

方桂友, 郭庆, 刘景, 等. 低蛋白质氨基酸平衡饲粮添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (11): 1407-1414.

FANG G Y, GUO Q, LIU J, et al. Effects of Amino Acid-balanced Low-Protein Diet Supplemented with Glutamate and Arginine on Growth and Serum Indicators of Weaned Piglets [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 37 (11): 1407-1414.

低蛋白质氨基酸平衡饲粮添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响

方桂友¹, 郭庆¹, 刘景¹, 林长光^{1,2}, 董志岩^{1*}

(1. 福建省农业科学院畜牧兽医研究所, 福建 福州 350003; 2. 福建光华百斯特生态农牧发展有限公司, 福建 福州 350003)

摘要:【目的】探讨较大程度降低饲粮粗蛋白质 (Crude protein, CP) 水平后添加必需氨基酸、谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪生长性能、腹泻率和血液生化指标的影响。【方法】选用 192 头 (26±2 d) 健康的杜长大三元杂交断奶仔猪, 随机分成 4 个处理组, 每组设 6 个重复, 每个重复 8 头猪。I 组为对照组, 饲粮 CP 水平 21.16%; II 组为低 CP (15.97%) 补充必需氨基酸 (L-赖氨酸、DL-蛋氨酸、L-苏氨酸、L-色氨酸、L-缬氨酸、L-异亮氨酸) 饲粮; III 组在 II 组基础上添加 1.5% 谷氨酸, IV 组在 II 组基础上添加 1.5% 谷氨酸和 1.0% 精氨酸。试验期 16 d, 试验结束时, 采集断奶仔猪结束体重、耗料量、腹泻天数和血液样品, 测定仔猪日增重、料重比、腹泻率及血浆生化指标。【结果】仔猪平均日增重 (ADG) II 组显著低于 I 组、III 组和 IV 组 ($P<0.05$), III 组、IV 组与 I 组间差异不显著 ($P>0.05$)。平均日采食量 (ADFI) 各组间差异均不显著 ($P>0.05$)。料重比 II 组显著高于其他处理组 ($P<0.05$)。仔猪腹泻率 II 组显著低于 I 组 ($P<0.05$), III 组和 IV 组均极显著低于 I 组 ($P<0.01$), 显著低于 II 组 ($P<0.05$)。仔猪血浆乳酸脱氢酶 (LDH)、碱性磷酸酶 (ALP)、谷丙转氨酶 (GPT) 和谷草转氨酶 (GOT) 活性各组间差异均不显著 ($P>0.05$), 仔猪血浆二胺氧化酶 (DAO) 活性 II 组比 I 组显著升高 ($P<0.05$), III 组和 IV 组均显著低于 II 组 ($P<0.05$), III 组和 IV 组与 I 组相比均差异不显著 ($P>0.05$)。血浆尿素氮 (PUN) 浓度 II 组显著低于 I 组、III 组和 IV 组 ($P<0.05$)。血浆 CCK 浓度 III 组和 IV 组均显著高于 I 组和 II 组 ($P<0.05$), 血浆 IGF-I 浓度 IV 组显著高于 I 组和 II 组 ($P<0.05$), I 组、II 组和 III 组间差异不显著 ($P>0.05$)。【结论】将饲粮 CP 水平降低至 15.97%, 断奶仔猪生长性能受到不利影响, 肠道屏障通透性受到不同程度影响, 但能降低断奶仔猪腹泻率和血浆 PUN 浓度; 添加谷氨酸后, 能够恢复断奶仔猪生长性能, 提高胃肠激素水平。因此, 断奶后饲喂低蛋白质饲粮并添加重要必需氨基酸和谷氨酸可减少断奶仔猪腹泻, 降低肠黏膜屏障通透性, 是一种可行的饲喂策略。

关键词: 谷氨酸; 精氨酸; 生长性能; 血液指标; 低蛋白质饲粮; 断奶仔猪

中图分类号: S 828

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 11-1407-08

Effects of Amino Acid-balanced Low-Protein Diet Supplemented with Glutamate and Arginine on Growth and Serum Indicators of Weaned Piglets

FANG Guiyou¹, GUO Qing¹, LIU Jing¹, LIN Changguang^{1,2}, DONG Zhiyan^{1*}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine Research, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China; 2. Fujian Guanghua Best Eco-Agriculture Development Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350003, China)

Abstract: 【Objective】Effects of a forage with reduced protein and a supplement of essential amino acids, glutamate, and arginine on the growth, diarrhea rate, and serum indicators of weaned piglets were studied. 【Method】One-hundred-ninety-two healthy (26±2)-day-old crossbred piglets (Duroc × Landrace × Large White) were randomly divided into a control and 3

收稿日期: 2022-04-12 初稿; 2022-08-01 修改稿

作者简介: 方桂友 (1972-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事养猪生产新技术研究 (E-mail: faasfgy@163.com)

共同第一作者: 郭庆 (1970-), 男, 高级畜牧师, 主要从事动物营养研究 (E-mail: guoqinghl@126.com)

* 通信作者: 董志岩 (1965-), 男, 研究员, 主要从事猪饲料营养研究与开发 (E-mail: 2936237922@qq.com)

基金项目: 福建省科技计划公益类专项 (2020R10260011); 福建省科技重大专项 (2021NZ029023-5)

treatment groups. Each group comprised 6 replicates of 8 piglets. They were fed for 16 days with the following forages containing 21.16% crude protein (CP) as control (Group 1), low-protein of 15.97% CP supplemented with the essential amino acids including L-Lys, DL-Met, L-Thr, L-Thr, L-Val, and L-Ile (Group 2), 15.93% CP with the same added essential amino acid plus 1.5% glutamate (Group 3), and 15.95% CP with the added essential amino acids plus 1.5% glutamate and 1.0% arginine (Group 4). At end of the feeding, body weight, forage consumption, number of days with diarrhea, and blood samples of the piglets were collected for daily gain, feed to weight ratio, diarrhea rate, and plasma biochemicals and hormones determinations. 【Result】 The average daily weight gain (ADG) of the piglets in Group 2 was significantly lower than those in other groups ($P<0.05$). There were no significant ADG differences among those 3 groups, nor the average daily feed intake (ADFI) among all groups ($P>0.05$). The feed/gain (F/G) of Group 2 was significant higher than other groups ($P<0.05$). The diarrhea rate of Group 2 piglets was significantly lower than that of Group 1; Group 3 and Group 4 extremely significantly lower than that of Group 1; and Group 3 and Group 4 significantly lower than that of Group 2 ($P<0.05$). The activities of serum LDH, ALP, GPT, and GOT among the 4 groups did not differ significantly ($P>0.05$). The DAO of Group 2 animals was significantly higher than that of Group 1; Group 3 and Group 4 significantly lower than Group 2; while Group 3 and Group 4 not significant differed from Group 1 ($P>0.05$). The PUN of Group 2 was significantly lower than the other 3 groups ($P<0.05$). The CCK of Group 3 and Group 4 were significantly higher than those of Group 1 and Group 2 ($P<0.05$). No significant differences on IGF-1 were found among piglets of Group 1, Group 2, and Group 3, but that of Group 4 higher than those of Group 1 and Group 2 ($P<0.05$). 【Conclusion】 The reduction of CP to 15.97% in forage could adversely affect the growth as well as the intestinal barrier permeability to varying degrees of the weaned piglets. However, it also reduced the diarrhea rate and plasma PUN of the weaned piglets. Since the addition of glutamate in diet restored the growth and improved the levels of gastrointestinal hormones of piglets, feeding piglets an essential amino acid-balanced, low-protein diet with the supplementation of glutamate could be a plausible strategy to mitigate the occurrences of diarrhea and interference on the intestinal mucosal barrier permeability in the animals after weaning.

Key words: Glutamate; arginine; growth performance; serum indicators; low-protein diet; weaned piglets

0 引言

【研究意义】我国规模猪场仔猪断奶时间一般为 3~4 周龄, 仔猪断奶时受到剧烈的生理、环境和营养应激, 相对于心理和环境应激, 营养应激影响最大^[1,2], 营养方面尤其是断奶仔猪饲料中占比较高的豆粕, 其所含的大豆球蛋白 (Glycinin) 和 β -伴大豆球蛋白 (β -conglycinin) 是引起肠道超敏反应的主要抗原, 造成仔猪小肠绒毛受损, 引起断奶仔猪消化吸收障碍和腹泻, 给生产带来较大的经济损失^[3]。加上许多规模猪场采用仔猪断奶后留在原栏圈饲养几天的模式, 增加了仔猪被细菌和毒素感染的机会, 加重肠道损伤。肠道损伤表现为仔猪采食量降低、肠黏膜功能受损、消化吸收不良、腹泻等诸多问题, 因此, 保护断奶仔猪肠道健康是缓解断奶应激的一个关键点^[4]。传统措施主要是在饲料中添加饲用抗生素, 但是抗生素的过度使用引发了耐药性、药物残留和环境污染等问题。我国自 2020 年 7 月 1 日起禁止抗生素生长促进剂 (中药类除外) 在饲料中添加^[5], 相关替抗技术的研究成为动物营养领域的热点。【前人研究进展】氨基酸 (Amino acids, AA)

平衡的低蛋白质饲料是改善仔猪肠道健康、降低断奶腹泻的一种可靠技术。已有研究证明, 补充必需氨基酸 (Essential amino acids, EAA), 包括赖氨酸 (Lys)、蛋氨酸 (Met)、苏氨酸 (Thr) 和色氨酸 (Trp), 饲料粗蛋白质 (CP) 水平可以降低 2~4 个百分点不影响猪的生长性能, 而过多降低饲料 CP 水平, 即使补充缬氨酸 (Val)、异亮氨酸 (Ile)、组氨酸 (His)、苯丙氨酸 (Phe) 等合成 AA 以满足猪对 EAA 的需要, 仍显著影响仔猪的生长性能, 抑制仔猪肠道发育^[6,7]。主要原因有: 1) 饲料 CP 水平下降程度越大, 可能引起的 EAA 种类与数量缺乏越多^[6]; 2) 正常饲料蛋白质的氨基酸模型不能简单应用到低蛋白质饲料中^[8]; 3) 动物需要一定量的完整蛋白质或小肽才能达到最佳的生长效率^[9]。但近期的研究认为, 降低饲料 CP 水平时仅平衡 EAA 会导致非必需氨基酸 (Non-essential amino acids, NEAA) 的缺乏, 引起大量 EAA 在肝脏中代谢转化为 NEAA, 造成 EAA 的严重浪费、缺乏或比例不平衡^[10]。因此, 考虑 EAA 营养需要的同时需要添加 NEAA, 特别是功能性氨基酸, 如谷氨酸和精氨酸。谷氨酸 (Glutamate, Glu) 是一种功能性氨基酸, 在细胞代

谢和生理调节方面具有多种重要作用，是小肠黏膜生长和更新的能量物质^[11]，能缓解氧化应激和毒素引起的肠道损伤^[12]，是维持肠道健康的关键因素。精氨酸（Arginine, Arg）是幼龄哺乳动物的 EAA，在蛋白质合成和尿素循环代谢中发挥着重要的生理功能，是合成一氧化氮的前体物，对维持肠道结构与功能的完整、机体免疫和抗氧化应激方面有着重要作用^[13]。【本研究切入点】关于谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪生长性能、肠道结构及免疫功能等方面已有较多的研究^[14,15]，但在较低蛋白质饲料中二者单一或联合添加对断奶仔猪生长的影响则鲜有报道。【拟解决的关键问题】本试验旨在较大幅度降低断奶仔猪饲料 CP 水平及平衡 EAA 的基础上，研究单一或联合添加 Glu 或 Arg 对断奶仔猪生产性能、肠道屏障功能的影响，为断奶仔猪低蛋白质饲料应用 Glu 或 Arg 提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物的选择、分组与管理

2021 年 7 月在某猪场开展饲养试验。试验选用遗传背景相似、健康状况良好的断奶仔猪 192 头，平均断奶日龄为 (26 ± 2) d，平均初始体重为 (6.72 ± 0.36) kg。依据性别相同、体重相近的原则分成 4 个处理组，每组含 6 个重复（栏），每个重复 8 头猪（公母各 4 头），预试期 3 d，预饲期间所有猪只饲喂同一种断奶过渡饲料；预饲结束时，对仔猪进行逐头称重，上耳牌标示，试验期 16 d。试验猪饲养于一座双列式保育猪舍，塑料漏粪地面，每个猪栏约 6 m^2 ，配备一个圆形铸铁料桶和一个乳头式饮水器，自由采食粉料，自由饮水。试验期间试验猪的饲养管理及防疫工作按照猪场的操作规程进行。

1.2 试验设计与试验饲料

采用单因子随机试验设计，试验设 4 个组，I 组（对照组）为常规蛋白质组，饲料 CP 水平为 21.16%，II 组、III 组和 IV 组为较低蛋白质组，饲料 CP 水平分别为 15.97%、15.93% 和 15.95%，较低蛋白质饲料按照质量比赖氨酸（Lys）：蛋氨酸+胱氨酸（Met+Cys）：苏氨酸（Thr）：色氨酸（Trp）：缬氨酸（Val）：异亮氨酸（Ile）=100:60:65:20:68:60 来补充 Lys、Met、Thr、Trp、Val 和 Ile 的需要量；III 组在 II 组基础上另外补充 1.50% 谷氨酸；IV 组在 II 组基础上补充 1.50% 谷氨酸和 1.00% 精氨酸。试验饲料参照 NRC（2012）5~10 kg 猪营养需要量进行配制，各组饲料除 CP 和 AA 水平不同外，其他营养素

组成和含量均相同，试验饲料组成与营养水平见表 1。

1.3 样品采集

饲料样品：在配制试验料时，以处理组为单位从每个包装袋各取 150 g 饲料，混匀后按照四分法收集饲料样品，冷藏保存待测饲料粗蛋白质含量。每种试验料分别取 2 个样品，表 1 中饲料 CP 含量为 2 个样品测定值的平均值。

血液样品：试验期结束称重后，每个重复选取接近平均体重的 2 头仔猪（1 头公猪和 1 头母猪），前腔静脉采集血液约 5 mL，置于含肝素钠（肝素抗凝， $20 \text{ IU} \cdot \text{mL}^{-1}$ ）的离心管中，血液样品室温静置 1 h，经过 3500 g 离心 15 min，制备血浆，并于 -20°C 保存备用。

粪便样品：在试验的第 11~13 天连续 3 d 于早晨饲喂前采用直肠收集法采集粪样少量于 5 mL 冻存管中，放入液氮迅速冷冻，之后转移至 -80°C 冰箱保存待测。

1.4 指标测定

1.4.1 生长性能指标测定 于试验开始第 1 天及最后 1 天，以重复为单位，仔猪在禁喂 16 h（只给饮水）条件下进行逐头称重，计算仔猪的平均日增重（Average daily weight gain, ADG）。以重复为单位记录每天采食量，统计每个重复的耗料量，计算仔猪的平均日采食量（Average daily feed intake, ADFI）及料重比（Feed to gain ratio, F/G）。试验期间每天 8:00、10:00、14:00 和 16:00 专人负责观察仔猪排泄情况，记录仔猪腹泻的头次和天数，以栏为单位统计仔猪腹泻率。

腹泻率/% = $(\text{仔猪腹泻天数} \times \text{腹泻仔猪头数}) / (\text{试验仔猪总头数} \times \text{正试期天数}) \times 100$ 。

1.4.2 血浆生化指标测定 血浆乳酸脱氢酶（LDH）、碱性磷酸酶（ALP）、谷丙转氨酶（GPT）和谷草转氨酶（GOT）活性采用酶联免疫吸附试验法（ELISA）测定，检测仪器为 DG5033A 酶标仪（南京华东电子集团医疗装备有限责任公司）。血浆二胺氧化酶（ADO）浓度采用分光光度计测定，血浆尿素氮（PUN）浓度采用二乙酰肼法测定，仪器为 UNICO-UV2000 分光光度计 [尤尼柯（上海）仪器有限公司]，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所，操作方法按试剂盒说明书进行。

1.4.3 血浆激素指标测定 血浆胰岛素样生长因子 1（IGF-1）和血浆胆囊收缩素（CCK）采用酶联免疫吸附试验法（ELISA）测定，试剂盒购自南京建成生物工程研究所，检测方法按试剂盒说明书进行，仪器为 DG5033A 酶标仪（南京华东电子集团医疗装备

表 1 饲料组成与营养水平 (风干基础)

Table 1 Nutritional composition of basal diets (air-dry basis)
(单位: %)

项目 Items	I 组 (CK) Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV
原料 Ingredient				
玉米 Corn	35.12	48.00	47.00	45.00
豆粕 Soybean meal	15.00	6.30	6.20	6.60
膨化大豆 Extruded soybean	18.00	11.00	12.00	12.00
麦麸 Wheat bran		1.70		
鱼粉 Fish meal	7.00	7.00	7.00	7.00
乳清粉 Whey powder	16.00	16.00	16.00	16.00
蔗糖 Sucrose	2.00	2.00	2.00	2.00
柠檬酸 Citric acid	2.00	2.00	2.00	2.00
豆油 Soybean oil	2.50	2.26	2.56	3.15
石粉 Lime stone	0.30	0.32	0.23	0.47
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.54	0.72	0.82	0.60
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.08	0.08	0.08	0.08
L-赖氨酸盐酸盐 L-lysine·HCl	0.03	0.47	0.46	0.46
DL-蛋氨酸 DL-methionine	0.09	0.24	0.24	0.24
L-苏氨酸 L-threonine	0.03	0.23	0.23	0.23
L-色氨酸 L-tryptophan	0.01	0.08	0.08	0.08
L-缬氨酸 L-valine		0.16	0.16	0.15
L-异亮氨酸 L-isoleucine		0.14	0.14	0.14
L-谷氨酸 L-glutamate			1.50	1.50
L-精氨酸 L-arginine				1.00
①预混料 Premix	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
②营养水平 Nutrient levels				
消化能 Digestible energy/ (MJ·kg ⁻¹)	14.99	14.42	14.39	14.39
净能 Net energy/ (MJ·kg ⁻¹)	10.55	10.54	10.53	10.54
粗蛋白质 Crude protein	21.16	15.97	15.93	15.95
标准回肠可消化氨基酸 Standardized ileal digestible amino acids				
赖氨酸 Lys	1.30	1.30	1.30	1.30
蛋氨酸 Met	0.46	0.54	0.54	0.54
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.78	0.78	0.78	0.78
苏氨酸 Thr	0.85	0.85	0.85	0.85
色氨酸 Trp	0.26	0.26	0.26	0.26
缬氨酸 Val	0.97	0.88	0.88	0.88
异亮氨酸 Ile	0.88	0.78	0.78	0.78
亮氨酸 Leu	1.66	1.32	1.32	1.32
谷氨酸 Glu	3.60	2.67	4.15	4.16
精氨酸 Arg	1.36	0.95	0.95	1.95

①每千克饲料提供: 维生素A 12 500 IU, 维生素D₃ 2 500 IU, 维生素E 80.00 mg, 维生素K₃ 3.00 mg, 维生素B₁ 2.50 mg, 维生素B₂ 10.00 mg, 维生素B₆ 3.00 mg, 维生素B₁₂ 0.035 mg, 烟酸 30.00 mg, 泛酸 15.00 mg, 叶酸 0.45 mg, 生物素 0.50 mg, 铁 140 mg, 铜15 mg, 锌140 mg, 锰30 mg, 碘0.50 mg, 硒0.25 mg; ②粗蛋白质为实测值, 其他营养指标为计算值。

① Premix provided following nutrients per kg of forage: VA 12 500 IU, VD₃ 2 500 IU, VE 80.00 mg, VK₃ 3.00 mg, VB₁ 2.50 mg, VB₂ 10.00 mg, VB₆ 3.00 mg, VB₁₂ 0.035 mg, nicotinic acid 30.00 mg, pantothenic acid 15.00 mg, folic acid 0.45 mg, biotin 0.50 mg, Fe 140.00 mg, Cu 15.00 mg, Zn 140.00 mg, Mn 30.00 mg, I 0.50 mg, Se 0.25 mg; ② CP is a measured value; others, calculated.

有限责任公司)。

1.5 数据统计分析

采用 Excel 软件对试验数据进行统计处理, 用 SPSS26.0 统计软件进行方差分析, 用 Duncan 氏法进行多重差异显著性比较, 试验结果采用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 对断奶仔猪生长性能和腹泻率的影响

从表 2 可知, 断奶仔猪日增重 II 组比 I 组下降 6.79%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组分别比 I 组升高 0.75% 和 0.19%, 差异不显著 ($P>0.05$), III 组和 IV 组分别比 II 组升高 8.10% 和 7.49%, 差异显著 ($P<0.05$), I 组、III 组和 IV 组间差异不显著 ($P>0.05$)。断奶仔猪料重比 II 组比 I 组升高 6.47%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组均比 I 组下降 0.72%, 差异不显著 ($P>0.05$), III 组和 IV 组分别比 II 组下降 6.76% 和 6.76%, 差异显著 ($P<0.05$), I 组、III 组和 IV 组间差异不显著 ($P>0.05$)。腹泻率 II 组比 I 组下降 35.51%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组比 I 组分别下降 58.95% 和 56.03%, 差异极显著 ($P<0.01$), III 组和 IV 组比 II 组下降 36.34% 和 31.83%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组间差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2 对断奶仔猪血浆生化指标的影响

由表 3 可知, 断奶仔猪血浆 LDH、ALP、GPT 和 GOT 活性 I 组、II 组、III 组和 IV 组间差异不显著 ($P>0.05$); 血浆 DAO 活性 II 组比 I 组升高 21.00%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组比 II 组分别下降 18.17% 和 21.72%, 均差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组与 I 组相比均差异不显著 ($P>0.05$)。PUN 浓度 II 组比 I 组下降 46.26%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组比 II 组升高 69.57% 和 79.13%, 差异均显著 ($P<0.05$), I 组、III 组和 IV 组间差异均不显著 ($P>0.05$)。

2.3 对断奶仔猪血浆激素指标的影响

由表 4 可知, 断奶仔猪血浆 IGF-1 质量浓度 II 组比 I 组下降 9.42%, 差异显著 ($P<0.05$), III 组、IV 组比 II 组分别升高 9.75% 和 14.64%, 差异显著 ($P<0.05$), I 组、III 组和 IV 组间差异不显著 ($P>0.05$)。血浆 CCK 浓度 III 组和 IV 组比 I 组分别升高 32.17% 和 30.76%, 差异均显著 ($P<0.05$), III 组和 IV 组比 II 组分别升高 30.18% 和 28.79%, 差异均显著 ($P<0.05$), I 组与 II 组之间、III 组与 IV 组间差异均不显著 ($P>0.05$)。

表 2 低蛋白质饲料添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪生长性能和腹泻率的影响
Table 2 Effect of low-protein diet supplemented with glutamate and arginine on growth and diarrhea rate of weaned piglets

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV
初始体重 IBW/kg	6.95±0.23	6.85±0.26	6.98±0.32	7.07±0.35
结束体重 FBW/kg	12.25±0.57	11.79±0.65	12.32±0.76	12.38±0.72
平均日增重 ADG/ (g·d ⁻¹)	331.25±38.62 a	308.75±42.13 b	333.75±48.26 a	331.88±47.47 a
平均日采食量 ADFI/ (g·d ⁻¹)	460.48±37.55	457.62±36.48	460.63±42.39	459.28±51.13
料重比 F/G	1.39±0.25 b	1.48±0.19 a	1.38±0.21 b	1.38±0.22 b
腹泻率 Diarrhea rate/%	5.21±2.35 Aa	3.65±1.04 ABb	1.96±1.62 Bc	2.17±0.98 Bc

同行数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)，相同字母或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)，下表同。

Data with different lowercase letters on same row indicate significant difference at $P < 0.05$; those with different capital letters, extremely significant difference at $P < 0.01$; those with same or no letter, no significant difference at $P > 0.05$. Same for tables below.

表 3 低蛋白质饲料添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪血浆生化指标的影响
Table 3 Effect of low-protein diet supplemented with glutamate and arginine on serum indicators of weaned piglets

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV
乳酸脱氢酶 LDH/(U·L ⁻¹)	2058.12±250.54	2029.82±154.37	1960.14±238.70	2060.04±236.78
碱性磷酸酶 ALP/(U·L ⁻¹)	17.06±3.28	21.28±2.50	21.49±1.86	18.85±3.64
谷丙转氨酶 GPT/(U·L ⁻¹)	16.51±1.74	19.03±1.02	16.76±1.25	15.77±0.93
谷草转氨酶 GOT/(U·L ⁻¹)	8.36±0.48	9.76±0.48	9.58±0.73	10.43±1.13
二胺氧化酶 DAO/(U·L ⁻¹)	17.24±2.25 b	20.86±1.34 a	17.07±1.14 b	16.33±1.23 b
尿素氮 PUN/(mmol·L ⁻¹)	2.14±0.40 a	1.15±0.29 b	1.95±0.40 a	2.06±0.29 a

表 4 低蛋白质饲料添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪血浆激素指标的影响
Table 4 Effect of low-protein diet supplemented with glutamate and arginine on serum hormone indicators of weaned piglets

项目 Items	I 组 Group I	II 组 Group II	III 组 Group III	IV 组 Group IV
胰岛素样生长因子-1 IGF-1/(ng·mL ⁻¹)	93.12±5.57 a	84.35±3.9 b	92.57±3.87 a	96.70±6.86 a
胆囊收缩素 CCK/(ng·L ⁻¹)	179.55±12.23 b	182.30±14.91 b	237.32±15.11 a	234.78±15.78 a

3 讨论

3.1 低蛋白质饲料添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪生长性能和腹泻率的影响

本试验结果表明，将饲料 CP 水平从 I 组的 21.16% 降至 II 组的 15.97%，即使补充适量的 Lys、Met、Thr、Trp、Val 和 Ile，也显著降低了断奶仔猪平均日增重，这个结果与薛强等^[16]和彭燮^[7]的研究结果相似。薛强等^[16]的试验表明，仔猪（10~20 kg）饲料 CP 水平从 20.1% 降低到 13.2% 时，补充了 Lys、Met、Thr、Trp、Val、Ile、苯丙氨酸（Phe）和组氨酸（His），仍显著降低仔猪平均日增重。彭燮^[7]在仔猪（13~35 kg）饲料中添加 9 种必需氨基酸，将饲料的 CP 水平从 20% 降低到 13.9% 时，也显著降低了仔猪生长性能。本试验结果也显示，III 组和 IV 组在

II 组基础上补充 1.5%Glu 或 1.5%Glu+1%Arg 后，断奶仔猪的增重水平得到显著提高，这些试验说明，通过补充 Glu 能消除过低饲料 CP 对断奶仔猪生长的抑制，可能的原因是大幅降低饲料 CP 水平将导致部分非必需氨基酸（Non-essential AA，NEAA）的缺乏，从而引起大量必需氨基酸（Essential AA，EAA）在肝脏中代谢转化为 NEAA，造成体内重要 EAA 不同程度的损失，由此造成氨基酸平衡性变差和利用效率下降^[17]，并影响仔猪的生长性能。另根据相关报道，饲料来源的 Glu 有超过 90% 会在门静脉回流组织中被代谢供能^[17]，因此，当试验仔猪饲料（III 组和 IV 组）添加 Glu 后，可减少门静脉回流组织对其他 EAA 的消耗，使得进入肝脏的氨基酸数量更为平衡；而且 Glu 是几乎所有氨基酸代谢的中枢，当其他氨基酸（包括 EAA 和 NEAA）不足时，Glu 均

可以通过转氨基作用予以补充^[18]。由此认为,本试验在较低 CP 水平饲料中补充 Glu,提高了氨基酸的平衡性和合成蛋白质的效率,促进了断奶仔猪的生长。前人有关 Glu 对断奶仔猪生长性能影响的试验结果并不一致,彭彰智^[19]和林猛^[20]的研究认为,在常规饲料中添加 1% 和 2% 谷氨酸对断奶仔猪没有显著影响,而刘涛等^[21]的研究表明,在饲料中添加 1%Glu 能显著提高仔猪断奶后第 1 周的 ADG,上述相关研究结果有差异可能与试验饲料组成、基础饲料 Glu 含量、仔猪日龄、试验期长短和 Glu 添加量等因素有关。本试验结果同时也表明,IV 组在补充 Glu 的基础上同时添加 Arg,未出现叠加效果,主要是因为 Glu 可在体内转化成一定量的 Arg,已能够满足仔猪对 Arg 的需求^[18]。

我国养猪生产中仔猪断奶后通常要留在原圈饲养几天,仔猪被病原菌感染的机会增多,加上多种应激因素,导致仔猪断奶时常出现腹泻。随着国家禁用饲用抗生素并限制氧化锌的使用量,解决仔猪断奶后腹泻问题尤为急迫。本试验结果表明,降低饲料 CP 水平能显著降低断奶仔猪腹泻率,这与辛小召等^[22]和薛强等^[16]的研究结果相一致。原因是 I 组饲料 CP 水平较高,较多未消化吸收的蛋白质在肠道内成为细菌发酵的底物,病原菌增殖,并产生大量的毒性物质,诱发腹泻,同时 I 组饲料有高达 33% 大豆制品,豆粕含有较多的大豆球蛋白(Glycinin)和 β -伴大豆球蛋白(β -conglycinin),是诱发超敏反应的主要抗原,会引起小肠特异性过敏反应,造成仔猪小肠绒毛受损,导致消化吸收障碍、生长受阻和腹泻^[3]。降低饲料 CP 水平相应较大幅度降低大豆抗原的含量,减轻肠道损伤,仔猪腹泻率也得到显著下降。本试验同时显示,在降低饲料 CP 基础上添加 Glu 对断奶仔猪抗腹泻效果更为显著,因为补充谷氨酸可明显改善因断奶导致的氧化应激引起的仔猪肠道黏膜损伤,修复受损的空肠与回肠绒毛,保护肠道结构的完整性,健康的肠道对饲料的消化吸收效率更高^[23]。因此,饲料添加 Glu,能显著提高仔猪增重,显著降低仔猪腹泻率。

3.2 低蛋白质饲料添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪血浆生化指标的影响

血液生化指标的变化能够反映组织细胞通透性和机体新陈代谢机能,主要受饲料营养状况的影响^[24],尿素氮是蛋白质和氨基酸代谢的终产物,可反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸平衡状况,饲料 CP 水平越低或氨基酸平衡性越好时,血浆 PUN 浓度越低,许多研究把血浆 PUN 作为动物体内蛋白质代

谢、饲料氨基酸平衡状况的反映指标^[25]。从本试验结果看,II 组比 I 组降低饲料 CP 水平 5.19 个百分点,断奶仔猪血浆 PUN 浓度显著降低,这与薛强等^[16]和辛小召等^[22]的研究结果相一致,而 III 组和 IV 组在 II 组低 CP 饲料基础上添加 Glu 和 Arg,却显著升高了血浆 PUN 浓度,这可能与 Glu 与 Arg 特殊的生物代谢有关,饲料中的 Glu 和 Arg 在动物体内通过氨基转移酶脱去氨基,脱掉的氨基成为尿素合成的底物,同时 Glu 和 Arg 也间接或直接参与尿素循环的调节^[26],因此,饲料添加 Glu 和 Arg 可能增强尿素的生物合成,使得断奶仔猪血浆 BUN 浓度显著升高。

LDH 是糖酵解途径中的一种重要酶,参与物质有氧氧化与无氧酵解,机体能量缺乏时,会导致血浆中 LDH 活性提高。GPT、GOT 是氨基酸代谢中重要氨基转移酶,主要存在于细胞内,当组织细胞受到损害时会逸出到血液,升高血液 GPT 和 GOT 浓度。本研究结果表明降低饲料 CP 水平并平衡氨基酸,或在低 CP 饲料中添加 Glu 和 Arg,不会对仔猪肝脏细胞造成损伤,并能够满足仔猪对能量的需求。

肠上皮细胞通过细胞紧密连接构成屏障,血浆 DAO 活性是监测肠道屏障功能受损和肠上皮细胞通透性改变的重要指标,当肠道黏膜受损时,DAO 通过肠黏膜进入血液循环导致血浆 DAO 活性升高^[2]。本研究结果表明,将饲料 CP 水平从 21.16% 降至 15.97%,显著升高仔猪血浆 DAO 活性,说明仔猪肠道通透性增加,肠道上皮组织可能受到损伤。刘壮等^[27]的研究也表明,将仔猪(15.57 kg)饲料 CP 水平从 17% 降至 13%,补充所需的氨基酸,回肠紧密连接蛋白基因表达量显著下降,表明回肠上皮屏障功能受损,说明降低饲料 CP 水平会引起仔猪肠黏膜屏障受损。本试验结果亦显示,添加 Glu 和 Arg 后,血浆中 DAO 活性显著降低,说明 Glu 和 Arg 对损伤的肠道有修复功能,秦颖超等^[14]的研究也表明,饲料中添加谷氨酸能显著降低断奶仔猪血清脂多糖(LPS)含量和 DAO 活性。因此说明过多降低饲料 CP 水平,会影响肠道屏障功能,而添加 Glu 和 Arg 后仔猪肠道通透性得以明显降低,肠道黏膜损伤得以修复。

3.3 低蛋白质饲料添加谷氨酸和精氨酸对断奶仔猪血浆激素指标的影响

IGF-1 是动物生长发育的重要调控因子,介导营养物质和生长激素发挥促生长作用,其浓度高低很大程度受到饲料营养水平(主要是饲料蛋白质和能

量)的调控^[28]。饲喂蛋白质(氨基酸)缺乏饲料会削弱 IGF-1 分泌, IGF-1 流通水平较低^[2]。邓敦^[29]的研究表明, 将饲料 CP 水平从 18.2% 降至 13.6%, 显著降低试验第 53 天生长猪血清 IGF-1 浓度和肝脏 IGF-1 基因表达, 本试验结果也显示, 饲料 CP 水平降至 15.97%, 显著降低断奶仔猪血浆 IGF-1 浓度, 说明过多降低饲料 CP 水平会导致某些 EAA 或 NEAA 缺乏, 影响机体 IGF-1 的分泌。本试验也得出, 较低蛋白饲料补充 Glu 和 Arg 后, 提高了断奶仔猪血浆 IGF-1 浓度, 进一步证明饲料添加 Glu 可减少 EAA 在肠道的氧化损失, 增加体内 EAA 的平衡性和有效含量^[17], 同时 Glu 可以通过转氨基作用补充其他氨基酸的不足^[18]。可见, 低 CP 饲料添加 Glu 能够弥补相关 EAA 或 NEAA 缺乏, 增加机体分泌 IGF-1。

CCK 激素主要是由肠道分泌的一种脑肠肽激素, 广泛存在于中枢和外周神经系统, 具有收缩胆囊和促进胰酶分泌的功能, CCK 作为内源生理饱感因子, 能抑制动物摄食, 降低动物采食量。食物中的蛋白质比碳水化合物更能够通过影响味觉调控激素来刺激饱腹感, 进而影响食欲^[30]。崔志杰等^[31]的研究认为饲料蛋白质水平不影响断奶仔猪血清 CCK 浓度, 本试验结果也显示, 饲料 CP 水平降至 15.97%, 不影响断奶仔猪血浆 CCK 浓度, 说明降低饲料蛋白质水平保持饲料 EAA 含量不变, 并平衡重要 EAA, 不会对断奶仔猪血浆 CCK 浓度产生影响; 而在此基础上补充 Glu, 能显著提高断奶仔猪血浆 CCK 浓度, 刺激胆囊收缩和胰酶分泌, 提高饲料消化吸收, 有利于仔猪生长, 这与试验Ⅲ组和Ⅳ组饲料添加 Glu 后断奶仔猪增重水平显著提高的结果相符合。

4 结论

综上所述, 将饲料 CP 水平降低至 15.97%, 断奶仔猪生长性能受到不利影响, 肠道屏障通透性受到不同程度影响, 但能降低断奶仔猪腹泻率和血浆 PUN 浓度, 添加谷氨酸后, 能够恢复断奶仔猪生长性能, 降低断奶仔猪腹泻率, 改善肠道屏障通透性, 提高胃肠激素水平。

参考文献:

- [1] BOUDRY G, LALLÈS J P, MALBERT C H, et al. Diet-related adaptation of the small intestine at weaning in pigs is functional rather than structural [J]. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 2002, 34 (2): 180-187.
- [2] 夏冰, 孟庆石, 解竞静, 等. 21 日龄断奶对仔猪肠道形态、肠道通透性及肠黏膜屏障的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (6): 2097-2108.
- [3] 孙鹏. 大豆抗原蛋白 Glycinin 诱发仔猪过敏反应的机理及其缓解机制的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2008.
- [4] WANG J J, CHEN L X, LI P, et al. Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation [J]. *The Journal of Nutrition*, 2008, 138 (6): 1025-1032.
- [5] 农业农村部. 中华人民共和国农业农村部公告 第 194 号 [J]. 饲料与畜牧, 2019 (8): 9.
- [6] YUE L Y, QIAO S Y. Effects of low-protein diets supplemented with crystalline amino acids on performance and intestinal development in piglets over the first 2 weeks after weaning [J]. *Livestock Science*, 2008, 115 (2/3): 144-152.
- [7] 彭燮. 低蛋白日粮添加合成氨基酸或完整蛋白对仔猪生长性能、氮代谢和免疫功能的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
- [8] 周华. 低蛋白饲料添加氨基酸对断奶仔猪生长性能、肠道健康及氮平衡的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016.
- [9] JENSEN S L. Are peptides needed for optimum animal nutrition? [J]. *Feed Management*, 1991, 42: 37-40.
- [10] 甄吉福, 许庆庆, 李貌, 等. 低蛋白质饲料添加谷氨酸对育肥猪蛋白质利用和生产性能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30 (2): 507-514.
- [11] REZAEI R, KNABE D A, TEKWE C D, et al. Dietary supplementation with monosodium glutamate is safe and improves growth performance in postweaning pigs [J]. *Amino Acids*, 2013, 44 (3): 911-923.
- [12] WU M M, XIAO H, REN W K, et al. Therapeutic effects of glutamic acid in piglets challenged with deoxynivalenol [J]. *PLoS One*, 2014, 9 (7): e100591.
- [13] EWTUSHIK A L, BERTOLO R F P, BALL R O. Intestinal development of early-weaned piglets receiving diets supplemented with selected amino acids or polyamines [J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2000, 80 (4): 653-662.
- [14] 秦颖超, 宋志文, 朱敏, 等. 谷氨酸通过保护回肠结构完整性增强猪

- 回肠屏障功能[J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (5): 2101-2107.
- QIN Y C, SONG Z W, ZHU M, et al. Glutamate enhances *Porcine* ileal barrier function via protecting ileal structural integrity [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (5): 2101-2107. (in Chinese)
- [15] 黄思琪, 曲红焱, 黄大鹏, 等. L-精氨酸对冷应激仔猪生长性能、免疫功能及肝脏、肾脏中肿瘤坏死因子- α 、干扰素- γ 基因表达量的影响[J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (1): 131-139.
- HUANG S Q, QU H Y, HUANG D P, et al. Effects of L-arginine on growth performance, immune function and genes expression levels of tumor necrosis factor- α and interferon- γ in liver and kidney of cold-stressed piglets [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (1): 131-139. (in Chinese)
- [16] 薛强, 张鹤亮, 李秀花, 等. 低粗蛋白质氨基酸平衡日粮对仔猪生长性能、血液指标、营养物质表观消化率和腹泻率的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2019, 46 (8): 2307-2314.
- XUE Q, ZHANG H L, LI X H, et al. Effects of low crude protein diet supplemented with amino acids on the growth performance, blood indexes, nutrient apparent digestibility and diarrhea rate of weaned piglets [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2019, 46 (8): 2307-2314. (in Chinese)
- [17] 陈澄. 日粮蛋白水平对仔猪肝脏氨基酸代谢转化的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- CHEN C. Study for effects of dietary protein levels on amino acid metabolism and transformation in the liver of piglets[D]. Chongqing: Southwest University, 2015. (in Chinese)
- [18] 印遇龙. 猪氨基酸营养与代谢[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [19] 彭影智. 谷氨酸对断奶仔猪的营养及肠道神经系统的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2012.
- PENG Z Z. The effect of glutamate on weaned piglet nutrition and intestinal nervous system[D]. Nanchang: Nanchang University, 2012. (in Chinese)
- [20] 林猛. L-谷氨酸对仔猪小肠结构和消化吸收功能的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- LIN M. Effect of L-glutamate supplementation on small intestine architecture and function of digestion and absorption in piglets[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- [21] 刘涛, 彭健. 在日粮中添加谷氨酰胺和谷氨酸对断奶仔猪生产性能的影响[J]. *养殖与饲料*, 2003 (9): 7-9.
- LIU T, PENG J. Effects of glutamine and glutamic acid on the performance of weaned piglets [J]. *Animals Breeding and Feed*, 2003 (9): 7-9. (in Chinese)
- [22] 辛小召, 邓祖丽颖, 石秋锋, 等. 不同蛋白水平日粮对断奶仔猪的影响[J]. *江西农业学报*, 2014, 26 (2): 124-128.
- XIN X Z, DENGZU L Y, SHI Q F, et al. Effects of diets with different levels of protein on weaned piglets [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2014, 26 (2): 124-128. (in Chinese)
- [23] 刘明锋. 谷氨酸对断奶仔猪抗氧化能力的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- LIU M F. Study of the glutamate on the antioxidant performance in weaning piglets[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014. (in Chinese).
- [24] 朱繁, 张军, 王丽霞, 等. 谷氨酸对哺乳仔猪器官指数、血液生化指标、血脂水平和抗氧化能力的影响[J]. *激光生物学报*, 2018, 27 (2): 175-182.
- ZHU F, ZHANG J, WANG L X, et al. Effects of glutamate on organ indices, blood biochemical indexes, blood lipid levels and antioxidant capacities of the suckling piglets [J]. *Acta Laser Biology Sinica*, 2018, 27 (2): 175-182. (in Chinese)
- [25] 董志岩, 方桂友, 刘亚轩, 等. 不同饲料氨基酸水平对生长期后备母猪生长性能、血清生化指标和氨基酸浓度的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27 (5): 1361-1369.
- DONG Z Y, FANG G Y, LIU Y X, et al. Effects of dietary amino acid levels on growth performance, serum biochemical parameters and amino acid concentrations of prepubertal gilts in growing phase [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27 (5): 1361-1369. (in Chinese)
- [26] 刁其玉. 动物氨基酸营养与饲料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [27] 刘壮, 慕春龙, 彭宇, 等. 极低蛋白日粮补充不同形式氮营养素对生长猪回肠食糜菌群、代谢产物和屏障功能的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2019, 42 (3): 526-534.
- LIU Z, MU C L, PENG Y, et al. Effects of extremely-low-protein diets supplemented with different nitrogen source on ileal microbial communities, metabolites profiles and barrier function of growing pigs [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2019, 42 (3): 526-534. (in Chinese)
- [28] 张克英, 陈代文. 类胰岛素生长因子及其营养调控[J]. *中国畜牧杂志*, 2002, 38 (6): 42-44.
- ZHANG K Y, CHEN D W. Insulin-like growth factor and its nutritional manipulation [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2002, 38 (6): 42-44. (in Chinese)
- [29] 邓敦. 低蛋白日粮补充必需氨基酸对仔猪营养生理效应的研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2007.
- DENG D. Study on nutritional physiological function of low-protein diets supplemented with essential amino acids in pigs[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2007.
- [30] BLOM W A, LLUCH A, STAFLEU A, et al. Effect of a high-protein breakfast on the postprandial ghrelin response [J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2006, 83 (2): 211-220.
- [31] 崔志杰, 王利剑, 吴飞, 等. 饲料粗蛋白质水平对断奶仔猪胃肠分泌及血清激素水平的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27 (12): 3689-3698.
- CUI Z J, WANG L J, WU F, et al. Effects of dietary crude protein level on gastrointestinal secretion and serum hormone levels of weaning piglets [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27 (12): 3689-3698. (in Chinese)

(责任编辑: 张梅)