

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2026.02.008

薛梦迪, 柯炎杭, 潘媛晴, 等. 木薯酒精渣对肉兔生长性能和肌肉品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2026, 48(2): 85-97.

木薯酒精渣对肉兔生长性能和肌肉品质的影响

薛梦迪¹, 柯炎杭¹, 潘媛晴^{1,2}, 罗劲炜¹,
吴秀菊¹, 罗懿豪¹, 李娟¹, 吕景智¹

1. 西南大学 动物科学技术学院, 重庆 400715; 2. 四川省攀枝花市畜牧站, 四川 攀枝花 617000

摘要: 为研究木薯酒精渣(Cassava Alcohol Residue, CAR)对肉兔生长性能、养分表观消化率、血清生化及肌肉品质的影响, 将 160 只 35 日龄的雄性伊拉肉兔随机分为 4 组, 每组 5 个重复, 每个重复 8 只肉兔, 分别饲喂添加 0%(对照组)、8%、16% 和 24% CAR 的日粮。结果表明: 1) 16% CAR 处理组 0~14 d 的平均日采食量(ADFI)显著高于对照组、8% CAR 处理组和 24% CAR 处理组($p < 0.05$), 8% CAR 处理组和 16% CAR 处理组 0~28 d 的平均日增重(ADG)显著高于对照组($p < 0.05$), 料重比(F/G)显著低于对照组($p < 0.05$)。2) CAR 对干物质(DM)的表观消化率无显著影响($p > 0.05$)。24% CAR 处理组粗蛋白质(CP)的表观消化率显著低于对照组、8% CAR 处理组和 16% CAR 处理组($p < 0.05$)。3) 16% CAR 处理组血清白蛋白(ALB)水平显著高于对照组、8% CAR 处理组和 24% CAR 处理组($p < 0.05$); 16% CAR 处理组和 24% CAR 处理组血清葡萄糖(GLU)水平显著低于对照组和 8% CAR 处理组($p < 0.05$)。4) 16% CAR 处理组背肌的不饱和脂肪酸(UFA)总量、多不饱和脂肪酸(PUFA)总量、多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸(SFA)的质量比显著高于对照组、8% CAR 处理组和 24% CAR 处理组($p < 0.05$)。综上, 在肉兔的日粮中添加 CAR 能促进肉兔生长发育, 改善肌肉品质。

关键词: 木薯酒精渣; 肉兔; 生长性能; 血清生化; 肉品质

中图分类号: S829.1 文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2026)02-0085-13

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Cassava Alcohol Residue on Growth Performance and Meat Quality of Meat Rabbits

XUE Mengdi¹, KE Yanhang¹, PAN Yuanqing^{1,2},
LUO Jinwei¹, WU Xiuju¹, LUO Yihao¹, LI Juan¹, LYU Jingzhi¹

1. College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Sichuan Panzhihua Animal Husbandry Station, Panzhihua Sichuan 617000, China

Abstract: This study aimed to investigate the effect of cassava alcohol residue (CAR) on the growth

收稿日期: 2025-02-23

基金项目: 重庆市科技局技术创新与应用发展专项基金项目(CSTC020JSCX-msxmX0049)。

作者简介: 薛梦迪, 硕士, 主要从事动物营养与免疫研究。

通信作者: 吕景智, 博士, 副教授。

performance, apparent digestibility of nutrients, serum biochemical indexes and meat quality of meat rabbits. 160 male Ira rabbits at the age of 35 days were randomly divided into four groups, with 5 replicates per group and 8 meat rabbits per replicate. The diets of these Ira rabbits were supplemented with 0% (the control group), 8%, 16%, and 24% CAR, respectively. The results revealed as follows: ① The average daily feed intake (ADFI) of the 16% CAR treatment group during 0–14 days was significantly higher than that of the control, 8% CAR, and 24% CAR treatment group ($p < 0.05$). The average daily gain (ADG) during 0–28 days in 8% CAR and 16% CAR treatment group were significantly higher than that in the control group ($p < 0.05$), where as the feed to gain ratio (F/G) was significantly lower than that in the control group ($p < 0.05$). ② CAR had no significant effect on the apparent digestibility of dry matter (DM) ($p > 0.05$). The apparent digestibility of crude protein (CP) in the 24% CAR treatment group was significantly lower than that in the control, 8% CAR, and 16% CAR treatment group ($p < 0.05$). ③ The serum albumin (ALB) level in the 16% CAR treatment group was significantly higher than in the control, 8% CAR, and 24% CAR treatment group ($p < 0.05$). Furthermore, the serum glucose (GLU) levels in 16% CAR and 24% CAR treatment group were significantly lower than those in the control and 8% CAR treatment group ($p < 0.05$). ④ In the 16% CAR treatment group, the total UFA content, total PUFA content, of PUFA and SFA ratio in the dorsal muscle were significantly higher than those in the control, 8% CAR, and 24% CAR treatment group ($p < 0.05$). In summary, CAR could promote the growth performance and improvemeat quality in meat rabbits.

Key words: cassava alcohol residue; meat rabbits; growth performance; serum biochemistry; meat quality

兔肉具有高蛋白、高赖氨酸、高磷脂、低脂肪、低胆固醇的特点,既易于消化吸收,又能降低血脂,被誉为“美容肉”与“保健肉”^[1]。近年来,玉米、豆粕等传统原料价格居高不下,饲料成本占养殖总成本的比重逐年攀升,成为制约兔产业发展的关键因素。在此背景下,开发新型工业副产品替代饲料已成为畜牧业降本增效的重要突破口。木薯被誉为“淀粉之王”,广泛用于生产淀粉、生物乙醇、饲料等生物产品。然而,木薯的粗蛋白质(CP)含量较低,营养成分不均衡,作为动物饲料使用存在局限性^[2]。此外,木薯中的生氰糖苷亚麻苦苷在水解时会产生对动物有毒的氢氰酸,这种毒素可以通过粉碎、发酵或加热来消除^[3]。木薯酒精渣(Cassava Alcohol Residue, CAR)是木薯生产燃料酒精的副产物,含纤维素、木质素及少量的蛋白质和脂肪^[4]。经微生物发酵处理后, CAR 的粗蛋白质含量显著提升,氢氰酸含量可有效降至安全阈值以下,从而实现饲料成本降低、畜禽生长性能改善及免疫功能增强的综合效益^[5]。虽然木薯加工副产物年产量较高,但当前的综合利用率仍处于较低水平。CAR 的资源化利用不仅能显著降低饲料成本,还可有效降低环境污染,实现经济、生态双重效益。研究表明,饲料中添加发酵木薯渣可增加蛋鸡的采食量、降低饲料成本^[6],提高育肥猪的日增重^[7],增强饲料适口性并改善奶牛的瘤胃发酵特性^[8]。然而,现有研究多集中于反刍动物,针对肉兔的饲用研究较少。鉴于此,本试验通过探究 CAR 对肉兔生长性能、养分表现消化率和肌肉品质的影响,旨在为其在肉兔产业的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

木薯酒精渣(CAR)购自金源生物科技有限公司。

1.2 试验设计

将 160 只体重相近的 35 日龄雄性伊拉肉兔随机分成 4 组,每组 5 个重复,每个重复 8 只肉兔。在各处

理组的日粮中分别添加 0%(对照组)、8%、16%和 24%的 CAR, 肉兔在试验期间均可自由采食和饮水。试验期为 35 d, 其中预饲期 7 d, 正试期 28 d。肉兔基础日粮组成及营养水平分别见表 1、表 2。CAR 的营养水平见表 3。

表 1 肉兔基础日粮组成(风干基础)

%

原料	组别			
	对照组	8%CAR	16%CAR	24%CAR
玉米(Corn)	20.00	22.80	18.90	26.90
豆粕(Soybean Meal)	15.00	17.10	17.10	21.80
胚芽粕(Germ Meal)	13.55	11.60	16.50	5.00
麦麸(Wheat Bran)	16.40	8.30	5.50	1.00
苜蓿(Alfalfa)	30.00	27.00	20.50	14.30
米糠(Rice Bran)	0.50	1.00	1.00	1.00
统糠(Unified)	3.00	2.20	2.50	4.10
木薯酒精渣(Cassava Alcohol Residue)	0.00	8.00	16.00	24.00
磷酸氢钙(CaHPO ₄)	1.35	1.30	1.30	1.20
氯化钠(NaCl)	0.50	0.50	0.50	0.50
预混料(Premix)	0.20	0.20	0.20	0.20
合计	100.00	100.00	100.00	100.00

注: 预混料表示每千克日粮中含有铜(Cu)5 mg、锌(Zn)30 mg、铁(Fe)30 mg、碘(I)1 mg、硒(Se)0.08 mg、锰(Mn)15 mg、维生素 A(V_A)10 000 IU、维生素 D₃(V_{D₃}) 1 000 IU、维生素 E(V_E)30 mg、维生素 K₃(V_{K₃})1 mg、维生素 B₁(V_{B₁})1 mg、维生素 B₂(V_{B₂})3.50 mg。

表 2 肉兔基础日粮营养水平(风干基础)

原料	组别			
	对照组	8%CAR	16%CAR	24%CAR
消化能(DE)/(MJ·kg ⁻¹)	10.36	10.37	10.37	10.35
粗蛋白质(CP)/%	16.85	16.88	16.83	16.86
粗脂肪(EE)/%	2.62	2.63	2.54	2.58
中性洗涤纤维(NDF)/%	35.45	39.41	40.14	43.74
酸性洗涤纤维(ADF)/%	14.48	16.36	18.55	20.25
钙(Ca)/%	0.79	0.79	0.74	0.69
磷(P)/%	0.42	0.41	0.42	0.40
赖氨酸(Lys)/%	0.83	0.86	0.88	0.91
蛋氨酸(Met)/%	0.60	0.60	0.60	0.60

注: 消化能(DE)、赖氨酸(Lys)和蛋氨酸(Met)为计算值, 其余营养水平均为实测值。

表 3 CAR 营养水平

%

项目	干物质 (DM)	粗蛋白质 (CP)	粗脂肪 (EE)	粗灰分 (Ash)	粗纤维 (CF)	酸性洗涤纤维 (ADF)	中性洗涤纤维 (NDF)	钙 (Ca)	磷 (P)
CAR	88.47	8.26	2.20	20.06	20.20	46.95	61.81	0.55	0.28

注: 营养成分均为实测值。

1.3 样品采集及分析方法

1.3.1 营养水平测定方法

干物质(DM)依据《饲料中水分的测定》(GB/T 6435—2014)方法测定,粗蛋白质(CP)依据《饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法》(GB/T 6432—2018)方法测定,粗脂肪(EE)依据《饲料中粗脂肪的测定》(GB/T 6433—2006)方法测定,粗灰分(Ash)依据《饲料中粗灰分的测定》(GB/T 6438—2007)方法测定,粗纤维(CF)依据《饲料中粗纤维的含量测定》(GB/T 6434—2022)方法测定,酸性洗涤纤维(ADF)依据《饲料中酸性洗涤纤维的测定》(NY/T 1459—2022)测定,中性洗涤纤维(NDF)依据《饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定》(GB/T 20806—2022)测定,钙(Ca)依据《饲料中钙的测定》(GB/T 6436—2018)方法测定,磷(P)依据《饲料中总磷的测定 分光光度法》(GB/T 6437—2018)方法测定。

1.3.2 生长性能

在试验第 1、15 和 29 d 的 08:00 对肉兔进行空腹体重称量,并计算各阶段的平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。

1.3.3 常规养分表观消化率

从试验第 16 d 起,将外源指示剂二氧化钛添加到日粮中,并在各处理组中随机采集 250 g 日粮,保存于 4 °C 冰箱中。在试验结束前 5 d 清除粪球上的兔毛并收集粪样。将采集的粪样分成两份,一份加入 10% 的硫酸固氮测定粗蛋白质,另一份用于测定常规营养成分。养分表观消化率 = $[1 - (\text{粪中某营养物质含量} / \text{粪中二氧化钛含量})] / (\text{日粮中某营养物质含量} / \text{日粮中二氧化钛含量}) \times 100\%$ 。

1.3.4 血清生化指标

每个处理组随机选取 10 只肉兔进行心脏采血,采血后 3 000 r/min 离心 10 min 制备血清, -20 °C 保存待测。使用 DXC 800 型生化仪分析测定血清中碱性磷酸酶(ALP)的活性和总蛋白(TP)、总胆固醇(TC)、血清白蛋白(ALB)、甘油三酯(TG)、尿素氮(BUN)、葡萄糖(GLU)、Ca、P 的含量。

1.3.5 肌肉品质和营养成分测定

取肉兔背最长肌样本分装并保存于 4 °C 冰箱待测。熟肉率:将 2.5 cm 厚的肉块称重,将其蒸煮后取出冷却,吸去水分后称量。熟肉率 = $\text{蒸煮后重量} / \text{蒸煮前重量} \times 100\%$ 。失水率:称取 10 g 样品,在 8 000 r/min 条件下离心 30 min,取出样品吸去水分后称量。失水率 = $[(\text{离心前重} - \text{离心后重}) / \text{离心前重}] \times 100\%$ 。pH 值的测定:取 0.5 g 样品和 10 倍体积的生理盐水放入离心管中进行混合,匀浆后再用酸碱度计测定 pH 值。肉色:采用 Ultra Scan PRO 测色仪测定屠宰后肉样的亮度(L*)、红度(a*)和黄度(b*)。肉兔背肌 DM、CP 和 Ash 含量参照 AOAC 方法测定^[9]。

1.3.6 肌肉脂肪酸含量

参照文献[10]的方法用 Shimadzu GC-A 型气相色谱仪测定肉兔背肌脂肪酸的含量。

1.4 数据分析

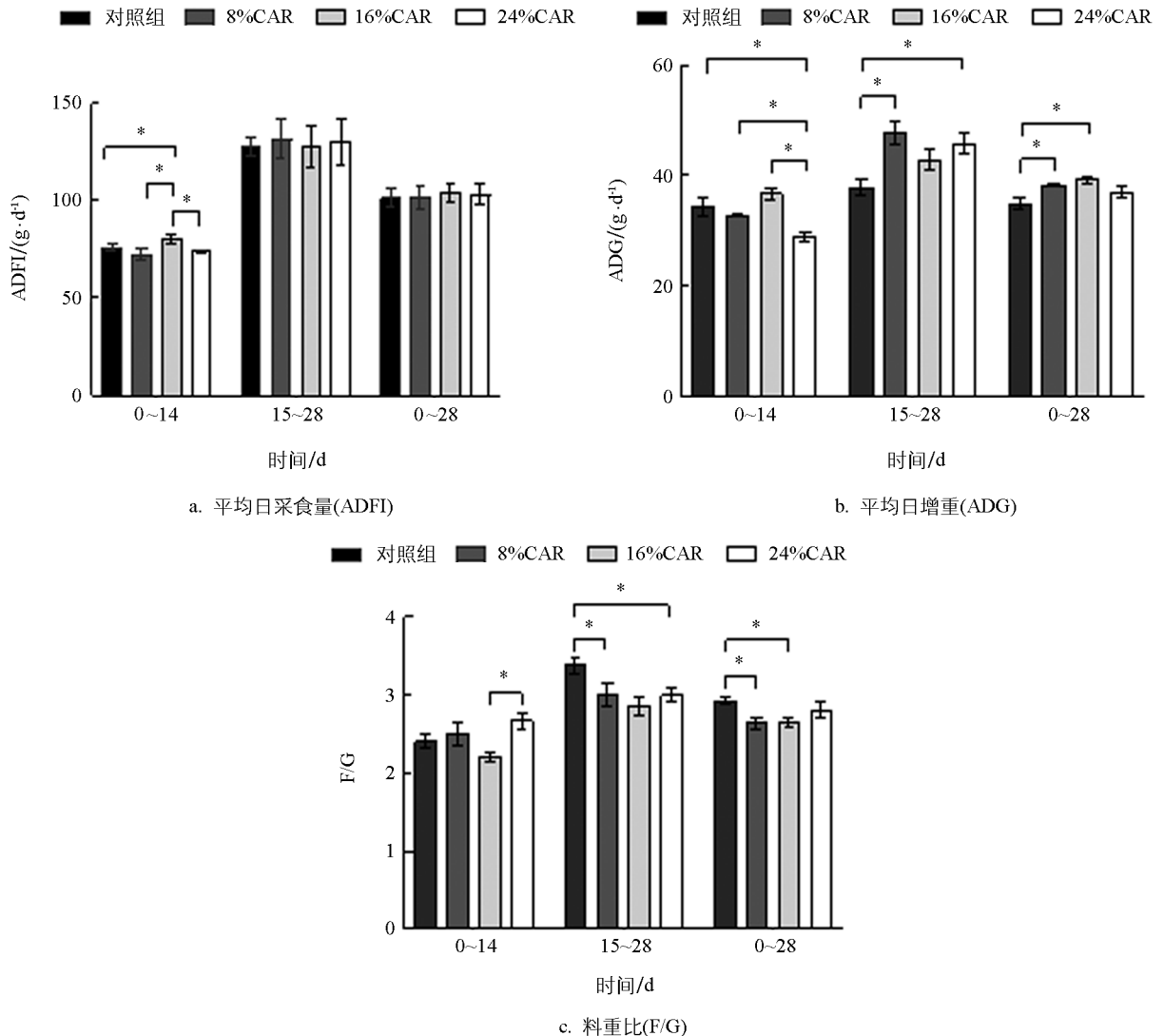
通过 SPSS 27.0 将数据进行单因素方差分析,并用 Duncan's 法进行多重比较,使用 GraphPad Prism 9 对数据进行绘图,结果用“平均值±标准差”表示。* 或 $p < 0.05$ 表示差异显著, $p > 0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 木薯酒精渣对肉兔生长性能的影响

如图 1 所示,16% CAR 处理组 0~14 d 的 ADFI 显著高于对照组、8% CAR 处理组和 24% CAR

处理组 ($p < 0.05$), 但各处理组 15~28 d 和 0~28 d 的 ADFI 均未表现出显著性差异 ($p > 0.05$)。24%CAR 处理组在 0~14 d 的 ADG 显著低于对照组、8%CAR 组和 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$); 8%CAR 处理组和 24%CAR 处理组在 15~28 d 的 ADG 显著高于对照组 ($p < 0.05$); 8%CAR 处理组和 16%CAR 处理组在 0~28 d 的 ADG 显著高于对照组 ($p < 0.05$)。就 F/G 而言, 24%CAR 处理组在 0~14 d 显著高于 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$); 8%CAR 处理组在 15~28 d 与 0~28 d, 16%CAR 处理组在 0~28 d, 24%CAR 处理组在 15~28 d 均显著低于对照组 ($p < 0.05$)。



* 表示差异显著

图 1 不同 CAR 添加量对肉兔生长性能的影响

2.2 木薯酒精渣对肉兔养分表观消化率的影响

如表 4 所示, 24%CAR 处理组 CP 的表观消化率显著低于对照组、8%CAR 处理组和 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。各 CAR 处理组 Ash 的表观消化率显著低于对照组 ($p < 0.05$), 且 24%CAR 处理组显著低于 8%CAR 处理组和 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。8%CAR 处理组、24%CAR 处理组中性洗涤纤维(NDF)的表观消化率显著高于对照组和 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。CAR 对 ADF 和 DM 的表观消化率无显著影响 ($p > 0.05$)。8%CAR 处理组、16%CAR 处理组 Ca 的表观消化率显著高于

对照组和 24%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。24%CAR 处理组 P 的表现消化率显著低于对照组、8%CAR 处理组和 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。

表 4 不同 CAR 添加量对肉兔养分表现消化率的影响

%

项目	组别			
	对照组	8%CAR	16%CAR	24%CAR
干物质(DM)	64.30±1.42	63.39±2.29	62.91±2.09	62.59±3.04
粗蛋白质(CP)	68.27±2.51a	66.73±2.89a	66.51±4.09a	62.46±3.27b
粗灰分(Ash)	38.70±5.50a	29.65±2.93b	30.09±4.64b	21.15±4.94c
中性洗涤纤维(DNF)	45.03±2.42b	49.89±3.68a	46.53±2.05b	51.87±3.55a
酸性洗涤纤维(ADF)	21.90±4.67	22.34±5.10	27.68±6.94	26.78±6.76
钙(Ca)	38.60±5.03b	47.43±8.56a	46.45±4.15a	37.30±5.85b
磷(P)	42.57±2.27a	42.89±4.13a	41.65±4.10a	37.71±5.47b

注:不同小写字母表示差异显著($p < 0.05$),相同字母或未标字母表示差异不显著($p > 0.05$)。下同。

2.3 木薯酒精渣对肉兔血清生化指标的影响

如表 5 所示,24%CAR 处理组 ALP 含量显著低于对照组、8%CAR 处理组、16%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。16%CAR 处理组和 24%CAR 处理组 ALB 含量显著高于对照组和 8%CAR 处理组 ($p < 0.05$),且 16%CAR 处理组 ALB 含量显著高于 24%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。16%CAR 处理组、24%CAR 处理组 GLU 含量显著低于对照组和 8%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。24%CAR 处理组 BUN 含量显著低于对照组和 16%CAR 处理组 ($p < 0.05$),且 8%CAR 处理组显著低于对照组 ($p < 0.05$)。24%CAR 处理组 TP 含量显著高于 8%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。CAR 对血清 TC、TG、Ca 和 P 无显著影响 ($p > 0.05$)。

表 5 不同 CAR 添加量对肉兔血清生化指标的影响

项目	组别			
	对照组	8%CAR	16%CAR	24%CAR
碱性磷酸酶(ALP)/(U·L ⁻¹)	145.83±15.63a	146.83±13.39a	150.80±20.79a	118.80±11.25b
总蛋白(TP)/(g·L ⁻¹)	48.62±4.35ab	47.08±3.11b	50.63±2.74ab	52.17±2.30a
白蛋白(ALB)/(g·L ⁻¹)	17.47±1.67c	16.83±0.67c	26.77±1.49a	24.47±1.51b
葡萄糖(GLU)/(mmol·L ⁻¹)	8.57±0.81a	8.81±0.56a	7.63±0.60b	7.83±0.39b
尿素氮(BUN)/(mmol·L ⁻¹)	5.05±0.71a	4.17±0.59bc	4.56±0.79ab	3.68±0.50c
总胆固醇(TC)/(mmol·L ⁻¹)	1.42±0.27	1.72±0.33	1.45±0.30	1.68±0.40
甘油三酯(TG)/(mmol·L ⁻¹)	0.94±0.34	1.28±0.30	1.14±0.42	1.11±0.35
钙(Ca)/(mmol·L ⁻¹)	3.38±0.21	3.38±0.14	3.34±0.19	3.52±0.08
磷(P)/(mmol·L ⁻¹)	2.46±0.24	2.55±0.35	2.34±0.17	2.36±0.27

2.4 木薯酒精渣对肉兔肌肉品质和营养水平的影响

如表 6 所示,8%CAR 处理组背肌 L* 显著高于 16%CAR 处理组和 24%CAR 处理组 ($p < 0.05$)。各 CAR 处理组 a* 值和 b* 值均显著低于对照组 ($p < 0.05$)。各处理组背肌 pH、熟肉率和失水率的差异不显著 ($p > 0.05$)。16%CAR 组背肌 DM 含量显著高于 8%CAR 组 ($p < 0.05$)。各处理组背肌 Ash、CP 含量均未达到显著差异 ($p > 0.05$)。

表 6 不同 CAR 添加量对肉兔背肌肉质参数的影响

项目	组别			
	对照组	8%CAR	16%CAR	24%CAR
pH 值	5.66±0.04	5.64±0.07	5.65±0.03	5.57±0.31
熟肉率(Cooking Rate)/%	65.26±2.85	66.49±3.89	65.28±3.38	66.34±4.64
失水率(Water Loss Rate)/%	80.10±0.13	80.05±0.12	80.12±0.12	80.09±0.13
亮度(L*)	54.06±2.71ab	55.37±2.67a	52.26±2.65b	52.62±3.92b
红度(a*)	6.46±1.22a	0.81±0.51d	2.46±0.96b	1.85±0.88c
黄度(b*)	16.07±1.61a	13.44±1.79c	14.88±1.50b	14.95±1.96b
干物质(DM)/%	24.52±0.84ab	23.91±0.96b	24.67±0.75a	24.57±0.63ab
粗灰分(Ash)/%	1.33±0.08	1.32±0.84	1.34±0.69	1.35±0.87
粗蛋白质(CP)/%	23.50±1.46	23.42±0.68	24.17±0.99	24.89±1.30

2.5 木薯酒精渣对肉兔肌肉脂肪酸组成的影响

如表 7 所示, 16%CAR 处理组、24%CAR 处理组背肌肉豆蔻酸(C14:0)和花生酸(C20:0)含量显著低于对照组和 8%CAR 处理组($p<0.05$), 且 8%CAR 处理组 C14:0 和 C20:0 分别显著低于和高于对照组($p<0.05$)。16%CAR 处理组背肌棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)含量显著高于对照组($p<0.05$), 且 C18:0 含量也显著高于 8%CAR 处理组和 24%CAR 处理组($p<0.05$)。

各处理组背肌的饱和脂肪酸(SFA)总量的差异不显著($p>0.05$)。各 CAR 处理组背肌油酸(C18:1n-9c)含量显著高于对照组($p<0.05$)。16%CAR 处理组、24%CAR 处理组背肌的单不饱和脂肪酸(MUFA)总量显著高于对照组和 8%CAR 处理组($p<0.05$), 且 16%CAR 处理组显著高于 24%CAR 处理组($p<0.05$)。16%CAR 处理组背肌反式亚油酸(C18:2n-6t)含量显著高于对照组和 24%CAR 处理组($p<0.05$)。24%CAR 处理组背肌二十碳三烯酸(C20:3n-3)含量显著低于对照组、8%CAR 处理组和 16%CAR 处理组($p<0.05$)。16%CAR 处理组背肌的不饱和脂肪酸(UFA)总量、多不饱和脂肪酸(PUFA)总量、多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的质量比显著高于对照组、8%CAR 处理组和 24%CAR 处理组($p<0.05$)。

表 7 不同 CAR 添加量对肉兔背肌脂肪酸组成的影响

项目	组别			
	对照组	8%CAR	16%CAR	24%CAR
肉豆蔻酸(C14:0)/%	5.34±1.16a	3.20±1.11b	1.79±0.17c	1.56±0.79c
棕榈酸(C16:0)/%	6.66±1.55b	7.54±2.20ab	8.33±1.11a	7.10±1.35ab
硬脂酸(C18:0)/%	3.59±0.67b	4.06±0.53b	4.91±0.40a	3.77±0.77b
花生酸(C20:0)/%	1.15±0.33b	1.75±0.39a	0.26±0.06c	0.18±0.05c
油酸(C18:1n-9c)/%	0.45±0.08b	0.68±0.22a	0.80±0.12a	0.66±0.22a
反式亚油酸(C18:2n-6t)/%	11.30±3.01b	13.41±2.84ab	16.31±2.75a	12.48±2.73b
二十碳三烯酸(C20:3n-3)/%	0.42±0.15a	0.56±0.11a	0.47±0.26a	0.14±0.04b
饱和脂肪酸(SFA)/%	17.39±4.27	17.58±4.20	18.21±5.07	14.96±3.49
不饱和脂肪酸(UFA)/%	21.26±5.14b	23.49±10.21b	30.01±4.78a	23.30±6.74b
单不饱和脂肪酸(MUFA)/%	8.65±2.09c	9.93±4.53c	18.21±2.62a	14.96±3.49b
多不饱和脂肪酸(PUFA)/%	12.61±3.11b	13.56±5.69b	17.77±3.11a	12.70±3.83b
多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的质量比	0.74±0.16b	0.74±0.18b	0.98±0.11a	0.84±0.13b

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 木薯酒精渣影响肉兔生长性能的机制分析

研究表明,发酵木薯渣不会影响荷斯坦杂交犊牛的瘤胃特性与饲料利用率,但能增加微生物蛋白质合成速率,可作为反刍动物的蛋白质来源,提高牛的日增重^[11-12]。Lei等^[13]发现,在饲料中加入CAR可以降低抗营养作用,增加蛋白质等营养物质的含量,提高肉鸭的生长性能。Wang等^[14]指出,在生长猪的日粮中添加15%苜蓿草粉会显著降低F/G,并且能提高盲肠中的丁酸浓度,增加肠道菌群的均匀度。在本试验中,与对照组相比,16%CAR处理组在0~14 d的ADFI显著升高,而24%CAR处理组的ADFI有降低的趋势,与上述研究基本一致。这是因为木薯在发酵过程中会产生醇类、醛类和酯类等挥发性芳香物质,从而改善木薯的适口性和风味,增加动物采食量^[15]。然而,当CAR添加量超过16%时,挥发性物质对嗅觉和味觉的刺激作用占主导,但超过该阈值后,过量的纤维通过迷走神经传导引起胃部扩张信号增强,导致动物在进食后产生更强的饱腹感,从而减少其饲料摄入量^[16]。值得注意的是,各处理组在15~28 d和0~28 d的ADFI没有差异,可能是因为肉兔的盲肠微生物能通过调节厚壁菌门与拟杆菌门来增强纤维分解能力,有助于维持肠道屏障功能并促进营养物质的吸收转化^[17]。此外,8%和16%CAR处理组在0~28 d的ADG均高于对照组,F/G均低于对照组。其原因可能是发酵饲料中富含大量有机酸和维生素等活性物质,这些活性物质会提高饲料的营养价值,促进肉兔生长发育^[18]。而24%CAR组的F/G未显著改善,可能与其不溶性纤维含量过高有关。当CAR添加量大于16%时,纤维基质形成的物理屏障会降低消化酶与底物的接触效率,同时未被消化的纤维在后肠过度发酵导致能量损失增加,进而减缓肉兔的生长速度^[19]。

3.1.2 木薯酒精渣影响肉兔养分表观消化率的机制分析

养分表观消化率可以评估动物对饲料的消化吸收能力。本试验中,各CAR处理组的DM和Ash的表观消化率均有一定程度的下降,其中24%CAR处理组的DM和CP的消化率较对照组分别降低2.7%和8.5%。这一现象与CAR的高纤维特性直接相关:高含量的粗纤维会形成物理屏障,减少消化酶与底物的接触机会^[20];可溶性纤维含量高导致食糜粘度升高,延缓食糜通过速率,进而缩短小肠的有效吸收时间^[21];高黏度环境刺激杯状细胞分泌黏蛋白(Muc2),加速肠黏膜细胞脱落并增加内源性氮损失,进而抑制CP消化率和生长性能^[22]。上述机制与朗德鹅研究中高纤维含量会抑制能量、CP和粗脂肪消化率的结论一致^[23]。值得注意的是,尽管16%CAR处理组的DM消化率较对照组下降,但肉兔的ADG仍提高,这可能是CAR发酵产生的短链脂肪酸(SCFAs)通过激活肝脏PPAR γ 通路,提升脂肪酸氧化效率,同时盲肠纤维分解能力增强,部分补偿了纤维导致的能量损失^[24]。而24%CAR处理组因纤维抑制效应过强,其F/G改善幅度显著低于8%和16%CAR处理组^[25]。

3.1.3 木薯酒精渣影响肉兔血清生化指标的机制分析

血清ALP主要来源于动物的骨组织,其活性升高有利于提高动物的ADG^[26]。在本研究中,8%和16%CAR处理组的ADG和ALP均有一定程度的上升,这说明CAR中的纤维物质发酵产生的SCFAs能激活成骨细胞PPAR γ 通路,促进焦磷酸盐和吡哆醛-5-磷酸等多种底物水解释放磷酸基团加速骨骼矿化,进而加快肉兔的生长速度并增加体重^[27]。然而,24%CAR处理组因纤维含量过高(NDF超过43.74%)形成物理屏障抑制钙磷吸收,导致ALP活性显著下降。GLU能给生物体细胞提供能量和碳源,对于维持生物体的正常功能至关重要。Powthong等^[28]指出,饲料中纤维含量升高会降低GLU和脂质的吸收及分解率,防止进食后血糖和胆固醇水平过高。本研究显示,16%和24%CAR处理组血清GLU较对照组降低,

源于可溶性纤维吸附 GLU 并抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶活性, 减少酶与底物的接触面积, 从而降低血清 GLU^[29]。但 16%CAR 处理组可以通过 SCFAs 激活肝脏糖异生维持能量平衡^[30], 而 24%组因食糜黏度升高, 延缓 GLU 向肠上皮细胞扩散^[21]。

血清 TP 具有维持机体正常免疫功能和调节组织液平衡的作用^[31]。本试验中, 与对照组相比, 8%CAR 处理组血清 TP 含量有一定程度的下降, 这可能是 8%CAR 处理组的饲料对胃肠道的刺激较小, 未能有效激活肠道菌群调控肝脏蛋白合成^[32]。雷帕霉素的机制靶标(mTOR)信号通路能通过激活下游蛋白 S6K1 参与细胞分化、增殖和蛋白质合成。16%CAR 处理组的肉兔能通过厚壁菌门的代谢产物丁酸刺激 mTOR 通路使机体 TP 恢复至正常水平^[33-34]。BUN 是体内蛋白质代谢的终产物, 较低的 BUN 能反映动物良好的生长性能^[35]。本试验中, 各 CAR 处理组的 BUN 含量均有不同程度的下降, 表明 CAR 处理组肉兔的生长性能有所提升。其原因可能是 CAR 中的纤维发酵促进盲肠微生物增殖, 增强氮固定, 同时 SCFAs 降低肠上皮通透性, 减少 BUN 肠肝循环吸收^[36]。

3.1.4 木薯酒精渣影响肉兔肌肉品质和营养水平的机制分析

肉品质主要通过失水率、pH 值和熟肉率等指标进行评估, 其优劣直接影响消费者的购买欲望。肉品质受到动物饲养管理、日粮结构和营养水平等多种因素的影响。Broch 等^[37]指出, 饲喂干木薯渣对鸡胸肉的 pH 值和失水率没有影响。Fasae 等^[38]的研究也表明, 饲料中添加不同含量木薯干草对西非侏儒羊肉质的蒸煮损失和 pH 值没有显著差异。本试验与前人的研究结果一致。肌肉的 a^* 值与肌红蛋白含量有关, a^* 值越高表明肉的品质越好^[39]。本研究中, 与对照组相比, 各 CAR 处理组的 a^* 值降低, 但 16%CAR 处理组的 a^* 值降幅最小, 这一现象可能是 CAR 发酵产生的 SCFAs 能促进肌肉多不饱和脂肪酸(PUFA)沉积, 易受肌红蛋白高度氧化的影响, 使肌肉更容易发生氧化反应, 导致 a^* 值下降^[40]。研究表明, PUFA 沉积增加与抗氧化能力提升能协同维持肉色稳定性。盲肠发酵产生的丁酸通过激活 Nrf2 通路增强肌肉抗氧化能力, 但过量纤维会因纤维抑制效应过强导致抗氧化物质吸收受阻, 加剧脂质氧化, 促使氧合肌红蛋白向高铁肌红蛋白转化, 从而影响肌肉的颜色和品质^[41]。

水分、粗脂肪和 CP 是肌肉组织的主要营养成分, 能反映肌肉品质的色泽、口感和质构特性^[42]。文献^[43]的研究表明, 添加木薯粉的湿啤酒残渣青贮饲料对羔羊腿肌的 Ash 和 CP 水平无影响。此外, Abrahão 等^[44]也发现, 用木薯淀粉提取湿残渣替代玉米后, 肌肉中 Ash 和 CP 的含量没有差异。本研究与上述结果相似, 说明在饲料中添加 CAR 对肉兔肌肉的营养水平无负面影响。

3.1.5 木薯酒精渣影响肉兔肌肉脂肪酸组成的机制分析

肌肉中脂肪酸的组成和比例直接影响肉的风味及营养价值, 而肌内脂肪(IMF)作为决定肉质的重要指标, 其含量越高, 肉的适口性通常越好^[45]。本试验肉兔背肌中脂肪酸的组成、含量与文献^[46]报道的类似。研究表明, 肌肉的风味主要由 UFA 氧化后产生的酮、醛、醇、呋喃、吡嗪和噻吩等物质来决定^[47], 而脂肪的硬度与其所含脂肪酸的熔点密切相关。Pewan 等^[48]指出, MUFA 的熔点低于 SFA, 这种特性会使肉的风味、嫩度和多汁性提高。研究表明, PUFA 是对人类有益的脂肪酸, 具有影响炎症过程、减少氧化应激和保护心血管等多种生物学作用^[49], 其含量增加有助于改善肉的风味和脂质氧化^[50]。C18: 2n-6t 是哺乳动物合成长链 PUFAs 的前体, 可通过上调肝脏中低密度脂蛋白(LDL)受体活性、蛋白质和 mRNA 来降低血液中总胆固醇和 LDL 的水平, 从而减少患动脉粥样硬化和相关心脏疾病的风险^[51]。本试验中, 与对照组相比, 各 CAR 处理组背肌 C18: 1n-9c 含量和 C18: 2n-6t 含量显著升高, 且 16%CAR 处理组背肌的 C20: 3n-3、MUFA 总量和 PUFA 总量也显著增加, 其机制在于 CAR 发酵产生丙酸等 SCFAs 激活 PPAR γ /CEBP α 信号通路, 上调脂蛋白脂肪酶表达, 从而促进脂肪细胞分化与 IMF 沉积^[52]。这种调节效应在 8% CAR 处理组表现较弱, 而 24%CAR 处理组因纤维抑制效应过强, 导致维生素 E 等脂溶性维生素吸收受

阻, 引发氧化应激, 反而削弱 PUFA 沉积优势。然而, 富含纤维的饲料和发酵饲料在调节肉品质方面起着关键作用。Cardoso 等^[47]指出, 用木薯渣代替玉米饲喂羔羊可以改善羊肉中的 UFA 含量并增强其肌肉风味。Ma 等^[53]发现, 在饲料中添加紫花苜蓿干草可显著增加腰最长肌 IMF 中 MUFA 和背膘中 PUFA 比例并降低 SFA 的含量, 从而提高猪肉品质。此外, Choi 等^[54]研究表明, 发酵饲料可增加母猪脂肪生成基因 *CEBP α* 、*PPAR γ* 、*SREBP1* 和 *FABP4* 等的 mRNA 表达量, 从而改善肉质和脂肪酸组成。

肉类中 PUFA 和 SFA 的比例是用于评估肉类营养和健康价值的最重要因素, 其推荐范围为大于等于 0.4^[50, 55]。以往有研究表明, SFA 摄入量与心血管疾病发病率之间存在很强的正相关关系^[50]。在本研究中, 16%CAR 处理组背肌 PUFA 与 SFA 的比值大于推荐范围, 这说明 CAR 中的可溶性纤维通过吸附胆汁酸, 减少肠道 SFA 重吸收, 促进机体合成有益脂肪酸^[56]。据报道, *FASN* 基因编码的脂肪酸合酶是一种蛋白质复合物, 可控制长链脂肪酸的从头生物合成, 其中编码硫酯酶结构域的 4 个外显子通过水解酰基-S-磷酸二甲酸硫酯催化脂肪酸合成, 其产物以 C16:0 为主, 而 C14:0 的合成量可以忽略不计。另外有一项研究表明, C14:0 和 C16:0 能生成少量胆固醇, 其中 C14:0 导致动脉粥样硬化或高胆固醇血症的风险是 C16:0 的 5~6 倍^[57]。本试验中, 16%CAR 处理组 C16:0 含量升高, 这可能是因为盲肠厚壁菌代谢产生的丁酸能上调肝脏 *FASN* 基因表达, 促进 C16:0 合成。此外, 丁酸通过抑制 HDAC 活性提高组蛋白乙酰化水平, 诱导染色质开放与转录激活, 进而促进脂肪酸合成通路的表达, 上调 *CEBP α* 、*PPAR γ* 和 *FABP4* 等脂质代谢关键基因, 提高 PUFA 的沉积与转运效率。这种代谢调控网络使 16%CAR 组在维持 IMF 适口性的同时, 显著提升营养健康价值。

3.2 结论

综上, 肉兔饲喂 CAR 能增加 ADG 并降低 F/G, 改善其 ALP、GLU、TP 和 BUN 等血清生化指标及肌肉品质, 同时不会影响 DM 和 ADF 的表观消化率。在本实验条件下, 日粮中添加 16% 的 CAR 可提高肉兔的生长性能, 优化肌肉脂肪酸组成。

参考文献:

- [1] DENG Y J, NIE Q, ZHOU Y N, et al. Research Progress in Processing Technology of Rabbit Meat [J]. Food Bioengineering, 2024, 3(3): 314-322.
- [2] BAKARE A G, ZINDOVE T J, IJI P A, et al. A Review of Limitations to Using Cassava Meal in Poultry Diets and the Potential Role of Exogenous Microbial Enzymes [J]. Tropical Animal Health and Production, 2021, 53(4): 426.
- [3] 简耀威, 范斯琴, 屈金涛, 等. 全株木薯青贮对奶山羊泌乳性能、瘤胃发酵、营养物质表观消化率、血清生化指标及经济效益的影响 [J]. 动物营养学报, 2024, 36(7): 4486-4498.
- [4] 刘中华, 李强, 冯志, 等. 发酵木薯酒精糟对生产猪生产性能及营养物质消化的影响 [J]. 饲料工业, 2017, 38(10): 26-30.
- [5] LU J F, ZHANG X Y, LIU Y H, et al. Effect of Fermented Corn-Soybean Meal on Serum Immunity, the Expression of Genes Related to Gut Immunity, Gut Microbiota, and Bacterial Metabolites in Grower-Finisher Pigs [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 2620.
- [6] 马旭东, 左清清, 孙海彦, 等. 日粮中添加发酵木薯渣对蛋鸡生产性能及蛋品质的影响 [J]. 广东畜牧兽医科技, 2022, 47(2): 18-21, 36.
- [7] 李洁, 李昆, 张孟阳, 等. 固态发酵木薯酒精渣生产生物饲料的研究 [J]. 饲料工业, 2018, 39(22): 44-49.
- [8] ZHENG Y H, ZHAO Y Y, XUE S L, et al. Feeding Value Assessment of Substituting Cassava (*Manihot Esculenta*) Residue for Concentrate of Dairy Cows Using an in Vitro Gas Test [J]. Animals, 2021, 11(2): 307.
- [9] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists [M]. Washington, D. C.: Association of Official Analytical Chemists, 1970.

- [10] 夏启禹, 贺稚非, 李洪军, 等. 伊拉兔生长过程中肉品质特性变化 [J]. 食品科学, 2015, 36(1): 75-78.
- [11] PILAJUN R, WANAPAT M. Voluntary Feed Intake, Rumen Fermentation and Microbial Protein Synthesis of Beef Cattle Fed Fermented Cassava Starch Residue [C] //Proceeding of the 17th Asian-Australasian Association of Animal Production Societies Animal Science Congress. Tokyo: Japanese Society of Animal Science, 2016.
- [12] CHERDTHONG A, SUPAPONG C. Improving the Nutritive Value of Cassava Bioethanol Waste Using Fermented Yeast as a Partial Replacement of Protein Source in Dairy Calf Ration [J]. Tropical Animal Health and Production, 2019, 51(8): 2139-2144.
- [13] LEI L, FENG Z, LI Q, et al. Fermented Cassava Bioethanol Waste as Substitute of Protein in Diet for Growth Performance and Carcass Evaluation on Meat Ducks [J]. Tropical Animal Health and Production, 2019, 51(5): 1049-1056.
- [14] 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 [J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018, 9(1): 11.
- [15] ARO S O, KEHINDE-OLAYANJU O A, ALETOR V A, et al. Effect of Microbial-Fermented Cassava Wastes as Dietary Replacement for Ground Maize on Cockerel Production [J]. Waste and Biomass Valorization, 2022, 13(1): 361-367.
- [16] DO S, JANG J C, LEE G I, et al. The Role of Dietary Fiber in Improving Pig Welfare [J]. Animals, 2023, 13(5): 879.
- [17] ZHAO J B, LIU P, WU Y, et al. Dietary Fiber Increases Butyrate-Producing Bacteria and Improves the Growth Performance of Weaned Piglets [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(30): 7995-8004.
- [18] ZHANG M, YANG Z Y, WU G F, et al. Effects of Probiotic-Fermented Feed on the Growth Profile, Immune Functions, and Intestinal Microbiota of Bamei Piglets [J]. Animals, 2024, 14(4): 647.
- [19] 永锋, 刘博, 韩蕊, 等. 饲料纤维对猪生产性能和肉品质影响的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2022, 34(11): 6851-6859.
- [20] PU G, LI P H, DU T R, et al. Adding Appropriate Fiber in Diet Increases Diversity and Metabolic Capacity of Distal Gut Microbiota without Altering Fiber Digestibility and Growth Rate of Finishing Pig [J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 533.
- [21] AGYEKUM A K, NYACHOTI C M. Nutritional and Metabolic Consequences of Feeding High-Fiber Diets to Swine: A Review [J]. Engineering, 2017, 3(5): 716-725.
- [22] CHEN L, GAO L X, HUANG Q H, et al. Viscous and Fermentable Nonstarch Polysaccharides Affect Intestinal Nutrient and Energy Flow and Hindgut Fermentation in Growing Pigs [J]. Journal of Animal Science, 2017, 95(11): 5054-5063.
- [23] 刘刚, 谭本杰, 林丽丹, 等. 不同饲料配比对朗德鹅生长性能及生理指标的影响 [J]. 饲料研究, 2010, 33(8): 52-54.
- [24] OVERBY H B, FERGUSON J F. Gut Microbiota-Derived Short-Chain Fatty Acids Facilitate Microbiota: Host Cross Talk and Modulate Obesity and Hypertension [J]. Current Hypertension Reports, 2021, 23(2): 1-10.
- [25] HUNG Y T, ZHU J L, SHURSON G C, et al. Decreased Nutrient Digestibility Due to Viscosity Is Independent of the Amount of Dietary Fibre Fed to Growing Pigs [J]. The British Journal of Nutrition, 2022, 127(2): 177-187.
- [26] 鲍坤, 赵海平, 孙伟丽, 等. 共轭亚油酸对梅花鹿生长性能、营养物质表观消化率及血清生化指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2024, 36(7): 4623-4629.
- [27] RIANCHO J A. Diagnostic Approach to Patients with Low Serum Alkaline Phosphatase [J]. Calcified Tissue International, 2023, 112(3): 289-296.
- [28] POWTHONG P, JANTRAPANUKORN B, SUNTORNTHITICHAROEN P, et al. An in Vitro Study on the Effects of Selected Natural Dietary Fiber from Salad Vegetables for Lowering Intestinal Glucose and Lipid Absorption [J]. Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture, 2021, 12(2): 123-133.
- [29] QI J, LI Y, MASAMBA K G, et al. The Effect of Chemical Treatment on the in Vitro Hypoglycemic Properties of Rice Bran Insoluble Dietary Fiber [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 52: 699-706.

- [30] BYRNE C S, CHAMBERS E S, MORRISON D J, et al. The Role of Short Chain Fatty Acids in Appetite Regulation and Energy Homeostasis [J]. *International Journal of Obesity*, 2015, 39(9): 1331-1338.
- [31] YU J Y, LIU G S, ZHANG J J, et al. Correlation among Serum Biochemical Indices and Slaughter Traits, Texture Characteristics and Water-Holding Capacity of Tan Sheep [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2021, 20(1): 1781-1790.
- [32] CHASHNIDEL Y, BAHARI M, TEIMOURI YANSARI A, et al. The Effects of Dietary Supplementation of Prebiotic and Peptide on Growth Performance and Blood Parameters in Suckling Zell Lambs [J]. *Small Ruminant Research*, 2020, 188: 106121.
- [33] LIU Y, VERTOMMEN D, RIDER M H, et al. Mammalian Target of Rapamycin-Independent S6K1 and 4E-BP1 Phosphorylation during Contraction in Rat Skeletal Muscle [J]. *Cellular Signalling*, 2013, 25(9): 1877-1886.
- [34] LU Y, SUN Y, LI Y, ET AL. Sodium Butyrate Protects against Oxidative Stress between Obesity-Prone and Obesity-Resistant Rats Induced by Hfd Through Modulating Nrf2 Pathway and Mitochondrial Function [EB/OL]. (2020-07-30) [2025-02-23]. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-44355/v1>.
- [35] 樊懿萱, 王锋, 王强, 等. 发酵木薯渣替代部分玉米对湖羊生长性能、血清生化指标、屠宰性能和肉品质的影响 [J]. *草业学报*, 2017, 26(3): 91-99.
- [36] SHANG Q H, LIU S J, LIU H S, et al. Impact of Sugar Beet Pulp and Wheat Bran on Serum Biochemical Profile, Inflammatory Responses and Gut Microbiota in Sows during Late Gestation and Lactation [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2021, 12(1): 54.
- [37] BROCH J, NUNES R V, DE OLIVEIRA V, et al. Dry Residue of Cassava as a Supplementation in Broiler Feed with or without Addition of Carbohydrases [J]. *Semina: Ciências Agrárias*, 2017, 38(4Supl1): 2641.
- [38] FASAE O A, ADU I F, AINA A B J, et al. Growth Performance, Carcass Characteristics and Meat Sensory Evaluation of West African Dwarf Sheep Fed Varying Levels of Maize and Cassava Hay [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2011, 43(2): 503-510.
- [39] 邝哲师, 黄静, 廖森泰, 等. 桑叶粉和发酵桑叶粉对胡须鸡屠宰性能、肉品质及盲肠菌群的影响 [J]. *中国畜牧兽医*, 2016, 43(8): 1989-1997.
- [40] PROMMACHART R, CHERDTHONG A, NAVANUKRAW C, et al. Effect of Dietary Anthocyanin-Extracted Residue on Meat Oxidation and Fatty Acid Profile of Male Dairy Cattle [J]. *Animals*, 2021, 11(2): 322.
- [41] FAUSTMAN C, SUMAN S P, RAMANATHAN R. The Eating Quality of meat; I Color [M] //TOLDRA F. *Lawrie's Meat Science*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2023: 363-392.
- [42] 张瑞, 安雪姣, 李建焯, 等. 湖羊及其不同杂交组合生长性能、产肉性能及肌肉品质比较分析 [J]. *草业学报*, 2024, 33(3): 186-197.
- [43] DE ABREU K S F, GUIM A, CARVALHO F F F, et al. Effects of Additives in Wet Brewery Residue Silage on Lamb Carcass Traits and Meat Quality [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, 53(1): 85.
- [44] DOS SANTOS ABRAHÃO J J, DO PRADO I N, PEROTTO D, et al. Características de Carcaças E Da Carne de Tourinhos Submetidos a Dietas Com Diferentes Níveis de Substituição Do Milho Por Resíduo Úmido Da Extração Da Fécula de Mandioca [J]. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2005, 34(5): 1640-1650.
- [45] REALINI C E, PAVAN E, PURCHAS R W, et al. Relationships between Intramuscular Fat Percentage and Fatty Acid Composition in M. Longissimus Lumborum of Pasture-Finished Lambs in New Zealand [J]. *Meat Science*, 2021, 181: 108618.
- [46] FRUNZĂ G. Nutritional Quality Evaluation of Rabbit Meat (Flemish Giant Breed) Corelated with Fatty Acids Conten [J]. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 2016, 49(2): 200-206.
- [47] CARDOSO D B, VÉRAS R M L, DE CARVALHO F F R, et al. Physicochemical Parameters, Fatty Acid Profile, and Sensory Attributes of Meat from Lambs Fed with Cassava Dregs in Replacement of Corn [J]. *Tropical Animal Health*

- and Production, 2019, 51(6): 1515-1521.
- [48] PEWAN S B, OTTO J R, HUERLIMANN R, et al. Genetics of Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism and Meat Eating Quality in Tattykeel Australian White Lambs [J]. *Genes*, 2020, 11(5): 587.
- [49] COSTA-SILVA V, PINHEIRO V, ALVES A, et al. Effects of Dietary Incorporation of Grape Stalks Untreated and Fungi-Treated in Growing Rabbits: A Preliminary Study [J]. *Animals*, 2022, 12(1): 112.
- [50] LU Z K, YUE Y J, SHI H N, et al. Effects of Sheep Sires on Muscle Fiber Characteristics, Fatty Acid Composition and Volatile Flavor Compounds in F1 Crossbred Lambs [J]. *Foods*, 2022, 11(24): 4076.
- [51] FROYEN E, BURNS-WHITMORE B. The Effects of Linoleic Acid Consumption on Lipid Risk Markers for Cardiovascular Disease in Healthy Individuals: A Review of Human Intervention Trials [J]. *Nutrients*, 2020, 12(8): 2329.
- [52] GUO P P, YAO X R, XU Y N, et al. Insulin Interacts with PPAR γ Agonists to Promote Bovine Adipocyte Differentiation [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2024, 88: 106848.
- [53] MA J X, HUANGFU W K, YANG X, et al. “King of the Forage”—Alfalfa Supplementation Improves Growth, Reproductive Performance, Health Condition and Meat Quality of Pigs [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, 9: 1025942.
- [54] CHOI S H, GANG G O, SAWYER J E, et al. Fatty Acid Biosynthesis and Lipogenic Enzyme Activities in Subcutaneous Adipose Tissue of Feedlot Steers Fed Supplementary Palm Oil or Soybean Oil [J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(5): 2091-2098.
- [55] XU M, CHEN X L, HUANG Z Q, et al. Effects of Dietary Grape Seed Proanthocyanidin Extract Supplementation on Meat Quality, Muscle Fiber Characteristics and Antioxidant Capacity of Finishing Pigs [J]. *Food Chemistry*, 2022, 367: 130781.
- [56] MATEO J, CARO I, SOTO S, et al. Lipid Characteristics of the Muscle and Perirenal Fat in Young Tudanca Bulls Fed on Different Levels of Grass Silage [J]. *Animals*, 2023, 13(2): 261.
- [57] NUERNBERG K, FISCHER A, NUERNBERG G, et al. Meat Quality and Fatty Acid Composition of Lipids in Muscle and Fatty Tissue of Skudde Lambs Fed Grass versus Concentrate [J]. *Small Ruminant Research*, 2008, 74(1-3): 279-283.
- [58] MOHEBODINI H, JAZI V, ASHAYERIZADEH A, et al. Productive Parameters, Cecal Microflora, Nutrient Digestibility, Antioxidant Status, and Thigh Muscle Fatty Acid Profile in Broiler Chickens Fed with Eucalyptus Globulus Essential Oil [J]. *Poultry Science*, 2021, 100(3): 100922.

责任编辑 张衿
柳剑