

网络出版时间:2022-07-13 14:00 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2023.01.003  
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20220712.1058.008.html

# 低蛋白饲料对杜长大猪生长性能、 肉品质和抗氧化的影响

张俊杰<sup>1</sup>,朱佳良<sup>1</sup>,任立权<sup>2</sup>,马瑞聪<sup>1</sup>,单安山<sup>1</sup>,石宝明<sup>1</sup>,马清泉<sup>1</sup>

(1 东北农业大学 动物科学技术学院,黑龙江 哈尔滨 150030;  
2 黑龙江省亚布力林业局有限公司,黑龙江 亚布力 150631)

**【摘要】**【目的】研究低蛋白饲料下添加氨基酸对生育肥猪生产性能、肉品质和抗氧化活性的影响。【方法】选取平均体质量(24.6±0.95) kg/头杜洛克×长白×大白杂交猪(杜长大杂交猪)63头,随机分3组,即对照组(基础饲料)、低蛋白I组(粗蛋白水平较对照低1%)和低蛋白II组(粗蛋白水平较对照低2%),每组3个重复,每个重复7头猪,试验期105 d,分为3个饲养阶段,第1阶段猪体质量为25~50 kg/头,第2阶段为50~75 kg/头,第3阶段为75~110 kg/头,研究低蛋白饲料对保育-生长-育肥全期杜长大猪生长性能、肉品质、抗氧化能力和血液生化指标的影响。【结果】与对照组相比,2个低蛋白处理组的平均日采食量、平均日增质量、料重比均无显著差异( $P>0.05$ )。各组间的肉质红度 $a^*$ 、黄度 $b^*$ 、亮度 $L$ 和蒸煮损失无显著差异( $P>0.05$ );而低蛋白II组滴水损失较对照组显著增加( $P<0.05$ )。与对照组相比,低蛋白处理组超氧化物歧化酶(SOD)活性显著提高( $P<0.05$ )。低蛋白II组总抗氧化能力(T-AOC)较对照组显著提高,总胆固醇含量与低蛋白I组相比显著升高( $P<0.05$ ),其他血液生化指标总蛋白、白蛋白、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和尿素氮含量与对照组和低蛋白I组间均差异不显著( $P>0.05$ )。【结论】在补充氨基酸的基础上饲喂低蛋白饲料,对生育肥猪的生长性能、肉品质、血液生化指标无显著负面影响,且可在一定程度上提高肌肉抗氧化能力。

**【关键词】** 低蛋白饲料;生猪饲养;生长性能;肉品质;血液生化指标

**【中图分类号】** S816.2;S828

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2023)01-0017-07

## Effects of low protein diets on growth performance, meat quality and antioxidant capacity of pigs

ZHANG Junjie<sup>1</sup>, ZHU Jialiang<sup>1</sup>, REN Liquan<sup>2</sup>, MA Ruicong<sup>1</sup>,  
SHAN Anshan<sup>1</sup>, SHI Baoming<sup>1</sup>, MA Qingquan<sup>1</sup>

(1 School of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China;  
2 Heilongjiang Yabuli Forestry Bureau Company, Yabuli, Heilongjiang 150631, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study investigated the effects of low protein diet supplemented with amino acids on growth performance, meat quality and antioxidant capacity of pigs. 【Method】 A total of 63 Duroc×Landrace×Large White hybrid pigs with an average body weight of (24.6±0.95) kg were randomly divided into three groups of control (basic diet), low-protein group I (crude protein level 1% lower than the control) and low-protein group II (crude protein level 2% lower than the control). There were three replicates in each group, with 7 pigs in each replicate. The experimental period of 105 days were divided into

【收稿日期】 2022-01-04

【基金项目】 国家重点研发计划项目“地方猪精准营养与特色饲料资源开发与应用示范”(2018YFD0501202)

【作者简介】 张俊杰(1997-),男,山西阳泉人,硕士,主要从事动物营养与生理研究。E-mail:475236808@qq.com

【通信作者】 马清泉(1981-),男,内蒙古赤峰人,副研究员,博士生导师,主要从事动物营养与饲料研究。

E-mail:maqingquan@neau.edu.cn

three stages according to weight. The first stage was 25—50 kg/head, the second stage was 50—75 kg/head, and the third stage was 75—110 kg/head. The effects of low-protein diet on growth performance, meat quality, antioxidant capacity and blood biochemical indexes in hybrid pigs in the conservation-growth-fattening period was then investigated. 【Result】 There were no significant differences in average daily gain, average daily feed intake and F/G among the three groups ( $P>0.05$ ). No significant differences in minolta color  $a^*$ , color  $b^*$ , color  $L^*$  and cooking loss were observed among the three diets ( $P>0.05$ ), while the drip loss was markedly increased in low protein-diet II compared with control group ( $P<0.05$ ). The superoxide dismutase (SOD) activity in muscle of low protein I and II groups was significantly increased ( $P<0.05$ ). Compared with control group, low-protein diet II increased the total antioxidant capacity (T-AOC). Total cholesterol content in low-protein group II was significantly higher than that in low protein I group ( $P<0.05$ ), while there were no significant differences in other blood indexes TP, ALB, TG, HDL-C, LDL-C, BUN between three groups ( $P>0.05$ ). 【Conclusion】 Low protein diets enhanced antioxidant capacity of pork without having negative effects on growth performance, meat quality and blood biochemical indexes in growing-finishing pigs.

**Key words:** low-protein diet; pig farming; growth performance; meat quality; blood biochemical index

近年来,我国养猪业快速发展,但随之而来的蛋白饲料资源短缺和环境污染压力骤增等问题也日益突出。因此,建立养猪业快速、健康、可持续发展策略成为行业研究热点。研究发现,在氨基酸平衡条件下应用低蛋白饲料技术,可改善饲料资源短缺问题,减少氮排放,降低生产成本<sup>[1]</sup>。Choi 等<sup>[2]</sup>研究表明,饲料粗蛋白水平降低 1.5%,不仅能提高仔猪生产性能和减少腹泻发生,而且猪粪氮含量和舍内氨气含量也极显著下降。合理运用低蛋白饲料技术,对猪生长性能和健康状况未产生负面影响<sup>[3-4]</sup>,还可以降低血液尿素氮含量<sup>[5]</sup>。因此,实践中应用低蛋白饲料是可行的。但研究表明,将蛋白水平降低且不补充氨基酸的情况下,会明显降低生产性能<sup>[6]</sup>,因此只有正确运用低蛋白日粮策略才能取得理想的生产效果。已有的相关报道集中于猪生长的某一阶段,如保育阶段<sup>[7]</sup>、生长或肥育阶段<sup>[8-9]</sup>,而较少贯穿于保育-生长-育肥的整个过程。为此本试验采用净能体系,通过补充必需氨基酸(赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸、苏氨酸)使其标准回肠可消化氨基酸达到一致,探讨低蛋白饲料对保育-生长-育肥全期杜长大(杜洛克×长白×大白)猪生长性能、肉品质、抗氧化能力和血液生化指标的影响,以期为低蛋白日粮策略的应用提供更多参考数据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验设计

试验在黑龙江省亚布力林业局养殖基地进行。选取平均体质量( $24.6\pm 0.95$ ) kg/头的杜洛克×长

白×大白(杜长大杂交猪)63头,公母数量相近,随机分为对照组(基础饲料)、低蛋白 I 组、低蛋白 II 组,每处理组 3 个重复,每重复 7 头猪。预饲期 7 d,试验期 105 d。试验分为 3 个饲养阶段:第 1 阶段猪体质量为 25~50 kg/头,第 2 阶段为 50~75 kg/头,第 3 阶段为 75~110 kg/头,每个处理组平均体质量达标时同时进入下一阶段。对照组、低蛋白 I 组、低蛋白 II 组在第 1 阶段分别饲喂粗蛋白水平为 16%, 15%, 14% 的饲料,第 2 阶段分别饲喂粗蛋白水平为 15%, 14%, 13% 的饲料,第 3 阶段分别饲喂粗蛋白水平为 14%, 13%, 12% 的饲料,且 2 个低蛋白组额外补充赖氨酸、蛋氨酸、色氨酸、苏氨酸 4 种必需氨基酸,使得对照组与处理组同一阶段的 4 种氨基酸回肠可消化氨基酸水平一致。

### 1.2 试验饲料

试验饲料参照 NRC(2012)猪营养需要,其中粗蛋白水平主要根据《T/CFIAS 001—2018 仔猪、生长育肥猪配合饲料》团体标准推荐和限量值,配制 3 种不同粗蛋白水平的饲料,饲料组成及营养水平见表 1。

### 1.3 饲养管理及样品采集

试验期 105 d,采用发酵床猪舍,每圈设有单独料槽和鸭嘴式饮水器,按照猪场管理,定期进行免疫、驱虫和消毒等程序,采食和饮水自由。试验结束后,随机选取 9 头(每个处理 3 头,每个重复 1 头)体质量相近的猪,禁食 12 h 后称体质量。屠宰时,采集血清,用离心机 3 500 r/min 离心 10 min,分离血清并置于  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷冻保存,用于血液生化指标的测

定。取左侧胴体最后肋骨处背最长肌用于肉品质的测定。

测定,部分肉样-20℃冷冻保存,用于抗氧化能力

表 1 饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets (air-dry basis)

项目 Item	第 1 阶段 First stage			第 2 阶段 Second stage			第 3 阶段 Third stage		
	对照组 Control	低蛋白 处理 I 组 Low- protein group I	低蛋白 处理 II 组 Low- protein group II	对照组 Control	低蛋白 处理 I 组 Low- protein group I	低蛋白 处理 II 组 Low- protein group II	对照组 Control	低蛋白 处理 I 组 Low- protein group I	低蛋白 处理 II 组 Low- protein group II
原料 Ingredients									
玉米/% Corn	64.40	67.70	71.00	64.24	67.04	70.73	63.76	66.95	70.18
豆粕/% Soybean meal	20.40	17.50	14.30	17.20	14.60	11.20	13.90	11.00	8.00
米糠粕/% Rice bran meal	5.00	5.00	5.00	7.00	7.00	7.00	9.00	9.00	9.00
米糠/% Rice bran	5.00	5.00	5.00	7.00	7.00	7.00	9.00	9.00	9.00
大豆油/% Soybean oil	2.20	1.61	1.30	2.00	1.70	1.20	2.00	1.60	1.20
石粉/% Limestone	1.18	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.10	1.10	1.15
磷酸氢钙/% CaHPO <sub>4</sub>	0.52	0.54	0.55	0.16	0.18	0.20	0.13	0.23	0.31
赖氨酸/% Lysine	0.24	0.34	0.44	0.20	0.28	0.39	0.13	0.23	0.31
蛋氨酸/% Methionine	0.06	0.09	0.12	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
色氨酸/% Threonine	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
苏氨酸/% Tryptophan	0.00	0.02	0.06	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.02
氯化钠/% NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱/% Choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
预混料/% <sup>1)</sup> Premix	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 <sup>2)</sup> Nutrient levels									
代谢能/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) DE	13.07	13.24	13.15	13.24	13.17	13.09	13.19	13.10	13.07
净能/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) NE	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38	10.38
粗蛋白/% CP	16	15	14	15	14	13	14	13	12
钙/% Calcium	0.62	0.62	0.62	0.55	0.55	0.55	0.49	0.49	0.49
有效磷/% Olsen-P	0.27	0.27	0.27	0.20	0.20	0.20	0.17	0.17	0.17
标准回肠可消化氨基酸 SID amino acid									
赖氨酸/% Lysine	0.98	0.98	0.98	0.87	0.87	0.87	0.76	0.76	0.75
蛋氨酸/% Methionine	0.32	0.33	0.33	0.24	0.24	0.24	0.21	0.21	0.21
苏氨酸/% Threonine	0.58	0.58	0.58	0.54	0.54	0.54	0.47	0.47	0.47
色氨酸/% Tryptophan	0.17	0.17	0.17	0.15	0.15	0.15	0.13	0.13	0.13

注:1) 预混料为每 kg 全价料提供:烟酸 30 mg,维生素 A 4 400 IU,生物素 0.2 mg,维生素 D<sub>3</sub> 500 IU,泛酸 15 mg,维生素 E 28 IU,维生素 K<sub>3</sub> 0.5 mg,维生素 B<sub>1</sub> 2 mg,维生素 B<sub>2</sub> 5 mg,维生素 B<sub>6</sub> 4 mg,叶酸 0.5 mg,铜 6 mg,铁 72 mg,锰 6 mg,锌 72 mg,硒 0.3 mg,碘 0.2 mg。

2) 营养水平为计算值。

Note:1) The premix provided the following ingredients per kg of diet: nicotinic acid 30 mg, V<sub>A</sub> 4 400 IU, biotin 0.2 mg, V<sub>D<sub>3</sub></sub> 500 IU, pantothenic acid 15 mg, V<sub>E</sub> 28 IU, V<sub>K<sub>3</sub></sub> 0.5 mg, V<sub>B<sub>1</sub></sub> 2 mg, V<sub>B<sub>2</sub></sub> 5 mg, V<sub>B<sub>6</sub></sub> 4 mg, folic acid 0.5 mg, Cu 6 mg, Fe 72 mg, Mn 6 mg, Zn 72 mg, Se 0.3 mg, and I 0.2 mg.

2) Nutrition levels were calculated values.

## 1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能 试验猪平均体质量达到 50,75 和 110 kg/头左右时,空腹称量试验猪体质量,统计和记录试验猪各试验阶段的饲料消耗量及健康情况,计算平均日采食量(average daily feed intake, ADFI)、平均日增质量(average daily gain, ADG)和料重比(feed/gain, F/G)。

1.4.2 肉色 将背最长肌切去表层,在肉样切面上覆盖透氧薄膜静置 1 h,置于室内漫射光下,光强 750 lx 以上评定。按照 Minolta Chroma Meter II 全

自动色度仪使用说明测定肉色。同一肉样重复测定 3 次后取平均值。肉色用亮度(L\*)、红度(a\*值)和黄度(b\*值)3 个指标表示。

1.4.3 滴水损失 屠宰后取背最长肌肉样,修去肌外膜。将试样切取修整为 2 cm×3 cm×5 cm 肉样,称质量。用鱼线穿过肉样,悬挂于聚乙烯塑料保鲜袋中密封,确保袋内悬挂肉样沿着肌纤维方向垂直向下,且肉样并未接触袋壁。将其悬挂在 4℃冰箱中 24 h 后,取出肉样并用滤纸拭去肉样表层汁液后称质量,计算滴水损失,每个肉样 3 个重复。

1.4.4 蒸煮损失 屠宰后取背最长肌肉样,称质量。置于保鲜袋中,将温度计插于肉样中,排空袋内空气,密封。置于 80 °C 恒温水浴锅中加热,待肉样中插入温度计达到恒温 80 °C 时开始计时。20 min 后将袋内肉样取出,用滤纸吸干水分,放于室温,5 min 后称质量,计算蒸煮损失,每个肉样 3 个重复。

1.4.5 抗氧化能力 使用南京建成生物工程研究所试剂盒,按照说明书测定肌肉样品的总蛋白(TP)含量、过氧化氢酶(CAT)活性、总抗氧化能力(T-AOC)和超氧化物歧化酶(SOD)活性。

1.4.6 血液生化指标 取屠宰时采取的血清,按照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书测定总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋

白胆固醇(LDL-C)和尿素氮(BUN)含量。

## 1.5 数据处理与分析

试验数据用“平均值±标准差”表示,先使用 Microsoft Excel(2003)整理和初步计算,然后采用 SPSS 20.0 统计软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),差异显著者用 Duncan 法进行多重比较, $P<0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 低蛋白饲料对杜长大三元猪生长性能的影响

由表 2 可知,在各个阶段和试验全期,3 个处理组平均日采食量、平均日增质量和料重比均差异不显著( $P>0.05$ ),且 3 组之间初始体质量与终末体质量差异也不显著( $P>0.05$ )。

表 2 低蛋白饲料对猪生长性能的影响

Table 2 Effects of low protein diets on growth performance of pigs

项目 Items	对照组 Control	低蛋白 I 组 Low-protein group I	低蛋白 II 组 Low-protein group II
初始体质量/kg Initial body weight	23.64±3.97 a	25.35±4.78 a	24.81±4.31 a
终末体质量/kg Final body weight	111.19±8.61 a	113.38±12.68 a	111.82±12.19 a
平均日采食量/(kg·头 <sup>-1</sup> ) ADFI			
第 1 阶段 First stage	1.45±0.06 a	1.44±0.05 a	1.44±0.05 a
第 2 阶段 Second stage	2.53±0.14 a	2.55±0.13 a	2.54±0.11 a
第 3 阶段 Third stage	3.10±0.09 a	3.17±0.09 a	3.25±0.08 a
试验全期 Full trial period	2.25±0.09 a	2.27±0.02 a	2.27±0.05 a
平均日增质量/(kg·头 <sup>-1</sup> ) ADG			
第 1 阶段 First stage	0.64±0.03 a	0.66±0.03 a	0.65±0.03 a
第 2 阶段 Second stage	0.92±0.03 a	0.91±0.06 a	0.87±0.08 a
第 3 阶段 Third stage	1.02±0.02 a	1.03±0.06 a	1.01±0.05 a
试验全期 Full trial period	0.83±0.02 a	0.84±0.02 a	0.82±0.04 a
料重比 F/G			
第 1 阶段 First stage	2.28±0.10 a	2.18±0.05 a	2.23±0.06 a
第 2 阶段 Second stage	2.76±0.06 a	2.80±0.07 a	2.94±0.14 a
第 3 阶段 Third stage	3.04±0.10 a	3.06±0.08 a	3.21±0.20 a
试验全期 Full trial period	2.71±0.04 a	2.69±0.03 a	2.76±0.10 a

注:同行数据后标相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),标不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Same letters in the same row mean insignificant difference ( $P>0.05$ ), while different letters mean significant difference ( $P<0.05$ ).

The same below.

### 2.2 低蛋白饲料对杜长大三元猪肉质的影响

由表 3 可知,3 个试验组杜长大三元猪肉的肉质红度 a\*、黄度 b\*、亮度 L 均无显著性差异( $P>0.05$ )。

低蛋白 II 组的滴水损失显著高于对照组( $P<0.05$ ),但 2 个低蛋白组间差异不显著( $P>0.05$ )。蒸煮损失在 3 个试验组间差异不显著( $P>0.05$ )。

表 3 低蛋白饲料对猪肉肉质的影响

Table 3 Effects of low protein diets on meat quality of pigs

项目 Items	对照组 Control	低蛋白 I 组 Low-protein group I	低蛋白 II 组 Low-protein group II
红度 a*	7.87±1.77 a	6.69±1.07 a	7.76±1.77 a
黄度 b*	6.29±2.13 a	4.64±0.94 a	5.07±0.94 a
亮度 L*	51.19±3.51 a	48.51±2.12 a	46.37±1.40 a
滴水损失/% Drip loss rate	4.45±1.44 b	5.54±1.13 ab	6.93±0.59 a
蒸煮损失/% Cooking loss rate	30.11±5.14 a	34.20±3.74 a	32.43±1.81 a

### 2.3 低蛋白饲料对杜长大三元猪肉抗氧化能力的影响

由表 4 可知,低蛋白 II 组杜长大三元猪肉总蛋白含量显著低于对照组( $P < 0.05$ )。虽然 3 组间

CAT 活性差异不显著( $P > 0.05$ ),但低蛋白 II 组的总抗氧化能力与对照组相比显著上升( $P < 0.05$ ),2 个处理组 SOD 活性均显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

表 4 低蛋白饲料对猪肉抗氧化能力的影响

Table 4 Effects of low protein diets on antioxidant capacity of pigs

指标 Items	对照组 Control	低蛋白 I 组 Low-protein group I	低蛋白 II 组 Low-protein group II
总蛋白/(g · L <sup>-1</sup> ) TP	4.11 ± 0.29 a	3.64 ± 0.40 ab	3.26 ± 0.10 b
CAT/(U · mg <sup>-1</sup> )	1.59 ± 0.37 a	0.92 ± 0.53 a	1.93 ± 0.73 a
T-AOC/(mmol · mg <sup>-1</sup> )	0.06 ± 0.01 b	0.07 ± 0.02 ab	0.10 ± 0.01 a
SOD/(U · mg <sup>-1</sup> )	76.31 ± 4.16 b	84.61 ± 2.86 a	83.63 ± 1.80 a

### 2.4 低蛋白饲料对杜长大三元猪血液生化指标的影响

由表 5 可知,低蛋白 II 组杜长大三元猪血清总胆固醇浓度显著高于低蛋白 I 组( $P < 0.05$ )。但包

括总蛋白、白蛋白、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和尿素氮在内的其他指标,在 3 个试验组间差异均不显著( $P > 0.05$ )。

表 5 低蛋白饲料对猪血液生化指标的影响

Table 5 Effects of low protein diets on blood biochemical indices of pigs

指标 Items	对照组 Control	低蛋白 I 组 Low-protein group I	低蛋白 II 组 Low-protein group II
总蛋白/(mg · mL <sup>-1</sup> ) TP	47.09 ± 1.20 a	43.16 ± 5.52 a	44.44 ± 2.55 a
白蛋白/(g · L <sup>-1</sup> ) ALB	42.11 ± 5.40 a	36.22 ± 1.34 a	36.25 ± 5.89 a
甘油三酯/(mmol · L <sup>-1</sup> ) TG	0.41 ± 0.02 a	0.30 ± 0.08 a	0.41 ± 0.14 a
总胆固醇/(mmol · L <sup>-1</sup> ) TC	2.21 ± 0.18 ab	1.87 ± 0.35 b	2.49 ± 0.32 a
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol · L <sup>-1</sup> ) HDL-C	1.78 ± 0.14 a	1.72 ± 0.34 a	1.98 ± 0.30 a
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol · L <sup>-1</sup> ) LDL-C	0.48 ± 0.06 a	0.57 ± 0.10 a	0.61 ± 0.09 a
尿素氮/(mmol · L <sup>-1</sup> ) BUN	13.38 ± 1.00 a	13.69 ± 3.39 a	11.85 ± 1.27 a

## 3 讨论

### 3.1 低蛋白饲料对杜长大三元猪生长性能的影响

研究表明,当饲料中粗蛋白水平降低至 14% 时对仔猪生长性能无显著影响<sup>[10]</sup>。潘磊等<sup>[11]</sup>发现,当仔猪或育肥猪饲料蛋白水平降低 2%~4% 且添加必需氨基酸时,不会对猪生长性能造成影响,但血清中非必需氨基酸含量升高。由此推测,育肥猪可通过提高蛋白质吸收利用率来弥补饲料中蛋白水平的不足和自身对必需氨基酸的需求。如果降低饲料蛋白水平同时不补充必需氨基酸,则对生产性能造成负面影响<sup>[12]</sup>,但会在补充外源氨基酸之后得到改善<sup>[13]</sup>。李宁等<sup>[14]</sup>研究表明,平衡低蛋白日粮中必需氨基酸后可显著提高平均日增质量和采食量,但色氨酸缺乏时这 2 个指标值显著降低,苏氨酸和含硫氨基酸不足时无显著影响。本试验结果表明,在不同生长阶段将蛋白水平降低 1~2 个百分点同时补充必需氨基酸,对猪平均日增质量、料重比和平均日采食量均无显著影响,这与 Zhang 等<sup>[15]</sup>和 Hinson 等<sup>[16]</sup>研究认为“饲料蛋白水平降低 4 个百分点或更多时对仔猪生长性能产生负面影响”的结果不同。

这可能是由于粗蛋白水平存在一个阈值,降低幅度过大将难以通过补充氨基酸和改善蛋白质消化吸收效率弥补生产性能的损失。另外,本试验使用发酵床模式,该模式对改善猪舍的空气环境、提高营养物质吸收等具有积极作用<sup>[17]</sup>。

### 3.2 低蛋白饲料对杜长大三元猪肉品质的影响

肉品质是影响人们进行猪肉消费的重要感官品质,主要包括肉的色泽、多汁性、风味及嫩度。就目前研究而言,饲料中蛋白水平是否会对肉品质造成影响存在争议。研究表明,饲喂低蛋白质饲料对肉品质有改善作用<sup>[8]</sup>,可能原因是低蛋白质饲料可以促进机体内蛋白质周转<sup>[18]</sup>。Teye 等<sup>[19]</sup>研究发现,低蛋白质饲料对肉 pH 值、肉色和滴水损失均无显著影响。本试验中各组的肉色指标、蒸煮损失均无显著差异,这与 Lebreton<sup>[20]</sup>的研究结果一致;但低蛋白 II 组滴水损失显著上升,系水力下降。张克英等<sup>[21]</sup>研究发现,随着饲料蛋白水平升高,滴水损失先下降后上升;葛长荣等<sup>[22]</sup>研究表明,随着饲料蛋白水平降低,滴水损失会逐渐降低。这可能与低蛋白日粮饲喂时间的长短和补充的氨基酸模式存在差异有关。但目前为止,关于低蛋白氨基酸平衡日粮

对猪肉品质影响的研究较少,因此对氨基酸补充的影响还有待进一步研究。

### 3.3 低蛋白饲料对杜长大三元猪抗氧化能力的影响

当机体抗氧化能力下降时,会引起生理功能的紊乱,猪抗氧化能力也可通过肌肉中的各项指标来反映。机体中抗氧化酶,如 CAT、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、SOD 等是维持机体抗氧化能力的主要屏障<sup>[23]</sup>。CAT 主要参与活性氧代谢过程,GSH-Px 催化过氧化物的分解,SOD 清除氧化产生的自由基,并终止后续反应<sup>[24]</sup>。而 T-AOC 是反映机体抗氧化性能的综合指标,机体内脂质过氧化的情况则由丙二醛(MDA)体现<sup>[25]</sup>。吴邦元<sup>[26]</sup>研究表明,在低蛋白日粮中添加蛋氨酸可显著提高肝脏中的 GSH-Px 和血清中 SOD 活性,从而提高抗氧化能力,同时缺乏蛋氨酸时会使 MDA 含量升高,影响抗氧化能力。本试验中低蛋白 II 组 T-AOC 含量和 SOD 活性与对照组相比显著上升,这可能是由于补充氨基酸促进了机体的氨基酸平衡,在改善蛋白质氨基酸吸收的同时防止脂质过氧化,提高了抗氧化能力。

### 3.4 低蛋白饲料对杜长大三元猪血液生化指标的影响

血液生化指标是机体各器官及组织功能是否正常的直观反映,日粮蛋白质水平及氨基酸平衡与血液生化指标关系密切,低蛋白氨基酸平衡饲料甚至有提高血清游离氨基酸含量的趋势<sup>[14]</sup>。血清中总蛋白和白蛋白含量反映机体内蛋白质代谢旺盛程度,本试验中二者差异不显著,表明降低饲料蛋白水平不会引起机体代谢紊乱,对机体蛋白质合成没有显著影响。石宝明等<sup>[8]</sup>在低蛋白日粮中添加酪氨酸后发现血清尿素氮水平降低。氨基酸过量或氨基酸代谢紊乱时尿素氮含量增加,但氨基酸平衡良好时尿素氮含量则下降<sup>[12]</sup>。本试验中低蛋白 II 组血清尿素氮水平与对照组差异不显著但有下降趋势,这表明猪体内氨基酸平衡良好,蛋白质氨基酸利用率提高;同时降低饲料中蛋白水平对其他血液生化指标并无显著影响,这与马文锋<sup>[5]</sup>的研究结果一致。说明在补充必需氨基酸情况下降低饲料蛋白水平对猪体蛋白质合成无负面影响,同时氨基酸利用率趋于提高。

## 4 结 论

在本试验条件下,低蛋白饲料对杜长大猪的生

长性能、肉品质和血液生化指标基本无显著负面影响,且低蛋白质饲料可在一定程度上提高肌肉抗氧化能力。

### [参考文献]

- [1] Gloaguen M, le Floc'h N, Corrent E, et al. The use of free amino acids allows formulating very low crude protein diets for piglets [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92(2): 637-644.
- [2] Choi J Y, Shinde P, Zheng J, et al. Effects of dietary protein level and phase feeding regimen on growth performance, carcass characteristics and pork quality in growing-finishing pigs [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2010, 52(3): 205-212.
- [3] Kerr B J, Southern L L, Bidner T D, et al. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81(12): 3075-3087.
- [4] Kerr B J, McKeith F K, Easter R A. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets [J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73(2): 433-440.
- [5] 马文锋. 低蛋白日粮添加不同必需氨基酸对生长肥育猪生长性能、血液生化指标和肉品质的影响 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.  
Ma W F. Low-protein diet supplemented with amino acids on the growth performance and meat quality index in growing-finishing pigs [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2011.
- [6] 陈佳. 日粮蛋白水平对杜约八三元杂交猪生长性能和肉质性状的影响 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2016.  
Chen J. Effect of dietary protein level on the growing performance and meat quality in the tri-crossbreeding pigs from Duroc×Yorkshire×Bamei [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2016.
- [7] 荆园园, 邢孔萍, 蔡兴才, 等. 氨基酸平衡低蛋白日粮对仔猪血清生理生化指标及肝脏关键代谢标志物的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2016, 52(21): 39-44.  
Jing Y Y, Xing K P, Cai X C, et al. Effects of amino acid balanced low-protein diets on serum indice and key metabolic markers in liver of piglets [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2016, 52(21): 39-44.
- [8] 石宝明, 白广栋, 许璇, 等. 低蛋白日粮添加酪氨酸对育肥猪生长性能和氮代谢的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2019, 50(6): 58-66.  
Shi B M, Bai G D, Xu X, et al. Effect of low protein diets supplemented with tyrosine on growth performance and nitrogen metabolism of finishing pigs [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2019, 50(6): 58-66.
- [9] 段佳琪, 丁鹏, 吴士博, 等. 低蛋白日粮对猪生长性能、胴体品质及血浆氨基酸的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(12): 99-

- 103.
- Duan J Q, Ding P, Wu S B, et al. Effects of low protein diets on growth performance, carcass quality and plasma amino acids in pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(12): 99-103.
- [10] Yi X W, Zhang S R, Yang Q, et al. Influence of dietary net energy content on performance of growing pigs fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids [J]. *Journal of Swine Health & Production*, 2010, 18(6): 294-300.
- [11] 潘磊,姚淳,闻爱友,等. 低蛋白日粮对肉猪生长性能、养分消化率及粪便氮磷排泄的影响 [J]. *畜牧兽医科技信息*, 2019(10): 48-49.
- Pan L, Yao C, Wen A Y, et al. Effects of low protein diet on growth performance, nutrient digestibility and fecal nitrogen and phosphorus excretion of pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2019(10): 48-49.
- [12] 朱建平,胡琴,刘春雪,等. 低蛋白日粮对育肥猪生产性能和血清指标的影响 [J]. *粮食与饲料工业*, 2014(4): 51-53.
- Zhu J P, Hu Q, Liu C X, et al. Effect of low protein diets on performance and serum parameters in finishing pigs [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2014(4): 51-53.
- [13] 杨强,张石蕊,贺喜,等. 低蛋白日粮不同能量水平对育肥猪生长性能和胴体性状的影响 [J]. *动物营养学报*, 2008, 20(4): 371-376.
- Yang Q, Zhang S R, He X, et al. Effects of low crude protein with different digestible energy levels on the growth performance and carcass characteristic in fattening pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2008, 20(4): 371-376.
- [14] 李宁,谢春元,曾祥芳,等. 饲料粗蛋白质水平和氨基酸平衡性对肥育猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(2): 498-506.
- Li N, Xie C Y, Zeng X F, et al. Effects of dietary crude protein level and amino acid balance on growth performance, carcass traits and meat quality of finishing pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(2): 498-506.
- [15] Zhang G J, Xie C Y, Thacker P A, et al. Estimation of the ideal ratio of standardized ileal digestible threonine to lysine for growing pigs (22-50 kg) fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 180(1/2/3/4): 83-91.
- [16] Hinson R B, Schinckel A P, Radcliffe J S, et al. Effect of feeding reduced crude protein and phosphorus diets on weaning-finishing pig growth performance, carcass characteristics, and bone characteristics [J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(4): 1502-1517.
- [17] 刘标,尹红梅,莫云,等. 夏季发酵床养猪模式对猪舍环境的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(21): 173-175.
- Liu B, Yin H M, Mo Y, et al. Effects of pig raising mode in fermentation bed on pig house environment in summer [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(21): 173-175.
- [18] 王东,陈国顺,柴明杰,等. 低蛋白日粮对杜×民杂交育肥猪生长性能和肉品质的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(11): 146-149.
- Wang D, Chen G S, Chai M J, et al. Effects of low protein diet on growth performance and meat quality of Duroc×Min hybrid finishing pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(11): 146-149.
- [19] Teye G A, Sheard P R, Whittington F M, et al. Influence of dietary oils and protein level on pork quality: I. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality [J]. *Meat Science*, 2006, 73(1): 157-165.
- [20] Lebret B. Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs [J]. *Animal*, 2008, 2(10): 1548-1558.
- [21] 张克英,陈代文,罗献梅,等. 饲料理想蛋白水平对猪肉品质的影响 [J]. *四川农业大学学报*, 2002, 20(1): 12-16.
- Zhang K Y, Chen D W, Luo X M, et al. Effects of dietary levels of ideal protein on pig meat quality [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2002, 20(1): 12-16.
- [22] 葛长荣,赵素梅,张曦,等. 不同日粮蛋白质水平对乌金猪肉品质的影响 [J]. *畜牧兽医学报*, 2008, 39(12): 1692-1700.
- Ge C R, Zhao S M, Zhang X, et al. Effect of dietary protein levels on meat quality in Wujin pig [J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2008, 39(12): 1692-1700.
- [23] 张笑天,郑晓瑛. 氧化自由基清除剂超氧化物歧化酶与疾病 [J]. *中国公共卫生*, 2014, 30(10): 1349-1352.
- Zhang X T, Zheng X Y. Oxidative free radical scavenger superoxide dismutase and disease [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2014, 30(10): 1349-1352.
- [24] 李杏,陈小连,朱丽慧,等. 硫辛酸对黄羽肉鸡生长性能、抗氧化能力和免疫功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(3): 515-521.
- Li X, Chen X L, Zhu L H, et al. Lipoic acid: effects on growth performance, antioxidant capacity and immune function in yellow-feathered broilers [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(3): 515-521.
- [25] 胡锴,任常宝,颜城,等. 高铜日粮对肉鸡肝脏抗氧化功能的影响 [J]. *中国家禽*, 2011, 33(12): 26-29.
- Hu K, Ren C B, Yan C, et al. Effect of different levels of dietary copper sulfate on liver antioxidant index in broilers [J]. *China Poultry*, 2011, 33(12): 26-29.
- [26] 吴邦元. 蛋氨酸缺乏对雏鸡免疫器官及免疫功能影响的研究 [D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2011.
- Wu B Y. Effect of methionine deficiency on immune organs and immune function in broilers [D]. Ya'an, Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2011.