

饲养密度对肉仔鸡早期生长性能、免疫和抗氧化功能的影响

邢媛媛 徐元庆 金 晓 史彬林*

(内蒙古农业大学动物科学学院,呼和浩特 010018)

摘要: 本试验旨在研究饲养密度对肉仔鸡早期生长性能、免疫和抗氧化功能的影响。试验采用完全随机设计,选取192只1日龄爱拔益加(AA)肉仔鸡,随机分为2个组,分别为低饲养密度组(LSD组)和高饲养密度组(HSD组),每组12个重复,每个重复8只鸡。低饲养密度为10只/m²,高饲养密度为20只/m²。试验期共21d。在试验开始第1天记录肉仔鸡初始体重,于第21天称重、结料,计算平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G);并从每个重复随机选取1只鸡,进行翅静脉采血,制备血清用于测定免疫和抗氧化功能指标,随后称活重并屠宰,取脾脏、胸腺和法氏囊称重并计算免疫器官指数。结果表明:1) LSD组肉仔鸡ADG和ADFI极显著高于HSD组($P<0.01$);2) LSD组肉仔鸡血清过氧化氢酶活性极显著高于HSD组($P<0.01$),血清总抗氧化能力有高于HSD组的趋势($P=0.09$),而血清活性氧含量极显著低于HSD组($P<0.05$);3) LSD组肉仔鸡血清白细胞介素-10和免疫球蛋白A含量显著高于HSD组($P<0.05$),血清白细胞介素-2含量有高于HSD组的趋势($P=0.08$)。综合以上结果可以得出,在网上平养条件下,与20只/m²的饲养密度相比,10只/m²的饲养密度对肉仔鸡早期(1~21日龄)的生长更有利。

关键词: 饲养密度;肉仔鸡;生长性能;免疫;抗氧化

中图分类号:S831.4

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)09-4116-07

动物的饲养密度与其生长性能、肉品质和免疫应激密切相关,也与动物福利、养殖经济效益和动物食品的安全问题密不可分。研究表明,高饲养密度会阻碍禽类的生长^[1-2],影响其胴体品质^[3],并极易发生腿部疾病甚至增加肉仔鸡的死亡率^[4]。同时,研究显示,肉仔鸡的生长性能与饲养密度呈显著负相关,当饲养密度达到8或10只/m²时,可以防止由于生存空间受限而导致的肉仔鸡生长阻滞^[5]。也有研究表明,高饲养密度可破坏肉仔鸡肠绒毛形态(18.75只/m²)^[6],改变肉仔鸡盲肠菌群丰富度和多样性(15.6只/m²)^[7]。而且在夏季当饲养密度高于

15只/m²时,鸡群会产生严重的热应激,从而导致死亡率升高^[4,8]。以上试验结果均表明,高密度饲养对家禽生长性能及禽类养殖业的经济效益都有不同程度的损害。有学者综合肉仔鸡福利、生长性能和胴体品质等3个方面指出,肉仔鸡适宜的饲养密度是14只/m²^[9]。然而,对于既能提高肉仔鸡生长性能,也有益于促进肉仔鸡免疫和抗氧化功能的适宜饲养密度却鲜见报道。

研究表明,随着饲养密度的增加(10、15和20只/m²),肉仔鸡法氏囊重以及法氏囊指数显著降低,而当其饲养密度高于20只/m²时,会导致肉仔鸡产生严重的热应激^[10]。过高的饲养密度会对

收稿日期:2020-03-20

基金项目:内蒙古自治区“草原英才”工程项目(CYYC5047)

作者简介:邢媛媛(1991—),女,内蒙古丰镇人,博士研究生,研究方向为动物环境与营养。E-mail: xingyuanyuan2014@163.com

*通信作者:史彬林,教授,博士生导师,E-mail: shibinlin@yeah.net

动物的免疫功能产生一定的有害影响,从而阻碍动物生长,使抵抗外界病原体的能力减弱^[11]。Feddes 等^[3]研究表明饲养密度过高会引起肉仔鸡舍内温度偏高,从而导致肉仔鸡胃肠道内微生物菌群失衡,并处在氧化应激状态^[12-13]。这些研究结果均表明饲养密度对肉仔鸡免疫和抗氧化功能会产生显著的影响。细胞因子主要是一些活性高,功能多的小分子多肽或蛋白质,具有抗病毒、免疫调节、造血以及抗炎等生物学功能^[14]。当动物处于应激状态时,促炎细胞因子白细胞介素-6 (IL-6) 和白细胞介素-1 (IL-1) 的分泌就会增多^[15-16],促炎细胞因子的过度增多会抑制机体免疫系统,进而导致机体失去稳态。而机体主要通过直接清除或抑制自由基和调节氧化酶的活性来维持正常的生命活动。基于此,本试验旨在研究饲养密度对肉仔鸡生长性能、机体免疫和抗氧化功能的影响,旨在为肉仔鸡的健康养殖提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验动物与设计

本试验以美国国家鸡肉协会(NCC)2005年制定的福利指南中指出的适用于轻型肉鸡的饲养密度为 32 kg/m² 为依据,采用完全随机设计,共选取 192 只爱拔益加(AA)肉仔鸡(1 日龄)随机分为低饲养密度组(LSD 组,饲养密度为 10 只/m²)和高饲养密度组(HSD 组,饲养密度为 20 只/m²),每组 12 个重复,每个重复 8 只鸡。开始试验时各组间肉仔鸡体重差异不显著($P>0.05$)。试验期为 21 d。

1.2 饲养管理

肉仔鸡饲养试验于内蒙古农业大学试验鸡舍内进行。试验期内人工控制舍内光照和温度,并自然通风。试验第 1 周的舍内温度设定在 32~34 ℃,然后每周降低 3 ℃。试验 1~3 天每天 23 h 光照,第 4~21 天每天保持 10 h 光照。舍内相对湿度保持在 50%~60%,舍内氨气浓度为 5.1~6.2 mg/m³,风速约为 0.5 m/s。每天观察试验鸡生长健康状况,并且人工清粪 1 次。试验期间按常规程序免疫,分别于 1 日龄首免使用新城疫滴鼻点眼;7 日龄再次滴鼻点眼进行新城疫+传染性支气管炎弱毒苗免疫;14 日龄饮水免疫法氏囊。根据中国农业行业标准《鸡饲养标准》(NY/T

33—2004)配制玉米-豆粕型的粉状基础饲粮,其组成及营养水平见表 1。饲养过程中肉仔鸡自由采食和饮水。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

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

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	52.50
豆粕 Soybean meal	40.00
豆油 Soybean oil	3.00
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.90
石粉 Limestone	1.08
食盐 NaCl	0.37
赖氨酸 Lysine	0.05
蛋氨酸 Methionine	0.19
预混料 Premix ¹⁾	0.80
胆碱 Choline	0.11
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.42
粗蛋白质 Crude protein	21.77
钙 Calcium	1.00
有效磷 Available phosphorus	0.44
赖氨酸 Lysine	1.34
蛋氨酸 Methionine	0.55
蛋氨酸+半胱氨酸 Methionine+cystine	0.95

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kilogram of the diet: VA 9 000 IU, VD₃ 3 000 IU, VE 26 mg, VK₃ 1.20 mg, VB₁ 3.00 mg, VB₂ 8.00 mg, VB₆ 4.40 mg, VB₁₂ 0.012 mg, 烟酸 nicotinic acid 45 mg, 叶酸 folic acid 0.75 mg, 生物素 biotin 0.20 mg, 胆碱 choline 1 100 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 15 mg, Fe 100 mg, Cu 10 mg, Zn 108 mg, Mn 120 mg, I 1.5 mg, Se 0.35 mg。

2) 粗蛋白质为实测值,其余为计算值。Crude protein was a measured value, while the others were calculated values.

1.3 样品采集与指标测定

在试验第 1 天记录 1 日龄肉仔鸡的初始体重,于第 21 天对各组试验鸡进行称重、结料,计算平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)。试验结束时,从每个重复随机选取 1 只鸡,称活鸡重后屠宰,取其脾脏、胸腺和法氏囊,称各器官的重量并计算器官指数。

试验结束时(21 日龄)从每个重复随机选取 1

只鸡进行翅静脉采血以制备血清。将采集的血液样品在室温下静置 30 min, 1 200×g 离心 15 min 后取上层血清, 置于-80 °C 冰柜中冷冻留存, 用于测定血清中免疫和抗氧化相关酶及物质的活性或含量。本试验中, 血清总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性以及丙二醛(MDA)含量采用抗氧化指标试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定; 血清中免疫指标——免疫球蛋白(Ig)G、IgM 和 IgA 及白细胞介素(IL)-1、IL-2、IL-4、IL-6、IL-10、IL-17、干扰素- γ (IFN- γ)、转换生长因子- β (TGF- β)含量和血清中部分抗氧化指标如活性氧(ROS)和 8-羟基脱氧鸟苷(8-OHdG)含量采用泉州市睿信生物科技有限公司研发的酶联免疫吸附试验(ELISA)试剂盒进行测定。测定

严格遵循试剂盒内说明书要求进行。

1.4 统计分析

试验数据利用 Excel 2007 整理, 采用 SAS 9.0 软件一般线性模型(GLM)实行 *t* 检验, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 为有显著趋势; 试验结果以平均值和均值标准误(SEM)表示。

2 结果与分析

2.1 饲养密度对肉仔鸡生长性能的影响

饲养密度对肉仔鸡生长性能的影响见表 2, 由表可知, LSD 组肉仔鸡的 ADG 和 ADFI 极显著高于 HSD 组 ($P < 0.01$), 2 组之间肉仔鸡 F/G 和成活率无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 饲养密度对肉仔鸡生长性能的影响

Table 2 Effects of stocking density on growth performance of broilers

项目 Items	低饲养密度组 LSD group	高饲养密度组 HSD group	均值标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
平均日增重 ADG/(g/d)	30.51 ^A	25.61 ^B	0.52	<0.01
平均日采食量 ADFI/(g/d)	42.67 ^A	38.78 ^B	0.62	<0.01
料重比 F/G	1.52	1.40	0.02	0.44
成活率 Survival rate/%	100.00	97.91	0.99	0.15

同行数据肩标不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$), 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different capital letter superscripts mean extremely significant difference ($P < 0.01$), and with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

2.2 饲养密度对肉仔鸡免疫器官指数的影响

饲养密度对肉仔鸡免疫器官指数的影响见

表 3, 由表可知, 2 组之间肉仔鸡脾脏、胸腺和法氏囊指数均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 饲养密度对肉仔鸡免疫器官指数的影响

Table 3 Effects of stocking density on immune organ indices of broilers

项目 Items	低饲养密度组 LSD group	高饲养密度组 HSD group	均值标准误 SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
脾脏指数 Spleen index	0.78	0.73	0.03	0.23
胸腺指数 Thymus index	2.16	1.90	0.16	0.27
法氏囊指数 Bursa of Fabricius index	2.50	2.40	0.14	0.62

2.3 饲养密度对肉仔鸡抗氧化功能的影响

饲养密度对肉仔鸡抗氧化功能的影响见表 4, 由表可知, LSD 组肉仔鸡血清 CAT 活性极显著高

于 HSD 组 ($P < 0.01$), LSD 组肉仔鸡血清 T-AOC 有高于 HSD 组的趋势 ($P = 0.09$), 而 LSD 组肉仔鸡血清 ROS 含量极显著低于 HSD 组 ($P < 0.01$), 2

组之间肉仔鸡血清其他各抗氧化指标无显著差异 ($P>0.05$)。

表 4 饲养密度对肉仔鸡抗氧化功能的影响

Table 4 Effects of stocking density on antioxidant function of broilers

项目 Items	低饲养密度组 LSD group	高饲养密度组 HSD group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	1 592	1 604	170	0.96
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	2.32 ^A	1.69 ^B	1.10	<0.01
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	212	223	10.39	0.58
总抗氧化能力 T-AOC/(mmol/L)	0.63	0.60	0.000 8	0.09
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	0.19	0.22	0.002	0.10
活性氧 ROS/(ng/mL)	112 ^B	130 ^A	2.30	<0.01
8-羟基脱氧鸟苷 8-OHdG/(ng/mL)	4.21	4.58	0.23	0.32

2.4 饲养密度对肉仔鸡免疫功能的影响

饲养密度对肉仔鸡免疫功能的影响见表 5,由表可知,LSD 组肉仔鸡血清 IL-10 和 IgA 含量显著

高于 HSD 组 ($P<0.05$),LSD 组肉仔鸡血清 IL-2 含量有高于 HSD 组的趋势 ($P=0.08$),而 2 组之间肉仔鸡其他各血清免疫指标无显著差异 ($P>0.05$)。

表 5 饲养密度对肉仔鸡免疫功能的影响

Table 5 Effects of stocking density on immune function of broilers

项目 Items	低饲养密度组 LSD group	高饲养密度组 HSD group	均值标准误 SEM	P 值 P-value
白细胞介素-1 IL-1/(pg/mL)	35	35	2.30	0.95
白细胞介素-2 IL-2/(pg/mL)	30	28	0.57	0.08
白细胞介素-4 IL-4/(pg/mL)	16	15	0.28	0.31
白细胞介素-6 IL-6/(pg/mL)	3.57	3.57	0.17	0.98
白细胞介素-10 IL-10/(pg/mL)	6.67 ^a	5.60 ^b	0.23	0.02
白细胞介素-17 IL-17/(pg/mL)	9.80	9.92	0.75	0.91
干扰素- γ INF- γ /(pg/mL)	28.48	29.22	0.42	0.23
转化生长生长- β TGF- β /(pg/mL)	121.99	125.41	3.46	0.57
免疫球蛋白 A IgA/(μ g/mL)	28.05 ^a	25.06 ^b	0.73	0.03
免疫球蛋白 G IgG/(μ g/mL)	248.78	248.16	6.93	0.96
免疫球蛋白 M IgM/(μ g/mL)	67.17	65.60	1.15	0.60

3 讨论

前人关于饲养密度对肉仔鸡生长性能的研究结果不尽相同。有研究指出饲养密度(5、10、15 和 20 只/ m^2)对肉仔鸡 ADG 与 ADFI 没有显著影响^[17]。而也有研究表明过高的饲养密度(22~28 只/栏)会限制肉仔鸡的采食活动,从而阻滞其生长,但是不会影响其 F/G^[18]。本试验结果与前人研究相似,对早期肉仔鸡采取高密度饲养(20 只/ m^2)降低了肉仔鸡 ADG 和 ADFI,但对 F/G 无显著影响。在本试验中高饲养密度降低肉

仔鸡生长性能的主要原因可能是由于以下几点:1)高饲养密度的饲养环境会降低舍内的空气流通,提高舍内环境温度,导致肉仔鸡热量散失减少;2)饲养密度过高会导致舍内氨气浓度增加,并且肉仔鸡采食空间也相对降低,从而降低生长性能^[3];3) Guardia 等^[19]以肉仔鸡为试验对象,研究了高饲养密度(17 只/ m^2)和低饲养密度(12 只/ m^2)对其生长性能和肠道菌群的影响,最终发现低密度组肉仔鸡饲料转化率和 ADG 均显著高于高密度组,而且密度过高在一定程度上也会减少鸡肠道的微生物数量,这提示肉鸡生长性

能还与饲养密度对肠道内微生物数量的改变有关,其具体机制还有待进一步研究。此外,研究表明当饲养密度高于 15 只/m² 时会增加肉仔鸡的死亡率^[4,8],而本试验结果表明高饲养密度(20 只/m²)并未显著降低肉仔鸡的成活率。

禽类主要的免疫器官有:参与动物体的所有免疫过程以最大的外围免疫器官著称的脾脏;被称之为中枢免疫器官的胸腺;以及禽类独有的法氏囊。肉鸡机体发挥免疫的程度取决于免疫器官发育所处的状态及免疫器官机能的强弱^[20]。本试验结果显示,高饲养密度对上述免疫器官指数均无显著的影响,这说明在肉仔鸡早期,过于密集的饲养肉鸡不会对其免疫系统构成损害。

Mahmoud 等^[21]研究表明较高的环境温度降低肉仔鸡生长性能可能是由于它们在细胞、组织和全身水平上经历了氧化应激。机体处于正常的生理状态时,细胞通过生理代谢产生 ROS,而 ROS 含量的多少可以作为直接反映机体氧化状态的标志物。本研究表明,HSD 组(20 只/m²)肉仔鸡血清中 ROS 的含量极显著高于 LSD 组(10 只/m²)。而武书庚^[22]报道应激会导致肉仔鸡机体 T-AOC 降低,显然高密度组更易受到氧化损伤及细胞损伤。当细胞过量产生的 ROS 可作为信号分子激活核转录因子- κ B(NF- κ B)通路^[23],同时也可激活 Kelch 样环氧氯丙烷相关蛋白-1-核因子 E2 相关因子 2-抗氧化反应元件(Keap1-Nrf2-ARE)信号通路,而后者具有抵抗外界刺激、抑制或减少细胞的氧化损伤、增强细胞抗氧化的能力^[24-25]。Nrf2-ARE 信号通路可通过调控下游抗氧化酶的活性,进而调节机体抗氧化功能^[26-27]。本试验研究表明,饲养密度对早期肉仔鸡血清中 GSH-Px、SOD 活性以及血清中 MDA 和 8-OHdG 含量均无显著影响,但是低饲养密度提高了肉仔鸡早期血清中 CAT 活性和 T-AOC,这与卢营杰^[14]的研究结果相一致,但肉鸡体内抗氧化活性能否通过 Nrf2-ARE 通路调控,还需要继续深入研究。

研究表明,在 21 日龄时,以高密度饲养(24 只/m²)肉仔鸡会增加家禽间的争斗,更容易造成肉仔鸡应激^[28]。如前所述,过量的 ROS 这种信号分子能激活 NF- κ B 通路^[23],这条通路关乎免疫调节,且极为重要。因为它既可调控免疫相关基因的表达,也能调控促炎因子,例如 IL-1 和 IL-6 的产生与释放,这两者即可以介导应激性损伤,也

会随着其分泌量的增加,先加强机体免疫,随后又加速炎症反应的发生,最终损伤组织^[29]。本试验条件下,21 日龄时,HSD 组和 LSD 组肉仔鸡血清中 IL-1 与 IL-6 等促炎因子的含量无显著差异,而 LSD 组肉仔鸡血清中 IL-10 与 IgA 的含量却显著高于 HSD 组。由此我们推测饲养密度在肉仔鸡早期的生长中并未造成应激性损伤,但低饲养密度却通过其他机制提高了机体的抗炎能力。除 NF- κ B 信号通路之外,另有促分裂素原活化蛋白激酶(MAPK)、一氧化氮(NO)和 Keap1-Nrf2-ARE 等通路与免疫也有关联^[30],关于这些信号通路是如何影响饲养密度的具体机制仍需进一步证实。

4 结 论

在网上平养条件下,综合饲养密度对生长性能、成活率、免疫和抗氧化功能的影响,低饲养密度(10 只/m²)比高饲养密度(20 只/m²)更有利于肉仔鸡早期(1~21 日龄)的生长。

参考文献:

- [1] TONG H B, LU J, ZOU J M, et al. Effects of stocking density on growth performance, carcass yield, and immune status of a local chicken breed[J]. Poultry Science, 2012, 91(3): 667-673.
- [2] 白水莉, 卢庆萍, 张宏福, 等. 环境富集材料对不同饲养密度条件下肉鸡生产性能的影响[J]. 家畜生态学报, 2009, 30(3): 73-76.
- [3] FEDDES J J R, EMMANUEL E J, ZUIDHOF M J. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities[J]. Poultry Science, 2002, 81(6): 774-779.
- [4] SØRENSEN P, SU G, KESTIN S C. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2000, 79(6): 864-870.
- [5] 贺卫华, 翟晓虎, 汪春雪, 等. 饲养密度对肉鸡生长性能、抗氧化能力和免疫功能的影响[J]. 中国饲料, 2019(24): 28-32.
- [6] 厉秀梅. 饲养密度与偏热环境对肉鸡骨骼和肌肉生长、氧化及肠道形态的影响[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2018: 1-3.
- [7] 常双双, 柳青秀, 张敏红, 等. 饲养密度对肉鸡盲肠菌群多样性、挥发性脂肪酸和血清脑肠肽的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(3): 938-946.
- [8] PETTIT-RILEY R, ESTEVEZ I. Effects of density on perching behavior of broiler chickens[J]. Applied An-

- imal Behaviour Science, 2001, 71(2): 127-140.
- [9] CRAVENER T L, ROUSH W B, MASHALY M M. Broiler production under varying population densities [J]. Poultry Science, 1992, 71(3): 427-33.
- [10] HEDCERT R A, ESTEVEZ I, RUSSEK-COHEN E, et al. Effects of density and perch availability on the immune status of broilers [J]. Poultry Science, 2002, 81(4): 451-457.
- [11] 殷璐瑶. 饲养密度对仔鹅生长、肉用性能及福利状况的影响 [D]. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学, 2018: 1-3.
- [12] GURSU M F, ONDERCI M, GULCU F, et al. Effects of vitamin c and folic acid supplementation on serum paraoxonase activity and metabolites induced by heat stress *in vivo* [J]. Nutrition Research, 2004, 24(2): 157-164.
- [13] LAN P T N, SAKAMOTO M, BENNO Y. Effects of two probiotic *Lactobacillus* strains on jejunal and cecal microbiota of broiler chicken under acute heat stress condition as revealed by molecular analysis of 16S rRNA genes [J]. Microbiology and Immunology, 2004, 48(12): 917-929.
- [14] 卢营杰. 笼具尺寸和饲养密度对肉鸡生产性能、免疫应激与福利状况的影响 [D]. 硕士学位论文. 太谷: 山西农业大学, 2016: 1-3.
- [15] HARTMANN G, TSCHÖP M, FISCHER R, et al. High altitude increases circulating interleukin-6, interleukin-1 receptor antagonist and c-reactive protein [J]. Cytokine, 2000, 12(3): 246-252.
- [16] ALIZADEH M, RODRIGUEZ-LECOMPTE J C, YIT-BAREK A, et al. Effect of yeast-derived products on systemic innate immune response of broiler chickens following a lipopolysaccharide challenge [J]. Poultry Science, 2016, 95(10): 2266-2273.
- [17] THOMAS D G, RAVINDRAN V, THOMAS D V, et al. Influence of stocking density on the performance, carcass characteristics and selected welfare indicators of broiler chickens [J]. New Zealand Veterinary Journal, 2004, 52(2): 76-81.
- [18] 汤建平. 饲养密度与饲养方式及饲料能量对肉鸡生长的影响 [D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [19] GUARDIA S, KONSAK B, COMBES S, et al. Effects of stocking density on the growth performance and digestive microbiota of broiler chickens [J]. Poultry Science, 2011, 90(9): 1878-1889.
- [20] 王世若, 里兴龙, 韩文瑜. 现代动物免疫学 [M]. 2 版. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001.
- [21] MAHMOUD K Z, EDENS F W. Influence of selenium sources on age-related and mild heat stress-related changes of blood and liver glutathione redox cycle in broiler chickens (*Gallus domesticus*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2003, 136(4): 921-934.
- [22] 武书庚. 肉仔鸡氧化应激模型的研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2007: 33-34
- [23] OGANDO D G, PAZ D, CELLA M, et al. The fundamental role of increased production of nitric oxide in lipopolysaccharide-induced embryonic resorption in mice [J]. Reproduction, 2003, 125(1): 95-110.
- [24] REIMUND J M, HIRTH C, KOEHL C, et al. Antioxidant and immune status in active Crohn's disease. A possible relationship [J]. Clinical Nutrition, 2000, 19(1): 43-48.
- [25] KIM K C, KANG K A, ZHANG R, et al. Up-regulation of Nrf2-mediated heme oxygenase-1 expression by eckol, a phlorotannin compound, through activation of Erk and PI3K/Akt [J]. International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 2010, 42(2): 297-305.
- [26] SIES H, BERNDT C, JONES D P. Oxidative stress [J]. Annual Review of Biochemistry, 2017, 86(1): 715-748.
- [27] RAMOS-GOMEZ M, KWAK M K, DOLAN P M, et al. Sensitivity to carcinogenesis is increased and chemoprotective efficacy of enzyme inducers is lost in Nrf2 transcription factor-deficient mice [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2001, 98(6): 3410-3415.
- [28] RAVINDRAN V, THOMAS D V, MOREL P C. Performance and welfare of broilers as affected by stocking density and zinc bacitracin supplementation [J]. Animal Science Journal, 2006, 77(1): 110-116.
- [29] 杨静. 不同隔离时间的急性应激对鸡血液生化指标和下丘脑 *CRH*、*AVT* mRNA 表达的影响 [J]. 广东饲料, 2011, 20(5): 34-37.
- [30] 齐晓龙. 共轭亚油酸对产蛋鸡抗氧化机能的影响 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2013: 10-15.

Effects of Stocking Density on Early Growth Performance, Immune and Antioxidant Function of Broilers

XING Yuanyuan XU Yuanqing JIN Xiao SHI Binlin*

(College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: The study was conducted to investigate the effects of stocking density on early growth performance, immune and antioxidant function of broilers. A total of 192 Arbor Acres (AA) broilers (1 day of age) were randomly divided into two groups, named the low stocking density group (LSD group) and the high stocking density group (HSD group), with 12 replicates in each group and 8 chickens in each replicate. The low stocking density was 10 birds/m² and the high stocking density was 20 birds/m². The experiment lasted for 21 days. The initial weight of broilers was recorded on day 1, and broilers were weighed and fed on day 21. Then the average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed to gain ratio (F/G) were calculated. On day 21, one chicken in each replicate was randomly selected and blood was collected from the wing vein to prepare the serum samples for measuring the immune and antioxidant function indices, then the live weight of selected broilers was weighed and broilers were slaughtered, the spleen, thymus and bursa were taken and weighed and the immune organ index was calculated. The results showed as follows: 1) the ADG and ADFI of broilers in the LSD group were extremely significantly higher than those in the HSD group ($P<0.01$); 2) the serum catalase activity of broilers in the LSD group was extremely significantly higher than that in the HSD group ($P<0.01$), the serum total antioxidant capacity of broilers in the LSD group tended to be higher than that in the HSD group ($P=0.09$), while the serum reactive oxygen species content of broilers in the LSD group was extremely significantly lower than that in the HSD group ($P<0.01$); 3) the serum contents of interleukin-10 and immunoglobulin A of broilers in the LSD group were significantly higher than those in the HSD group ($P<0.05$), and the serum interleukin-2 content of broilers in the LSD group tended to be higher than that in the HSD group ($P=0.08$). In conclusion, compared to 20 birds/m², 10 birds/m² is a more favorable stocking density for early growth of broilers (1 to 21 days of age) under the condition of net rearing. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(9):4116-4122]

Key words: stocking density; broilers; growth performance; immune; antioxidant