

方桂友, 张玉宏, 刘景, 等. 低蛋白质氨基酸平衡饲料对肥育猪生长性能、肌肉氨基酸和脂肪酸组成及含量的影响 [J]. 福建农业学报, 2021, 36 (8): 917-922.

FANG G Y, ZHANG Y H, LIU J, et al. Effect of Reduced-protein-lysine-added Diet on Growth and Intramuscular Amino Acids and Fatty Acids of Finisher Pigs [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2021, 36 (8): 917-922.

低蛋白质氨基酸平衡饲料对肥育猪生长性能、 肌肉氨基酸和脂肪酸组成及含量的影响

方桂友¹, 张玉宏², 刘 景¹, 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. 龙岩市农业学校, 福建 龙岩 364000)

摘 要:【目的】探讨低蛋白质氨基酸平衡饲料对肥育猪生长性能、肌肉氨基酸和脂肪酸含量及组成的影响。

【方法】选用 90 头平均体重为 (59.5±3.6) kg 的杜长大三元杂交猪, 均衡分成 3 个处理组, 每个处理组设置 3 个重复, 每个重复含 10 头猪。1 组设为对照组, 饲喂饲料含 16.58% 粗蛋白质 (CP)、0.71% 可消化赖氨酸 (DLy), 2、3 组分别饲喂 CP 水平为 14.58% 和 12.53%、DLy 水平为 0.71% 的低蛋白质氨基酸平衡饲料, 试验期 40 d。

【结果】肥育猪平均日增重和料重比组间差异不显著 ($P>0.05$); 背最长肌氨基酸、脂肪酸含量和组成各组间均无显著差异 ($P>0.05$)。【结论】在理想氨基酸模式下, 饲料粗蛋白质水平降低至 12.53%, 保持赖氨酸水平不变, 不影响肥育猪的生长性能、肌肉氨基酸和脂肪酸的含量及组成。

关键词: 生长性能; 氨基酸组成; 脂肪酸组成; 低蛋白质饲料; 肥育猪

中图分类号: S 828

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2021) 08-0917-06

Effect of Reduced-protein-lysine-added Diet on Growth and Intramuscular Amino Acids and Fatty Acids of Finisher Pigs

FANG Guiyou¹, ZHANG Yuhong², LIU Jing¹, DONG Zhiyan^{1*}

(1. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine Research, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350003, China; 2. Longyan Agricultural School, Longyan, Fujian 364000, China)

Abstract: 【Objective】Effects of reduced-protein diet with a lysine addition on the growth and the content and composition of intramuscular amino acids and fatty acids of pigs at finishing stage were determined to optimize the feeding at hog farms. 【Method】Ninety Landrace x Large White x Duroc pigs with an initial body weight of 59.5±3.6 kg were randomly divided into 3 groups with 10 pigs in each of 3 replicates. As control, Group 1 was fed on forage containing 16.58% crude protein (CP) and 0.71% digestible lysine (DLy). Group 2 and Group 3 were treatments on diets of 14.58% and 12.53% CP, respectively, with a 0.71% DLy addition. The feeding lasted for 40 d prior to slaughtering for chemical analysis on longissimus muscles. 【Result】Compare to control, the pigs in the treatment groups showed no significant differences on the average daily gain (ADG) or feed/gain ratio (F/G) ($P>0.05$). Neither the content or the composition of intramuscular amino acids and fatty acids in the longissimus muscles differed significantly among the 3 groups ($P>0.05$). 【Conclusion】The results suggested that, so long as the DLy supply in the forage was kept constant at the adequate level, a reduction of CP up to 12.53% in the pig diet would not significantly alter the growth or the nutritional and eating quality of the pork meat.

Key words: growth performance; amino acid composition; fatty composition; low-protein diet; finishing pigs

收稿日期: 2021-02-23 初稿; 2021-07-16 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); 张玉宏 (1968-), 男, 高级讲师, 主要从事畜牧兽医教学与科研 (E-mail: 3092472395@qq.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)

0 引言

【研究意义】当前养猪生产面临着减少氮排放量和蛋白质饲料资源紧缺的挑战。低蛋白质饲料通过降低饲料蛋白质水平及平衡必需氨基酸来满足猪对蛋白质的需求，使用该类饲料也是减少规模化猪场氮排放与节约蛋白质饲料资源的主要技术途径。

【前人研究进展】诸多研究表明将饲料粗蛋白质水平降低 2~4 个百分点，并补足主要的必需氨基酸，不会影响肥育猪的生长性能^[1-3]。但是，降低饲料蛋白质水平可能会影响肌肉蛋白质的沉积，导致肉品质下降^[4-5]。研究表明，商品猪肌肉氨基酸含量和组成是评价肉品营养价值的重要指标^[6]，肉类的食用品质、鲜味与肌肉中的氨基酸、脂肪酸含量密切相关^[7-8]，肌肉脂肪酸尤其是多不饱和脂肪酸是香味的重要前体物质^[9]。

【本研究切入点】目前低蛋白质饲料在育肥猪上的研究大部分是针对其生长性能、胴体品质及血液生化指标等^[2-3,10]，有关低蛋白质氨基酸平衡饲料对猪肌肉氨基酸、脂肪酸组成与含量影响的研究比较少见。

【拟解决的关键问题】本研究在商业化养猪生产背景下研究低蛋白质饲料对杜长大肥育猪肌肉氨基酸和脂肪酸组成和含量的影响，旨在为低蛋白质饲料的实际应用提供更多理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物的选择、分组和管理

2020 年 9 月在某猪场开展饲养试验。选用 90 头体况相近、平均体重为 (30.50±2.5) kg 的杜长大三元杂交猪，采用性别相同、体重相近的原则分成 3 个处理组，每个处理组设置 3 个重复，每个重复 (栏) 含 10 头猪，其中公猪和母猪各 5 头，分组后每栏猪进行逐头称重，上耳牌标示。试验进行 43 d 的预试期，预饲期间所有猪只均饲喂同一种预饲饲料，在平均个体重达 (59.50±3.60) kg 时开始试验期，试验期为 40 d。试验猪饲养于一座双列式猪舍，水泥地面，每个猪栏约 12 m²、配备 1 个圆形铸铁料桶和 1 个乳头式饮水器，自由采食粉料，自由饮水，栏舍每天清洁卫生 2 次，专人负责。

1.2 试验设计与试验饲料

采用完全随机试验设计。组 1 为对照组，饲料粗蛋白质 (CP) 水平为 16.58%，组 2、组 3 饲料 CP 水平分别下调为 14.58% 和 12.53%。试验饲料参照美国 NRC (2012) 版猪饲养标准配制^[11]，部分营养参数根据福建省规模养猪实际情况进行调整。低蛋白质饲料按照标准可消化赖氨酸 (Lys)：标准可消化蛋

酸+胱氨酸 (Met+Cys)：标准可消化苏氨酸 (Thr)：标准可消化色氨酸 (Trp) 为 100:60:65:20 的比例来补充合成的赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸，各组其他营养素含量均相同，能满足肥育猪的营养需要，试验饲料配方和营养水平见表 1。

表 1 饲料组成及营养水平
Table 1 Nutritional composition of pig forages

项目 Items	预饲饲料 preparatory feeding diet	1组 (CK) Group 1	2组 Group 2	3组 Group 3
饲料组成 Diet composition				
玉米 Corn/%	68.00	61.30	66.00	71.20
麦皮 Wheat bran/%	0.00	8.50	10.00	10.80
豆粕 Soybean meal/%	28.00	24.00	18.00	12.00
磷酸氢钙 CaHPO ₄ /%	1.10	0.66	0.72	0.77
石粉 CaCO ₃ /%	0.60	0.99	1.01	1.00
沸石粉 Zeolite power/%	0.80	3.15	2.63	2.29
食盐 NaCl/%	0.40	0.40	0.40	0.40
预混料 ¹⁾ Premix	1.00	1.00	1.00	1.00
78%赖氨酸盐酸盐 Lys. HCl/%	0.10	0.00	0.16	0.32
98.5%苏氨酸 Thr/%	0.00	0.00	0.02	0.09
99%蛋氨酸 Met/%	0.00	0.00	0.03	0.08
98.5%色氨酸 Try/%	0.00	0.00	0.00	0.03
营养水平 ²⁾ Nutrient levels				
DE/ (kcal·kg ⁻¹)	13.28	12.78	12.78	12.78
CP/%	17.45	16.58	14.58	12.53
Lys/%	0.93	0.82	0.82	0.82
DLys/%	0.81	0.71	0.71	0.71
DMet/%	0.25	0.22	0.23	0.25
(DMet+DCys)/%	0.49	0.45	0.43	0.43
DThr/%	0.57	0.52	0.46	0.46
DTrp/%	0.17	0.16	0.14	0.14

注：1) 为预混料向每千克试验饲料提供:VA 6000IU, VD 1500IU, VE 35.00 mg, VK₃ 1.50 mg, VB₁ 2.50 mg, VB₂ 8.00 mg, D-泛酸 13.50 mg, 烟酸 26.00 mg, VB₆ 2.00 mg, 叶酸 0.25 mg, VB₁₂ 0.02 mg, 生物素 0.25 mg, 氯化胆碱 350.00 mg, Fe 80.00 mg, Cu 20.00 mg, Zn 80.00 mg, Mn 20.00 mg, I 0.30 mg, Se 0.25 mg; 2) 上表中试验饲料 CP 为实际测定值，其他营养指标是根据美国研究委员会 (NRC, 2012) 中的饲料原料可消化系数进行计算所得。

Notes: ①The premix provided the following per kg of diets: VA 6000 IU, VD 1500IU, VE 35.00 mg, VK₃ 1.50 mg, VB₁ 2.50 mg; VB₂ 8.00 mg, D-pantothenic acid 13.50 mg, Nicotinic acid 26.00 mg, VB₆ 2.00 mg, Folic acid 0.25 mg, VB₁₂ 0.02 mg, Biotin 0.25 mg, Choline chloride 350.00 mg, Fe 80.00 mg, Cu 20.00 mg, Zn 80.00 mg, Mn 20.00 mg, I 0.30 mg, Se 0.25 mg; ② CP was a measured value, while the others were calculated values according to the digestible coefficient of feed ingredients of the American Research Council (NRC, 2012).

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能 在预饲期及试验期结束前猪只禁喂 16 h（只给饮水）后于第 2 天上午进行逐头称重，称量每个重复（栏）剩余饲料量，统计试验期各栏喂料量，计算试验猪平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。

1.3.2 屠宰试验 试验个体称重后，每个重复选取 2 头猪（1 公 1 母），空腹 16 h，屠宰方法依据 NY/T 822—2004 种猪生产性能测定技术规范进行屠宰^[12]。

1.3.3 样品采集 屠宰后，取左侧胴体倒数第二、三肋处背最长肌 500 g，-20 ℃ 保存，待测肌肉氨基酸和脂肪酸含量。

1.3.4 肌肉氨基酸、脂肪酸组成及含量测定 肌肉样品解冻后，修剪去除结缔组织和脂肪组织，捣碎，制成风干样。风干样品在 110 ℃ 下用 6 mol·L⁻¹ 盐酸水解 24 h，再在 0 ℃ 条件下用过甲酸氧化 16 h 后，经盐酸水解 24 h，定容，采用氨基酸自动分析仪（日本日立 L-8800 型）测定肌肉氨基酸，上机前根据样品浓度调整稀释倍数。肌肉脂肪酸测定参照

国家标准 GB/T 17376—2008 和 ISO 5509：2000 推荐的酯交换法^[13]，采用气相色谱仪（日本岛津 GC-2010 型）测定肌肉脂肪酸。本试验测定的氨基酸酸、脂肪酸组成及含量为风干样品。

1.4 数据统计分析

所有试验数据采用 Excel 软件处理后，采用统计软件（SPSS 13.0）进行方差分析，用 Duncan 法进行差异显著性检验并进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪生长性能的影响

低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪生产性能的影响结果见表 2。由表 2 可知，2 组日增重分别比 1、2 组提高 3.34%、2.48%，3 组比 1 组提高 0.84%，组间差异均不显著（ $P>0.05$ ）；料重比、日均采食量组间差异不显著（ $P>0.05$ ）。说明低蛋白质饲粮不影响肥育猪的生长性能。

表 2 低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪生产性能的影响
Table 2 Effect of reduced-protein-lysine-added diet on growth of pigs at finishing stage

项目Item	1组 Group 1	2组 Group 2	3组 Group 3
初始体重 Initial body weight/kg	59.50±2.05	59.78±2.06	59.12±2.00
结束体重 Final body weight/kg	95.11±4.15	96.58±3.98	95.03±3.34
平均日增重 Average daily gain/g	890.25±71.28	920.00±67.38	897.75±60.43
日均采食量 Average daily feed intake/kg	2.72±0.20	2.78±0.16	2.70±0.23
料重比 Feed gain ratio	3.06±0.18	3.02±0.19	3.01±0.22

2.2 低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪背最长肌氨基酸含量的影响

低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪背最长肌氨基酸含量的影响结果见表 3。从表 3 可知，猪背最长肌氨基酸含量组间差异不显著（ $P>0.05$ ），必需氨基酸含量（Lys、Met、Thr、Val、Ile、Leu、Phe）、总氨基酸含量及鲜味氨基酸（Lys、Val、Ile、Leu、Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Arg、Pro）含量组间差异均不显著（ $P>0.05$ ）。说明与高蛋白质饲粮相比，低蛋白质氨基酸平衡饲粮不影响猪肉氨基酸的含量和组成。

2.3 低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪背最长肌脂肪酸含量的影响

低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪背最长肌脂肪酸含量的影响结果见表 4。从表 4 可知，猪背最长

肌脂肪酸含量组间差异不显著（ $P>0.05$ ），饱和脂肪酸含量、不饱和脂肪酸含量、单不饱和脂肪酸含量、多不饱和脂肪酸及脂肪酸总量组间差异均不显著（ $P>0.05$ ）。说明与高蛋白质饲粮相比，低蛋白质氨基酸平衡饲粮不影响猪肉脂肪酸组成与含量。

3 讨论

3.1 低蛋白质氨基酸平衡饲粮对肥育猪生长性能的影响

生产中配制的玉米—豆粕型饲粮在满足肥育猪蛋白质营养需要时，则饲粮中多数需氨基酸存在不同程度的过量，研究表明饲粮粗蛋白质水平降低幅度在 4 个百分点以内，并强化相关合成必需氨基酸的添加，不影响商品猪的生长性能^[3,10,14]，本试验结

表 3 低蛋白质氨基酸平衡饲料对肥育猪背最长肌氨基酸含量的影响

Table 3 Effect of reduced-protein-lysine-added diet on amino acid content and composition in longissimus muscles of finisher pigs 单位: mg·mL⁻¹

项目 Item	1组 Group 1	2组 Group 2	3组 Group 3
赖氨酸 Lys	1.90±0.07	1.71±0.13	1.90±0.15
蛋氨酸 Me	0.56±0.03	0.53±0.05	0.56±0.06
苏氨酸 Thr	0.98±0.03	0.90±0.08	0.98±0.08
亮氨酸 Leu	1.77±0.07	1.63±0.11	1.76±0.13
异亮氨酸 Ile	1.04±0.04	0.95±0.07	1.02±0.09
苯丙氨酸 Phe	1.22±0.06	0.79±0.23	1.06±0.24
缬氨酸 Val	1.15±0.04	1.06±0.06	1.14±0.08
组氨酸 His	1.04±0.05	0.92±0.10	1.00±0.07
精氨酸 Arg	1.44±0.07	1.34±0.12	1.45±0.04
天冬氨酸 Asp	2.04±0.07	1.88±0.14	2.03±0.13
丝氨酸 Ser	0.83±0.03	0.77±0.07	0.84±0.04
谷氨酸 Glu	2.69±0.12	2.50±0.22	2.72±0.21
甘氨酸 Gly	0.99±0.02	1.00±0.05	1.05±0.10
丙氨酸 Ala	1.25±0.04	1.17±0.08	1.28±0.06
胱氨酸 Cys	0.14±0.02	0.14±0.02	0.16±0.03
酪氨酸 Tyr	0.76±0.04	0.68±0.06	0.74±0.05
脯氨酸 Pro	0.81±0.01	0.79±0.04	0.84±0.03
总氨基酸 Total amino acid	20.62±0.75	18.74±1.31	20.54±1.01
鲜味氨基酸 Umami amino acid	15.91±0.55	14.79±1.05	16.05±0.81
必需氨基酸 Essential amino acid	8.62±0.32	7.56±0.50	8.53±0.69
鲜味氨基酸占总氨基酸比例 Ratio of umami amino acids to total amino acids	77.18±0.16	78.92±0.59	78.14±0.85
必需氨基酸占总氨基酸比例 Ratio of essential amino acids to total amino acids	41.83±0.15	40.37±0.60	41.49±1.38

果亦证明, 饲料粗蛋白质水平比对照组降低 2 个和 4 个百分点, 保持可消化赖氨酸水平不变, 各组间猪只的增重和料重比水平无显著差异, 这与相关研究结果相同。说明按总氨基酸配制的肥育猪饲料已造成部分氨基酸的浪费, 在不影响肥育猪生长性能的前提下, 饲料粗蛋白质水平可以降低 12.53%。

3.2 低蛋白质氨基酸平衡饲料对肥育猪背肌氨基酸含量的影响

研究表明, 氨基酸是肉类鲜味的主要来源, 氨基酸种类、含量和比例是评价猪肉肉质性状的重要指标^[15]。Rote 等^[4]认为降低饲料蛋白质水平影响肌肉

表 4 饲料不同蛋白质水平对肥育猪背最长肌脂肪酸含量的影响

Table 4 Effect of reduced-protein-lysine-added diet on fatty acid content and composition in longissimus muscles of finisher pigs 单位: %

项目 Item	1组 Group 1	2组 Group 2	3组 Group 3
月桂酸 Lauric acidC12:0	0.10±0.00	0.10±0.00	0.10±0.00
豆蔻酸 Myristic acid C14:0	1.17±0.12	1.13±0.06	1.10±0.10
棕榈酸 Palmitic acidC16:0	24.80±0.46	25.17±0.91	24.60±1.23
棕榈油酸 Palmitoleic acid C16:1	2.33±0.51	2.57±0.45	2.60±0.35
硬脂酸 Stearic acidC18:0	14.57±1.07	14.60±1.15	13.33±1.50
油酸 Oleic acidC18:1	44.17±3.06	46.27±0.95	46.10±1.50
亚油酸 Linoleic acidC18:2	9.17±1.90	7.17±1.76	8.95±1.61
亚麻酸 Linolenic acidC18:3	0.23±0.06	0.17±0.06	0.13±0.06
花生酸 Arachidic acid C20:0	0.23±0.06	0.30±0.08	0.37±0.21
花生四烯酸 Arachidonic acid C20:4	1.27±0.75	0.67±0.51	0.90±0.36
花生五烯酸 Eicosapentaenonic acid C20:5	0.51±0.11	0.49±0.09	0.53±0.12
二十二碳五烯酸 Docosapentaenoic acid C22:5	0.67±0.13	0.63±0.15	0.71±0.15
脂肪酸总量 Total fatty acids	99.22±0.93	99.57±0.85	99.42±0.83
饱和脂肪酸 SFA	40.87±1.72	41.30±1.03	39.50±1.12
不饱和脂肪酸 UFA	58.35±2.12	58.27±1.94	59.92±2.06
单不饱和脂肪酸 Monounsaturated fatty acids	46.50±2.37	48.84±2.45	48.70±2.09
多不饱和脂肪酸 Polyunsaturated fatty acids	11.85±0.41	9.13±0.49	11.22±0.42

蛋白质的沉积, 并导致肉品质下降。张兴等^[16]试验表明, 前期粗饲料蛋白质为 14.53%、后期粗蛋白质为 13.53%, 能显著提高湘沙猪背肌丝氨酸、丙氨酸、亮氨酸、脯氨酸、甘氨酸、缬氨酸、风味氨基酸含量, 有助于改善猪肉风味。左晓红等^[17]试验也显示, 饲料不同蛋白质水平对大巴沙猪肌肉中氨基酸组成有一定影响。郭建凤等^[18]测定了不同品种猪肌肉氨基酸组成, 得出长白猪的背最长肌氨基酸总量、鲜味氨基酸含量、必需氨基酸含最、必需氨基酸占总氨基酸的比率高干杜洛克猪和大白猪。分析上述结果不同的原因, 可能与试验猪的品种、试验饲料的能量水平和氨基酸平衡性等因素有关。本研究通过测定背最长肌肌肉的氨基酸组成和含量, 来分析饲料蛋白质水平与猪肉蛋白质量与质的关系, 结果表明, 在对照组基础上, 降低饲料粗蛋白质水平 2 个和 4 个百分点, 保持饲料赖氨酸水平不变且

平衡饲料中重要的必需氨基酸比例，对猪肉氨基酸组成和含量均没有影响，说明降低饲料蛋白质水平并平衡重要必需氨基酸不影响猪肉蛋白质的氨基酸组成与含量。

3.3 低蛋白质氨基酸平衡饲料对肥育猪背肌脂肪酸含量的影响

肌肉脂肪酸组成与猪肉嫩度、多汁性和风味密切相关^[19]。有研究表明饲料蛋白质对肌间脂肪的发育和沉积有影响^[19]，Teye等^[20]报道，低蛋白质饲料比高蛋白质饲料肌肉脂肪含量从 $17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 极显著增加到 $29\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。Tous等^[21]的研究也显示，降低饲料蛋白质水平，保持赖氨酸水平不变，显著增加背最长肌肌肉脂肪含量，对背最长肌单不饱和脂肪酸含量无影响。张兴等^[16]试验表明，中等粗蛋白质水平饲料（前期为14.53%、后期13.53%）能显著提高湘沙猪肌肉中亚油酸、 γ -亚麻酸、二高- γ -亚麻酸、花生四烯酸、多不饱和脂肪酸含量。左晓红等^[17]试验认为，除神经氨酸外，饲料不同蛋白质水平对肌肉中脂肪酸含量的影响组间差异不显著。而汤文杰等^[22]研究表明饲料蛋白质水平对同一品种背最长肌肌肉脂肪含量和脂肪酸组成无显著影响。本试验结果表明，降低饲料蛋白质水平，维持赖氨酸水平不变且平衡饲料中重要的必需氨基酸比例，对杜长大三元杂交猪背肌脂肪酸含量、饱和脂肪酸含量、不饱和脂肪酸含量、单不饱和脂肪酸含量、多不饱和脂肪酸含量均无影响，与相关研究结果不一致。NRC（2012）^[11]指出，脂肪的沉积与猪的肌肉生长潜能和饲料蛋白质（氨基酸）与能量之比存在一定的关系，因此，出现上述不同的研究结果，可能与本试验采用杜长大三元杂交高瘦肉率猪品种，以及氨基酸的平衡性等因素有关。

4 结论

在本试验背景下，保持饲料赖氨酸水平不变，并平衡饲料中重要必需氨基酸的比例，饲料粗蛋白质水平从16.58%降低至12.53%，对肥育猪的生长性能无影响，对背最长肌氨基酸、脂肪酸组成和含量亦无显著影响。

参考文献：

[1] 鲁宁, 张桂杰, 谯仕彦. 猪低蛋白质低氮排放日粮研究进展 [J]. *猪业科学*, 2010, 27 (5): 42-47.
LU N, ZHANG G J, QIAO S Y. Research progress on low protein and low nitrogen emission diets for pigs [J]. *Swine Industry Science*, 2010, 27 (5): 42-47. (in Chinese)

[2] HONG J S, LEE G I, JIN X H, et al. Effect of dietary energy levels and phase feeding by protein levels on growth performance, blood profiles and carcass characteristics in growing-finishing pigs [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2016, 58 (1): 1-10.
[3] 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. (in Chinese)
[4] ROTZ C A. Management to reduce nitrogen losses in animal production [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82 (Suppl_13): E119-E137.
[5] 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. (in Chinese)
[6] 陈国顺, 高海霞, 冯光戩. 香猪肉肌肉营养特性的分析 [J]. *国外畜牧学 (猪与禽)*, 2012, 32 (2): 50-51.
CHEN G S, GAO H X, FENG G Y. Estimation of the muscle nutritive value in xiang pigs [J]. *Animal Science Abroad (Pigs and Poultry)*, 2012, 32 (2): 50-51. (in Chinese)
[7] 尹靖东, 李德发. 猪肉质形成的分子机制与营养调控 [J]. *动物营养学报*, 2014, 26 (10): 2979-2985.
YIN J D, LI D F. Molecular mechanism underlying meat quality formation and its nutritional regulation in pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26 (10): 2979-2985. (in Chinese)
[8] 谭毓平, 吴买生, 易建军, 等. 沙子岭猪肉肉质性状与肉的成分测定 [J]. *家畜生态*, 2004, 25 (1): 17-19.
TAN Y P, WU M S, YI J J, et al. Determination of meat quality characters and composition of shaziling pig [J]. *Ecology of Domestic Animal*, 2004, 25 (1): 17-19. (in Chinese)
[9] 李庆岗, 经荣斌, 杨元清, 等. 姜曲海猪瘦肉型品系 (零世代) 仔猪背最长肌肌肉脂肪酸组成及含量的研究 [J]. *扬州大学学报*, 2004, 25 (2): 48-51.
LI Q G, JING R B, YANG Y Q, et al. Study on composition and content of fatty acids in longissimus muscle of jiangquhai meat type piglets [J]. *Journal of Yangzhou University*, 2004, 25 (2): 48-51. (in Chinese)
[10] 曾燕霞, 王晶, 季海峰, 等. 低蛋白质日粮对育肥猪生产性能、氮代谢及血液生化指标的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2017, 38 (6): 30-36.
ZENG Y X, WANG J, JI H F, et al. Effect of low protein diets on growth performance, nitrogen metabolism and blood biochemical index of finishing pigs [J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2017, 38 (6): 30-36. (in Chinese)
[11] NRC. Nutrient requirements of swine[M]. Washington, D.C.: National Academies Press, 2012.

- [12] 中华人民共和国农业农村部. 种猪生产性能测定规程: NY/T 822—2019[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 动植物油脂 脂肪酸甲酯制备: GB/T 17376—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [14] BUNGER L, LAMBE N R, MCLEAN K, et al. Effects of low protein diets on performance of pigs with a lean genotype between 40 and 115 kg liveweight [J]. *Animal Production Science*, 2015, 55 (4): 461.
- [15] 朱洪强, 王全凯, 殷树鹏. 野猪肉与家猪肉营养成分的比较分析 [J]. *西北农业学报*, 2007, 16 (3): 54–56.
- ZHU H Q, WANG Q K, YIN S P. The comparison analysis of the boar meat and pork in nourishment composition [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2007, 16 (3): 54–56. (in Chinese)
- [16] 张兴, 吴买生, 向拥军, 等. 饲料不同粗蛋白质水平对湘沙猪配套系母系猪肉质的影响 [J]. *养猪*, 2017 (3): 84–88.
- ZHANG X, WU M S, XIANG Y J, et al. Effects of dietary protein levels on meat quality of Xiangsha synthetic female line pigs [J]. *Swine Production*, 2017 (3): 84–88. (in Chinese)
- [17] 左晓红, 任慧波, 吴买生, 等. 饲料不同蛋白质水平对大巴沙杂种猪肉品质的影响 [J]. *养猪*, 2016 (1): 81–84.
- ZUO X H, REN H B, WU M S, et al. Effects of dietary protein levels on meat quality of Yorkshire×Berkshire×shaziling pigs [J]. *Swine Production*, 2016 (1): 81–84. (in Chinese)
- [18] 郭建凤, 武英, 呼红梅, 等. 大约克、杜洛克和长白猪肌肉品质比较 [J]. *西北农业学报*, 2008, 17 (6): 30–35.
- GUO J F, WU Y, HU H M, et al. Comparison on meat qualities of yorshire, duroc and Landrace pigs [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2008, 17 (6): 30–35. (in Chinese)
- [19] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: A review [J]. *Meat Science*, 2004, 66 (1): 21–32.
- [20] TEYE G A, SHEARD P R, WHITTINGTON F M, et al. Influence of dietary oils and protein level on pork quality. 1. Effects on muscle fatty acid composition, carcass, meat and eating quality [J]. *Meat Science*, 2006, 73 (1): 157–165.
- [21] TOUS N, LIZARDO R, VILÀ B, et al. Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows [J]. *Journal of Animal Science*, 2014, 92 (1): 129–140.
- [22] 汤文杰, 徐海军, 刘志强, 等. 日粮蛋白水平对瘦肉型和脂肪型肥育猪肌肉脂肪含量及其脂肪酸组成的影响 [J]. *江苏农业学报*, 2009, 25 (5): 1047–1052.
- TANG W J, XU H J, LIU Z Q, et al. Effects of crude protein levels in dietary on intramuscular fat content and its fatty acid composition of lean type and fat type of fattening pigs [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2009, 25 (5): 1047–1052. (in Chinese)

(责任编辑: 吴宇琳)