

DOI: 10.11686/cyxb2025279

http://cyxb.magtech.com.cn

许江博, 梅昌伟, 陈东, 等. 苜蓿草粉对凉伞猪不同杂交组合生产性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响. 草业学报, 2026, 35(6): 202—215.

XU Jiang-bo, MEI Chang-wei, CHEN Dong, *et al.* The effect of alfalfa meal on the average daily gain, slaughter performance, meat quality, and serum biochemical indicators of two different hybrid lines of Liangsan pigs. *Acta Prataculturae Sinica*, 2026, 35(6): 202—215.

苜蓿草粉对凉伞猪不同杂交组合生产性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响

许江博¹, 梅昌伟², 陈东^{1*}, 蒋润瑶¹, 郭松长¹, 吴秀鸿³, 罗巨英⁴, 黄海元⁵, 刘芳⁶

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省农业科技服务中心, 湖南长沙 422314; 3. 新晃侗族自治县相源农业有限公司, 湖南怀化 419206; 4. 永州市零陵区农业农村局, 湖南永州 425000; 5. 湘潭县农业农村局, 湖南湘潭 411228; 6. 株洲市渌口区农业农村局, 湖南株洲 412100)

摘要: 本试验旨在研究苜蓿草粉对凉伞猪不同杂交组合生产性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响。本试验采取双因素试验设计, 共设置4个组: EG I组(藏凉F₁, 饲喂苜蓿饲料)、CG I组(藏凉F₁, 饲喂基础饲料)、EG II组(巴凉F₁, 饲喂苜蓿饲料)、CG II组(巴凉F₁, 饲喂基础饲料)、每组设置3个重复, 每个重复10只猪, 试验期为49 d, 其中基础饲料为试验场自配饲料, 苜蓿饲料处理为以苜蓿草粉替代基础饲料的9.6%, 试验动物选取体况优良、体重接近(91.20±10.07 kg)和无病健康的8月龄凉伞猪不同杂交组合子代猪。本试验系统地评估了两种杂交组合和两种饲料对于生产性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响, 并探讨了其的交互作用。结果表明: 1) 当杂交组合为主效应时, CG II组的平均日增重、屠宰率、净肉率、眼肌面积、谷氨酸、精氨酸、总抗氧化能力显著高于CG I组($P<0.05$), EG II组的屠宰率、粗脂肪和谷胱甘肽—过氧化物酶活性显著高于EG I组($P<0.05$), EG I组的粗蛋白质和二十二碳酸含量显著高于EG II组($P<0.05$), CG I组的粗蛋白质和葡萄糖含量显著高于CG II组($P<0.05$)。2) 当饲料类型为主效应时, CG II组的丙二醛含量显著高于EG II组($P<0.05$), EG组的背最长肌精氨酸和总抗氧化能力显著高于CG组($P<0.05$)。3) 饲料类型与杂交组合在精氨酸和 α -亚麻酸上存在显著交互作用($P<0.05$)。4) 其余各指标间无显著差异, 但与基础日粮组(CG组)相比, 苜蓿日粮组(EG组)的料肉比、粗脂肪、滴水损失、黄度值、十五碳酸、十七碳酸、二十二碳酸、二十四碳酸含量均有所降低($P>0.05$), 粗蛋白质、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、酪氨酸、亮氨酸、丁酸含量和超氧化物歧化酶、碱性磷酸酶活性均有所升高($P>0.05$)。综上所述, 在育肥后期饲喂苜蓿饲料可以降低杂交组合的料肉比, 改善饲料利用率, 提高总抗氧化能力, 有效改善两种杂交组合的肉品质。

关键词: 苜蓿草粉; 凉伞猪; 生长性能; 屠宰性能; 肉品质; 血清生化指标

The effect of alfalfa meal on the average daily gain, slaughter performance, meat quality, and serum biochemical indicators of two different hybrid lines of Liangsan pigs

XU Jiang-bo¹, MEI Chang-wei², CHEN Dong^{1*}, JIANG Run-yao¹, GUO Song-chang¹, WU Xiu-hong³, LUO Ju-ying⁴, HUANG Hai-yuan⁵, LIU Fang⁶

1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Hunan Agricultural

收稿日期: 2025-07-08; 改回日期: 2025-09-03

基金项目: 湖南省中央引导地方科技发展专项资金项目(2023ZY017), 湖南省重点领域研发计划项目(2023NK2023), 山东省重点研发计划项目(2023TZXD046), 湖南省草食动物产业技术体系, 内蒙古自治区中央引导地方科技发展专项资金项目(2024ZY0114)和湖南省博士创新站资助。

作者简介: 许江博(2000—), 男, 河南灵宝人, 在读硕士。E-mail: 728387040@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: chendong_326@126.com

Science and Technology Service Center, Changsha 422314, China; 3. Xiangyuan Agriculture Co., Ltd., Xinhuang Dong Autonomous County, Huaihua 419206, China; 4. Agriculture and Rural Bureau, Lingling District, Yongzhou City, Yongzhou 425000, China; 5. Agriculture and Rural Bureau, Xiangtan County, Xiangtan 411228, China; 6. Agriculture and Rural Bureau, Lukou District, Zhuzhou City, Zhuzhou 412100, China

Abstract: This experiment investigated the effects of alfalfa (*Medicago sativa*) meal on the production performance, slaughter performance, meat quality, and serum biochemical indicators of different hybrid lines of Liangshan pigs. A two-factor experimental design was adopted, dividing animals into four groups: EG I (Zangliang F₁, fed alfalfa diet), CG I (Zangliang F₁, fed basal diet), EG II (Baliang F₁, fed alfalfa diet) and CG II (Baliang F₁, fed basal diet). Each group consisted of three replicates, with 10 pigs per replicate, and the experiment lasted 49 days. The basal diet was formulated by the experimental farm, and the alfalfa diet was prepared by replacing 9.6% of the basal diet with alfalfa meal. The experimental animals were selected from healthy 8-month-old Liangshan hybrid pigs with good body condition and similar body weight (91.20 ± 10.07 kg). This study systematically evaluated the effects of the two hybrid combinations and two dietary types on production performance, slaughter performance, meat quality, and serum biochemical indicators, and explored their interactions. It was found that: 1) When comparing hybrid lines, the average daily gain, slaughter rate, lean meat percentage, eye muscle area, glutamic acid content, arginine content, and total antioxidant capacity of group CG II were significantly higher than those of group CG I ($P < 0.05$). The slaughter rate, ether extract content, and glutathione peroxidase activity of group EG II were significantly higher than those of group EG I ($P < 0.05$). The crude protein and docosanoic acid content in group EG I were significantly higher than those in group EG II ($P < 0.05$), while the crude protein and glucose content in group CG I were significantly higher than those in group CG II ($P < 0.05$). 2) When comparing alfalfa and basal diets the malondialdehyde content in group CG II was significantly higher than that in group EG II ($P < 0.05$), and the arginine content and total antioxidant capacity in the longissimus dorsi muscle of the EG groups were significantly higher than those in the CG groups ($P < 0.05$). 3) A significant interaction between diet type and hybrid combination was observed for arginine and α -linolenic acid ($P < 0.05$). 4) No significant differences were found in the other indicators; however, compared with the basal diet group (CG group), the alfalfa diet group (EG group) showed a decrease in feed conversion ratio, ether extract content, drip loss, yellowness value, pentadecanoic acid, heptadecanoic acid, docosanoic acid, and tetracosanoic acid content ($P > 0.05$), while the contents of crude protein, aspartic acid, glycine, alanine, proline, tyrosine, leucine, and butyric acid, as well as the activities of superoxide dismutase and alkaline phosphatase, were increased ($P > 0.05$). In conclusion, dietary supplementation with alfalfa meal during the late fattening phase reduced the feed conversion ratio, improved feed utilization, enhanced total antioxidant capacity, and effectively improved meat quality in both hybrid lines.

Key words: alfalfa meal; Liangshan pig; growth performance; slaughter performance; meat quality; serum biochemical indexes

随着全球人口的增长和人们对高质量动物蛋白需求的不断增加,生猪养殖业面临着提高生产效率和降低成本的巨大压力^[1-3]。传统的饲料配方主要以玉米(*Zea mays*)、豆粕等为主要原料,然而,这些原料的价格波动较大,且在某些地区供应不稳定,给养殖业带来了不小的挑战^[4-6]。因此,寻找替代性饲料资源,以降低饲料成本并维持甚至提高生猪的生产性能,成为当前研究的热点之一^[7-9]。

苜蓿(*Medicago sativa*)作为一种优质的豆科牧草,因其高蛋白含量、丰富的维生素和矿物质以及良好的适口性,被广泛应用于反刍动物的饲养中^[10]。近年来,越来越多的研究表明,苜蓿在单胃动物(如猪)的饲料中也有潜

在的应用价值。苜蓿不仅能够提供丰富的营养物质,还含有多种生物活性物质,如皂苷、黄酮类化合物和多酚,这些物质可能对动物的生长性能、免疫功能和抗氧化能力产生积极影响^[11-14]。

凉伞猪是黔邵花猪的一个类群,以其适应性强、肉质优良、肌肉氨基酸组成丰富而闻名^[15]。然而,随着外来猪种的引入和杂交改良,凉伞猪的纯种数量逐渐减少,但其在杂交组合中的表现仍然备受关注。凉伞猪与其他猪种的杂交组合,不仅能够保留其优良的肉质特性,还可能通过杂交优势提高杂交后代的生产性能。

再亿^[13]研究发现,用10%的苜蓿颗粒替代部分玉米及豆粕可以提高育肥猪的生长性能、改善肉色,显著增强肌肉抗氧化能力,同时还能优化背最长肌的氨基酸和脂肪酸组成。目前,关于苜蓿草粉在猪饲料中应用的研究多集中在单一品种或单一杂交组合上,而对不同杂交组合的比较研究较少^[16-17]。凉伞猪作为地方猪种,其杂交组合的多样性为研究提供了丰富的材料。为评估苜蓿对不同生产方向杂交猪的影响,本研究选用饲料转化率高的巴克夏猪和抗逆性强的藏猪分别与凉伞猪杂交所产生的两种杂交后代作为试验对象,重点探讨以苜蓿替换9.6%基础饲料对巴凉F₁和藏凉F₁生产性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响,以为苜蓿草粉在生猪养殖中的应用提供理论依据和实践指导,同时为凉伞猪的杂交利用和遗传改良提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 试验材料

基础饲料和苜蓿饲料所需苜蓿草粉均由新晃相源农业有限公司提供。

1.2 试验动物

选取体况优良、体重接近(初始体重:91.20±10.07 kg)和无病健康的8月龄藏猪×凉伞猪杂交F₁代(简称:藏凉F₁)和巴克夏猪×凉伞猪杂交F₁代(简称:巴凉F₁)各60头作为试验对象。动物试验由湖南农业大学动物管理和使用委员会审查批准(批准号:2024129)。

1.3 试验设计

本试验采取双因素试验设计,两因子分别为杂交组合和饲料配比(2种杂交组合×2种饲料)。2种杂交组合为藏凉F₁和巴凉F₁;2种饲料为基础饲料和苜蓿饲料,基础饲料为试验场自配饲料,苜蓿饲料处理为以苜蓿草粉替代基础饲料的9.6%。共设置4个组:EG I组(藏凉F₁,饲喂苜蓿饲料)、CG I组(藏凉F₁,饲喂基础饲料)、EG II组(巴凉F₁,饲喂苜蓿饲料)、CG II组(巴凉F₁,饲喂基础饲料),每组设置3个重复,每个重复10头猪,共计120只猪,试验于2024年10月22日至2024年12月10日在新晃相源农业有限公司养殖基地开展,其中预饲期7 d,试验期42 d,共计49 d。试验结束后,在每组的每个重复中随机挑选3头猪,共计36头,按肥猪屠宰标准进行屠宰测定;收集待宰猪只静脉血,4℃条件下,3000 r·min⁻¹离心15 min制备血清,-80℃保存,备测血清生化指标。采集每头猪的左侧胸椎至第6腰椎的背最长肌作为肉品质检测的样本。

1.4 饲养管理

饲养前对猪舍进行消毒,试验猪从试验正试期开始,每天在8:00和16:00各饲喂一次,全期采用自由饮水。饲料组成及营养成分见表1。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生长性能 分别于试验的第1天和最后1 d晨饲前对试验猪只进行空腹称重并记录,根据初重和末重计算平均日增重。试验期间,记录每日各个栏舍的喂料量和最后的余料量,计算平均日采食量。

平均日采食量(average daily feed intake, ADFI, kg·d⁻¹·头⁻¹)=饲料总耗料量/(天数×猪只数量)

平均日增重(average daily gain, ADG, kg·d⁻¹)=(末重-初始重)/天数

料肉比(feed conversion ratio, FCR)=饲料总耗料量/(末重-初始重)

1.5.2 屠宰性能 骨重:胴体剔除净肉后实际的骨重;净肉重:去除胴体上所有骨头的重量;胴体重:去除毛皮、头部、四肢关节以下部位以及内脏(保留肾脏)后,静置30 min后称重的重量;净肉率:净肉重与宰前活重的比值,乘以100%;胴体净肉率:净肉重与胴体重的比值,乘以100%;骨肉比:胴体骨重与净肉重的比值,乘以100%;屠宰率:胴体重与宰前活重的比值,乘以100%。

1.5.3 肉质 pH 值:使用 pH 计(PH818M,深圳市希玛英豪贸易有限公司)在取样后 45 min 时对背最长肌 3 个部位进行 pH 测定。

肉色:在屠宰取样后 45 min,使用色差仪(Konica Minolta CR-410,上海人和科学仪器有限公司)测量背最长肌亮度(L*)、红度(a*)和黄度(b*)值。

肉嫩度:顺着肌肉肌纤维平行的方向切取 3 cm (长)×1 cm(宽)×1 cm(厚)的长条形,使用数显式肌肉嫩度仪(BG02-C-LM3B,廊坊众仪科技有限公司)测定其剪切力值,重复数次后取平均值。滴水损失、蒸煮损失参考周艳^[18]的方法进行测定。

氨基酸与脂肪酸含量均使用混标测定。肌肉样品使用真空冷冻干燥机(型号:LYOQUEST-85 PLUS,荣事达机电设备有限公司)冷冻干燥 48 h,粉碎后参照 GB 5009.5—2016^[19]、GB 5009.6—2016^[20],分别测定粗蛋白质、粗脂肪含量。参照 GB/T 5009.124—2016^[21],用氨基酸自动分析仪(型号:L-8900,株式会社日立制作所,日本)测定背最长肌中氨基酸含量。参照 GB/T 5009.168—2016^[22],利用气相色谱法测定背最长肌中脂肪酸的含量。

1.5.4 血清生化和抗氧化指标检测 将采集的血清样品使用试剂盒进行检测,检测指标包括葡萄糖(glucose, GLU)、甘油三酯(triglyceride, TG)、尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、总抗氧化能力(total antioxidant capacity, TAOC)、丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量和碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽—过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、过氧化氢酶(catalase, CAT)活性,试剂盒购自北京安迪华泰生物科技有限公司。

1.6 数据统计与分析

数据经 Excel 2020 整理后,利用 SPSS 25.0 统计软件进行双因素方差分析(Two-way ANOVA),对屠宰性能、肉质和血清生化指标进行统计分析。饲料类型和杂交组合作为固定因子,分别表示不同饲料类型和不同杂交组合的影响。本研究还考察了饲料类型与杂交组合之间的交互作用,以评估其对屠宰性能、肉质和血清生化指标的综合影响,以 $P < 0.05$ 表示具有显著性差异, $P > 0.05$ 表示差异不显著,结果用“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 饲料类型、杂交组合及其交互作用对生长性能和屠宰性能的影响

由表 2 可知,当杂交组合为主效应时,CG II 组的末重、平均日增重、屠宰率、净肉率、眼肌面积均显著高于 CG I 组($P < 0.05$),EG II 组的屠宰率显著高于 EG I 组($P < 0.05$)。当饲料类型为主效应时,各指标间无显著差异($P > 0.05$);杂交组合和饲料类型对各指标并无显著交互作用($P > 0.05$)。

表 1 饲料组成及营养成分表(风干基础)

Table 1 Diet composition and nutrient composition (air-dried basis)

原料 Ingredients	基础饲料 Basal diet	苜蓿饲料 Alfalfa diet
原料 Ingredient		
玉米粉 Corn flour (%)	55	49.5
豆粕 Soybean meal (%)	21	18.9
米糠 Rice bran (%)	10	9
麸皮 Bran (%)	10	9
苜蓿草粉 Alfalfa meal (%)	—	9.6
¹⁾ 预混料 Premix (%)	4	4
合计 Total (%)	100	100
营养水平 Nutrient level		
干物质 Dry matter (%)	83.69	83.67
粗蛋白质 Crude protein (%)	18.04	18.07
粗脂肪 Ether extract (%)	4.29	4.08
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber (%)	6.19	7.97
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber (%)	13.59	15.76
钙 Ca (%)	0.49	0.62
总磷 Total phosphorus (%)	0.80	0.78
赖氨酸 Lysine (%)	0.85	0.85
蛋氨酸 Methionine (%)	0.28	0.27
苏氨酸 Threonine (%)	0.52	0.54
色氨酸 Tryptophan (%)	0.20	0.23
消化能 Digestive energy (MJ·kg ⁻¹)	13.04	12.55
代谢能 Metabolic energy (MJ·kg ⁻¹)	11.76	11.33

注:¹⁾预混料为每 kg 饲料提供:维生素 A 5.6 mg,维生素 B₁ 1.2 mg,维生素 B₂ 2 mg,维生素 B₅ 8 mg,维生素 D₃ 0.96 mg,维生素 E 16 mg,烟酸 15.2 mg,铜 48 mg,铁 60 mg,锌 20 mg,锰 20 mg;赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、色氨酸、消化能和代谢能为计算值,其余为实测值。

Note: ¹⁾Premixed feed provide 5.6 mg of vitamin A, 1.2 mg of vitamin B₁, 2 mg of vitamin B₂, 8 mg of vitamin B₅, 0.96 mg of vitamin D₃, 16 mg of vitamin E, 15.2 mg of niacin, 48 mg of copper, 60 mg of iron, 20 mg of zinc, and 20 mg of manganese per kg of feed. Lysine, methionine, threonine, tryptophan, digestive energy, and metabolic energy are calculated values, while others are measured values.

表2 饲料类型、杂交组合及其交互作用对生长性能和屠宰性能的影响

Table 2 Effects of diet types, hybrid combinations, and their interaction on growth performance and slaughter performance

项目 Item	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type		P值 P value		
		基础饲料 Basic diet	苜蓿饲料 Alfalfa diet	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type	杂交组合×饲料类型 Hybrid combination×diet type
初始体重 Initial weight	藏凉 Zangliang	90.90±10.12	90.90±9.95	—	—	—
	巴凉 Baliang	91.60±10.25	91.40±10.03			
末重 Final weight	藏凉 Zangliang	108.54±10.21B	108.96±9.50	0.06	0.98	0.95
	巴凉 Baliang	116.82±3.54A	117.64±8.49			
ADFI (kg·d ⁻¹ ·head ⁻¹)	藏凉 Zangliang	3.24	3.21	—	—	—
	巴凉 Baliang	3.71	3.71			
FCR	藏凉 Zangliang	7.29	7.10	—	—	—
	巴凉 Baliang	7.65	7.39			
ADG (kg·d ⁻¹)	藏凉 Zangliang	0.43±0.07B	0.42±0.08	0.05	0.94	0.84
	巴凉 Baliang	0.60±0.03A	0.62±0.27			
BMR	藏凉 Zangliang	0.33±0.03	0.34±0.35	0.21	0.52	0.68
	巴凉 Baliang	0.28±0.06	0.31±0.03			
DP (%)	藏凉 Zangliang	72.48±2.24B	71.00±3.16B	0.01	0.90	0.34
	巴凉 Baliang	76.95±0.15A	76.16±1.00A			
NMP (%)	藏凉 Zangliang	52.05±1.11B	48.57±22.50	0.34	0.73	0.95
	巴凉 Baliang	60.20±1.37A	57.81±3.82			
EMA (cm ²)	藏凉 Zangliang	26.58±2.16B	29.77±4.98	0.00	0.57	0.15
	巴凉 Baliang	50.28±5.67A	43.34±7.56			

注：同行数据无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)，同一项目同列数据无字母或相同字母表示差异不显著($P>0.05$)，不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)。“—”表示本试验条件下该指标无法进行统计分析。下同。ADFI：平均日采食量 Average daily feed intake；FCR：料肉比 Feed conversion ratio；ADG：平均日增重 Average daily gain；BMR：骨肉比 Bone to meat ratio；DP：屠宰率 Dressing percentage；NMP：净肉率 Net meat percentage；EMA：眼肌面积 Eye muscle area。

Note: The absence or identical letters of peer data indicate no significant differences ($P>0.05$), while different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$). The absence or identical letters of the same item and column data indicate no significant differences ($P>0.05$), while different uppercase letters indicate significant differences ($P<0.05$). “—” indicates that the indicator cannot be statistically analyzed under the conditions of this experiment. The same below.

2.2 饲料类型、杂交组合及其互作对背最长肌营养成分和肉品质的影响

由表3可知，当杂交组合为主效应时，EG I组和CG I组的粗蛋白质显著高于EG II组和CG II组($P<0.05$)，EG II组的粗脂肪显著高于EG I组($P<0.05$)；当饲料类型为主效应时，各指标间无显著差异($P>0.05$)；杂交组合和饲料类型对各指标并无显著交互作用($P>0.05$)。

2.3 饲料类型、杂交组合及其互作对背最长肌氨基酸含量的影响

由表4可知，当杂交组合为主效应时，CG II组的谷氨酸和精氨酸高于CG I组($P<0.05$)；当饲料类型为主效应时，EG I组和EG II组的精氨酸高于CG I组和CG II组($P<0.05$)；杂交组合和饲料类型对精氨酸具有显著交互作用($P<0.05$)。

2.4 饲料类型、杂交组合及其互作对背最长肌脂肪酸含量的影响

由表5可知，当杂交组合为主效应时，EG II组的二十二碳酸高于EG II组($P<0.05$)；当饲料类型为主效应时，各指标间无显著差异($P>0.05$)；杂交组合和饲料类型对 α -亚麻酸具有显著交互作用($P<0.05$)。

表 3 饲料类型、杂交组合及其互作对背最长肌营养成分和肉品质的影响

Table 3 Effects of diet types, hybrid combinations, and their interactions on nutrients and meat quality of dorsal longest muscle

项目 Item	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type		P 值 P value		
		基础饲料 Basic diet	苜蓿饲料 Alfalfa diet	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type	杂交组合×饲料类型 Hybrid combination×diet type
粗脂肪 Ether extract (EE, %)	藏凉 Zangliang	2.55±0.30	2.33±0.94B	0.01	0.14	0.29
	巴凉 Baliang	4.07±1.42	3.90±0.99A			
粗蛋白质 Crude protein (CP, %)	藏凉 Zangliang	80.03±1.95A	80.07±2.51A	0.00	0.60	0.61
	巴凉 Baliang	68.94±1.41B	70.73±5.77B			
蒸煮损失 Cooking loss (%)	藏凉 Zangliang	33.52±2.31	32.82±2.47	0.92	0.63	0.81
	巴凉 Baliang	31.84±1.06	33.91±8.77			
滴水损失 Drip loss (%)	藏凉 Zangliang	2.76±0.31	2.48±0.14	0.06	0.45	0.97
	巴凉 Baliang	2.65±0.08	2.39±0.26			
剪切力 Shear force (N)	藏凉 Zangliang	6.26±2.09	7.40±1.00	0.77	0.95	0.07
	巴凉 Baliang	6.40±2.19	7.62±1.97			
pH _{45min}	藏凉 Zangliang	6.41±0.20	6.58±0.09	0.12	0.73	0.19
	巴凉 Baliang	6.06±0.40	6.35±0.35			
亮度 L* (0 h)	藏凉 Zangliang	32.96±2.32	31.77±1.37	0.13	0.62	0.21
	巴凉 Baliang	36.00±3.66	33.37±1.56			
红度 a* (0 h)	藏凉 Zangliang	6.68±2.32	7.88±1.90	0.14	0.70	0.37
	巴凉 Baliang	5.56±0.71	6.05±0.47			
黄度 b* (0 h)	藏凉 Zangliang	7.93±1.01	5.81±1.48	0.56	0.64	0.09
	巴凉 Baliang	8.04±2.49	6.77±0.26			

表 4 饲料类型、杂交组合及其互作对背最长肌氨基酸含量的影响

Table 4 Effects of diet types, hybrid combinations, and their interactions on amino acid content in dorsal longest muscle (%)

项目 Item	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type		P 值 P value		
		基础饲料 Basic diet	苜蓿饲料 Alfalfa diet	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type	杂交组合×饲料类型 Hybrid combination×diet type
天冬氨酸 Aspartic acid*	藏凉 Zangliang	1.73±0.69	2.92±0.47	0.34	0.12	0.92
	巴凉 Baliang	2.40±0.26	3.74±2.38			
谷氨酸 Glutamate*	藏凉 Zangliang	3.35±1.31A	2.53±1.23	0.46	0.60	0.64
	巴凉 Baliang	2.35±1.91B	2.29±0.87			
甘氨酸 Glycine*	藏凉 Zangliang	3.37±0.17	4.88±1.17	0.12	0.09	0.25
	巴凉 Baliang	4.77±0.12	5.15±0.11			
精氨酸 Arginine	藏凉 Zangliang	28.05±1.55Bb	37.30±1.36a	0.00	0.00	0.04
	巴凉 Baliang	35.83±0.35Ab	40.41±0.91a			
丙氨酸 Alanine*	藏凉 Zangliang	8.64±2.62	10.12±2.21	0.85	0.51	0.87
	巴凉 Baliang	9.26±4.85	10.18±0.89			
脯氨酸 Proline*	藏凉 Zangliang	4.92±1.71	5.21±4.26	0.40	0.66	0.78
	巴凉 Baliang	5.90±2.92	7.11±1.14			
酪氨酸 Tyrosine*	藏凉 Zangliang	1.95±0.66	4.80±4.76	0.30	0.27	0.44
	巴凉 Baliang	1.55±0.86	2.07±0.50			
亮氨酸 Leucine	藏凉 Zangliang	32.61±5.52	36.04±7.92	0.38	0.76	0.11
	巴凉 Baliang	26.82±1.06	32.53±6.60			

注：指标上标*表示为风味前体物质。下同。

Note: The superscript * on the indicator represents the flavor precursor substance. The same below.

表5 饲料类型、杂交组合及其互作对背最长肌脂肪酸含量的影响

Table 5 Effects of diet types, hybrid combinations, and their interactions on fatty acid content in dorsal longest muscle (%)

项目 Item	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type		P 值 P value		
		基础饲料 Basic diet	苜蓿饲料 Alfalfa diet	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type	杂交组合×饲料类型 Hybrid combination×diet type
丁酸 C4:0*	藏凉 Zangliang	8.77±2.89	9.94±4.91	0.68	0.68	0.94
	巴凉 Baliang	9.92±6.69	11.61±7.57			
十五碳酸 C15:0	藏凉 Zangliang	1.30±0.04	1.16±0.11	0.61	0.08	0.62
	巴凉 Baliang	1.30±0.14	1.22±0.10			
十七碳酸 C17:0	藏凉 Zangliang	24.56±1.67	22.62±0.85	0.96	0.03	0.95
	巴凉 Baliang	24.48±1.45	22.63±0.46			
顺-10-十七碳一烯酸 C17:1n7	藏凉 Zangliang	3.74±0.79	3.12±0.52	0.96	0.39	0.40
	巴凉 Baliang	3.45±0.50	3.44±0.53			
亚油酸 C18:2n6c*	藏凉 Zangliang	10.86±1.17	11.68±1.68	0.27	0.90	0.26
	巴凉 Baliang	12.32±0.41	11.66±0.24			
二十碳酸 C20:0	藏凉 Zangliang	40.91±4.25	40.17±2.09	0.54	0.91	0.71
	巴凉 Baliang	38.18±4.10	39.51±6.79			
α-亚麻酸 C18:3n6*	藏凉 Zangliang	7.40±0.18	8.34±0.67	0.13	0.07	0.03
	巴凉 Baliang	7.58±0.08	7.48±0.01			
二十二碳酸 C22:0	藏凉 Zangliang	0.78±0.15	0.69±0.02A	0.02	0.29	0.67
	巴凉 Baliang	0.59±0.09	0.55±0.07B			
二十四碳酸 C24:0	藏凉 Zangliang	0.95±0.40	0.90±0.05	0.03	0.27	0.38
	巴凉 Baliang	1.48±0.01	1.16±0.34			

2.5 饲料类型、杂交组合及其互作对血清生化指标的影响

由表6可知,当杂交组合为主效应时,EG I组的谷胱甘肽一过氧化物酶显著高于EG I组($P<0.05$),CG I组的葡萄糖含量显著高于CG II组($P<0.05$),CG II组的总抗氧化能力显著高于CG I组($P<0.05$)。当饲料类型为主效应时,CG II组的丙二醛显著高于EG II组($P<0.05$),EG组总抗氧化能力显著高于CG组($P<0.05$)。杂交组合和饲料类型对各指标并无显著交互作用($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料类型对不同杂交组合生长性能的影响

本试验中饲喂苜蓿饲料,使藏凉F₁的平均日增重有所降低,这与Diana等^[23]研究结果一致。Ma等^[24]、李颖等^[25]、Li等^[26]、丁欣蓉^[27]研究表明苜蓿作为一种高纤维、高蛋白的饲料原料,能够改善猪的消化功能,促进营养物质的吸收,从而提高饲料转化率。本试验中,苜蓿饲料对两种杂交组合的料肉比有轻微改善作用,尽管平均日增重在各组间无显著差异,但苜蓿饲料组的料肉比普遍低于基础饲料组,表明苜蓿替代饲料提高了饲料的利用效率,这与前人研究结果一致。

3.2 饲料类型对不同杂交组合屠宰性能的影响

屠宰性能是评价生猪生产效益的重要指标之一,主要包括屠宰率、眼肌面积等指标。屠宰率能直观反映猪的出肉率,不同猪种的屠宰率虽有所差异,但大致在60%~80%^[28]。本试验中,屠宰率均在71%以上,符合正常范围,但当饲料类型由基础饲料变为苜蓿饲料时,屠宰率呈现较小下降趋势。王自豪等^[29]研究发现,添加紫花苜蓿的试验组与未添加的对照组之间屠宰率差异不显著。Lindn^[30]的研究也表明,在猪饲料中添加少量紫花苜蓿或青饲料对屠宰率无显著影响,只有当添加量超过10%时,屠宰率才会出现明显下降。本试验结果表明,苜蓿饲料对

表 6 饲料类型、杂交组合及其互作对血清生化指标的影响

Table 6 Effects of diet types, hybrid combinations, and their interactions on serum biochemical indicators

项目 Item	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type		P 值 P value		
		基础饲料 Basic diet	苜蓿饲料 Alfalfa diet	杂交组合 Hybrid combination	饲料类型 Diet type	杂交组合×饲料类型 Hybrid combination×diet type
MDA (nmol·mL ⁻¹)	藏凉 Zangliang	14.29±0.85	13.30±2.49	0.44	0.02	0.52
	巴凉 Baliang	14.21±1.36a	12.50±1.51b			
SOD (U·mL ⁻¹)	藏凉 Zangliang	193.46±17.71	205.14±14.03	0.15	0.08	0.79
	巴凉 Baliang	203.05±8.73	211.72±22.80			
TG (nmol·L ⁻¹)	藏凉 Zangliang	1.78±0.18	1.70±0.19	0.48	0.54	0.52
	巴凉 Baliang	1.79±0.23	1.79±0.15			
GSH-Px (U·mL ⁻¹)	藏凉 Zangliang	149.83±22.65	161.48±3.33B	0.00	0.03	0.89
	巴凉 Baliang	166.61±10.35	176.93±14.06A			
CAT (U·L ⁻¹)	藏凉 Zangliang	57.25±11.59	57.65±4.54	0.65	0.18	0.23
	巴凉 Baliang	52.35±8.58	59.91±8.93			
ALP (U·L ⁻¹)	藏凉 Zangliang	1118.59±44.31	1155.60±74.50	0.73	0.30	0.92
	巴凉 Baliang	1133.04±172.30	1163.89±19.94			
BUN (nmol·L ⁻¹)	藏凉 Zangliang	9.59±0.52	8.76±1.90	0.47	0.07	0.95
	巴凉 Baliang	9.29±1.03	8.41±1.53			
GLU (nmol·L ⁻¹)	藏凉 Zangliang	8.28±0.70A	7.79±0.94	0.01	0.41	0.58
	巴凉 Baliang	7.03±1.15B	6.94±1.34			
TAOC (nmol·mL ⁻¹)	藏凉 Zangliang	1.01±0.10Bb	1.30±0.24a	0.10	0.00	0.83
	巴凉 Baliang	1.13±0.29Ab	1.39±0.11a			

MDA: 丙二醛 Malondialdehyde; SOD: 超氧化物歧化酶 Superoxide dismutase; TG: 甘油三酯 Triglyceride; GSH-Px: 谷胱甘肽-过氧化物酶 Glutathione peroxidase; CAT: 过氧化氢酶 Catalase; ALP: 碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase; BUN: 尿素氮 Blood urea nitrogen; GLU: 葡萄糖 Glucose; TAOC: 总抗氧化能力 Total antioxidant capacity.

凉伞猪的屠宰率、净肉率和眼肌面积等屠宰性能指标无显著影响。这一结果与李碧侠等^[31]、惠铄智等^[32]、吕先召等^[33]的研究一致,表明定量苜蓿草粉不会对育肥猪的屠宰性能产生显著影响。赵静^[34]研究发现苜蓿的添加比例在 10% 左右时对眼肌面积有改善作用,本试验结果与其并不完全一致,本试验中,饲喂苜蓿饲料提高了藏凉 F₁ 的眼肌面积,但巴凉 F₁ 的眼肌面积有所降低,可能是因为两种杂交组合对苜蓿中氨基酸响应不同,影响蛋白质合成效率进而影响眼肌的生长和发育。

3.3 饲料类型对不同杂交组合肉品质的影响

苜蓿草粉作为一种高纤维、低脂肪的饲料原料,能够通过调节动物的能量代谢,减少脂肪沉积并促进蛋白质合成^[35-39]。本试验中,饲喂试验饲料在显著降低背最长肌的粗脂肪含量的同时提高了粗蛋白质含量,这与蒋恒等^[40]发现饲喂苜蓿草粉可以降低肌肉中脂肪含量的研究结果基本一致,而粗蛋白质含量的增加可能是苜蓿草粉中的优质蛋白质和氨基酸为肌肉蛋白的合成提供了更多底物,进而提高了粗蛋白质含量。王庆师^[41]研究表明,10% 以内的苜蓿草粉添加可以降低滴水损失,提升肉品质。本试验中饲喂试验饲料对背最长肌滴水损失虽无显著影响,但是与基础饲料组相比,苜蓿饲料组的背最长肌滴水损失有所下降,说明苜蓿具有改善滴水损失,进而改善肉质的作用。杨莹博等^[42]研究表明,以 8% 发酵苜蓿替代部分基础配合饲料可以提高肌肉中的精氨酸含量,而本试验中饲喂苜蓿饲料可以显著提高精氨酸的含量,这与其研究结果基本一致。精氨酸作为一种功能性氨基酸,具有促进肌肉生长和免疫调节的作用^[43]。其含量的提高可能与苜蓿草粉中的特定营养成分(如硝酸盐)有关。李碧侠等^[31]研究结果表明,随着苜蓿草粉比例的提高,育肥猪肉中鲜味氨基酸含量逐渐提高。在本试验中,饲喂苜

苜蓿饲料可提高脯氨酸、甘氨酸和丙氨酸的含量,与上述结果一致,证明苜蓿草粉的添加具有改善氨基酸含量的作用。丁酸作为一种短链脂肪酸,具有抗炎和促进肠道健康的功效,其含量的增加机制可能为膳食纤维刺激肠道蠕动,增强消化酶活性,并通过肠道发酵促进有益菌在肠道定殖,产生短链脂肪酸,改善肠道健康^[44-45]。长链脂肪酸(如二十二碳酸和二十四碳酸)的减少则可能与苜蓿草粉调节脂肪代谢的作用相关。Li等^[26]和Xu等^[46]研究表明,在饲料中添加苜蓿通过改善肠道微生物菌群组成来改善肉质,且不影响生长性能,但本试验并未考虑到肠道微生物菌群的组成,因此在后续试验安排中可聚焦于肠道微生物来探究苜蓿改善肉品质的深层机制。

3.4 饲料类型对不同杂交组合血清生化指标的影响

血清生化指标是反映动物机体代谢和健康状况的重要参数,主要包括总抗氧化能力、丙二醛、甘油三酯、谷胱甘肽过氧化物酶、过氧化氢酶等^[47-48]。Guo等^[49]研究发现,苜蓿可以提高育肥猪的总抗氧化能力、谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶活性,同时降低丙二醛含量。本试验结果表明,饲喂苜蓿饲料显著提高了凉伞猪的总抗氧化能力,并降低了丙二醛含量,这表明苜蓿具有显著的抗氧化作用,能够有效清除体内的自由基,减少脂质过氧化反应,从而保护细胞膜的完整性^[50]。苜蓿中的多酚类化合物和黄酮类物质是其主要的抗氧化成分,这些成分通过激活抗氧化酶系统来提高机体的抗氧化能力^[51]。谷胱甘肽过氧化物酶是细胞内重要的抗氧化酶之一,能够催化谷胱甘肽还原过氧化氢和脂质过氧化物,从而保护细胞免受氧化损伤^[52]。本试验中苜蓿饲料还提高了谷胱甘肽过氧化物酶的活性,进一步增强了机体的抗氧化防御系统,提高了杂交组合的抗氧化能力。Wüstholtz等^[53]的研究表明,饲料中代谢能含量的增加会导致甘油三酯含量升高,在本试验中,藏凉F₁饲喂苜蓿饲料后甘油三酯含量降低,可能是由于饲料中代谢能含量降低所致,而巴凉F₁血液中甘油三酯含量没有显著变化,可能是因为巴凉F₁对代谢能的变化不敏感。综上所述,苜蓿饲料通过提高总抗氧化能力、降低丙二醛含量、增强谷胱甘肽过氧化物酶活性等机制,显著改善了不同杂交组合的抗氧化能力和代谢状态。

3.5 杂交组合对生长性能、屠宰性能、肉品质和血清生化指标的影响

鹿富俊等^[54]研究发现,巴克夏猪在生长速度和肉质上对我国地方品种的杂交改良能起到一定的作用效果。本试验中巴凉F₁的平均日增重、屠宰率、净肉率和眼肌面积均显著高于藏凉F₁,说明巴凉F₁较藏凉F₁有更好的生长性能和胴体品质。这一优势可能与巴克夏猪生长速度快、肌肉发达的特性有关,同时通过杂交优势进一步放大了这些优良性状^[55]。本试验发现不同杂交组合在脂肪代谢、风味前体物质和脂肪酸组成等方面表现出显著差异,这些差异可能源于亲本猪种的遗传特性。从脂肪代谢角度来看,巴凉F₁表现出更高的粗脂肪含量、更低的粗蛋白质含量以及更低的滴水损失,这一现象很可能与巴克夏猪作为典型肉用型品种的高脂沉积特性密切相关。相比之下,藏猪作为我国优良的地方猪种,其瘦肉型性状的遗传优势在藏凉F₁组中得到了较好的保留,这与前人关于地方猪种与引进品种杂交后代性状表现的研究^[56]结果一致。在肉色方面,巴凉F₁的肉色红度值低于藏凉F₁,而亮度和黄度值则更高。这一差异可能与不同杂交组合的肌纤维类型和肌红蛋白含量有关。藏猪作为高原猪种,可能具有更高的肌红蛋白含量以适应低氧环境,从而导致肉色更红^[57-58]。而巴克夏猪的杂交后代可能肌纤维类型偏向快肌纤维,其肉色相对较浅。研究发现,不同杂交组合猪的氨基酸代谢存在显著差异,直接影响肉品营养和风味^[59-60]。巴凉F₁组的天冬氨酸和甘氨酸含量较高,但关键鲜味物质谷氨酸显著低于藏凉F₁组,可能会形成特殊风味,需进一步通过感官验证。值得注意的是,巴凉F₁的精氨酸含量明显增加,推测原因可能包括:1)尿素循环增强[如精氨基琥珀酸合成酶(argininosuccinate synthetase, ASS)活性提高];2)肠道微生物对饲料硝酸盐的差异代谢,该假设需通过微生物组测序验证。脂肪酸分析显示,巴凉F₁的二十四碳酸含量升高而二十碳酸降低,表明不同杂交组合对脂肪代谢酶[如猪硬脂酰辅酶A去饱和酶(stearoyl-CoA desaturase, SCD)、超长链脂肪酸延伸酶(elongation of very long-chain fatty acids, ELOVL)]的调控存在差异。巴克夏猪杂交后代可能倾向短链脂肪酸合成,而藏猪杂交后代则更擅长长链脂肪酸沉积,这一现象可能与亲本的遗传特性有关,后续需通过基因表达分析进一步阐明机制。在血清生化指标方面,巴凉F₁的总抗氧化能力显著高于藏凉F₁,同时丙二醛和葡萄糖的含量显著降低,表明其具有更强的抗氧化能力和更稳定的血糖水平。这种差异可能与巴克夏猪的遗传背景和代谢特性有关,其携带的与抗氧化和代谢相关的优势基因可能在杂交后代中得以表达。综上所述,巴凉F₁在

肉质和血清生化指标方面的优势可能主要归因于其杂交组合的遗传特性,尤其是巴克夏猪的优良基因。

3.6 饲料类型与杂交组合的交互作用

本研究发现,饲料类型与杂交组合在精氨酸和 α -亚麻酸上存在显著交互作用,这可能是导致藏凉 F_1 和巴凉 F_1 眼肌面积呈现相反变化趋势的关键因素之一。在藏凉 F_1 组中,含苜蓿日粮可能通过提高精氨酸的生物利用度,促进一氧化氮(NO)和多胺的合成,进而增强肌肉蛋白质沉积(通过mTOR信号通路激活)。此外,藏凉 F_1 可能具有更高的 α -亚麻酸(α -linolenic acid, ALA)转化效率,使其更有效地代谢为抗炎和促肌肉生长的n-3型长链多不饱和脂肪酸(long chain polyunsaturated fatty acid, LCPUFA)[如二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)],从而优化肌肉发育。相比之下,巴凉 F_1 对苜蓿日粮中的精氨酸和ALA可能表现出不同的代谢模式。精氨酸可能更多地被分解为尿素而非NO,导致其促肌肉合成作用减弱。同时,巴凉 F_1 的 Δ -6去饱和酶(delta 6 fatty acid desaturase, FADS6)活性可能较低,限制了ALA向EPA/DHA的转化,使得ALA积累或偏向其他代谢途径,从而抑制肌肉生长。这一发现强调了遗传背景在营养干预响应中的重要性。

4 结论

在育肥后期饲喂苜蓿饲料可以降低杂交组合的料肉比,提高饲料利用率,提高总抗氧化能力,有效改善两种杂交组合的肉品质。未来的研究应着重于优化苜蓿的替代比例、延长试验周期、扩大样本量,并通过代谢组学分析血浆氨基酸和脂肪酸谱,并结合肌肉组织基因表达检测(如mTOR、FADS2和精氨酸酶相关基因),以阐明不同杂交组合对苜蓿日粮的代谢适应机制,以期为苜蓿在生猪养殖中的科学应用提供更全面的理论依据和实践指导。

参考文献 References:

- [1] Yang H T, Liu X Q, Xiong L R. Research and application progress of milk replacer in ruminant production. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2023(9): 71–73.
杨泓涛, 刘晓情, 熊璘然. 代乳料在反刍动物生产中的研究与应用进展. *现代畜牧科技*, 2023(9): 71–73.
- [2] Zeng Y Z. Feasibility of replacing animal protein sources with plant protein sources and their impact on the environment. *Animal Industry and Environment*, 2023(16): 13–14.
曾永姿. 植物蛋白源替代动物蛋白源的可行性及其对环境的影响. *畜牧业环境*, 2023(16): 13–14.
- [3] Wu Z C. Study on dilemma and breakthrough path of feed grain supply in China. *Feed Industry*, 2025, 46(7): 168–173.
吴珍彩. 中国饲料粮供给困境与突破路径研究. *饲料工业*, 2025, 46(7): 168–173.
- [4] Gao W J, Li Z, Shi H W, *et al.* Effects of single fiber component on net energy partition pattern in growing pigs. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2025, 37(2): 868–878.
高文君, 李哲, 师焯伟, 等. 单一纤维组分对生长猪净能分配规律的影响. *动物营养学报*, 2025, 37(2): 868–878.
- [5] Xu X W. Application of soybean meal reduction nutritional regulation technology in poultry production. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2025(2): 93–96.
徐晓炜. 豆粕减量营养调控技术在家禽生产中的应用. *现代畜牧科技*, 2025(2): 93–96.
- [6] Liao S B. Discussion on the influencing factors of beef cattle breeding costs and cost reduction and efficiency improvement technologies. *Animal Breeding and Feed*, 2025, 24(2): 40–42.
廖胜保. 肉牛养殖成本的影响因素与降本增效技术探讨. *养殖与饲料*, 2025, 24(2): 40–42.
- [7] Ding Z Z, Xiao C F, Xu Y Y, *et al.* Research progress on the application of alternative unconventional feed ingredients in poultry breeding. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2024, 40(5): 142–152.
丁梓钊, 肖长峰, 许云英, 等. 替代性非常规饲料原料在家禽养殖中的应用研究进展. *上海农业学报*, 2024, 40(5): 142–152.
- [8] Zhao M, Ren Y B, Du R P, *et al.* Effects of replacing soybean meal with milk thistle meal on growth performance, blood biochemical indexes, liver antioxidant indexes and metabolism related gene expression of lambs. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, 36(4): 2524–2540.
赵濛, 任彦博, 杜瑞平, 等. 水飞蓟粕替代豆粕对羔羊生长性能、血液生化指标及肝脏抗氧化指标和代谢相关基因表达的影响. *动物营养学报*, 2024, 36(4): 2524–2540.

- [9] Han B S, Zhou X Z, Meng J L. Analysis of the future development trends of China's pig industry. *Swine Industry Science*, 2024, 41(9): 41–43.
韩博森, 周勋章, 孟君丽. 我国生猪产业未来发展趋势分析. *猪业科学*, 2024, 41(9): 41–43.
- [10] Liu J M, Hu M J, Bi L G, *et al.* Analysis of silage quality of alfalfa and oat with different mixing ratios. *Chinese Journal of Animal Science*, 2025, 61(4): 284–288.
刘建民, 胡梦洁, 毕力格, 等. 不同混合比例紫花苜蓿和燕麦的青贮品质分析. *中国畜牧杂志*, 2025, 61(4): 284–288.
- [11] Huang X, Ma Y Y, Liu Y, *et al.* Feeding effects of granular alfalfa and fresh pasture partially replacing complete feed on Linwu ducks. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2025, 52(3): 1159–1165.
黄璇, 马玉勇, 刘洋, 等. 苜蓿草颗粒和鲜草部分替代全价饲料对临武鸭饲喂效果的比较研究. *中国畜牧兽医*, 2025, 52(3): 1159–1165.
- [12] Yang X, Ma J X, Huaungpu W K, *et al.* Effects of replacing soybean meal with alfalfa leaf meal on serum antioxidant level, immune function and reproductive performance of sows. *Journal of Henan Agricultural University*, 2023, 57(4): 615–622.
杨旭, 马季祥, 皇甫卫康, 等. 苜蓿叶粉替代豆粕对母猪血清抗氧化水平、免疫功能及繁殖性能的影响. *河南农业大学学报*, 2023, 57(4): 615–622.
- [13] Ran Y. Effects of replacing partial corn and soybean meal with wheat bran or alfalfa pellets on growth performance and meat quality of finishing pigs. Yangling: Northwest A&F University, 2024.
冉亿. 麸皮或苜蓿颗粒替代部分玉米及豆粕对育肥猪生长性能及肉品质的影响. 杨凌: 西北农林科技大学, 2024.
- [14] Lv L Y, Yi X F, Pang T D, *et al.* Analysis of the feeding effect of fermented alfalfa on guike fattening pigs. *Feed Research*, 2022, 45(9): 27–30.
吕玲燕, 易显凤, 庞天德, 等. 发酵苜蓿饲喂桂科育肥猪效果分析. *饲料研究*, 2022, 45(9): 27–30.
- [15] Yang W H. The investigation of Liangsan pig genetic resource and its conservation and exploitation. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
杨文瀚. 凉伞猪种质资源保护及开发利用的调查. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- [16] Hu M L, Li J J, Li M Y, *et al.* The effect of alfalfa type low protein feed on the production performance and serum biochemistry of fattening pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2025, 61(4): 294–299.
胡梦林, 李佳静, 李梦尧, 等. 苜蓿型低蛋白饲料对育肥猪生产性能和血清生化的影响. *中国畜牧杂志*, 2025, 61(4): 294–299.
- [17] Cheng J W, Zhang S H, Han Y, *et al.* Different levels of alfalfa leaf meal affect the in vitro fermentation products and microbiota composition of gestating sow feces. *Pratacultural Science*, 2025, <https://link.cnki.net/urlid/62.1069.s.20250108.1003.004.1-26>.
程佳雯, 张舒航, 韩尧, 等. 不同水平苜蓿叶粉对妊娠母猪粪便体外发酵产物和菌群组成的影响. *草业科学*, 2025, <https://link.cnki.net/urlid/62.1069.s.20250108.1003.004.1-26>.
- [18] Zhou Y. Effect of dietary energy level on growth, finishing and slaughter performance and meat quality of donkeys. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
周艳. 日粮能量水平对肉驴生长育肥性能、屠宰性能和肉品质的影响及其机理研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [19] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National standard for food safety—Determination of protein in foods, GB 5009.5—2016. Beijing: China Standard Press, 2016.
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定, GB 5009.5—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [20] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National standard for food safety—Determination of fat in foods, GB 5009.6—2016. Beijing: China Standard Press, 2016.
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定, GB 5009.6—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. National standard for food safety—Determination of amino acids in foods, GB 5009.124—2016. Beijing: China Standard Press, 2016.
中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定, GB 5009.124—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration.

- National standard for food safety—Determination of fatty acids in foods, GB 5009.168—2016. Beijing: China Standard Press, 2016.
- 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定, GB 5009.168—2016. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [23] Messinger D, Weindl P A, Aulrich K, *et al.* Growth performance and carcass traits of growing pigs consuming different alfalfa (*Medicago sativa*) products in organic farming systems. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science*, 2022, 71(1–4): 58–73.
- [24] Ma J X, Huangpu W K, Yang X, *et al.* “King of the forage”—Alfalfa supplementation improves growth, reproductive performance, health condition and meat quality of pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 2022(9): 1025942.
- [25] Li Y, Ren L P, Yuan Y L, *et al.* The effects of alfalfa meal on growth performance, intestinal antioxidant indicators, and intestinal morphology of piglets. *China Feed*, 2024(6): 18–21.
- 李颖, 任丽萍, 远永来. 苜蓿草粉对仔猪生长性能、肠道抗氧化指标和肠道形态结构的影响. *中国饲料*, 2024(6): 18–21.
- [26] Li J, Zhang S, Gu X, *et al.* Effects of alfalfa levels on carcass traits, meat quality, fatty acid composition, amino acid profile, and gut microflora composition of Heigai pigs. *Frontiers in Nutrition*, 2022(9): 975455.
- [27] Ding X R. Application of alfalfa reduction as a substitute for soybean meal in pig production. *Swine Industry Science*, 2024, 41(9): 72–74.
- 丁欣蓉. 苜蓿减量替代豆粕日粮在猪生产中的应用. *猪业科学*, 2024, 41(9): 72–74.
- [28] Huang Q C, Wu Z Q, Lai J B, *et al.* Effects of *Origanum vulgare* L. extract on growth performance, carcass traits and meat quality in growing-finishing pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2020, 56(8): 150–153.
- 黄其春, 吴樟强, 赖建彬, 等. 牛至提取物对生长育肥猪生长性能、胴体性状及肉品质的影响. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(8): 150–153.
- [29] Wang Z H, Teng J S, Peng H C, *et al.* The effect of WL-525 alfalfa powder on the growth and development of Guike black pigs. *Guangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2021, 37(6): 243–245.
- 王自豪, 滕军山, 彭宏春, 等. 紫花苜蓿 WL-525 草粉对桂科黑猪生长发育的影响. *广西畜牧兽医*, 2021, 37(6): 243–245.
- [30] Lindn P. Effect of dietary with alfalfa in pork. *Animal Science*, 2003, 3(10): 17–19.
- [31] Li B X, Zhao W M, Fu Y F, *et al.* Effects of alfalfa meal on growth rate, blood biochemical indexes and slaughter performance of Sushan pigs. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 33(11): 2675–2680.
- 李碧侠, 赵为民, 付言峰, 等. 苜蓿草粉对苏山猪生长速度、血液生化指标及屠宰性能的影响. *西南农业学报*, 2020, 33(11): 2675–2680.
- [32] Hui S Z, Yang H T, Kong X J, *et al.* The effect of alfalfa powder on the growth performance, slaughter performance, and serum biochemical indicators of Songliao black pigs. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(4): 159–162.
- 惠铄智, 杨海天, 孔祥杰, 等. 苜蓿草粉对松辽黑猪生长性能、屠宰性能及血清生化指标的影响. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(4): 159–162.
- [33] Lv X Z, Wang C Z, Qiu X D, *et al.* Effects of alfalfa meal on growth performance, serum biochemical indexes, carcass quality and economic benefit of finishing pigs. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(5): 1693–1702.
- 吕先召, 王成章, 邱晓东, 等. 苜蓿草粉对育肥猪生长性能、血清生化指标、胴体品质及经济效益的影响. *动物营养学报*, 2018, 30(5): 1693–1702.
- [34] Zhao J. Studies on feed grain replaced by alfalfa meal in diet of finishing pigs and economic benefit analysis. Lanzhou: Lanzhou University, 2014.
- 赵静. 苜蓿草粉替代育肥猪饲料粮生物学及经济学研究. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [35] Luo P H, Cao Y F, Luo L. Analysis of factors affecting pig fat deposition. *Xinjiang Animal Husbandry*, 2025, 41(1): 9–12.
- 罗鹏辉, 曹玉凤, 罗兰. 影响猪脂肪沉积的因素分析. *新疆畜牧业*, 2025, 41(1): 9–12.
- [36] Jia J J, Lin Q, Zhang X M, *et al.* Effect of fermented alfalfa feed on meat quality of Taoyuan black pigs. *Feed Industry*, 2025, 46(4): 71–76.
- 贾军杰, 林谦, 张晓明, 等. 苜蓿发酵饲料对桃源黑猪肉品质的影响研究. *饲料工业*, 2025, 46(4): 71–76.
- [37] Gao X. Studies on the effects of plant-derived polysaccharide on the metabolism of glucose and lipid and its application in fattening goats. Jinan: Shandong Agricultural University, 2024.

- 高旭. 植物多糖调控糖脂代谢的组学机制及在育肥羊上的应用. 济南: 山东农业大学, 2024.
- [38] Ma Y. Effects of different combination proportions of sophora alopecuroides and alfalfa on growth, immune indexes and intestinal microflora of meat rabbits. Tarim: Tarim University, 2024.
马艳. 苦豆子与苜蓿不同组合比例对肉兔生长、免疫指标及肠道菌群的影响. 塔里木: 塔里木大学, 2024.
- [39] Zhang D M. Effects of different forage on growth performance and environmental load of beef cattle. Animal Husbandry Environment, 2024(7): 24–25.
张德敏. 不同饲草料对肉牛生长性能及环境负荷的影响. 畜牧业环境, 2024(7): 24–25.
- [40] Jiang H, Wang H R, Wang H S, *et al.* Effects of alfalfa grass powder on carcass traits, meat quality, amino acids and fatty acids in the muscles of fattening pigs. China Feed, 2023(4): 57–62.
蒋恒, 王昊然, 王怀树, 等. 苜蓿草粉对育肥猪胴体性状、肉品质以及肌肉中氨基酸、脂肪酸的影响. 中国饲料, 2023(4): 57–62.
- [41] Wang Q S. Effects of alfalfa on growth performance, carcass and meat quality of Cong Jiang pigs. Guiyang: Guizhou University, 2019.
王庆师. 紫花苜蓿对从江香猪生长性能、胴体品质及肉质的影响研究. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- [42] Yang Y B, Yi X F, Deng S Y, *et al.* Study on effect of feeding Jinling chickens with fermented alfalfa. Feed Research, 2022, 45(19): 40–46.
杨莹博, 易显凤, 邓素媛, 等. 日粮添加发酵紫花苜蓿饲喂金陵花鸡的效果研究. 饲料研究, 2022, 45(19): 40–46.
- [43] Yu H N. Mechanical exploration of leucine deprivation modulating hepatic lipid metabolism. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023.
余灏南. 亮氨酸缺失对肝脏脂质代谢的调节功能研究. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [44] Yang B, Ma Y X, Shen S B. Rethinking of using lipids in feed industry. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(11): 4901–4908.
杨博, 马永喜, 沈水宝. 脂类在饲料行业中应用的新思考. 动物营养学报, 2019, 31(11): 4901–4908.
- [45] Wang J W, Qin C F, He T, *et al.* Alfalfa-containing diets alter luminal microbiota structure and short chain fatty acid sensing in the caecal mucosa of pigs. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018(1): 11.
- [46] Xu J Y, Liu X, Geng H M, *et al.* Alfalfa silage diet improves meat quality by remodeling the intestinal microbes of fattening pigs. Foods, 2023, 12(17): 3209.
- [47] Xiao J X, Tian J, Lu G C, *et al.* Comprehensive evaluation of forage provision on the serum biochemical indicators, behavior and health of dairy calves. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2025, 73(11): 6333–6344.
- [48] Zhao H W, Hua J L, Lu W W, *et al.* Effects of increasing levels of rubber seed cake on growth performance, nutrient digestion metabolism, serum biochemical parameters, and rumen microbiota of Hu sheep. BMC Veterinary Research, 2025, 21(1): 52.
- [49] Guo M, Wang Z C, Gao Z M, *et al.* Alfalfa leaf meal as a new protein feedstuff improves meat quality by modulating lipid metabolism and antioxidant capacity of finishing pigs. Food Chemistry: X, 2023(19): 100815.
- [50] Zhang X, Guo X S, Li F H, *et al.* Antioxidant, flavonoid, α -tocopherol, β -carotene, fatty acids, and fermentation profiles of alfalfa silage inoculated with novel lactiplantibacillus plantarum and pediococcus acidilactici strains with high-antioxidant activity. Animal Feed Science and Technology, 2022(288): 115301.
- [51] Tang M H. Effects of catalase supplementation in diet on oxidative stress and its mechanism in yellow broilers. Changsha: Hunan Agricultural University, 2022.
唐明红. 日粮中添加过氧化酶对黄羽肉鸡氧化应激的影响及其作用机制研究. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [52] Nakanishi T, Uchiyama T, Uchida M, *et al.* Ante-mortem glutathione peroxidase 4 inhibition by RSL3 affects post-mortem meat quality in broiler chickens. British Poultry Science, 2024, 66(2): 1–9.
- [53] Wüstholtz J, Carrasco S, Berger U, *et al.* Fattening and slaughtering performance of growing pigs consuming high levels of alfalfa silage (*Medicago sativa*) in organic pig production. Livestock Science, 2017(200): 46–52.
- [54] Lu F J, Hao T, Liu Q Y, *et al.* Analysis of carcass performance and meat quality of Berkshire pig, Tibetan pig, and Berkshire hybrid pig. Chinese Journal of Animal Science, 2024, 60(1): 240–243, 392.
鹿富俊, 郝桐, 刘庆雨, 等. 巴克夏猪、藏猪和巴藏杂交猪的胴体性能及肉品质分析. 中国畜牧杂志, 2024, 60(1): 240–243, 392.
- [55] Zhu J H, Shen J N, Yin X D, *et al.* Heterosis formation mechanism, prediction methods, and their application and prospect in pig production. Hereditas (Beijing), 2024, 46(8): 627–639.

- 朱家华, 沈俊男, 伊旭东, 等. 杂种优势形成机制和预测方法及其在猪生产中的应用与展望. *遗传*, 2024, 46(8): 627–639.
- [56] Yang F M, Li R X, Zhu A S, *et al.* A comparative study on the hybrid combination of foreign, indogenous, and breeding pigs. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2023(8): 7–11.
杨凤鸣, 李瑞玺, 朱石安, 等. 外种猪与地方猪、培育猪杂交组合对比试验研究报告. *现代畜牧科技*, 2023(8): 7–11.
- [57] Ma Y F, Han X M, Huang C P, *et al.* Population genomics analysis revealed origin and high-altitude adaptation of Tibetan pigs. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 11463.
- [58] Liu Q Y, Yu Y S, Zhang Q, *et al.* Comparative study on carcass performance and meat quality of tibetan and Du Tibetan hybrid pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 2025, 61(5): 153–156.
刘庆雨, 于永生, 张琪, 等. 藏猪及杜藏杂交猪胴体性能及肉质品质对比研究. *中国畜牧杂志*, 2025, 61(5): 153–156.
- [59] Qi K K, Men X M, Wu J X, *et al.* Rearing pattern alters porcine myofiber type, fat deposition, associated microbial communities and functional capacity. *BMC microbiology*, 2019, 19(1): 181.
- [60] Guan W W. The effect of different feed on slaughter traits and pork quality of Dongjian binary and ternary hybrid pigs. *Swine Industry Science*, 2025, 42(2): 121–123.
关伟伟. 不同饲料对东串二元和三元杂交组合猪屠宰性状和猪肉品质的影响. *猪业科学*, 2025, 42(2): 121–123.