

# 饲养密度和玩具对育肥猪生产性能、行为和生理指标的影响

李永振<sup>1,2</sup>, 王朝元<sup>1,2,3\*</sup>, 黄仕伟<sup>1,2,3</sup>, 刘作华<sup>4</sup>, 王浩<sup>4</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083; 2. 农业农村部设施农业工程重点实验室, 北京 100083; 3. 北京市畜禽健康养殖环境工程技术研究中心, 北京 100083; 4. 重庆市畜牧科学院, 重庆 402460)

**摘要:** 为研究饲养密度和玩具对育肥猪生产性能、行为和生理指标的影响及其交互作用, 确定育肥阶段适宜饲养密度范围。该研究基于中国相关标准和生产实际, 采用 3×2 双因素设计 (3 个饲养密度水平×有/无玩具), 分别设置 0.75、1.05 和 1.35 m<sup>2</sup>/头密度水平, 在各饲养密度水平下设置玩具组和空白组。结果表明, 1.35 m<sup>2</sup>/头饲养密度下, 猪的日均质量增长量显著高于其他密度水平, 料重比显著低于 0.75 m<sup>2</sup>/头组 ( $P<0.05$ ); 随着密度升高, 猪只在群体稳定期的躺卧和饮水时长减少, 采食和其他行为时长增加 ( $P<0.05$ ), 猪只体表温度、血清皮质醇和炎性细胞因子浓度均明显升高 ( $P<0.05$ )。设置玩具能够增加猪只在圈栏内行为多样性, 有效减少饮水消耗和异常行为 ( $P<0.01$ ), 显著降低血清 IgG 和炎性细胞因子浓度 ( $P<0.05$ ), 有利于增加采食量和质量增长。饲养密度和玩具在影响育肥猪耗水量、躺卧和采食行为上具有显著的交互作用 ( $P<0.05$ )。基于试验结果和国内外研究分析, 认为在提供福利设施条件下, 1.05~1.35 m<sup>2</sup>/头的密度范围在发挥育肥猪生产性能、提升福利水平和质量效益方面效果更优。

**关键词:** 饲养密度; 福利设施; 育肥猪; 生产性能; 行为; 生理

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.022

中图分类号: S815.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2021)-12-0191-08

李永振, 王朝元, 黄仕伟, 等. 饲养密度和玩具对育肥猪生产性能、行为和生理指标的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(12): 191-198. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.022 http://www.tcsae.org

Li Yongzhen, Wang Chaoyuan, Huang Shiwei, et al. Effects of stocking density and toy provision on production performance, behavior and physiological indexes of finishing pigs[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(12): 191-198. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.12.022 http://www.tcsae.org

## 0 引言

近年来, 动物福利问题逐渐为人们所重视, 生猪福利养殖模式在全球范围快速推广, 各国通过制定标准或法规等方式确保生猪适宜饲养环境, 提高规模化养殖生产性能、健康福利水平。尤其是欧盟等畜牧业发达国家, 已经围绕动物福利问题制定了一系列强制性法令, 如提高群体规模、增加环境丰富度、保证最小占地面积等。

猪的饲养密度是指圈栏内单头猪占有的地面面积或者一定面积内饲养的猪只头数<sup>[1]</sup>, 是规模化生产重要的技术参数, 直接关系到养殖成本, 以及生产性能、健康和福利状况等。实际生产中, 为节约生产成本而提高饲养密度的情况屡见不鲜, 这容易导致猪在贫瘠拥挤环境中自然行为无法正常表达、舍内功能分区混乱、环境条件恶化, 从而影响生产性能发挥。大量研究表明, 过高的饲养密度下猪的质量增长速度和饲料转化率下降、

死淘率增加<sup>[2-3]</sup>, 易发生攻击和异常行为, 免疫系统也可能受影响, 猪肉品质降低<sup>[4-7]</sup>。为解决饲养密度过高和环境贫瘠问题, 欧盟规定养猪生产中要保证最小占地指标、提升圈栏环境丰富度, 如增设垫料、木棍、橡胶等福利设施, 以增加猪在圈栏内行为多样性, 满足自然行为习性需求。目前, 国内外已对增设福利设施的影响开展了较为广泛的研究<sup>[8-10]</sup>, 结果表明适度调节饲养密度和提升圈栏环境丰富度是改善规模养猪福利水平的主要方式, 但对两者之间交互作用的研究非常有限; 另外, 提升环境丰富度对育肥猪饲养空间的需求是否有影响仍然有待明确。

中国在养猪集约化进程中形成了一套包括饲养密度标准在内的技术指标体系, 但国内的饲养密度标准是针对不同生长阶段猪群饲养的推荐值, 范围较为宽泛, 而欧盟等国家则基于猪的不同质量范围强制规定了最低占地面积限值。另外, 现行国家标准《规模猪场建设》<sup>[11]</sup>推荐的生长育肥猪饲养密度为 0.8~1.2 m<sup>2</sup>/头, 是基于传统饲养模式提出的, 未考虑增加福利设施等影响, 是否满足养猪业向健康高效转型发展的迫切需求仍需要深入系统研究。

本文结合中国养猪业实际需求, 研究饲养密度和福利设施对育肥猪生产性能、行为表现和生理指标的影响, 探索二者之间的交互作用规律, 确定适宜的饲养密度范围, 以为养猪生产提供参考。

收稿日期: 2021-03-28 修订日期: 2021-05-20

基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0500506); 重庆市财政专项资金项目 (19520); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系

作者简介: 李永振, 博士生, 研究方向为设施畜禽养殖环境与控制。

Email: yongzhenli@cau.edu.cn

\*通信作者: 王朝元, 教授, 研究方向为设施畜禽养殖过程控制与环境。

Email: gotowchy@cau.edu.cn

中国农业工程学会高级会员: 王朝元 (E041200616S)

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与饲养管理

试验于 2018 年 9—11 月在重庆市某猪场育肥猪舍内进行。试验共持续 53 d, 试验期间舍外环境温度 16~23 ℃, 相对湿度 70%~95%。

试验时, 选择 144 头初始质量为 (57.0±4.4) kg 的三元猪 (杜洛克×长白×大白) 作为对象, 采用 3×2 双

因素试验设计 (3 个饲养密度水平×有/无玩具), 每个处理设置 2 个重复。基于现行标准, 饲养密度设置为 0.75、1.05、1.35 m<sup>2</sup>/头, 将育肥猪按照公母 1:1 的比例随机分配到 12 个圈栏内, 每栏 12 头。每个密度水平选择 1 个圈栏设置 4 套由咬链和星形橡胶组成的“玩具”, 悬挂于漏缝地板上方 0.5 m 处, 共设置 6 栏; 另外 6 个未设置玩具的圈栏为空白组。圈栏布置如图 1 所示。

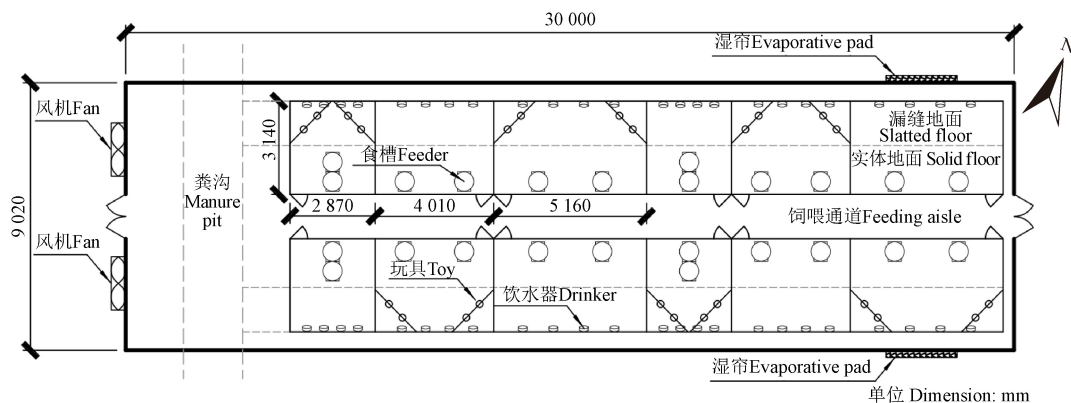


图 1 试验猪舍圈栏布置平面图

Fig.1 Layout of the pen arrangement inside the tested barn

试验猪舍地面为半漏缝地板形式 (45%漏缝地面, 55%实体地面), 每个圈栏内安装 2 个食槽和 4 个饮水器, 自由采食与饮水。通过湿帘风机系统进行舍内通风和温湿度调控。每天 8:00 和 16:00 进行足量饲喂。通过机械刮板清粪系统定期清理粪沟内粪污, 每天 7:00 和 17:00 人工打扫圈栏卫生。

### 1.2 生产性能

测试的指标包括日均采食量 (ADFI)、日均体质量增长量 (ADG)、料重比 (F/G) 和日均耗水量。每周通过可移动单体秤 (精度: 0.5 kg, Meier-Brakenberg, 德国) 对各圈栏内的猪进行质量称量, 记录体重变化, 计算日均体重增长量。每天喂料前称取投放到各圈栏的饲料质量, 同时回收料筒和料盘中剩余饲料并称取质量, 计算各圈栏每天饲料消耗量和日均采食量, 利用日均质量增长量和日均采食量数据计算料重比。通过读取安装在各圈栏饮水管道上流量计 (精度: 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>) 示数, 统计各处理每日饮水消耗量。

### 1.3 行为指标

通过安装在各圈栏上方的高清广角摄像系统自动记录猪群行为, 选择群体稳定后的 1 d (转群后 20 d) 进行统计分析。行为统计前 2 d, 每个圈栏随机挑选 3 头健康猪 (无行动障碍) 进行标记。统计的行为指标包括躺卧、采食、饮水、玩具玩耍、争斗等, 描述如表 1 所示。在统计行为时, 白天时段 (6:00-20:00) 选择每 30 min 的前 10 min, 夜间时段 (0:00-6:00, 20:00-24:00) 选择每 60 min 的前 5 min 的视频录像, 由 1 组经过训练的观察员 (4~5 人) 统计各行指标发生的时长比例 (统计时段内某行为发生的时长占统计总时长的比例) 和频次。

### 1.4 生理指标

#### 1.4.1 体表温度

以猪眼部温度作为衡量体表温度高低的指标。试验

期间, 分别在每周四的 8:00—9:00、11:00—12:00、14:00—15:00 和 17:00—18:00, 使用红外热像仪 (Fotric220s, 上海) 以非接触方式测量猪只眼部温度。各圈栏随机挑选 6 头猪只进行测量, 测量时热像仪与猪眼部距离保持 30~50 cm, 待相机自动聚焦且显示器上温度示数稳定后读取、记录数据, 完成 1 轮温度测量 (72 头猪) 的时长 <20 min。

表 1 猪只目标行为描述<sup>[12-13]</sup>

Table 1 Definition of behaviors of marked pigs

目标行为 Behaviors		行为描述 Behavior definitions
争斗行为 Negative social behavior	打斗	猪只之间恶意啃咬、用头冲撞对方, 时长>3 s。
	攻击	猪只恶意啃咬、用头冲撞其他个体促使被攻击猪只躲避或逃跑。
	逃避	猪只因被其他个体攻击而进行躲避或逃跑。
躺卧 Lying		猪只趴卧或平卧于实体地面或漏缝地板上, 时间>3 s。
玩具玩耍 Toy playing		猪只闻嗅、啃咬或拖拽玩具, 时长>3 s。
采食 Feeding		猪只占据饲料槽位低头闻嗅、获取咀嚼食物, 时长>3 s。
饮水 Drinking		猪只嘴部深入饮水器中饮水, 时长>3 s。

#### 1.4.2 唾液皮质醇浓度

试验期间选择每周日的 9:00—10:00 猪只活动强度较高时段采集每个圈栏猪的混合唾液样本。将唾液采集装置 (棉绳、钢丝绳等组成) 分别固定在每个圈栏栏杆上供猪只自由咀嚼 5~10 min, 待棉绳充分湿润后取下, 收集唾液样本 2~3 mL 至试剂管内, 收集完毕后及时将试剂管密封并临时置于 -20 ℃ 环境中保存。通过冷链运输将样品寄送至南京建成生物工程研究所进行皮质醇浓度检测, 运输过程中样品通过干冰冷冻保存在泡沫保温箱内, 运送时间 <36 h。利用 ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) 猪皮质醇试剂盒检测唾液皮质醇浓度, 其组内和

组间变异系数分别小于 10%和 12%。

1.4.3 血清生理指标

血清生理指标包括血清皮质醇、免疫球蛋白 G、炎性细胞因子（包括白细胞介素-1 $\beta$ ，白细胞介素-6，肿瘤坏死因子- $\alpha$ ）。分别在转群 25 和 53 d 称取质量前采集育肥猪血液样本，根据每栏猪群平均质量随机挑选 3 头猪，由技术员进行前腔静脉采血，1 头猪从绑定到采集到血液样本的时间<2 min，减少应激对血液指标的影响。每头采集 10 mL 血液样本，完毕后在室温下将样本静置至出现分层后分离出血清，并将血清置于 3 500 r/min 转速的离心机内离心 10 min。处理后的样本临时保存在-20  $^{\circ}$ C 环境中，送检地点和方式同唾液皮质醇。利用 ELISA 试剂盒检测血清皮质醇、免疫球蛋白 G 和炎性细胞因子浓度，其组内和组间变异系数分别小于 10%和 12%。

1.5 数据分析

本研究中，采食量、耗水量和唾液皮质醇指标以每个圈栏为统计单位进行衡量，每个处理 2 次重复；其余指标以猪只个体为统计单位，各处理重复次数为采样对象数量。试验数据在 SPSS 22.0 软件进行统计分析，通过单因素方差分析和一般线性模型分别研究饲养密度和福利设施对育肥猪生产性能、行为和生理指标的影响效果及其交互作用。试验结果表现形式为：平均值 $\pm$ 标准差； $P<0.05$  表示处理之间差异显著， $P<0.01$  代表差异极显著。

2 结果与分析

2.1 生产性能

饲养密度和玩具设置对育肥猪生产性能影响如表 2 所示。

无论是否设置玩具，1.05  $\text{m}^2/\text{头}$ 处理的 ADFI 均低于 0.75 和 1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 处理（ $P<0.05$ ）；ADG 和 F/G 在不同密度水平下表现出差异，随着饲养密度降低，ADG 显著增加、F/G 显著减少，其中 1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 空白组 ADG 分别比 0.75 和 1.05  $\text{m}^2/\text{头}$ 处理高 10.0%（ $P<0.01$ ）和 7.7%（ $P<0.05$ ），F/G 则分别低 7.3%（ $P<0.01$ ）和 2.0%（ $P<0.05$ ）。玩具组中各密度水平猪只饮水消耗量相当，而空白组中 1.05  $\text{m}^2/\text{头}$ 组饮水量显著低于另外两组（ $P<0.05$ ）。在同一生活环境中认为猪群间有效饮水量相当，饮水消耗差异主要来自“玩水”行为（拱咬饮水器，但未有效饮水），这是一种常见的刻板行为，通常造成大量饮水浪费。

对比玩具组和空白组数据，0.75 和 1.05  $\text{m}^2/\text{头}$ 密度下，玩具组 ADFI 分别比空白组高 4.8%和 2.7%（ $P>0.05$ ），而 1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 处理玩具组和空白组 ADFI 相当；对于 ADG，玩具组和空白组表现出类似规律，其中 0.75 和 1.05  $\text{m}^2/\text{头}$ 中玩具组 ADG 分别比空白组高 5.5%和 4.4%（ $P>0.05$ ），1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 组则无差异。说明玩具设置对于生产指标具有一定促进效果，且作用效果随饲养面积的减小而增强。另外，设置玩具对于降低 0.75 和 1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 密度下猪只饮水消耗具有显著作用（ $P<0.01$ ）。

饲养密度和玩具设置在采食量、日均质量增长量、料重比指标上未表现明显的交互作用（ $P>0.05$ ），在耗水量上的交互作用显著（ $P<0.001$ ）。设置玩具在 0.75 和 1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 密

度水平上能够显著降低猪饮水消耗量；同时，有利于增加猪只采食量和体重增长量，且作用效果随饲养面积的减小而明显，但交互作用未达到显著水平（分别  $P=0.586$ ， $P=0.483$ ）。

表 2 饲养密度和玩具对育肥猪生产性能的影响  
Table 2 Effects of stocking density and toys on production performance of the pigs

玩具设置 Toy provision	饲养密度 Stocking density/ ( $\text{m}^2\cdot\text{头}^{-1}$ )	日均采食量 Average daily feed intake ADFI/ ( $\text{kg}\cdot\text{头}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	日均质量 增量 Average daily gain ADG/ ( $\text{kg}\cdot\text{头}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )	料重比 Feed/Gain F/G	日均耗水量 Daily water consumption/ ( $\text{kg}\cdot\text{头}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ )
玩具组 Toys group	0.75	3.35 $\pm$ 0.35a*	0.88 $\pm$ 0.11a	3.54 $\pm$ 0.45a	13.5 $\pm$ 6.0a*
	1.05	3.20 $\pm$ 0.37b	0.89 $\pm$ 0.06a	3.36 $\pm$ 0.11a <sub>b</sub>	14.5 $\pm$ 4.6a
	1.35	3.27 $\pm$ 0.38ab	0.92 $\pm$ 0.12a	3.22 $\pm$ 0.34b	15.0 $\pm$ 4.1a*
	平均	3.27 $\pm$ 0.06	0.89 $\pm$ 0.02	3.37 $\pm$ 0.13	14.3 $\pm$ 0.6
空白组 No toy group	0.75	3.19 $\pm$ 0.33ab*	0.84 $\pm$ 0.08b	3.55 $\pm$ 0.36a	18.1 $\pm$ 5.7a*
	1.05	3.12 $\pm$ 0.35b	0.85 $\pm$ 0.10b	3.36 $\pm$ 0.29b	12.9 $\pm$ 2.6b
	1.35	3.27 $\pm$ 0.33a	0.90 $\pm$ 0.06a	3.29 $\pm$ 0.25b	18.0 $\pm$ 6.1a*
	平均	3.19 $\pm$ 0.06	0.87 $\pm$ 0.03	3.40 $\pm$ 0.11	16.3 $\pm$ 2.4
交互作用（P 值） Interacting effects (P values)		0.586	0.483	0.887	<0.001

注：同组中同列数据字母不同代表数据差异显著（ $P<0.05$ ）；“\*”表示在该饲养密度水平下玩具组与空白组数据差异显著（ $P<0.05$ ）；下同。  
Note: Different letters indicate significant differences ( $P<0.05$ ) in the same column within the same group. “\*” indicates that the index is significantly influenced by toy provision ( $P<0.05$ ) at the stocking density level, the same as.

2.2 行为

转群 20 d 时猪的各类行为的时长比例如表 3 所示。由于争斗较少（<0.5%），为便于比较，将其并入“其他”行为中进行分析。结果表明，育肥猪在该时段内以躺卧和采食行为为主，玩具组和空白组行为变化规律不同。玩具组中，随着饲养面积增大，猪的躺卧时长减少，采食、饮水、玩耍等其他活动时长增加，根据表 2 数据也可看出其生长速度有增加趋势。空白组中，躺卧和饮水时长随饲养面积的增大而增加，采食和其他活动时长则相应减少。

表 3 饲养密度和玩具对第 20 天育肥猪行为时长比例的影响  
Table 3 Effects of stocking density and toys on behaviors duration percentage of the pigs on 20<sup>th</sup> day after grouping

玩具设置 Toy provision	饲养密度 Stocking density/ ( $\text{m}^2\cdot\text{头}^{-1}$ )	躺卧 Lying/%	采食 Feeding/%	饮水 Drinking/ %	玩耍 Playing/%	其他 Other/%
玩具组 Toys group	0.75	83.6 $\pm$ 1.5a	5.4 $\pm$ 0.8b*	0.8 $\pm$ 0.2a	3.6 $\pm$ 0.9a	6.6 $\pm$ 1.1a*
	1.05	77.8 $\pm$ 1.4ab	6.8 $\pm$ 0.7ab	0.6 $\pm$ 0.1a	5.8 $\pm$ 0.6a	9.0 $\pm$ 1.6a
	1.35	75.0 $\pm$ 3.5b*	9.0 $\pm$ 1.3a*	1.2 $\pm$ 0.4a	6.2 $\pm$ 1.4a	8.6 $\pm$ 1.3a
空白组 No toy group	0.75	79.5 $\pm$ 1.2a	8.2 $\pm$ 1.2a*	0.3 $\pm$ 0.1b	—	12.0 $\pm$ 1.5a*
	1.05	83.1 $\pm$ 1.2a	6.5 $\pm$ 0.6ab	0.6 $\pm$ 0.1ab	—	9.8 $\pm$ 0.8a
	1.35	84.2 $\pm$ 1.8a*	4.7 $\pm$ 0.7b*	1.2 $\pm$ 0.4a	—	9.9 $\pm$ 1.1a
交互作用（P 值） Interacting effects (P values)		0.018	0.003	0.662	—	0.118

注：“行为时长比例”指某行为发生时长占统计总时长的比例。  
Note: “Behaviors duration percentage” refers to the percentage of the total observation time budget in some behavior.

饲养密度和玩具设置在育肥猪群体稳定期躺卧、采食行为上交交互作用显著（分别  $P=0.018$ ， $P=0.003$ ），在饮水和“其他”行为未表现出明显交互作用（ $P>0.05$ ）。设置玩具可显著增加 0.75  $\text{m}^2/\text{头}$ 水平猪只有效躺卧和 1.35  $\text{m}^2/\text{头}$ 水平采食等活动时长。

## 2.3 生理指标

### 2.3.1 体表温度

除第 49 天外 (可能与降温有关), 不同处理下猪的体表温度变化较为平稳 (图 2), 但不同饲养密度水平之间体表温度差异明显: 随着圈栏面积减小, 育肥猪体表温度明显升高, 特别是  $0.75 \text{ m}^2/\text{头}$  处理的猪只体温显著更高 ( $P<0.01$ ), 说明饲养密度对猪体表散热影响明显。1.05 和  $1.35 \text{ m}^2/\text{头}$  密度下, 玩具组和空白组的猪只体表温度相当;  $0.75 \text{ m}^2/\text{头}$  水平下, 玩具组猪只体表温度稍高于空白组, 但差异不显著 ( $P>0.05$ ), 玩具设置对猪体表温度影响效果不明显。

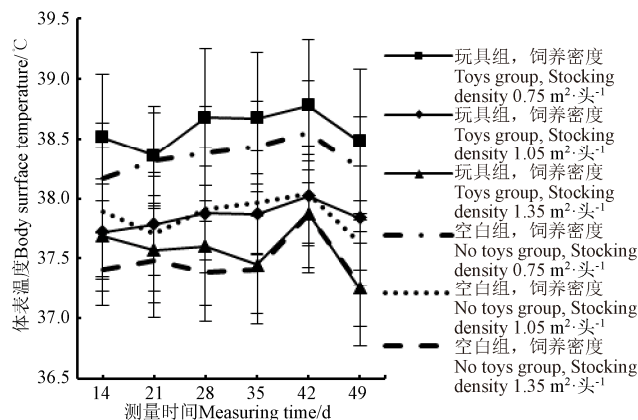


图 2 不同处理猪只体表温度变化

Fig.2 The change of body surface temperature of the pigs

### 2.3.2 唾液皮质醇浓度

整体来看, 测试期间各处理唾液皮质醇浓度未表现出明显变化规律 (图 3)。玩具组整体呈“波浪式”变化, 其中  $1.05 \text{ m}^2/\text{头}$  处理在 37 d 后呈下降趋势。空白组中, 各处理皮质醇浓度在测量前期变化较为平缓, 其中  $0.75 \text{ m}^2/\text{头}$  密度高于另外两密度组, 试验 37 d 各处理浓度均出现一定程度的上升, 之后呈下降趋势, 其中  $1.35 \text{ m}^2/\text{头}$  密度水平上升幅度较大。同一饲养密度水平下, 玩具组和空白组之间皮质醇浓度差异不显著 ( $P>0.05$ )。整体而言, 不同处理之间唾液皮质醇浓度变化规律不明显。

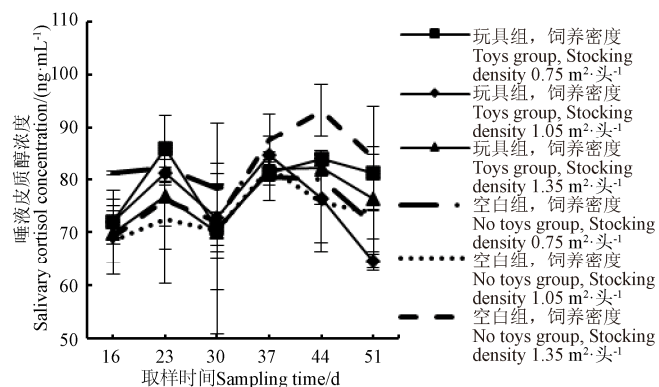


图 3 不同处理猪只唾液皮质醇浓度变化

Fig.3 The change of salivary cortisol concentration of the pigs

### 2.3.3 血清生理指标

本文猪只血清生理指标包括皮质醇 (Cortisol)、免疫球蛋白 G (IgG) 和炎症细胞因子 (白细胞介素-1 $\beta$ 、白

细胞素-6 和肿瘤坏死因子- $\alpha$ , 分别简称 IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$ ), 25 和 53 d 血清生理指标如表 4 所示。

表 4 不同处理猪只血清生理指标比较

Table 4 Comparing of the pigs' physiological indexes among different treatments

生理指标 Physiological indexes	玩具设置 Toy provision	饲养密度 Stocking density/ ( $\text{m}^2 \cdot \text{头}^{-1}$ )	饲养天数 Days of feeding/d	
			25	53
皮质醇 Cortisol ( $\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	玩具	0.75	109.17 $\pm$ 4.66a	93.47 $\pm$ 4.12a
		1.05	98.28 $\pm$ 5.04a	97.99 $\pm$ 4.52a
		1.35	104.41 $\pm$ 3.09a	97.40 $\pm$ 2.11a*
	空白	0.75	94.56 $\pm$ 5.08a	102.43 $\pm$ 5.29a
		1.05	93.32 $\pm$ 5.89a	96.44 $\pm$ 3.01ab
		1.35	106.12 $\pm$ 1.38a	84.29 $\pm$ 5.30b*
免疫球蛋白 G Immunoglobulin G ( $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	玩具	0.75	9.98 $\pm$ 0.46a	9.89 $\pm$ 0.52a
		1.05	9.72 $\pm$ 0.39a	8.84 $\pm$ 0.41a*
		1.35	9.30 $\pm$ 0.43a	9.06 $\pm$ 0.36a
	空白	0.75	10.22 $\pm$ 0.51a	10.27 $\pm$ 0.65a
		1.05	10.45 $\pm$ 0.73a	10.60 $\pm$ 0.53a*
		1.35	9.33 $\pm$ 0.45a	9.465 $\pm$ 0.38a
白细胞介素-1 $\beta$ Interleukin-1 $\beta$ ( $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ )	玩具	0.75	17.53 $\pm$ 1.04a	17.74 $\pm$ 0.59a
		1.05	16.66 $\pm$ 0.88ab	15.59 $\pm$ 0.62b*
		1.35	14.88 $\pm$ 0.32b	16.83 $\pm$ 0.66ab
	空白	0.75	17.79 $\pm$ 1.08a	18.52 $\pm$ 0.65a
		1.05	18.07 $\pm$ 1.47a	18.74 $\pm$ 0.68a*
		1.35	15.78 $\pm$ 0.91a	17.37 $\pm$ 0.60a
白细胞介素-6 Interleukin-6 ( $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ )	玩具	0.75	53.23 $\pm$ 3.93a	50.35 $\pm$ 2.22a
		1.05	51.02 $\pm$ 2.79a	43.45 $\pm$ 1.83b*
		1.35	45.16 $\pm$ 0.68a	46.63 $\pm$ 2.61ab
	空白	0.75	54.11 $\pm$ 3.43a	51.60 $\pm$ 3.01a
		1.05	56.29 $\pm$ 5.30a	53.52 $\pm$ 2.76a*
		1.35	45.32 $\pm$ 1.71a	49.19 $\pm$ 2.36a
肿瘤坏死因子- $\alpha$ Tumor necrosis factor- $\alpha$ ( $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$ )	玩具	0.75	102.14 $\pm$ 6.14a	107.32 $\pm$ 2.91a
		1.05	96.59 $\pm$ 5.15a	97.19 $\pm$ 3.17a*
		1.35	86.90 $\pm$ 1.82a	101.47 $\pm$ 4.45a
	空白	0.75	103.79 $\pm$ 6.21a	110.65 $\pm$ 1.40a
		1.05	104.75 $\pm$ 8.07a	112.45 $\pm$ 4.66a*
		1.35	91.78 $\pm$ 5.28a	107.18 $\pm$ 3.96a

对于皮质醇, 第 25 天空白组和玩具组各饲养密度水平皮质醇浓度未表现明显差异。53 d, 空白组皮质醇浓度随饲养密度的升高而增大,  $0.75 \text{ m}^2/\text{头}$  处理明显高于  $1.35 \text{ m}^2/\text{头}$  处理 ( $P<0.05$ ); 玩具组各饲养密度处理的皮质醇浓度无明显差异 ( $P>0.05$ )。同时, 各密度水平中玩具组和空白组之间皮质醇浓度总体差异不明显 ( $P>0.05$ )。

对于 IgG, 各处理 2 次测量的 IgG 浓度均无显著差异, 且无明显的变化规律。不同饲养密度处理中, 玩具组与空白组之间多数 IgG 浓度无显著差异, 但空白组 IgG 浓度数据在数值上均高于玩具组, 其中  $1.05 \text{ m}^2/\text{头}$  组在 53 d 空白组比玩具组高 19.9% ( $P<0.05$ ), 反映出玩具组猪只体液免疫水平总体高于空白组。

对比 IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 TNF- $\alpha$  数据, 发现 3 种细胞因子浓度变化在玩具组和空白组中表现出相似规律, 即高饲养密度处理促进炎症细胞因子浓度升高, 特别是 IL-1 $\beta$



和 IL-6，玩具组中 25 和 53 d，0.75 m<sup>2</sup>/头组 IL-1 $\beta$  浓度分别比 1.35 和 1.05 m<sup>2</sup>/头高 17.8%和 13.8% ( $P<0.05$ )；53 d 中，0.75 m<sup>2</sup>/头组 IL-6 浓度比 1.05 m<sup>2</sup>/头处理高 15.9% ( $P<0.05$ )。对比各饲养密度水平有无设置玩具 3 种细胞因子浓度，发现在同一饲养密度水平下空白组 IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 TNF- $\alpha$  浓度普遍高于玩具组，其中在 1.05 m<sup>2</sup>/头水平，空白组 53 d 的 IL-1 $\beta$ 、IL-6 和 TNF- $\alpha$  浓度分别比玩具组高 20.2% ( $P<0.01$ )、23.2% ( $P<0.05$ )、15.7% ( $P<0.05$ )。说明增大饲养面积或提供玩具有利于猪免疫水平提高。

2.4 效益分析

根据试验期间饲养成本投入和生猪市场情况核算各处理生产效益情况（表 5），主要包括单头猪只和单位圈栏面积生产效益。其中生猪价格 13.87 元/kg（2018 年 11 月全国活猪平均市场价格，农业农村部畜牧兽医局信息监测处发布）；饲料成本 3.58 元/kg（试验使用饲料价格）；玩具成本 25.00 元/套（玩具组 4 套/栏，折旧率 20%）。

表 5 不同处理生产效益比较

Table 5 Comparing of production benefits among different treatments

指标 Indexes	玩具组饲养密度 Stocking density with toy/(m <sup>2</sup> ·头 <sup>-1</sup> )			空白组饲养密度 Stocking density without toy/(m <sup>2</sup> ·头 <sup>-1</sup> )		
	0.75	1.05	1.35	0.75	1.05	1.35
饲料消耗量 Feed intake/ (kg·头 <sup>-1</sup> )	177.29	169.65	173.52	169.12	165.25	173.47
出栏质量 Slaughter weight/(kg·头 <sup>-1</sup> )	103.75	103.91	105.55	101.31	102.26	104.91
饲料消耗量 Feed intake/(kg·m <sup>-2</sup> )	236.08	161.68	128.51	225.20	157.49	128.48
出栏体质量 Slaughter weight/(kg·m <sup>-2</sup> )	138.15	99.03	78.17	134.90	97.46	77.70
单头效益* Benefit per pig/(元·头 <sup>-1</sup> )	802.65	832.22	841.11	799.72	826.75	834.08
单位面积效益* Benefit per area/(元·m <sup>-2</sup> )	1069.31	793.07	622.49	1064.85	787.96	617.74

注：本处生产效益是指在其他生产成本相同条件下，出栏活猪收益减去饲料消耗和玩具成本。  
Note: The production benefit here refers that the earnings of pigs minus the costs of feed consumption and toys under the same conditions of other production costs.

单头育肥猪生产效益随圈栏面积的增大而逐渐增加，但单位圈栏面积效益明显下降，说明建筑成本对育肥猪生产效益影响较大。同一饲养密度水平，玩具组单头育肥猪和圈栏单位面积生产效益均高于未设置玩具组，其中 1.35 m<sup>2</sup>/头水平下，设置玩具后生产效益提高 7.03 元/头。

3 讨论

3.1 饲养密度与福利设施的影响规律

本文结合中国生产实际，将各处理育肥猪群体规模

控制在 12 头/栏，减小群体规模差异对研究的干扰。结果表明，饲养密度对育肥猪生产性能、行为和生理指标影响显著。试验前期高密度环境中育肥猪饲料消耗量大，随着饲养密度降低，质量增长量和饲料转化率显著增加。多数研究表明育肥猪采食量随饲养密度的升高而减少<sup>[14]</sup>，或受饲养密度影响不显著<sup>[15]</sup>。而本研究中高密度下育肥猪饲料消耗量增加，质量增长速度降低，可能是高密度环境中猪只占据食槽和“拱料”行为较多，造成饲料浪费。在设置玩具条件下，饲养密度对育肥猪耗水量影响显著，其中 1.05 m<sup>2</sup>/头处理显著小于另外 2 密度水平；而在未设置玩具时各密度之间无明显差异，具体原因有待进一步研究。育肥猪各行为发生时长在有无玩具条件下差异显著。未设置玩具时，随着饲养面积的增加，猪只优先选择躺卧空间，其他活动时间相应减少，与前人研究结果一致<sup>[16]</sup>，而设置玩具后则表现出相反规律。群体稳定期，饲养密度升高能够从健康、应激和细胞免疫水平方面对育肥猪生理参数造成不利影响，与前人相关研究结果一致<sup>[17-18]</sup>。同时，饲养密度对唾液皮质醇浓度、血清 IgG 浓度等无显著影响，Jang 等研究发现生长育肥猪在试验第 10 和 14 周血清 IgG 浓度受饲养密度影响较为明显<sup>[19]</sup>，说明饲养密度对育肥猪体液免疫水平的影响可能存在阶段性差异。本研究中饲养密度对不同来源的皮质醇浓度影响存在差异，血清皮质醇作为猪只体内指标更能直观反映其应激状况，而唾液皮质醇受外界影响因素较多，可能在反映猪只应激水平上存在较大误差，这一现象也可能与本研究混合唾液样本的采集方法有关。

福利设施对育肥猪群体稳定期行为选择和生理指标具有显著影响。育肥阶段猪只体重增长较快，活动量下降，躺卧和采食是该阶段猪主要的行为选择。在高密度环境中，设置玩具能够有效减少育肥猪刻板、咬斗等异常行为发生，增加有效躺卧时长；在低密度环境中，猪只采食、玩耍等活动时长增加，一定程度增加猪只活动量。已有研究表明在圈栏内设置福利设施对于减少猪只异常行为效果明显<sup>[20]</sup>。本研究只统计了转群 20 d 育肥猪行为数据，今后需要系统研究分析福利设施对育肥猪行为的影响。设置玩具后育肥猪血清 IgG 和炎性细胞因子浓度均有所降低，福利设施对于提高群体稳定期猪免疫水平有促进效果。已有研究认为提高环境丰富度对猪唾液皮质醇浓度无显著影响<sup>[21-22]</sup>，目前关于环境丰富度对猪免疫健康影响的研究还处于起步阶段，Luo 等同样发现提高环境丰富度会降低猪血清 IgG 浓度<sup>[23]</sup>。设置玩具有利于增加育肥猪采食量，促进质量增长和饲料转化，但效果不显著，席磊等发现设置玩具可显著提高育肥猪生产性能和猪肉品质<sup>[24]</sup>。玩具对猪只健康、生产的影响效果还可能与玩具布置的数量、种类、位置等有关，李伟等系统综述了猪舍不同环境丰富度水平对动物福利、生产、品质等影响<sup>[25]</sup>，关于玩具设置的作用规律还有待系统研究。

目前关于饲养密度和福利设施对生长育肥猪交互作用的研究较为有限。在玩具数量一定的条件下，其空间

占有率随圈栏面积的改变而变化,猪只接触到玩具的机会也随之改变,可能导致玩具在不同饲养面积中的作用效果存在差异。本研究群体稳定期(20 d),随着饲养面积增加,猪只玩具玩耍时长也随之增加,但总体玩耍时长比例已经下降至7%以内。玩具设置有利于增加育肥猪采食量,促进质量增长,其作用效果随圈栏面积的减小而增加;在0.75和1.35 m<sup>2</sup>/头密度水平下,设置玩具可显著降低猪群耗水量,有效减少猪只玩水等异常行为和饮水浪费;同时,不同密度水平上设置玩具对群体稳定期猪行为表现影响明显,高密度环境可增加猪只有效躺卧休息时长,减少因拥挤环境造成的刻板等异常行为,低密度环境增加猪采食、玩耍等时长,一定程度增加猪只活动量。说明在一定空间占有率下,玩具设置通过增加环境选择促进猪只生产性能发挥,有效提高猪群健康和福利水平。Van de Weerd等提出环境丰富度能够有效发挥作用需要满足的4个标准<sup>[26]</sup>。结合本研究内容,认为玩具在圈栏内的空间占有率是发挥其有效性的必要因素,有效的玩具设置有利于发挥育肥猪生产性能和提升健康福利水平,尤其在饲养面积有限的条件下,有利于增加养殖生产的经济性。

### 3.2 育肥猪适宜饲养密度范围

关于育肥阶段适宜饲养密度范围, Kim等通过研究适宜饲养密度对不同阶段猪只生产性能和生理反应影响,认为65~115 kg范围育肥猪适宜饲养密度为0.78~0.80 m<sup>2</sup>/头<sup>[17]</sup>,但该密度范围在本研究中效果较差,可能与饲养方式差异有关。肖克权等通过在不同季节进行小群饲养试验,研究饲养密度对猪群生长性能、生化、应激等指标的影响,认为生长猪在夏季和冬季适宜饲养密度水平分别为1.14和0.61 m<sup>2</sup>/头<sup>[27-28]</sup>。不同研究之间群体规模、饲养方式、季节气候的差异对育肥猪合理饲养密度范围造成影响。本研究中,在0.75~1.05 m<sup>2</sup>/头的高密度范围,虽然单位面积生产效益较高,但育肥猪生长速度和生理健康水平下降明显,设置玩具可明显减少饮水浪费、异常行为发生,提高群体免疫力,减少用药量,促进体重增长,提升生产效益;1.05~1.35 m<sup>2</sup>/头的低密度范围,育肥猪生长速度和饲料转化率明显提高,群体稳定期应激水平下降,免疫力提高,单头猪生产效益增加,提供玩具对于丰富圈栏环境、提升健康水平具有一定促进效果。欧盟对于50和110 kg猪规定的最小占地面积分别为0.55和0.65 m<sup>2</sup>/头,中国相关行业标准对育肥阶段推荐的密度范围在0.8~1.2 m<sup>2</sup>/头<sup>[11]</sup>,在该饲养方式下,相关饲养密度范围符合国内外相关标准。受生产条件限制,试验在生产、行为和部分生理数据采集方式上还较为传统,采集数据量有限,在今后的研究中通过数据智能采集和传输技术,可有效增加样本量,减少人为干扰,对相关研究具有重要意义。

## 4 结 论

1) 饲养密度对育肥猪采食量、体重增长、饲料转化率,转群稳定期猪只躺卧、采食等行为,以及体表温度、血清皮质醇浓度、白细胞介素-1 $\beta$ 和白细胞介素-6浓度等

生理指标影响显著( $P<0.05$ ),增大饲养面积促进育肥猪生产性能、健康和福利水平提升。

2) 玩具设置能够增加育肥猪在圈栏内行为多样性,有效减少饮水浪费和异常行为( $P<0.01$ );增加高密度环境中猪只有效躺卧时长,减少刻板行为发生,显著降低猪只血清IgG和炎性细胞因子浓度,提升机体免疫水平( $P<0.05$ ),有利于增加高密度环境中猪只采食量和体重增长;与饲养密度在影响猪耗水量、躺卧和采食行为上具有交互作用( $P<0.05$ );与传统饲养相比,提供玩具可多产出最高7.03元/头的生产效益。

3) 与1.05和1.35 m<sup>2</sup>/头水平相比,0.75 m<sup>2</sup>/头的高密度环境对育肥猪生产和生理健康影响较大,有必要设置玩具以提高福利水平;育肥猪在1.35 m<sup>2</sup>/头水平中其生产性能、健康福利水平有明显提升,设置玩具有利于猪只行为表达;结合国内外相关研究分析,认为在该饲养方式下,1.05~1.35 m<sup>2</sup>/头的饲养密度范围在发挥育肥猪生产性能、提升动物福利等方面效果更优。

### [参 考 文 献]

- [1] Beauchamp G. Group-size effects on vigilance: A search for mechanisms[J]. Behav Process, 2003, 63(3): 111-121.
- [2] Oh H K, Choi H B, Ju W S, et al. Effects of space allocation on growth performance and immune system in weaning pigs[J]. Livest Sci, 2010, 132(1/3): 113-118.
- [3] Lee J H, Choi H L, Heo Y J, et al. Effect of floor space allowance on pig productivity across stages of growth: A field-scale analysis[J]. Asian Australas J Anim Sci, 2016, 29(7): 739-746.
- [4] Hemsworth P H, Rice M, Nash J, et al. Effects of group size and floor space allowance on grouped sows: Aggression, stress, skin injuries, and reproductive performance[J]. J Anim Sci, 2013, 91(10): 4953-4964.
- [5] Vermeer H M, Greef D K H, Houwers H W J, et al. Space allowance and pen size affect welfare indicators and performance of growing pigs under comfort class conditions[J]. Livest Sci, 2014, 159(1): 79-86.
- [6] Nannoni E, Martelli G, Rubini G, et al. Effects of increased space allowance on animal welfare, meat and ham quality of heavy pigs slaughtered at 160kg[J]. Plos One, 2019, 14(2): 1-14.
- [7] 李毅, 李倩, 王姜, 等. 表面解吸常压化学电离质谱法用于猪肉新鲜度评价[J]. 质谱学报, 2016, 37(3): 273-281.  
Li Yi, Li Qian, Wang Jiang, et al. Evaluation of pork meat freshness using surface desorption atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. J Chin Mass Spectrom Soc, 2016, 37(3): 273-281. (in Chinese with English abstract)
- [8] Nicolau C, Maria F I F, Marina G, et al. Effect of environmental enrichment and herbal compounds-supplemented diet on pig carcass, meat quality traits, and consumers' acceptability and preference[J].

- Animals, 2018, 8(7): 1-12.
- [9] Giuliotti L, Benvenuti M N, Giannarelli A, et al. Effect of different environment enrichments on behaviour and social interactions in growing pigs[J]. *Animals*, 2019, 9(3): 1-9.
- [10] Klaaborg J, Kristensen A R, Brandt P, et al. The effect of pen environment on pen-mate directed behaviour prior to feeding in finisher pigs with intact tails[J]. *Livest Sci*, 2019, 219: 35-39.
- [11] 中国国家标准化管理委员会. 规模猪场建设. GB/T 17824.1—2008[S]. 北京: 全国畜牧业标准化技术委员会, 2008.
- [12] Barnett J L, Cronin G M, McCallum T H, et al. Effects of pen size/shape and design on aggression when grouping unfamiliar adult pigs[J]. *Appl Anim Behav Sci*, 1993, 36(2/3): 111-122.
- [13] Zhou B, Yang X J, Zhao R Q, et al. Effects of tail docking and teeth clipping on the physiological responses, wounds, behavior, growth, and backfat depth of pigs[J]. *J Anim Sci*, 2013, 91(10): 4908-4916.
- [14] Zhang Z F, Li J, Park J C, et al. Effect of vitamin levels and different stocking densities on performance, nutrient digestibility, and blood characteristics of growing pigs[J]. *Asian Australas J Anim Sci*, 2013, 26(2): 241-246.
- [15] Moser R L, Cornelius S G, Jr P J, et al. Response of growing-finishing pigs to decreasing floor space allowance and(or) virginiamycin in diet[J]. *J Anim Sci*, 1985, 61(2): 337-342.
- [16] Schmolke S A, Li Y Z, Gonyou H W, et al. Effect of group size on performance of growing-finishing pigs[J]. *J Anim Sci*, 2003, 81(4): 874-878.
- [17] 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.
- [18] 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.
- Zhou Kai, Liu Chunlong, Wu Xin. Research progress of effects of stocking density on growth performance and health of pigs under intensive production model[J]. *Chin J Anim Nutr*, 2019, 31(1): 57-62. (in Chinese with English abstract)
- [19] Jang J C, Jin X H, Hong J S, et al. Effects of different space allowances on growth performance, blood profile and pork quality in a grow-to-finish production system[J]. *Asian-Australasian J Anim Sci*, 2017, 30(12): 1796-1802.
- [20] Li Y Z, Wang C Y, Huang S W, et al. Space allowance determination by considering its coeffect with toy provision on production performance, behavior and physiology for grouped growing pigs[J]. *Livest Sci*, 2021, 243: 1-8.
- [21] 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]. *Appl Anim Behav Sci*, 2016, 174: 42-50.
- [22] Scollo A, Gottardo F, Contiero B, et al. Does stocking density modify affective state in pigs as assessed by cognitive bias, behavioural and physiological parameters[J]. *Appl Anim Behav Sci*, 2014, 153: 26-35.
- [23] Luo L, Van Dixhoorn I D E, Reimert I, et al. Effect of enriched housing on levels of natural (auto-)antibodies in pigs co-infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) and *Actinobacillus pleuropneumoniae*[J]. *Vet Res*, 2017, 48(1): 1-10.
- [24] 席磊, 施正香, 李保明, 等. 环境丰富度对肉猪生产性能及胴体性状的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8): 187-192.
- Xi Lei, Shi Zhengxiang, Li Baoming, et al. Effects of environmental enrichment on performance and carcass traits of finishing pigs[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2007, 23(8): 187-192. (in Chinese with English abstract)
- [25] 李伟, 龙定彪, 刘作华, 等. 浅析猪舍饲环境丰富度现状及发展方向[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(8): 109-113.
- Li Wei, Long Dingbiao, Liu Zuohua, et al. Analysis of the present state and development direction of environmental enrichment in the piggery[J]. *Chin J Anim Sci*, 2017, 53(8): 109-113. (in Chinese with English abstract)
- [26] Van de Weerd H A, Day J E L. A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems[J]. *Appl Anim Behav Sci*, 2009, 116(1): 1-20.
- [27] 肖克权, 范小丫, 高凤仙, 等. 夏季饲养密度对生长猪生长性能及血清生化、免疫、抗氧化和应激指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(8): 3551-3560.
- Xiao Kequan, Fan Xiaoya, Gao Fengxian, et al. Effects of stocking density on growth performance and serum biochemical, immune, antioxidant and stress indices of growing pigs in summer[J]. *Chin J Anim Nutr*, 2019, 31(8): 3551-3560. (in Chinese with English abstract)
- [28] 肖克权, 屈圣富, 高凤仙, 等. 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[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(1): 109-119.
- Xiao Kequan, Qu Shengfu, Gao Fengxian, et al. Effects of stocking density on rearing environment and growth performance and serum biochemical, immune, antioxidant and stress indices of growing pigs in winter[J]. *Chin J Anim Nutr*, 2020, 32(1): 109-119. (in Chinese with English abstract)

## Effects of stocking density and toy provision on production performance, behavior and physiological indexes of finishing pigs

Li Yongzhen<sup>1,2</sup>, Wang Chaoyuan<sup>1,2,3\*</sup>, Huang Shiwei<sup>1,2,3</sup>, Liu Zuohua<sup>4</sup>, Wang Hao<sup>4</sup>

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Engineering in Structure and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100083, China; 3. Beijing Engineering Research Center on Animal Healthy Environment, Beijing 100083, China; 4. Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing 402460, China)

**Abstract:** Stocking density and toy provision are the major measures widely-used to improve environmental enrichment for pig welfare farming. However, the specific interaction of stocking density and toy provision is still lacking. In this study, a 3×2 arrangement (three stocking density levels × with /without toys) was designed to explore the interaction of stocking density and toys on the production performance, behavior, and physiology indexes of finishing pigs, thereby determining a proper stocking density for the production with/without toy provision in China. A field experiment was conducted in a growing-finishing pig house in Chongqing City from September to November 2018. Stocking density was set at three levels of 0.75, 1.05, and 1.35 m<sup>2</sup>/pig. A total of 144 finishing pigs with an initial average body weight of 57.0±4.4kg were also randomly assigned into 12 pens with 12 pigs in each pen. Four chewing toys were suspended in each pen for the toy provision group. The results showed that the average daily gain (ADG) of finishing pigs with a 1.35 m<sup>2</sup>/pig stocking density was 10.0% and 7.7% higher than that of 0.75 m<sup>2</sup>/pig and 1.05 m<sup>2</sup>/pig ( $P<0.05$ ) in the groups without toy settings, whereas, the F/G (feed/gain) was 7.3% and 2.0% lower, respectively ( $P<0.05$ ). Meanwhile, the average daily feed intake (ADFI) of pigs housed in 1.05 m<sup>2</sup>/pig was lower than that of two stocking densities ( $P<0.05$ ). Pigs spent less time on lying and drinking with the increase of stocking density, while more time on feeding and other behaviors when the groups stabilized ( $P<0.05$ ). There was a significant increase in the surface temperature of the pig body, serum cortisol, and inflammatory cytokines concentrations ( $P<0.05$ ). Toy provision inside pens enhanced the behavior diversity, while effectively decreased the water consumption and abnormal behaviors ( $P<0.01$ ), where there was a significant decrease in the serum IgG and inflammatory cytokines concentration ( $P<0.05$ ). The IL-1 $\beta$ , IL-6 and TNF- $\alpha$  concentrations of pigs housed in 1.05 m<sup>2</sup>/pig with toy provision at the 53<sup>rd</sup> day were 20.2% ( $P<0.01$ ), 23.2% ( $P<0.05$ ) and 15.7% ( $P<0.05$ ) higher than those without toys, respectively. Moreover, pigs with toy provision gained more weight and feed intake, especially at lower space allowance environment (0.75 m<sup>2</sup>/pig). Consequently, a significant correlation was observed in the stocking density and toy provision on water consumption, lying, and feeding behaviors ( $P<0.05$ ), indicating that the space occupation of toys inside the pen played an essential role to improve the welfare of finishing pigs. A relatively lower stocking density was beneficial to the weight gain, feed conversion, welfare, and health level of finishing pigs. Consequently, toy provision can meet the behavior expression needs of pigs, while greatly reduce the abnormal behaviors and stress levels in barren and crowded environments. In addition, it is relatively limited for better welfare finishing pig via enriching the pen environment and the space allowance in the commercial farming level. Therefore, stocking densities between 1.05 and 1.35 m<sup>2</sup>/pig with toy provision can achieve better performance on the production, welfare, and efficiency under the various conditions for finishing pigs.

**Keywords:** stocking density; environmental enrichment; finishing pigs; production performance; behavior; physiology