

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202012079

# 运前灌服谷氨酰胺对运输应激肉仔鸡生长性能、 激素水平及抗氧化功能的影响\*

李明晔, 李 越, 郝玉鹏, 孙泽威, 仲庆振\*\*

(吉林农业大学 动物科学技术学院, 吉林省动物营养与饲料科学重点实验室,  
动物生产及产品质量安全教育部重点实验室, 吉林 长春 130118)

**摘要:**【目的】研究运输前灌服谷氨酰胺(Gln)对运输应激肉仔鸡生长性能、血液激素水平及抗氧化能力的影响。【方法】选取健康初生AA肉仔鸡300只,随机分为5组,A、B组灌服1 mL生理盐水,C、D和E组按肉鸡体重分别灌服1 mL质量分数为0.50、0.75和1.00 g/kg的Gln。随后B、C、D和E组进行5 h的运输处理,A组为对照组。5 h运输应激处理后,称重并采集血液测定血清皮质酮(CORT)、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)、乳酸脱氢酶(LDH)、肾上腺皮质激素(ACTH)和活性氧(ROS)水平;此后常规饲养14 d,测定采食量和日增重。【结果】(1)5 h运输应激后,B组显著失重( $P<0.05$ ),而灌服Gln肉仔鸡则未出现失重。饲养至7日龄时,运输应激B组肉仔鸡平均日增重、平均采食量和饲料转化率仍显著低于对照组( $P<0.05$ ),但灌服不同剂量Gln可有效改善肉仔鸡平均日增重和平均采食量,其中D组平均采食量与饲料转化率恢复到了对照组水平。14日龄时,运输应激B组肉仔鸡平均日增重、平均采食量和饲料转化率仍显著低于对照组( $P<0.05$ ),灌服不同剂量Gln均可有效提高肉仔鸡平均日增重和平均采食量( $P<0.05$ );其中D组平均日增重和平均采食量与E组平均日增重可恢复到对照组水平,而饲料转化率仍低于对照组( $P<0.05$ )。 (2)与对照组相比,运输应激可导致B组血清CORT、ACTH、ROS、MDA和LDH水平显著升高( $P<0.05$ ),而GSH-Px、SOD和CAT活性显著下降( $P<0.05$ ),运前灌服不同剂量Gln可改善上述激素水平和酶的活性,其中C组MDA水平并没有显著改善( $P>0.05$ ),D组肉仔鸡的ROS水平可恢复至对照组水平。【结论】5 h运输会导致肉仔鸡生长性能下降,血液激素水平和抗氧化能力发生改变;运前灌服Gln可有效缓解运输应激造成的上述影响,其中0.75 g/kg的灌服水平改善效果较好。

**关键词:** 谷氨酰胺; 运输应激; 肉仔鸡; 生长性能; 血液激素水平; 抗氧化

中图分类号: S 831.1 文献标志码: A 文章编号: 1004-390X (2021) 05-0820-06

## Effects of Glutamine Administration before Transportation on the Growth Performance, Hormone Level and Antioxidant Function of Broilers after Transportation Stress

LI Mingye, LI Yue, HAO Yupeng, SUN Zewei, ZHONG Qingzhen

(Jilin Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, Key Laboratory of Animal Production,  
Product Quality and Security of Ministry of Education, College of Animal Science and Technology,  
Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

收稿日期: 2020-12-31 修回日期: 2021-04-21 网络首发时间: 2021-10-19 14:08:37

\*基金项目: 吉林省教育厅“十三五”科学技术项目(JJKH 20200349KJ); 国家自然科学基金青年基金项目(31601982)。

作者简介: 李明晔(1995—),女,吉林长春人,在读硕士研究生,主要从事动物营养与环境领域研究。

E-mail: 1971498801@qq.com

\*\*通信作者 Corresponding author: 仲庆振(1976—),女,吉林四平人,博士,副教授,主要从事家禽营养研究。E-mail: qingzhenzhong@163.com

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.s.20211019.0916.002.html>



**Abstract:** [ **Purpose** ] To study the effects of glutamine (Gln) administration before transportation on growth performance, blood hormone levels and antioxidant capacity of stressed broilers.

[ **Method** ] 300 healthy AA newborn broilers were selected and randomly divided into five groups. Group A and B were given 1 mL of normal saline, while group C, D and E were given 1 mL of normal saline with the concentration of 0.50, 0.75 and 1.00 g Gln per kg body weight of broilers respectively. Subsequently B, C, D and E were transported for five hours, and group A was the control group. After five hours of stress treatment, the chicks were weighed and blood samples were collected to assess the levels of corticosterone (CORT), malondialdehyde (MDA), glutathione peroxidase (GSH-Px), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), lactate dehydrogenase (LDH), adrenocorticosteroid (ACTH) and reactive oxygen species (ROS). During the followed 14 days routine feeding, food intake and daily weight gain were determined. [ **Result** ] (1) After five hours of transportation stress, weight loss was significantly observed in group B ( $P<0.05$ ), but no weight loss was observed in broilers administrated Gln. At seven days of age, the average daily gain and average feed intake and feed efficiency of broilers in group B were significantly lower than those in control group ( $P<0.05$ ), but compared with group B, Gln administration improved the average daily gain and average feed intake of broilers ( $P<0.05$ ), the average feed intake and feed efficiency of the broilers in group D restored to the similar level of the control group. At fourteen days of age, the average daily gain, feed intake and feed efficiency of broilers in groups B were still significantly lower than those in control group ( $P<0.05$ ), the improvement of Gln administration on the average feed intake and average daily gain was still observed ( $P<0.05$ ), especially group D and E had restored to the level of control group, but the feed efficiency of group D and E was still lower than those in control group ( $P<0.05$ ). (2) Compared with the control group, transport stress significantly increased the levels of CORT, ACTH, ROS, MDA and LDH in serum ( $P<0.05$ ), while the activities of GSH-PX, SOD and CAT in serum were significantly decreased ( $P<0.05$ ). Gavage of Gln before transport significantly improved the above hormone levels and enzyme activities ( $P<0.05$ ), except for MDA concentration in group C ( $P>0.05$ ), ROS concentration in group D was restored to the level of control group. [ **Conclusion** ] Five hours transportation stress had negative impact on broiler growth performance, blood hormone level and antioxidant capacity. Administration of Gln before transportation could effectively alleviate the above effect of transportation stress, and 0.75 g/kg of Gln was the recommended dose to relieve the stress.

**Keywords:** glutamine; transport stress; broiler; growth performance; blood hormone levels; oxidation resistance

雏鸡运输是现代养鸡生产中重要的环节,运输过程中难以避免的运输应激可导致肉鸡动物福利降低、代谢紊乱和死亡率增加<sup>[1]</sup>。如何有效缓解运输应激对动物的影响是当前畜牧生产中面临的普遍问题。谷氨酰胺 (Gln) 可通过提高机体抗氧化应激功能来预防癌症、脂肪肝、心肌梗死和肠炎等疾病的发生<sup>[2-3]</sup>; 基础饲料中添加 Gln 可显著缓解应激对肉仔鸡<sup>[4]</sup>、蛋鸡<sup>[5]</sup>和鹅<sup>[6]</sup>等禽类的生

理健康、生产性能以及养分消化代谢的影响。Gln 作为少数几种能够促进激素分泌和提高免疫机能的必需氨基酸,具有剂量小和见效快的特点<sup>[7]</sup>,是满足雏鸡运输应激保护剂的理想条件。但运输前使用 Gln 对雏鸡运输应激的保护作用尚未明确,因此本试验通过运输前灌服不同质量分数的 Gln,探究 Gln 对运输应激后肉仔鸡生长性能、血液激素水平以及抗氧化能力的影响,旨在

为 Gln 在缓解雏鸡运输应激中的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物选择与试验设计

试验采用单因子完全随机设计，选取健康 AA 初生肉用雏鸡 300 只，随机分成 A、B、C、D 和 E 5 个处理组，每组 5 个重复，每个重复 12 只。运输前 A、B 组口腔灌服 1 mL 生理盐水，C、D 和 E 组分别按肉鸡体重口腔灌服 1 mL 质量分数为 0.50、0.75 和 1.00 g/kg 的 Gln。随后 B、C、D 和 E 组雏鸡分别放在 1 个 60 cm×48 cm 专用运输箱中进行 5 h 的运输处理，运输箱内温度控制在 29 ℃，湿度控制在 60%，平均时速 70 km/h，A 组 (CK) 不做运输处理。5 个处理组保持相同的温热条件和密度等饲养环境。

1.2 饲养管理

饲养试验在吉林农业大学动物饲养中心进行。饲养方式为笼养，试验日粮为肉仔鸡商品日粮 (购自吉林森鹏饲料有限公司)，饲养期间鸡只自由采食及饮水，每天饲喂 3 次；舍内温度、湿度、光照及免疫均按 AA 肉鸡管理手册进行。

1.3 样品采集

5 h 运输结束后，各组每个重复分别取 6 只 AA 肉仔鸡进行颈静脉采血，2 500 r/min 离心 15 min，制备血清，-20 ℃ 保存待测。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能指标

出壳后运输 5 h，试验第 7 和 14 天，对 AA

肉鸡进行空腹称重，计算平均日增重 (ADG)。试验期间每天记录投料量和剩料量，用来计算平均采食量 (ADFI) 及料重比 (F/G)。

1.4.2 血液指标测定

血清 CORT、MDA、GSH-Px、SOD、ROS、ACTH、LDH 和 CAT 均采用试剂盒测定，操作步骤按照试剂盒说明书进行，以上试剂盒均购买自上海酶联生物科技有限公司。

1.5 数据统计分析

试验数据采用 IBM SPASS Statistic 20 的一般线性模型进行方差分析，结果用“平均值±标准差”表示， $P<0.05$  表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡生长性能的影响

如表 1 所示：5 h 运输应激处理后，B 组显著失重 ( $P<0.05$ )，灌服不同质量分数 Gln 的 C、D 和 E 3 组体失重无显著变化。7 日龄时，运输应激处理 B 组肉仔鸡平均日增重和平均采食量均显著低于对照组，但与 B 组相比，运前灌服不同剂量 Gln 肉仔鸡平均日增重和平均采食量则显著提高 ( $P<0.05$ )，其中 D 组平均采食量恢复到了对照组水平；运输应激处理后，B 组肉仔鸡料重比显著升高，但与 B 组相比运前灌服不同剂量 Gln 可使其得到改善，其中 D 组料重比达到了对照组水平。饲养到 14 日龄时，B、C 组肉仔鸡平均日增重和采食量仍显著低于对照组，但 D 组已经与对照组无显著差异；而灌服不同质量分

表 1 运前灌服谷氨酰胺对运输应激肉仔鸡生长性能的影响  
Tab. 1 Effect of glutamine administration before transportation on the growth performance of broiler chickens after transportation stress

| 处理<br>treatments | 运输 5 h 后<br>5 hours after transportation |                     |                     | 7 日龄<br>7 days of age         |                                       |                         | 14 日龄<br>14 days of age       |                                       |                         |
|------------------|------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
|                  | 初生重/g<br>birth weight                    | 体重/g<br>body weight | 失重/g<br>loss weight | 平均日增重/g<br>average daily gain | 平均日采食量/g<br>average daily feed intake | 料重比<br>feed/weight gain | 平均日增重/g<br>average daily gain | 平均日采食量/g<br>average daily feed intake | 料重比<br>feed/weight gain |
| A                | 42.99±0.91                               | 42.51±0.84          | 0.48±0.17 b         | 17.21±0.97 a                  | 22.37±0.13 a                          | 1.30±0.04 b             | 28.37±1.04 a                  | 44.54±1.13 a                          | 1.57±0.06 c             |
| B                | 43.91±1.40                               | 42.70±1.18          | 1.12±0.29 a         | 14.75±0.52 d                  | 20.79±0.42 c                          | 1.41±0.11 a             | 25.57±0.78 c                  | 41.94±0.96 c                          | 1.64±0.03 a             |
| C                | 43.68±0.86                               | 42.90±0.79          | 0.78±0.20 b         | 15.38±0.37 c                  | 21.39±0.37 b                          | 1.40±0.23 a             | 26.38±0.71 b                  | 42.72±0.46 b                          | 1.62±0.06 b             |
| D                | 43.36±0.98                               | 42.65±0.91          | 0.71±0.20 b         | 16.60±0.52 b                  | 22.07±0.38 a                          | 1.33±0.21 b             | 27.83±0.42 a                  | 44.52±1.10 a                          | 1.60±0.07 b             |
| E                | 43.08±0.84                               | 42.25±1.01          | 0.83±0.17 b         | 15.59±0.37 c                  | 21.51±0.51 b                          | 1.38±0.19 a             | 27.26±0.35 a                  | 44.88±0.88 b                          | 1.61±0.03 b             |

注：A、B 两组灌服 1 mL 生理盐水，C、D 和 E 组分别以肉鸡体重 0.50、0.75 和 1.00 g/kg 的标准灌服 1 mL Gln 生理盐水溶液；同列数据标不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )；下同。

Note: Groups A and B were given with 1 mL normal saline solution, while groups C, D and E were given with 1 mL Gln normal saline solution at 0.50, 0.75 and 1.00 g per kg body weight of chicks respectively; data in the same column with different letters indicate significant difference ( $P<0.05$ ); the same as below.

数 Gln 组料重比虽有所改善, 但仍显著高于对照组。

2.2 运前灌服谷氨酰胺对运输应激肉仔鸡血液激素水平的影响

如表 2 所示: 5 h 运输处理后 B 组肉仔鸡 CORT 和 ACTH 显著升高, 但与 B 组相比运前灌服 Gln 会降低二者含量, 灌服 0.50 g/kg 并无明显保护作用, 灌服 0.75 和 1.00 g/kg 保护作用明显, 但仍高于 A 组。

2.3 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡抗氧化功能的影响

如表 3 所示: 与对照组相比, 运输应激导致 B 组肉仔鸡血清 MDA、ROS 和 LDH 含量显著升高, 但与 B 组相比运前灌服不同剂量 Gln 可降低其血清浓度, 其中 D 组 ROS 水平与对照组无显

著差异; 运输应激会导致 B 组血液 GSH-Px、SOD 和 CAT 活性显著下降, 运前灌服 Gln 可使其含量显著升高, 其中 D 组与未运输 A 组差异不显著。

表 2 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡血液激素水平的影响

Tab. 2 Effect of glutamine administration before transportation on the blood hormone levels of broilers after transportation stress ng/mL

| 处理 treatments | 血清皮质酮 CORT   | 肾上腺皮质激素 ACTH |
|---------------|--------------|--------------|
| A             | 47.99±0.89 c | 80.00±1.91 c |
| B             | 59.54±0.92 a | 89.80±2.19 a |
| C             | 56.78±1.12 a | 87.15±1.07 a |
| D             | 54.33±0.92 b | 83.76±2.06 b |
| E             | 55.29±0.91 b | 84.72±1.21 b |

注/Note: CORT. corticosterone; ACTH. adrenal cortex hormone.

表 3 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡抗氧化功能的影响  
Tab. 3 Effect of glutamine administration before transportation on the antioxidant function of broilers after transportation stress

| 处理 treatments | 丙二醛含量/ (nmol·mL <sup>-1</sup> ) MDA content | 活性氧含量/ (IU·mL <sup>-1</sup> ) ROS content | 乳酸脱氢酶含量/ (IU·mL <sup>-1</sup> ) LDH content | 谷胱甘肽过氧化物酶活性/(ng·mL <sup>-1</sup> ) GSH-Px activity | 超氧化物歧化酶活性/ (ng·mL <sup>-1</sup> ) SOD activity | 过氧化氢酶活性/ (ng·mL <sup>-1</sup> ) CAT activity |
|---------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| A             | 11.70±0.35 d                                | 767.98±16.14 c                            | 388.51±11.60 d                              | 512.86±17.30 a                                     | 250.14±11.83 a                                 | 3.61±0.53 a                                  |
| B             | 15.43±0.29 a                                | 1 063.02±13.20 a                          | 580.79±8.19 a                               | 357.90±16.03 c                                     | 100.88±4.28 c                                  | 1.73±0.56 c                                  |
| C             | 14.98±0.39 ab                               | 901.25±16.71 b                            | 528.49±9.29 bc                              | 406.62±8.56 b                                      | 171.35±9.56 b                                  | 2.76±0.59 b                                  |
| D             | 12.81±0.30 c                                | 804.65±22.36 bc                           | 508.91±5.87 c                               | 474.21±12.76 a                                     | 234.85±8.81 a                                  | 3.44±0.51 a                                  |
| E             | 12.81±0.30 c                                | 899.2±21.03 b                             | 543.49±7.83 b                               | 404.23±14.84 b                                     | 166.10±2.75 b                                  | 2.82±0.48 b                                  |

注/Note: MDA. malondialdehyde; ROS. reactive oxygen species; LDH. lactate dehydrogenase; GSH-Px. glutathione peroxidase; SOD. superoxide dismutase; CAT. catalase.

3 讨论

3.1 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡生长性能的影响

肉鸡发生应激时, 机体增强对脂肪、碳水化合物和蛋白质等的分解代谢, 即产生更多的能量用于抵抗应激, 表现为热散发、心跳加快、呼吸加速和不停跑动等<sup>[8]</sup>; 抵抗应激的营养物质消耗相当于减少了机体用于生长发育、增重和免疫完善的营养供给, 进而间接地使鸡群的生产性能受到影响, 表现出发育不良、成活率降低、增重速度减慢和饲料报酬降低<sup>[9]</sup>。本试验的运输应激处理也导致了同样的现象发生。Gln 可防止胃肠道黏膜萎缩, 促进机体对营养物质的吸收, 有效保护支持肠道结构, 减少消化道不良反应从而提高机体采食量来促进生长<sup>[10]</sup>; 还可用来抵抗病原微生物侵袭, 提高机体免疫力, 减轻疾病发生率,

保证动物的正常生长发育<sup>[11]</sup>; 同时, Gln 能通过提升生长激素水平来促进机体生产性能<sup>[12]</sup>。Gln 能有效缓解应激反应且能够改善应激状态如热应激、低温应激和循环热应激下动物的生长性能<sup>[13]</sup>。DAI 等<sup>[14]</sup>发现在日粮中添加 1.0%~2.0% Gln 可通过改善热应激状态下肉鸡的抗氧化能力来促进肉鸡的生长发育, 在肉仔鸡早期日粮中添加适宜水平的 Gln 可以提高肉仔鸡采食量、日增重并降低料质量比。张柏林等<sup>[15]</sup>研究表明: 饲料添加 Gln 有利于促进肉鸡生长性能, 这与本试验结果一致。本试验发现: 遭受 5 h 运输处理后, 雏鸡失重较高, 而运前灌服 Gln 可显著缓解雏鸡失重情况, 饲养到 14 日龄时, 运输处理肉鸡的体重显著低于对照组, 而灌服 0.75 g/kg Gln 的雏鸡可保持与对照组相近的体重, 且提高运输应激雏鸡的采食量和平均日增重。



### 3.2 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡血液激素水平的影响

动物血液指标可反映动物体内物质代谢及组织器官的生理机能状况<sup>[16]</sup>。动物发生应激时, 主要特征是增强神经内分泌反应, 以下丘脑—垂体—肾上腺皮质激素增高为显著特征, 所以 CORT 和 ACTH 水平是衡量应激反应的重要指标<sup>[17-18]</sup>。ACTH 是肾上腺皮质活性的主要调节者, 可用于评估肾上腺皮质功能, 应激状态会使 ACTH 分泌升高。本研究发现: 与对照组相比, Gln 可以显著降低血液 CORT 和 ACTH 含量, 运输前灌服 Gln 能够缓解运输应激对 AA 肉鸡血液中 CORT 和 ACTH 的影响, 维持其稳定性。由此可见, Gln 可调控肉鸡血液中的激素水平, 有利于维持 AA 肉鸡血液中激素水平的稳定。

### 3.3 运前灌服谷氨酰胺对运输应激后肉仔鸡抗氧化功能的影响

Gln 能够影响机体内 GSH-Px、CAT 和 SOD 活性, 促进 GSH 合成, 从而提高和维持机体内还原型 GSH 水平, GSH-Px 活性可反映机体受氧化物侵害的程度<sup>[19]</sup>。CAT 是黑素细胞内清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的主要酶, SOD 可以阻止氧自由基对细胞导致的损伤, 有效修复受损伤细胞, 并恢复自由基导致的氧化损伤。本研究发现: 运前灌服 Gln 可提高雏鸡体内 GSH-Px、CAT 和 SOD 活性。GSH-Px 活性降低可导致自由基清除能力下降, 自由基与脂质反应生成的 MDA 含量增多, 间接反映机体受到氧化物侵害, MDA 的存在会毒害细胞膜系统蛋白质和 DNA, 最终导致细胞膜的降解和细胞功能的丧失<sup>[20-21]</sup>。高含量 ROS 攻击肠道内皮细胞和肠上皮细胞的糖类、脂类、蛋白质和核酸, 导致肠细胞氧化损伤。LDH 是糖代谢中丙酮酸无氧酵解为乳酸的催化酶, 血液中 LDH 含量升高说明热应激时机体无氧酵解过程加强<sup>[22]</sup>。在本试验中, 与对照组相比, 运输前灌服 Gln 可显著提高雏鸡血液中 GSH-Px、SOD 和 CAT 的活性, 降低 MDA、ROS 和 LDH 含量, 提高机体抗氧化能力。由此表明: Gln 作为一种营养调控剂可以有效调节血液中氧化应激指标, 保护家禽运输应激肠道氧化损伤。

## 4 结论

5 h 的运输应激显著降低肉仔鸡生长性能,

导致血液激素水平以及抗氧化能力发生改变, 运输前灌服 Gln 可有效缓解运输应激带来的影响, 其中 0.75 g/kg 质量分数较适宜。

### [参考文献]

- [1] YUE H Y, ZHANG L, WU S G, et al. Effects of transport stress on blood metabolism, glycolytic potential, and meat quality in meat-type yellow-feathered chickens[J]. Poultry Science, 2010, 89(3): 413. DOI: 10.3382/ps.2009-00550.
- [2] PI D A, LIU Y L, SHI H F, et al. Dietary supplementation of aspartate enhances intestinal integrity and energy status in weanling piglets after lipopolysaccharide challenge[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2014, 25(4): 456. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2013.12.006.
- [3] HE L Q, WU J, TANG W J, et al. Prevention of oxidative stress by  $\alpha$ -ketoglutarate via activation of CAR signaling and modulation of the expression of key antioxidant-associated targets *in vivo* and *in vitro*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(43): 11273. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b04470.
- [4] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1006-267x.2011.04.022.
- [5] 段晓燕. 谷氨酰胺(Gln)对免疫应激蛋鸡经济性状和免疫功能影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [6] 仲庆振, 王丹, 孙泽威, 等. 急性热应激期间鹅血清生化指标和相关激素变化规律的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2013, 49(17): 74. DOI: 10.3969/j.issn.0258-7033.2013.17.018.
- [7] 汪泉华. 丙氨酰谷氨酰胺治疗重症急性胰腺炎的临床疗效[J]. 临床合理用药杂志, 2020, 13(8): 61. DOI: 10.15887/j.cnki.13-1389/r.2020.24.024.
- [8] 李慧. 运输应激对雏鸡的危害及应对措施[J]. 现代畜牧科技, 2016(2): 77. DOI: 10.3969/j.issn.1673-1921.2016.02.070.
- [9] DUAN J L, YIN J, REN W K, et al. Dietary supplementation with L-glutamine and L-aspartate alleviates oxidative stress in weaned piglets challenged with hydrogen peroxide[J]. Amino Acids, 2016, 48: 53. DOI: 10.1007/s00726-015-2065-3.
- [10] 李佳琦, 孙丽侠, 肖双双, 等. 谷氨酰胺对热应激肉鸡生长性能和血细胞指标的影响[J]. 安徽科技学院学报, 2019, 33(6): 29. DOI: 10.19608/j.cnki.1673-8772.2017.0733.
- [11] 李柯汝, 纪君波, 孙建华, 等. 谷氨酰胺对冬毛期水貂生长性能、血清生化指标及抗氧化性能的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(2): 161. DOI: 10.19556/j.0258-7033.20200324-06.
- [12] 胡洪, 张丹, 闻爱友, 等. 谷氨酰胺对循环热应激肉鸡(22~28日龄)生长性能和肌肉品质的改善作用[J]. 畜牧与饲料科学, 2017, 38(4): 17. DOI: 10.16003/j.cnki.issn1672-5190.2717.04.006.
- [13] HEYLAND D, MUSCEDERE J, WISCHMEYER P E,

- et al. A randomized trial of glutamine and antioxidants in critically ill patients[J]. *New England Journal of Medicine*, 2013, 368(16): 1489. DOI: [10.1056/NEJMoa1212722](https://doi.org/10.1056/NEJMoa1212722).
- [14] DAI S F, WANG L K, WEN A Y, et al. Dietary glutamine supplementation improves growth performance, meat quality and colour stability of broilers under heat stress[J]. *British Poultry Science*, 2009, 50(3): 333. DOI: [10.1080/00071660902806947](https://doi.org/10.1080/00071660902806947).
- [15] 张柏林, 刘宁, 刘汝杰, 等. 饲料添加谷氨酰胺对黔东南小香鸡生长性能免疫性能及肠道黏膜免疫的影响[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(11): 5158. DOI: [10.3969/j.issn.1006-206x.2020.11.021](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-206x.2020.11.021).
- [16] KHAN R U, ZIAUR R M, JAVED I, et al. Serum antioxidants and trace minerals as influenced by vitamins, probiotics and proteins in broiler breeders[J]. *Journal of Applied Animal Research*, 2014, 42(3): 249. DOI: [10.1080/09712119.2013.822815](https://doi.org/10.1080/09712119.2013.822815).
- [17] 许利凡. 运输对夏南牛血液主要APPs、激素及细胞因子水平的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [18] DUAN Y J, FU W Y, WANG S, et al. Effects of tonic immobility (TI) and corticosterone (CORT) on energy status and protein metabolism in pectoralis major muscle of broiler chickens[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2014, 169: 90. DOI: [10.1016/j.cbpa.2013.12.019](https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.12.019).
- [19] 宋芳杰, 王连生, 徐奇友. 谷氨酰胺及其前体物对松浦镜鲤组织抗氧化能力及血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(2): 627. DOI: [10.3969/j.issn.1006-267x.2016.02.039](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2016.02.039).
- [20] 李贞明, 余苗, 崔艺燕, 等. 柑橘提取物对肉鸡运输应激后血浆生化指标、激素水平和抗氧化功能的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2020, 47(9): 2816. DOI: [10.16431/j.cnki.1671-7236.2020.09.014](https://doi.org/10.16431/j.cnki.1671-7236.2020.09.014).
- [21] 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. DOI: [10.3969/j.issn.1004-6364.2007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-6364.2007).
- [22] 董淑丽, 王占彬, 雷雪芹, 等. 热应激对动物血液生化指标的影响[J]. *家畜生态*, 2004, 25(2): 54. DOI: [10.3969/j.issn.1673-1182.2004.02.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-1182.2004.02.018).

责任编辑: 何承刚

(上接第 819 页)

- [23] MORDHORST B R, BENNE J A, CECIL R F, et al. Improvement of *in vitro* and early *in utero* porcine clone development after somatic donor cells are cultured under hypoxia[J]. *Molecular Reproduction and Development*, 2019, 86(5): 558. DOI: [10.1002/mrd.23132](https://doi.org/10.1002/mrd.23132).
- [24] WELLS D N, LAIBLE G, TUCKER F C, et al. Coordination between donor cell type and cell cycle stage improves nuclear cloning efficiency in cattle[J]. *Theriogenology*, 2003, 59(1): 45. DOI: [10.1016/s0093-691x\(02\)01273-6](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(02)01273-6).
- [25] ZHAI Y H, LI W, ZHANG Z R, et al. Epigenetic states of donor cells significantly affect the development of somatic cell nuclear transfer (SCNT) embryos in pigs[J]. *Molecular Reproduction and Development*, 2018, 85(1): 26. DOI: [10.1002/mrd.22935](https://doi.org/10.1002/mrd.22935).
- [26] ROH S, SHIM H, HWANG W S, et al. *In vitro* development of green fluorescent protein (GFP) transgenic bovine embryos after nuclear transfer using different cell cycles and passages of fetal fibroblasts[J]. *Reproduction Fertility and Development*, 2000, 12(1/2): 1. DOI: [10.1071/rd00021](https://doi.org/10.1071/rd00021).
- [27] LIU H J, PENG H, LIU F, et al. The expression of  $\beta$ -galactosidase during long-term cultured goat skin fibroblasts and the effect of donor cell passage on *in vitro* development of nuclear transfer embryos[J]. *In Vitro Cellular and Developmental Biology Animal*, 2016, 52(5): 555. DOI: [10.1007/s11626-015-9984-x](https://doi.org/10.1007/s11626-015-9984-x).

责任编辑: 何承刚