激还会降低肉鸡血液 T_3 和 T_4 水平^[8, 12],进而影响动物的生长和代谢。而本试验中发现热应激显著降低血清 T_3 和 T_4 水平,一方面会抑制动物生长,另一方面降低机体能量代谢,减少热量产生。

本试验结果发现热应激显著升高肉鸡血清 MDA 含量,其反应是机体内自由基的增加,与以往报道一致^[10]。而机体自由基的清除主要依靠体内各类抗氧化酶,包括 SOD、CAT 和 GSH-PX 等。本试验中,热应激会显著降低血清和肝脏中 GSH-PX 的活性以及肝脏中 T-AOC,进而导致 MDA 含量的增加,这也与以往报道一致^[13-14]。因此,在实际生产中,为了解决热应激造成的肉鸡抗氧化能力下降,可考虑在饲料中添加维生素类^[15]、氨基酸^[13]、铬^[16]等,缓解热应激对机体抗氧化能力的破坏。

3.2 慢性热应激对肉鸡肝脏和肌肉 ERS 和 UPR 相关因子表达的影响

高温环境不仅导致机体代谢失衡、抗氧化能力减弱和组织损伤,造成机体应激,产生热休克蛋白(如 HSP70)^[17],还可能破坏内质网的稳态造成内质网应激(ERS),此时细胞会启动 UPR 通路改变基因的转录和翻译过程来缓解内质网应激。GRP78 是参与 UPR 通路的一种重要分子伴侣蛋白,ATF4 是 UPR 通路中一种重要的转录激活因子,二者在 UPR 信号通路起着关键作用^[2, 4]。本试验通过定量检测肝脏和肌肉组织中 *HSP70* 基因以及 ERS 和 UPR 相关因子基因的表达水平,来衡量机体抗应激能力和环境内质网应激能力。结果表明,热应激能显著提高肝脏和肌肉组织的 *HSP70* 基因表达量,有助于机体抗应激。与我们结果一致的是,李军乔^[10]也发现高温环境能提高肉仔鸡肝脏 *HSP72* 基因的表达。此外,我们还发现慢性热应激对肝脏 *ATF4* 和 *GRP78* 基因无显著影响,提示热应激后肝脏细胞 UPR 通路变化并不明显。在骨骼肌中,慢性热应激显著增加 *ATF4* 基因表达量,同时降低 *GRP78* 基因的表达量。以上结果提示,热应激会导致肝脏和肌肉产生不同的 ERS 和 UPR。2 种组织之间的差异可能是因为肝脏组织代谢旺盛,ERS 和 UPR 处于动态平衡过程中,而肌肉组织代谢相对缓慢,可能反映出机体自身长时间的抗应激状态。因此,添加外源分子伴侣或者其他功能性营养物来提高细胞 UPR,进而缓解细胞 ERS,是缓解肉鸡热应激的有效途径。

3.3 慢性热应激对肉鸡腓肠肌肌纤维类型的影响

对于禽类,骨骼肌肌纤维一般分为 3 类:慢肌纤维、快红肌纤维和快白肌纤维^[18]。肌纤维不同类型与肉鸡的肌肉品质密切相关,慢肌纤维含量多有助于提高禽类肉品质^[5]。目前,有关热应激对肉鸡的肌肉品质影响的报道已有一些,但这些报道多集中于热应激对肉色、系水力、pH 等指标的影响^[10, 19],而有关

热应激对肉鸡骨骼肌纤维类型的研究还比较少. 我们采集肉鸡腿肌样品时, 也发现热应激组鸡的腿肌颜色偏白, 提示热应激可能对骨骼肌纤维类型有一定影响. 为了验证这一假说, 我们检测了肉鸡腓肠肌中不同肌纤维类型(慢肌、快红肌和快白肌)肌球蛋白重链(Myosin heavy chain, *MyHC*)基因 mRNA 的表达. 结果表明, 热应激虽然对快红肌和快白肌 *MyHC* 基因 mRNA 表达无影响, 但却显著降低慢肌 *MyHC* 基因 mRNA 的表达, 提示热应激可降低肉鸡腓肠肌中慢肌纤维的比例, 从而降低肉鸡肌肉品质. 有研究报道, 持续的中度热应激会诱导小鼠 C2C12 细胞系^[20]和人成肌细胞^[21]由快肌向慢肌分化, 这与我们的试验结果相反. 其原因可能是禽类与哺乳类之间存在物种差异, 另外细胞与活体试验之间条件的差异也会导致结果不同.

综上所述, 慢性热应激会抑制黄羽肉鸡生长、降低机体抗氧化能力, 导致肉鸡出现内质网应激, 并能减少肉鸡腓肠肌慢肌 *MyHC* 基因表达量, 从而降低黄羽肉鸡肌肉品质. 以上结果揭示了热应激导致肉鸡生理功能变化的内在机制, 为针对性地研发能够提高机体抗氧化能力、缓解内质网应激的营养调控物提供了理论依据.

参考文献:

- [1] 田书音, 李冰. 热应激对肉鸡生产的危害及抗应激添加剂的研究 [J]. 饲料博览, 2010(10): 10-13.
- [2] LAI E, TEODORO T, VOLCHUK A. Endoplasmic reticulum stress: Signaling the unfolded protein response [J]. Physiology (Bethesda), 2007, 22(3): 193-201.
- [3] 刘宝琴, 王华芹. 内质网应激与未折叠蛋白反应的研究进展 [J]. 中华肿瘤防治杂志, 2010, 17(11): 869-872.
- [4] CAO S S, KAUFMAN R J. Unfolded protein response [J]. Curr Biol, 2012, 22(16): R622-R626.
- [5] 郭理洋, 黄兴国. 肌纤维类型对肉质品质的影响 [J]. 湖南饲料, 2010(3): 21-23.
- [6] LEE S H, JOO S T, RYU Y C. Skeletal muscle fiber type and myofibrillar proteins in relation to meat quality [J]. Meat Sci, 2010, 86(1): 166-170.
- [7] 杨培歌. 热应激对肥育猪肌肉品质及其代谢物的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [8] LARA L J, ROSTAGNO M H. Impact of heat stress on poultry production [J]. Animals, 2013, 3(2): 356-369.
- [9] 王士长, 陈静, 黄怡, 等. 热应激对肉鸡生产性能和血清生化指标的影响 [J]. 中国家禽, 2007, 29(15): 11-13.
- [10] 李军乔. 高温环境对肉仔鸡血液生化指标、热应激蛋白(HSP72)转录及肉品质的影响 [D]. 保定: 河北农业大学, 2004.
- [11] 刘铀, 林红英, 罗东君, 等. 热应激对肉鸡血液生化指标及内分泌机能的影响 [J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 19(1): 61-64.
- [12] 何世山, 金小军. 高温对肉鸡血液生化指标的影响 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29(3): 77-80.
- [13] 李文立, 路静, 孙振钧, 等. 谷氨酰胺对热应激肉鸡抗氧化性能的影响 [J]. 动物营养学报, 2011, 23(4): 695-702.
- [14] 林海, 杜荣. 热应激对肉鸡组织过氧化状态的影响 [J]. 动物营养学报, 2001, 13(2): 30-32.
- [15] JANG I S, KO Y H, MOON Y S, et al. Effects of vitamin C or E on the Pro-inflammatory cytokines, heat shock protein 70 and antioxidant status in broiler chicks under summer conditions [J]. Asian Australas J Anim Sci, 2014, 27(5): 749-756.
- [16] 王立, 姜建阳, 任慧英, 等. 两种铬源对热应激肉鸡抗氧化性能的影响 [J]. 饲料广角, 2010(9): 26-27.
- [17] 孙培明. 肉鸡热应激损伤与热休克蛋白 70 表达的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [18] 李娟. 鸡生长发育和肌纤维生长的影响因素与相关基因表达研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [19] 杨小娇, 许静, 宗凯, 等. 不同温度热应激对肉鸡血液生化指标及肉品质的影响 [J]. 家禽科学, 2011(3): 10-14.
- [20] YAMAGUCHI T, SUZUKI T, ARAI H, et al. Continuous mild heat stress induces differentiation of mammalian myoblasts, shifting fiber type from fast to slow [J]. Am J Physiol-Cell Ph, 2010, 298(1): C140-C148.
- [21] YAMAGUCHI T, OMORI M, TANAKA N, et al. Distinct and additive effects of sodium bicarbonate and continuous mild heat stress on fiber type shift via calcineurin/NFAT pathway in human skeletal myoblasts [J]. Am J Physiol-Cell Ph, 2013, 305(3): C323-C333.

【责任编辑 柴 焰】