

冬季饲养密度对饲养环境及生长猪生长性能和血清生化、抗氧化、免疫、应激指标的影响

肖克权 屈圣富 范小丫 高凤仙*

(湖南农业大学动物科学技术学院,湖南畜禽安全生产协同创新中心,长沙 410128)

摘要: 本试验旨在研究冬季饲养密度对饲养环境及生长猪生长性能和血清生化、抗氧化、免疫、应激指标的影响。选用健康且体重无显著差异($P>0.05$)的21日龄断奶长×大(LY)二元杂交生长猪330头,平均体重为(25.67±0.25) kg,随机分为4个组,每组6个重复(栏)。I组每栏10头(0.91 m²/头),II组每栏12头(0.76 m²/头),III组每栏15头(0.61 m²/头),IV组每栏18头(0.51 m²/头)。试验期28 d。结果表明:1)随着饲养密度增大,栏舍内温度、相对湿度呈升高趋势,二氧化碳(CO₂)、氨气(NH₃)浓度逐渐升高。第14、21天,IV组的环境CO₂、NH₃浓度显著高于其他各组($P<0.05$)。2)随着饲养密度增大,生长猪的平均日采食量(ADFI)呈线性降低($P<0.05$),平均日增重(ADG)、料重比(F/G)呈二次曲线变化($P<0.05$)。其中,III组的F/G显著低于其他各组($P<0.05$)。3)随着饲养密度增大,血清三碘甲状腺原氨酸(T₃)、甲状腺素(T₄)浓度呈线性降低($P<0.05$)。4)随着饲养密度增大,血清免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白G(IgG)浓度呈二次曲线变化($P<0.05$),血清免疫球蛋白M(IgM)浓度呈线性变化($P<0.05$)。其中,与II组相比,I组的血清IgA、IgG浓度均显著降低($P<0.05$)。随着饲养密度增大,血清肿瘤坏死因子- α (TNF- α)浓度呈二次曲线变化($P<0.05$)。其中,II、III组的血清TNF- α 浓度显著低于IV组($P<0.05$)。5)与III组相比,I组的血清过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性及总抗氧化能力(T-AOC)显著降低($P<0.05$)。随着饲养密度增大,血清丙二醛(MDA)浓度呈二次曲线变化($P<0.05$),III组的血清MDA浓度显著低于其他各组($P<0.05$)。6)随着饲养密度增大,血清肾上腺皮质激素(ACTH)、皮质醇(COR)浓度先降低后升高。其中,II、III组的血清ACTH、COR浓度无显著差异($P>0.05$)。由此可见,本试验条件下,II、III组生长性能和血清生化、免疫、抗氧化、应激指标大部分无显著差异,且考虑到栏舍利用率,III组的饲养密度(0.61 m²/头)更适合冬季生长猪(25~45 kg)的生长,此时生长速率快,饲料转化率高,机体炎症应激水平低。

关键词: 饲养密度;生长猪;饲养环境;生长性能;应激

中图分类号:S828

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)01-0109-11

猪群饲养密度直接影响养殖生产的成本、利润、猪群的生理状态、饲养方式和猪舍环境等^[1-4]。研究表明,不合理的饲养密度易导致猪群产生应激反应,而应激会引起生长猪采食量、日增重及饲

料效率降低^[5-11],机体免疫及抗氧化功能下降^[12-13]。此外,猪属恒温动物,生长猪适宜的环境温度为16~25℃^[14],冬季低温环境不利于猪只健康生长。研究发现,增大冬季猪群饲养密度有利

收稿日期:2019-07-11

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0500506)

作者简介:肖克权(1992—),男,河南信阳人,硕士研究生,从事动物生产与畜牧工程研究。E-mail: 965309687@qq.com

*通信作者:高凤仙,教授,硕士生导师,E-mail: gaofx1964@163.com

于猪舍保温^[15],而在冬季封闭的猪舍环境中过度增大饲养密度易导致饲养环境恶化(通风效果减弱、有害气体蓄积等),使机体免疫功能降低,引起生长性能下降和猪群亚健康状态等问题,严重时甚至导致死亡^[16];而低密度饲养不仅使栏舍利用率降低,还不利于冬季猪舍保温^[17]。因此,冬季适当增大猪群饲养密度可能是改善动物在冬季低温环境下生长环境的潜在方法。目前,关于冬季饲养密度对生长猪影响的研究尚未见报道。鉴于湖南省气候条件和生猪养殖水平,本试验通过研究冬季饲养密度对饲养环境及生长猪生长性能和血清生化、抗氧化、免疫和应激指标的影响,旨在为冬季我国南方生猪养殖提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验时间及地点

本试验于2018年11月25日至2018年12月23日在湖南省某猪场进行。试验选择1栋具有代表性的双坡半封闭式猪舍(带卷帘),猪舍东西走向,长72.0 m,跨度8.5 m,檐高3.5 m,双坡木屋架有吊顶石棉瓦屋面,舍内为双列布置,南北每侧24栏,畜舍为混凝土地面,供试栏圈的面积为9.1 m²(2.80 m×3.25 m),中间为宽1.2 m的饲喂走道。每栏配有3个鸭嘴式饮水器;槽口设置:2.0 m,可容纳8头生长猪同时采食。

1.2 试验设计与饲养管理

采用单因子试验设计,饲养密度梯度设置参考我国《标准化规模养猪场建设规范》(NY/T 1568—2007),并结合前人相关研究报道^[3,6-7,12-14,18]及猪场实际生产情况确定。试验选用健康且体重无显著差异($P>0.05$)的21日龄断奶长×大(LY)二元杂交阉公猪330头,平均体重为(25.67±0.25) kg,将试验猪分为4个组,每组6个重复,单栏饲养。I组每栏10头(0.91 m²/头),II组每栏12头(0.76 m²/头),III组每栏15头(0.61 m²/头),IV组每栏18头(0.51 m²/头)。试验期28 d。在此期间,猪舍外日最低温度在0.9~9.8℃,日平均最低温度为4.7℃。

试验前打扫、冲洗栏舍后用体积比1:100的百毒杀-5%聚维酮碘溶液稀释液喷洒猪舍,对猪舍彻底清洗消毒,待3 d后开始试验。08:00和14:00喂料,自由采食和饮水;每天09:00和15:00

打扫卫生2次。猪舍为半封闭式(带卷帘),开料及打扫卫生时适当打开卷帘通风,舍内无取暖措施。消毒、免疫等按照猪场饲养管理程序进行。饲料参照NRC(2012)饲养标准配制,基础饲料组成及营养水平见表1。

表1 基础饲料组成及营养水平(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	68.10
豆粕 Soybean meal	21.00
发酵豆粕 Fermented soybean meal	4.00
进口鱼粉 Imported fish meal	1.00
豆油 Soybean oil	1.50
赖氨酸 Lys	0.25
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.07
苏氨酸 Thr	0.08
预混料 Premix ¹⁾	4.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
消化能 DE/(MJ/kg)	13.50
粗蛋白质 CP	17.29
蛋氨酸 Met	0.26
赖氨酸 Lys	0.98
钙 Ca	0.64
有效磷 AP	0.28

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 18 000 IU, VD₃ 20 000 IU, VE 1 100 IU, VK 50 mg, VB₁ 100 mg, VB₂ 350 mg, VB₁₂ 1 750 μg, 烟酸 nicotinic acid 1 500 mg, 泛酸 pantothenic acid 1 000 mg, 叶酸 folic acid 30 mg, Fe 10 50 mg, Cu 60 mg, Zn 11 00 mg, Mn 400 mg, Se 30 mg, I 14 mg, 石粉 limestone 1 000 mg, NaCl 3 500 mg, CaHPO₄ 800 mg。

2) 消化能为计算值,其余营养水平为实测值。DE was a calculated value, while other nutrient levels were measured values.

1.3 测定指标及方法

1.3.1 饲养环境

每天06:00、12:00、14:00、18:00和24:00对各猪栏进行温度和相对湿度测量,测定点设置在猪栏靠近食槽处,离地面0.5 m;于试验第7、14、21、28天06:00、12:00、14:00、18:00和24:00对各重复进行相关环境评价[温度、相对湿度、二氧化碳(CO₂)浓度、氨气(NH₃)浓度],测定点位于

栏舍中心及对角线位置(5点)距地面高度0.3~0.5 m(猪背部高度),试验人员手持仪器进入栏舍内进行测定,所用仪器为:手持式温湿度测定仪(型号为TES-1360A),购自台湾泰仕电子工业股份有限公司;手持式CO₂、NH₃复合气体检测仪(型号为CJ-400),购自安庆昌嘉电子产品贸易有限公司。

1.3.2 生长性能

每天08:00查看试验猪群并记录各组投料量和剩料量,分别于试验期第1和29天08:00,以重复为单位,称量并记录猪群重量,称重前禁食12 h。根据原始数据计算出每组的平均日增重(ADG)、平均日采食量(ADFI)及料重比(F/G)。

1.3.3 血清生化、抗氧化、免疫和应激指标

试验期结束时从每重复选取体重接近平均体重的生长猪1头,空腹前腔静脉无菌采血10 mL(每重复取1头),自然凝固待血清析出后,3 000 r/min离心10 min,取上清液分装到1.5 mL离心管后于-80 ℃保存。血清送于北京华英生物技术研究所检测,血清甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、总蛋白(TP)、尿素(UREA)、葡萄糖(GLU)、免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白M(IgM)浓度使用迈瑞BS-420全自动生化仪采用比色法检测,所用试剂盒由中生北控股份有限公司提供;血清总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)浓度以及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)活性使用半自动生化仪采用比色法检测,所用试剂盒由北京华英生物技术研究所提供;血清三碘甲状腺原氨酸(T₃)、甲状腺素(T₄)、白细胞介素-1β(IL-1β)、白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子-α(TNF-α)、皮质醇(COR)、肾上腺皮质激素(ACTH)浓度均采用酶联免疫吸附测定法检测,所用试剂盒由北京华英生物技术研究所提供。

1.4 数据统计分析

试验数据采用Excel 2018整理后,用SPSS 23.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)及线性(linear)与二次(quadratic)回归分析,差异显著者采用Duncan氏法进行多重比较。分析结果用平均值与均值标准误(SEM)表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 冬季饲养密度对饲养环境的影响

如图1所示,随着饲养密度增大,栏舍内温度、相对湿度呈升高趋势。随着饲养密度增大,栏舍内CO₂、NH₃浓度逐渐升高,试验第7、14、21、28天,IV组的环境CO₂、NH₃浓度较I、II组均显著升高($P < 0.05$),IV组的环境CO₂、NH₃浓度最高。试验第14、21、28天,IV组的环境CO₂浓度较III组显著升高($P < 0.05$)。试验第14、21天,IV组的环境NH₃浓度较III组显著升高($P < 0.05$)。因此,IV组的环境空气质量最差。

2.2 冬季饲养密度对生长猪生长性能的影响

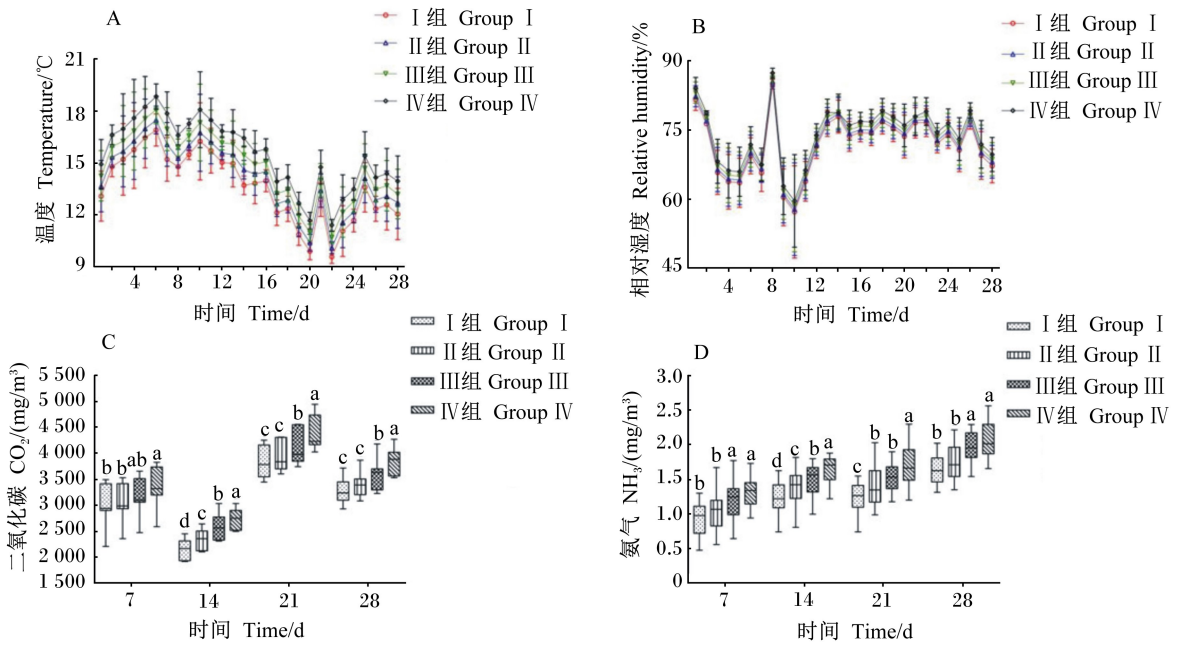
如表2所示,随着饲养密度增大,生长猪的ADFI、F/G呈线性变化($P < 0.05$),ADG、F/G呈二次曲线变化($P < 0.05$)。其中,III组的ADFI显著低于I组,与II、IV组无显著差异($P > 0.05$);III组的ADG显著高于I、IV组($P < 0.05$),与II组无显著差异($P > 0.05$);III组的F/G显著低于I、II、IV组($P < 0.05$),II、IV组显著低于I组($P < 0.05$)。

2.3 冬季饲养密度对生长猪血清生化指标的影响

如表3所示,随着饲养密度增大,血清T₃、T₄浓度呈线性变化($P < 0.05$)。其中,IV组的血清T₃浓度显著低于I、II组($P < 0.05$),与III组无显著差异($P > 0.05$);IV组的血清T₄浓度显著低于I组($P < 0.05$),与II、III组无显著差异($P > 0.05$)。饲养密度对生长猪血清TG、TC、TP、UREA、GLU浓度无显著影响($P > 0.05$)。

2.4 冬季饲养密度对生长猪血清免疫指标的影响

如表4所示,随着饲养密度增大,血清IgA、IgG浓度呈二次曲线变化($P < 0.05$),血清IgM浓度呈线性变化($P < 0.05$)。其中,II组的血清IgA浓度显著高于I组($P < 0.05$),与III、IV组无显著差异($P > 0.05$);II、III组的血清IgG浓度显著高于I组($P < 0.05$),与IV组无显著差异($P > 0.05$);III组的血清IgM浓度显著高于I组($P < 0.05$),与II、IV组无显著差异($P > 0.05$)。随着饲养密度增大,血清TNF-α浓度呈二次曲线变化($P < 0.05$)。其中,II、III组的血清TNF-α浓度显著低于IV组($P < 0.05$),与I组无显著差异($P > 0.05$)。饲养密度对生长猪血清IL-1β、IL-6浓度无显著影响($P > 0.05$)。



数据柱上标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下图同。

Value columns with different small letters mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

图 1 冬季饲养密度对饲养环境的影响

Fig.1 Effects of stocking density on rearing environment in winter

表 2 冬季饲养密度对生长猪生长性能的影响

Table 2 Effects of stocking density on growth performance of growing pigs in winter

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV	SEM	P 值 P-value		
						组间 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
始重 IW/kg	25.70	25.64	25.69	25.67	0.05	0.954	0.959	0.577
末重 FW/kg	43.91	44.43	45.00	44.21	0.15	0.055	0.231	0.023
平均日采食量 ADFI/(g/d)	1 535.79 ^a	1 511.91 ^{ab}	1 499.34 ^b	1 469.45 ^{bc}	7.15	0.003	<0.001	0.787
平均日增重 ADG/(g/d)	650.30 ^b	671.13 ^{ab}	691.67 ^a	661.21 ^b	5.05	0.016	0.173	0.006
料重比 F/G	2.36 ^a	2.26 ^b	2.17 ^c	2.22 ^b	0.02	<0.001	<0.001	<0.001

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.

表 3 冬季饲养密度对生长猪血清生化指标的影响

Table 3 Effects of stocking density on serum biochemical indices of growing pigs in winter

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV	SEM	P 值 P-value		
						组间 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.36	0.32	0.36	0.28	0.030	0.703	0.450	0.771
总胆固醇 TC/(mmol/L)	1.06	1.04	1.11	1.04	0.086	0.993	0.995	0.880
总蛋白 TP/(g/L)	31.14	31.38	30.61	30.40	2.000	0.998	0.872	0.960

续表 3

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV	SEM	P 值 P-value		
						组间 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
尿素 UREA/(mmol/L)	1.88	1.73	1.70	1.87	0.101	0.951	0.949	0.490
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	4.19	3.81	4.09	4.24	0.128	0.711	0.703	0.345
三碘甲状腺原氨酸 T ₃ /(ng/mL)	0.72 ^a	0.71 ^a	0.54 ^{ab}	0.44 ^b	0.045	0.044	0.010	0.518
甲状腺素 T ₄ /(ng/mL)	61.04 ^a	54.13 ^{ab}	46.19 ^{ab}	32.26 ^b	3.076	0.179	0.038	0.687

表 4 冬季饲养密度对生长猪血清免疫指标的影响

Table 4 Effects of stocking density on serum immune indices of growing pigs in winter

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV	SEM	P 值 P-value		
						组间 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
免疫球蛋白 A IgA/(g/L)	0.98 ^b	1.39 ^a	1.24 ^{ab}	1.21 ^{ab}	0.054	0.033	0.151	0.034
免疫球蛋白 G IgG/(g/L)	18.83 ^b	21.02 ^a	21.29 ^a	20.35 ^{ab}	0.385	0.073	0.106	0.037
免疫球蛋白 M IgM/(g/L)	2.29 ^b	2.38 ^{ab}	2.51 ^a	2.43 ^{ab}	0.029	0.049	0.014	0.112
白细胞介素-1 β IL-1 β /(ng/L)	30.00	25.77	24.65	26.80	1.769	0.761	0.692	0.992
白细胞介素-6 IL-6/(ng/L)	144.91	153.49	149.09	150.10	6.326	0.950	0.684	0.909
肿瘤坏死因子- α TNF- α /(ng/L)	53.04 ^{ab}	36.73 ^b	37.64 ^b	58.44 ^a	3.721	0.069	0.521	0.013

2.5 冬季饲养密度对生长猪血清抗氧化指标的影响

如表 5 所示,与 III 组相比, I 组的血清 CAT、GSH-Px 活性及 T-AOC 分别显著降低了 42.68%、46.46%、20.18% ($P < 0.05$)。随着饲养密度增大,

血清 MDA 浓度呈线性和二次曲线变化 ($P < 0.05$);与 I、II、IV 组相比, III 组的血清 MDA 浓度显著降低了 53.74%、43.50%、32.32% ($P < 0.05$)。饲养密度对生长猪血清 SOD 活性无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 5 冬季饲养密度对生长猪血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of stocking density on serum antioxidant indices of growing pigs in winter

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV	SEM	P 值 P-value		
						组间 Groups	线性 Linear	二次 Quadratic
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	55.45	60.04	64.08	53.42	2.644	0.505	0.983	0.182
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	34.45 ^b	47.76 ^{ab}	60.10 ^a	52.24 ^a	3.102	0.009	0.006	0.040
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/L)	4.76 ^b	6.47 ^{ab}	8.89 ^a	7.19 ^{ab}	0.493	0.017	0.072	0.202
总抗氧化能力 T-AOC/(U/L)	11.67 ^b	10.41 ^b	14.62 ^a	12.21 ^{ab}	0.501	0.017	0.120	0.485
丙二醛 MDA/(μ mol/L)	5.75 ^d	4.40 ^c	2.66 ^a	3.93 ^b	0.244	<0.001	<0.001	<0.001

2.6 冬季饲养密度对生长猪血清应激指标的影响

如图2所示,随着饲养密度增大,血清 ACTH、COR 浓度均先降低后升高,IV组的血清 ACTH、

COR 浓度较 II 组显著升高 ($P < 0.05$)。其中, II、III 组血清 ACTH、COR 浓度无显著差异 ($P > 0.05$)。

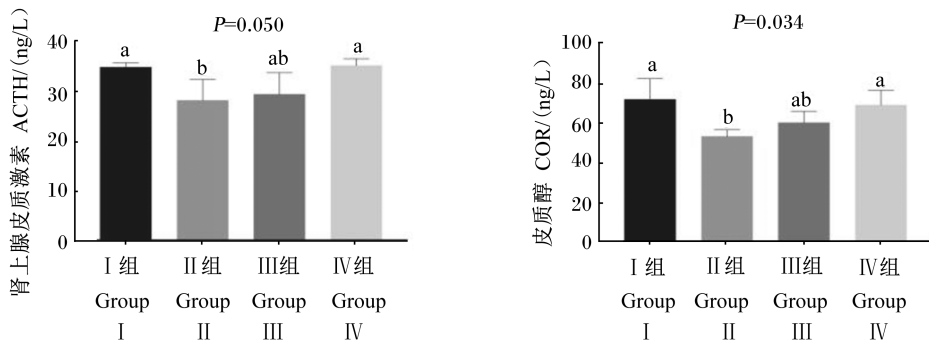


图2 冬季饲养密度对生长猪血清应激指标的影响

Fig.2 Effects of stocking density on serum stress indices of growing pigs in winter

3 讨论

3.1 冬季饲养密度对饲养环境的影响

饲养密度对畜舍环境的影响是多方面的,直接关系到猪舍的温度、相对湿度以及有害气体浓度等。 NH_3 是影响猪健康和生产的主要有害气体之一,国际农业和生物工程委员会(CIGR)规定猪只的 NH_3 暴露限值为 15.18 mg/m^3 ^[19],瑞典规定为 7.59 mg/m^3 ^[20]。动物生产中的 CO_2 主要来自动物呼吸和粪便分解产生,CIGR^[19]规定猪舍 CO_2 的浓度限值为 $5\ 892.86 \text{ mg/m}^3$,美国规定冬季猪舍 CO_2 浓度限值为 $6\ 875.00 \text{ mg/m}^3$ ^[20]。黄炎坤等^[21]研究发现,随着饲养密度升高,鹅舍环境空气相对湿度及 NH_3 浓度逐渐升高。陈昭辉等^[22]通过冬季肉牛饲养密度试验发现,牛舍环境中 CO_2 和 NH_3 浓度随饲养密度增大而显著升高。邓先德等^[23]报道,冬季湖羊育成舍内 CO_2 、 NH_3 浓度与羊群饲养密度呈显著负相关。本试验结果与上述试验结果^[21-23]相一致,表明冬季猪群饲养密度对栏舍内饲养环境造成显著影响。与上述限值相比,各试验组环境 NH_3 、 CO_2 浓度均未超标,但在冬季密闭式猪舍内环境 NH_3 、 CO_2 浓度随着饲养密度的增大而升高,导致猪只精神萎靡,采食量和抵抗力下降,在一定程度上会影响猪群的生长^[2,16]。关于冬季猪群饲养密度对猪舍温度、相对湿度及有害气体浓度的关系还有待进一步研究。

3.2 冬季饲养密度对生长猪生长性能的影响

饲养密度会影响动物的生长性能。陈昭辉等^[22]通过冬季肉牛饲养密度试验发现,肉牛的 ADFI 及饲料转化效率随饲养密度增大先升高后降低。邓先德等^[23]报道,随着冬季湖羊饲养密度的增加,其 ADG 及饲料转化率先升高后降低。本试验结果显示,随着饲养密度增大,生长猪的 ADG 先升高后降低、F/G 先降低后升高,与上述试验结果^[22-23]相似,表明冬季低温环境下适当提高猪群饲养密度可提高猪只生长性能。究其原因,低密度饲养不利于冬季猪舍保温^[24-25],低温环境条件下生长猪所增加的采食量用于代谢产热以维持体温的恒定,饲料转化率随之降低^[3,26];适当增大猪群饲养密度,有利于栏舍内局部环境温度上升,体表散热相对减少,促进猪只生长^[27];而饲养密度过高导致生活资源(饲料、饮水及空间)紧张,争斗行为增加、应激水平升高、免疫功能下降等都将导致生长猪生长性能下降^[12,28]。此外,高饲养密度导致饲养环境恶化,可引起猪只采食量下降,机体分解代谢加强^[16,29-31]。

3.3 冬季饲养密度对生长猪血清生化指标的影响

血清生化指标是评估机体代谢及健康状况的重要指标。本试验结果中,大多数血清生化指标不受冬季猪群饲养密度的影响,其原因可能是受各种环境和生理因素的影响,如饲喂时间和饲养环境等。 T_3 、 T_4 由甲状腺合成分泌,可以促进组织代谢,加强组织氧化分解,增加耗氧量,使机体产

热增多;还可以加强糖异生作用、加速脂肪分解等^[32]。本试验结果发现,随着饲养密度增大,血清 T_3 、 T_4 浓度呈线性降低,与 Lefaucheur 等^[32] 试验结果相似,表明冬季低密度饲养可以增加血清中 T_3 和 T_4 浓度,其原因可能是饲养密度过低导致栏舍温度较低,冷刺激引起甲状腺的分泌速度增高,机体组织代谢率升高,产热量增多以维持体温恒定,从而在一定程度上缓解低温对机体的损害^[32-33];IV组的血清 T_3 、 T_4 浓度较低可能是高密度饲养导致机体产生应激反应,进而抑制了甲状腺功能^[34]。

3.4 冬季饲养密度对生长猪血清免疫指标的影响

免疫球蛋白在血清中的浓度可衡量机体的免疫功能,血清 IgA、IgG 和 IgM 浓度的升高表明机体免疫功能增强^[35]。本试验结果中,II组的血清 IgA、IgG 浓度较 I 组显著升高,表明冬季适当升高猪群饲养密度,有利于提高猪只免疫功能。饲养密度过低导致机体免疫功能降低的原因主要是低密度饲养导致猪只所处环境温度较低,引起机体抵抗力下降。

促炎细胞因子如 $TNF-\alpha$ 、 $IL-1\beta$ 和 $IL-6$ 是由免疫系统细胞生成的内源性多肽,可间接反映由 T 细胞活化引起的免疫应答^[36]。本试验结果显示,随着饲养密度增加,血清 $TNF-\alpha$ 浓度呈二次曲线变化,表明冬季猪群饲养密度过高过低均导致机体炎症水平升高。究其原因,冬季低密度饲养导致栏舍局部温度较低,引起猪只发病率升高,免疫功能降低,机体炎症水平升高^[32]。高密度饲养引起的环境应激可能会诱导细胞产生免疫应答反应,进而引起促炎性因子分泌增加^[37-38]。此外,应激激素可促进促炎细胞因子的生成^[38-40],与本试验结果中血清 ACTH、COR 浓度变化趋势一致。同时,高密度饲养条件下,猪舍内温度、相对湿度及有害气体浓度升高也将导致机体抵抗力下降^[16,41-42]。

3.5 冬季饲养密度对生长猪血清抗氧化指标的影响

机体抗氧化系统中,T-AOC 是反映机体抗氧化系统功能状况的综合指标^[31]。SOD 是动物体内清除自由基的第 1 道防线^[31],具有保护生物膜和胞质的功能。GSH-Px 可反映机体分解过氧化产物的能力,与 CAT 共同作为体内清除自由基的第 2 道防线,而 MDA 含量高低则反映机体细胞受

自由基攻击的严重程度^[13]。随着猪群饲养密度的变化,机体氧化还原稳态将随之发生改变^[16]。Li 等^[13] 在生长猪(40 kg)试验中发现,1.23 m^2 /头组较 0.82 和 2.46 m^2 /头组的血清 SOD 活性显著升高,2.46 m^2 /头组较 1.23 m^2 /头组的血清 GSH-Px 活性显著降低。本试验结果表明,冬季饲养密度过高过低均导致机体氧化应激水平升高,与 Li 等^[13] 研究结果相似。冬季低密度饲养导致栏舍局部温度较低,冷刺激引起机体组织代谢率升高,导致机体氧化应激水平升高^[32]。高密度饲养可引起畜舍内有害气体浓度升高,进而使机体中活性氧(ROS)和活性氮(RNS)等活性分子过度生成或清除减少,致使机体氧化还原稳态遭到破坏^[43]。此外,高密度饲养所导致的采食量下降会引起机体分解代谢加强,从而使机体自由基产生增多^[31]。

3.6 冬季饲养密度对生长猪血清应激指标的影响

本试验结果发现,随着饲养密度增大,血清 ACTH 浓度先降低后升高,表明冬季饲养密度过高过低均导致猪只应激水平升高。可能是冬季低饲养密度引起栏舍局部温度较低,进而导致猪只产生冷应激反应,垂体分泌促肾上腺皮质激素增加,血清 ACTH 浓度随之升高^[32];随着饲养密度增大,猪群间的争斗行为也会随之加剧,引起猪群应激反应。同时,高饲养密度所导致栏舍内有害气体浓度升高,可引起机体免疫、抗氧化功能下降,机体对应激的敏感性会随之升高^[11,16]。此外,冬季饲养密度过度升高势必会引起栏舍局部温度、相对湿度异常,导致猪只产生应激反应,机体下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA 轴)随之被激活,垂体前叶释放的 ACTH 增多^[16,44-45]。

当猪只面对环境恶化、饲料和饮水缺乏^[46-47] 以及高密度饲养^[48] 等各种应激时,下丘脑会释放促肾上腺皮质激素释放激素,促进垂体分泌 ACTH,再促进肾上腺分泌糖皮质激素,COR 是最重要的糖皮质激素^[48-49],因此,猪只血清 COR 浓度含量升高可作为机体应激反应的主要标志^[45,50]。本试验结果中,随着饲养密度增大,血清 COR 浓度先降低后升高。其原因可能是本试验处于冬季,饲养密度过低不利于猪舍的保温,导致垂体分泌 ACTH 增加,促进肾上腺分泌 COR,细胞代谢活动加强,促进蛋白质分解及糖异生,增加产热以维持体温的恒定^[7,16]。

4 结论

① 随着饲养密度增大,栏舍内温度、相对湿度呈升高趋势,有害气体浓度升高,其中Ⅳ组环境中有害气体浓度最高。

② 本试验条件下,适当升高冬季猪群饲养密度,可提高猪只生长性能、机体免疫功能,降低机体氧化应激水平。

③ 在考虑栏舍利用率的基础上,Ⅲ组的饲养密度(0.61 m²/头)更适合冬季生长猪(25~45 kg)的生长,此时生长速率快,饲料转化率高,机体炎症应激水平较低。

参考文献:

- [1] KASWAN S, PATEL B H M, MONDAL S K, et al. Economic analysis of crossbred (Landrace × Desi) pig reared under different floor space allowances[J]. The Indian Journal of Animal Sciences, 2018, 88(4): 92-95.
- [2] 高航,袁雄坤,姜丽丽,等.猪舍环境参数研究综述[J].中国农业科学,2018,51(16):3226-3236.
- [3] HYUN Y, ELLIS M, CURTIS S E, et al. Environmental temperature, space allowance, and regrouping: additive effects of multiple concurrent stressors in growing pigs[J]. Journal of Swine Health and Production, 2005, 13(3): 131-138.
- [4] VERDON M, RAULT J L. Aggression in group housed sows and fattening pigs[J]. Advances in Pig Welfare, 2018: 235-260.
- [5] BØE K E, BERG S, ANDERSEN I L. Resting behaviour and displacements in ewes—effects of reduced lying space and pen shape[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2006, 98(3/4): 249-259.
- [6] 周凯,吴信,刘春龙.饲养密度对仔猪生长性能和血清游离氨基酸含量的影响[J].动物营养学报,2019,31(1):485-490.
- [7] 周凯,刘春龙,吴信.集约化饲养条件下饲养密度对猪生长性能和健康影响的研究进展[J].动物营养学报,2019,31(1):57-62.
- [8] CORNALE P, MACCHI E, MIRETTI S, et al. Effects of stocking density and environmental enrichment on behavior and fecal corticosteroid levels of pigs under commercial farm conditions[J]. Journal of Veterinary Behavior, 2015, 10(6): 569-576.
- [9] STOJANAC N, STEVANČEVIĆ O, POTKONJAK A, et al. The impact of space allowance on productivity

- performance and *Salmonella* spp. shedding in nursery pigs[J]. Livestock Science, 2014, 164: 149-153.
- [10] 付玲玲.剪牙、断尾和饲养密度对猪的生长、行为和福利指标的影响[D].硕士学位论文.南京:南京农业大学,2016.
- [11] FU L L, LI H Z, LIANG T T, et al. Stocking density affects welfare indicators of growing pigs of different group sizes after regrouping[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2016, 174: 42-50.
- [12] KIM K H, CHO E S, KIM K S, et al. Effects of stocking density on growth performance, carcass grade and immunity of pigs housed in sawdust fermentative pigsties[J]. South African Journal of Animal Science, 2016, 46(3): 294-301.
- [13] LI L, CHEN S, LI X, et al. Intestinal microbiota in growing pigs: effects of stocking density[J]. Food and Agricultural Immunology, 2018, 29(1): 524-535.
- [14] 夏九龙,刁华杰,冯京海,等.温热环境对育肥猪体温调节的影响规律[J].动物营养学报,2016,28(11): 3386-3390.
- [15] TURNER S P, DAHLGREN M, AREY D S, et al. Effect of social group size and initial live weight on feeder space requirement of growing pigs given food *ad libitum*[J]. Animal Science, 2002, 75(1): 75-83.
- [16] 李雪,陈凤鸣,熊霞,等.饲养密度对猪群健康和猪舍环境的影响[J].动物营养学报,2017,29(7): 2245-2251.
- [17] ŠKRBIĆ Z, PAVLOVSKI Z, LUKIĆ M. Stocking density—factor of production performance, quality and broiler welfare[J]. Biotechnology in Animal Husbandry, 2009, 25(5-6-1): 359-372.
- [18] Canadian Pork Council. Code of practice for the care and handling of pigs[S]. [S.l.]: Canada Pork Council and National Farm Animal Care Council, 2014.
- [19] CIGR. Report of working group of the climatization of animal houses[C]//The Scottish Farm Buildings Investigation Unit. International commission of agricultural engineering. Aberdeen: [s.n.], 1984.
- [20] DONHAM K, AHERIN R, BAKER D, et al. Safety in swine production systems[C]//Pork industry handbook. West Lafayette: [s.n.], 2010: 7.
- [21] 黄炎坤,徐秋良,赵金艳.饲养密度对种鹅舍环境质量和生产性能的影响[J].家畜生态学报,2012,33(3): 105-106, 109.
- [22] 陈昭辉,刘玉欢,吴中红,等.饲养密度对饲养环境及肉牛生产性能的影响[J].农业工程学报,2017,33(19): 229-235.

- [23] 邓先德,宋魁,付秀珍,等.冬季不同饲养密度对湖羊育成公羊生长发育和舍内 CO₂、NH₃ 浓度的影响[J].中国畜牧兽医,2017,44(10):2923-2930.
- [24] KIM K H, KIM K S, KIM J E, et al. The effect of optimal space allowance on growth performance and physiological responses of pigs at different stages of growth[J]. *Animal*, 2017, 11(3):478-485.
- [25] ANDERSEN I L, BØE K E, HOVE K. Behavioural and physiological thermoregulation in groups of pregnant sows housed in a kennel system at low temperatures[J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2000, 80(1):1-8.
- [26] CARROLL J A, BURDICK N C, CHASE C C, Jr, et al. Influence of environmental temperature on the physiological, endocrine, and immune responses in livestock exposed to a provocative immune challenge[J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2012, 43(2):146-153.
- [27] XIE Q J, NI J Q, SU Z B. Fuzzy comprehensive evaluation of multiple environmental factors for swine building assessment and control[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2017, 340:463-471.
- [28] SCHMOLKE S A, LI Y Z, GONYOU H W. Effects of group size on social behavior following regrouping of growing-finishing pigs[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2004, 88(1/2):27-38.
- [29] KERR C A, GILES L R, JONES M R, et al. Effects of grouping unfamiliar cohorts, high ambient temperature and stocking density on live performance of growing pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(4):908-915.
- [30] PALKOVI ČOVÁ Z, BROU ČEK J, STRME ŇOVÁ A, et al. Emissions of harmful gases in pig fattening [C]//2012 IX international livestock environment symposium. Valencia: ASABE, 2012.
- [31] SANDEEP K, PATEL B H M, MONDAL S K, et al. Effect of reduced floor space allowances on performance of crossbred weaner barrows[J]. *Indian Journal of Animal Research*, 2015, 49(2):241-247.
- [32] LEFAUCHEUR L, LE DIVIDICH J, MOUROT J, et al. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine[J]. *Journal of Animal Science*, 1991, 69(7):2844-2854.
- [33] PARKER R O, WILLIAMS P E V, AHERNE F X, et al. Serum concentration changes in protein, glucose, urea, thyroxine and triiodothyronine and thermostability of neonatal pigs farrowed at 25 and 10 °C[J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 1980, 60(2):503-509.
- [34] GENTRY J G, JOHNSON A K, MCGLONE J J. The welfare of growing-finishing pigs [M]//FAUCITANO L, ACHAEFER A L. *Welfare of pigs from birth to slaughter*. Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2008:133-159.
- [35] DENG Z Y, ZHANG J W, WU G Y, et al. Dietary supplementation with polysaccharides from *Semen cassiae* enhances immunoglobulin production and interleukin gene expression in early-weaned piglets[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, 87(10):1868-1873.
- [36] COLDITZ I G. Effects of the immune system on metabolism: implications for production and disease resistance in livestock [J]. *Livestock Production Science*, 2002, 75(3):257-268.
- [37] JÄÄSKELÄINEN T, KAUPPINEN T, VESALA K, et al. Relationships between pig welfare, productivity and farmer disposition[J]. *Animal Welfare*, 2014, 23(4):412-443.
- [38] MURTAUGH M P, BAARSCH M J, ZHOU Y L, et al. Inflammatory cytokines in animal health and disease [J]. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 1996, 54(1/2/3/4):45-55.
- [39] WASTELL M E, GARBOSSA C A P, SCHINCKEL A P. Effects of wet/dry feeder and pen stocking density on grow-finish pig performance [J]. *Translational Animal Science*, 2018, 2(4):358-364.
- [40] WIESELER J, MAIER S F, WATKINS L R. *Proinflammatory Cytokines [M]*. Berlin: Springer, 2007:503-508.
- [41] CALLAHAN S R, CROSS A J, DEDECKER A E, et al. Effects of group-size-floor space allowance during the nursery phase of production on growth, physiology, and hematology in replacement gilts[J]. *Journal of Animal Science*, 2017, 95(1):201-211.
- [42] RODRÍGUEZ P, DALMAU A, MANTECA X, et al. Assessment of aversion and unconsciousness during exposure to carbon dioxide at high concentration in lambs[J]. *Animal Welfare*, 2016, 25(1):73-82.
- [43] WOLTER B F, ELLIS M, DE DECKER J M, et al. Effects of double stocking and weighing frequency on pig performance in wean-to-finish production systems [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(6):1442-1450.
- [44] RAULT J L. Social interaction patterns according to

- stocking density and time post-mixing in group-housed gestating sows[J]. *Animal Production Science*, 2016, 57(5):896–902.
- [45] VALROS A, MUNSTERHJELM C, PUOLANNE E, et al. Physiological indicators of stress and meat and carcass characteristics in tail bitten slaughter pigs[J]. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2013, 55(1):75.
- [46] PARROTT R F, MISSON B H. Changes in pig salivary cortisol in response to transport simulation, food and water deprivation, and mixing [J]. *British Veterinary Journal*, 1989, 145(6):501–505.
- [47] BARNETT J L, HEMSWORTH P H, CRONIN G M, et al. A review of the welfare issues for sows and piglets in relation to housing [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2001, 52(1):1–28.
- [48] CALCAGNI E, ELENKOV I. Stress system activity, innate and T helper cytokines, and susceptibility to immune-related diseases[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2006, 1069(1):62–76.
- [49] RENAUDEAU D, FRANCES G, DUBOIS S, et al. Effect of thermal heat stress on energy utilization in two lines of pigs divergently selected for residual feed intake[J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(3):1162–1175.
- [50] MARCO-RAMELL A, PATO R, PEÑA R, et al. Identification of serum stress biomarkers in pigs housed at different stocking densities [J]. *The Veterinary Journal*, 2011, 190(2):e66–e71.

Effects of Stocking Density on Rearing Environment and Growth Performance and Serum Biochemical, Immune, Antioxidant and Stress Indices of Growing Pigs in Winter

XIAO Kequan QU Shengfu FAN Xiaoya GAO Fengxian*

(*Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of stocking density on rearing environment and growth performance and serum biochemical, immune, antioxidant and stress indices of growing pigs in winter. A total of 330 healthy 21 days of age weaner Large White×Landrace (LY) growing pigs with similar body weight ($P>0.05$) were randomly divided into 4 groups with 6 replicates (pens) in each group. Group I was 10 pigs per pen (0.91 m^2 per pig), group II was 12 pigs per pen (0.76 m^2 per pig), group III was 15 pigs per pen (0.61 m^2 per pig), and group IV was 18 pigs per pen (0.51 m^2 per pig). The experiment lasted for 28 days. The results showed as follows: 1) with the stocking density increasing, the temperature and relative humidity were showed an increasing trend, and the concentrations of carbon dioxide (CO_2) and ammonia (NH_3) were gradually increased. On days 14 and 21, the environmental CO_2 and NH_3 concentrations of group IV was significantly higher those of other groups ($P<0.05$). 2) With the stocking density increasing, the average daily feed intake (ADFI) of growing pigs was linearly decreased ($P<0.05$), and the average daily gain (ADG) and feed to gain ratio (F/G) were showed a quadratic curve change ($P<0.05$). Among them, the F/G of group III was significantly lower than that of other groups ($P<0.05$). 3) With the stocking density increasing, the concentrations of triiodothyronine (T_3) and thyroxine (T_4) in serum were linearly decreased ($P<0.05$). 4) With the stocking density increasing, the concentrations of immunoglobulin A (IgA) and immunoglobulin G (IgG) in serum were showed a quadratic curve change ($P<0.05$), and the serum immunoglobulin M (IgM) concentration was linearly changed ($P<0.05$). Among them, the concentrations of IgA and IgG in serum of group I were significantly lower than those of group II ($P<0.05$). With the stocking density

* Corresponding author, professor, E-mail: gaofx1964@163.com

increasing, the serum tumor necrosis factor- α (TNF- α) concentration was showed a quadratic curve change ($P<0.05$). Among them, the serum TNF- α concentration of groups II and III was significantly lower than that of group IV ($P<0.05$). 5) Compared with group III, the activities of catalase (CAT), glutathione peroxidase (GSH-Px) and total antioxidant capacity (T-AOC) of group I were significantly decreased ($P<0.05$). With the stocking density increasing, the serum malondialdehyde (MDA) concentration was showed a quadratic curve change ($P<0.05$), and the serum MDA concentration of group III was significantly lower than that of other groups ($P<0.05$). 6) With the stocking density increasing, the concentrations of adrenocortical hormone (ACTH) and cortisol (COR) in serum firstly decreased and then increased. Among them, there were no significant differences on concentrations of ACTH and COR in serum between groups II and III ($P>0.05$). In conclusion, under this experiment condition, there are no significant differences on most part of growth performance and serum biochemical, immune, antioxidant and stress indices between groups II and III, and considering the utilization of the bar, the stocking density of group III (0.61 m² per pig) is more suitable for the growth of growing pigs (25 to 45 kg) in winter, which has the high growth rate and feed conversion rate and the low body immunological stress. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(1):109-119]

Key words: stocking density; growing pigs; rearing environment; growth performance; stress