



动物营养学报

Chinese Journal of Animal Nutrition

ISSN 1006-267X, CN 11-5461/S

《动物营养学报》网络首发论文

题目： 酵母多糖对育肥牛屠宰性能和肉质风味的影响
作者： 王燕，侯鹏霞，李丹，李博，施安，陈志龙，孙文阳，黄晓瑜，张恩平，梁小军
收稿日期： 2023-04-26
网络首发日期： 2023-09-20
引用格式： 王燕，侯鹏霞，李丹，李博，施安，陈志龙，孙文阳，黄晓瑜，张恩平，梁小军. 酵母多糖对育肥牛屠宰性能和肉质风味的影响[J/OL]. 动物营养学报. <https://link.cnki.net/urlid/11.5461.S.20230918.1607.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

酵母多糖对育肥牛屠宰性能和肉质风味的影响

王燕¹ 侯鹏霞^{1,2*} 李丹¹ 李博¹ 施安² 陈志龙³
孙文阳² 黄晓瑜¹ 张恩平^{1**} 梁小军^{2**}

(1.西北农林科技大学动物科技学院,杨凌 712100; 2.宁夏农林科学院动物科学研究所,银川 750000;
3.宁夏农林科学院固原分院,固原 756000)

摘要: 本试验旨在研究饲料添加酵母多糖对育肥牛屠宰性能和肉质风味的影响。选择健康的16月龄、体重550 kg左右的西门塔尔杂交育肥牛40头,随机分为4组,每组10头。对照组饲喂基础饲料,3个试验组分别饲喂在基础饲料中添加5、10和15 g/(d·头)酵母多糖的饲料。预试期10 d,正试期94 d。饲养试验结束后,对照组和试验组[体增重最好的15 g/(d·头)酵母多糖添加组]各选择3头体重接近平均值的牛进行屠宰试验,测定屠宰性能和肉品质,并采用电子鼻测定肌肉的气味轮廓,以及采用气相色谱-质谱联用技术测定肌肉挥发性风味物质。结果表明:1)与对照组相比,饲料添加酵母多糖对育肥牛屠宰性能无显著影响($P>0.05$),但显著降低了背膘厚($P<0.05$),有提高肌肉粗脂肪含量的趋势($P=0.078$)。2)电子鼻分析发现,与对照组相比,试验组育肥牛肉背最长肌中对长链烷烃芳香物质敏感的传感器响应值显著提高($P<0.05$)。3)与对照组相比,饲料添加酵母多糖显著上调了育肥牛肌肉中磷酸吡哆醛和赤藓糖-4-磷酸含量($P<0.05$)。由此可知,饲料添加15 g/(d·头)酵母多糖可促进育肥牛生长,提高肌肉中芳香族化合物含量,改善肉品质。

关键词: 酵母多糖;育肥牛;屠宰性能;肉质风味

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2023)10-6452-10

牛肉蛋白质含量高,脂肪含量低,微量元素和矿物质含量丰富,食用牛肉更符合现代人健康低脂的饮食观念^[1]。随着生活质量的提高,人们对肉品质要求越来越高,涉及肉品质(熟肉率、系水力、剪切力和肌肉脂肪含量等指标)的研究越来越受到从业者关注^[2]。酵母多糖是酵母细胞壁的重要组成部分, β -葡聚糖和甘露聚糖是其主要活性物质。研究表明,酵母多糖可提高动物生长性能^[3-6],在改善肉品质方面具有积极作用^[7-8]。武晓红等^[9]研究报道,饲料添加0.2%酵母多糖可改善肉鸡屠体性能和肉质性状;熊子标^[10]研究报道,饲料添加2%酵母培养物可改善四川白鹅肉质嫩

度。目前,关于酵母多糖的研究主要集中在单胃动物,对反刍动物肉品质影响的研究鲜有报道。因此,本试验在前期研究^[11]基础上,进一步研究饲料添加酵母多糖对育肥牛屠宰性能和肉质风味的影响,为酵母多糖在肉牛生产的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

选择健康的16月龄、体重550 kg左右的西门塔尔杂交育肥牛40头,随机分为4组,每组10头。对照组饲喂基础饲料,3个试验组分别饲喂在基础

收稿日期: 2023-04-26

基金项目: 宁夏回族自治区农业科技自主创新项目(NGSB-2021-12-02);财政部和农业农村部-国家现代农业产业技术体系资助(CARS-37);陕西省肉羊产业技术体系建设项目[NYKJ-2022-YL(XN)46]

作者简介: 王燕(1997—),女,甘肃庆阳人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: wy15320325597@163.com

* 同等贡献作者

** 通信作者: 张恩平,教授,博士生导师,E-mail: zhangenping@nwfau.edu.cn;梁小军,研究员,E-mail: 1092295523@qq.com

饲料中添加 5、10 和 15 g/(d·头) 酵母多糖(主要成分及含量: 甘露聚糖 $\geq 20\%$, β -葡聚糖 $\geq 20\%$, 粗蛋白质 $\geq 25\%$, 水分 $\leq 6\%$)的饲料。基础饲料根据 NRC (2016) 肉牛饲养标准结合养殖场生产实际配制, 其组成及营养水平参照前期研究^[11]。预试期 10 d, 正试期 94 d。

1.2 饲养管理

试验开始前对圈舍进行打扫、消毒。试验牛分圈舍群饲, 各组按试验设计饲喂对应饲料, 基础饲料以全混合日粮(TMR)形式饲喂, 每日 2 次(08:00 和 16:00), 自由饮水。每日晨饲时, 将酵母多糖用水溶解喷洒于试验组饲料表面(确保育肥牛短时间内采食完)。其他饲养管理条件保持一致。

1.3 指标测定

1.3.1 屠宰性能

饲养试验结束后, 对照组和试验组[体增重最好的 15 g/(d·头) 酵母多糖添加组]各选择 3 头体重接近平均值的牛进行屠宰试验。屠宰前禁食 24 h, 禁水 2 h。颈动脉放血屠宰, 测定宰前活重、胴体重、背膘厚(电子数显游标卡尺, TK13-CD-P20M) 和眼肌面积(数字式求积仪, QCJ-2000) 等, 测定方法参照 NY/T 2660—2014《肉牛生产性

能测定技术规范》^[12]。

1.3.2 肌肉理化性质和化学成分

试验牛屠宰后 45 min, 测定左半侧胴体背最长肌 pH (pH 测定仪, pH-STAR); 取左半侧胴体背最长肌 2.0 kg, 测定熟肉率、系水力、剪切力以及粗蛋白质和粗脂肪含量。熟肉率、系水力按照 NY/T 1333—2007《畜禽肉质的测定》^[13] 测定; 剪切力按照 NY/T 1180—2006《肉嫩度的测定 剪切力测定法》^[14] 测定; 粗蛋白质含量按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[15] 第 2 法进行测定; 粗脂肪含量按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[16] 第 2 法进行测定。

1.3.3 电子鼻感官测定

屠宰后, 取左半侧胴体背部肌肉 50 g, 4 ℃ 熟化 24 h。将肉样切成肉糜状, 剔除脂肪和筋膜, 称取 10 g 放入 15 mL 进样瓶密封, 每个样品平行重复 3 次, 室温条件下静置 30 min 后, 使用电子鼻(PEN3, 德国 Airsense 公司) 测定挥发性气味物质。试验参数: 1 Hz 采样频率, 200 mL/min 进气流速, 60 s 清洗时间, 60 s 进样时间。电子鼻性能和参数见表 1。

表 1 电子鼻性能和参数

Table 1 Performance and parameters of electronic nose

阵列序号 Array serial numbers	传感器名称 Sensor names	性能特点 Performance characteristics
1	W1C	主要检测芳香族化合物
2	W5S	主要检测氮氧化物
3	W3C	主要检测氨气及芳香族化合物
4	W6S	主要检测氢气
5	W5C	主要检测烷烃类化合物、芳香族化合物及弱极性化合物
6	W1S	响应物质范围广, 对环境中甲烷敏感
7	W1W	对含硫有机物、萜烯类、吡嗪类化合物敏感
8	W2S	响应物质范围广, 主要检测醇类、醛类和酮类
9	W2W	主要检测芳香族化合物及含硫有机化合物
10	W3S	对长链烷烃芳香物质敏感

1.3.4 气相色谱-质谱联用(GC-MS)分析

取背最长肌 10 g 左右, 于 2 mL 冻存管分装, 立即投入液氮, 带回实验室于 -80 ℃ 保存, 用于测定挥发性风味物质。色谱条件: 色谱柱为 DB-5 MS (30 m×250 μm ×0.25 μm), 载气为高纯氮气,

流速为 3 mL/min, 前进样口温度为 280 ℃, 进样量为 1 μL , 分流进样, 溶剂延迟 6.27 min。升温程序: 初始温度 50 ℃ 保持 1 min, 10 ℃/min 升温至 310 ℃, 保持 8 min。质谱条件: 电喷雾离子源温度 250 ℃, 传输线温度 180 ℃, 电离电压 -70 eV。扫

描质量范围为 50 ~ 500 m/z , 扫描速率 12.5 spectra/s。以上检测由北京诺禾致源科技股份有限公司完成。

1.4 数据统计与分析

屠宰性能和肉品质数据在 Excel 2019 中采用单因素方差分析 (one-way ANOVA) 进行分析, 结果用“平均值 \pm 标准误”表示, $P < 0.05$ 为差异显著, $0.05 < P < 0.10$ 为差异有显著性趋势。代谢组数据采用主成分分析 (PCA)、偏最小二乘回归分析 (PLS-DA) 和单因素统计 [t -检验, 差异倍数 (FC)] 方法进行处理, 以筛选对照组和试验组肌

肉中的差异代谢物, 筛选条件为变量投影重要性 (VIP) > 1.0 、 $FC > 1.2$ 或 $FC < 0.833$ 且 $P < 0.05$, 同时对筛选出的差异代谢物进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 酵母多糖对育肥牛屠宰性能的影响

由表 2 可知, 与对照组相比, 试验组育肥牛宰前活重显著提高 ($P < 0.05$), 胴体重、屠宰率和眼肌面积无显著差异 ($P > 0.05$), 但胴体重和眼肌面积分别提高了 7.28% 和 11.54%; 试验组背膘厚显著低于对照组 ($P < 0.05$)。

表 2 酵母多糖对育肥牛屠宰性能的影响

Table 2 Effects of yeast polysaccharide on slaughter performance of finishing cattle

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Test group	P 值 P -value
宰前活重 Live weight before slaughter/kg	707.50 \pm 10.10	746.67 \pm 3.33	0.021
胴体重 Carcass weight/kg	448.18 \pm 12.60	480.80 \pm 13.43	0.151
屠宰率 Slaughter rate/%	63.32 \pm 0.01	64.40 \pm 0.02	0.641
眼肌面积 Loin muscle area/cm ²	113.04 \pm 2.71	126.08 \pm 5.95	0.117
背膘厚 Back fat thickness/cm	1.13 \pm 0.15	0.44 \pm 0.08	0.015

2.2 酵母多糖对育肥牛肌肉理化性质和化学成分的影响

由表 3 可知, 与对照组相比, 试验组育肥牛背最长肌 pH_{45 min}、熟肉率、系水力和粗蛋白质含量均

无显著差异 ($P > 0.05$); 试验组背最长肌剪切力无显著差异 ($P > 0.05$), 但较对照组降低了 5.77%; 试验组背最长肌粗脂肪含量有提高的趋势 ($P = 0.078$)。

表 3 酵母多糖对育肥牛肌肉理化性质和化学成分的影响

Table 3 Effects of yeast polysaccharide on muscle physicochemical properties and chemical composition of finishing cattle

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Test group	P 值 P -value
pH _{45 min}	6.09 \pm 0.12	6.24 \pm 0.14	0.454
剪切力 Shear force/N	75.80 \pm 8.40	71.43 \pm 3.04	0.651
熟肉率 Cook meat rate/%	58.42 \pm 0.02	55.69 \pm 0.00	0.264
系水力 Water holding capacity/%	0.66 \pm 0.03	0.67 \pm 0.01	0.767
粗蛋白质 Crude protein/%	22.60 \pm 0.57	22.67 \pm 0.10	0.915
粗脂肪 Ether extract/%	0.67 \pm 0.26	1.63 \pm 0.32	0.078

2.3 酵母多糖对育肥牛肌肉气味轮廓的影响

由表 4 可知, 试验组育肥牛肌肉 W3S 传感器响应值显著高于对照组 ($P < 0.05$), 说明饲料添加酵母多糖能促进育肥牛肌肉中合成更多的长链烷烃芳香物质。对 2 组样品 10 种传感器响应值进行 PCA, 结果如图 1-a 所示, 主成分 1 (PC1) 和主成

分 2 (PC2) 的贡献率分别为 76.7% 和 11.9%, 总贡献率为 88.6%, 说明 PC1 和 PC2 能反映样本总体特征的大部分信息, 试验组和对照组气味轮廓存在一定差异。根据肌肉气味响应值绘制气味雷达图, 以反映 2 组牛肉总体轮廓信息, 结果如图 1-b 所示, W1W、W2W 和 W5S 传感器响应值较其他

传感器高,说明西门塔尔杂交育肥牛肌肉中可能 含硫化合物和氮氧化合物较多。

表 4 酵母多糖对育肥牛肌肉气味响应值的影响

Table 4 Effects of yeast polysaccharide on odor response value in muscle of finishing cattle

传感器名称 Sensor names	对照组 Control group	试验组 Test group	P 值 P-value
W1C	1.18±0.04	1.14±0.04	0.464
W5S	1.74±0.09	1.62±0.07	0.306
W3C	1.20±0.04	1.19±0.04	0.808
W6S	1.08±0.07	1.37±0.16	0.120
W5C	1.32±0.08	1.33±0.08	0.897
W1S	1.46±0.09	1.59±0.16	0.485
W1W	3.94±0.38	4.57±0.43	0.293
W2S	1.51±0.08	1.70±0.16	0.303
W2W	3.55±0.15	3.55±0.15	0.995
W3S	1.28±0.01	1.33±0.01	0.001

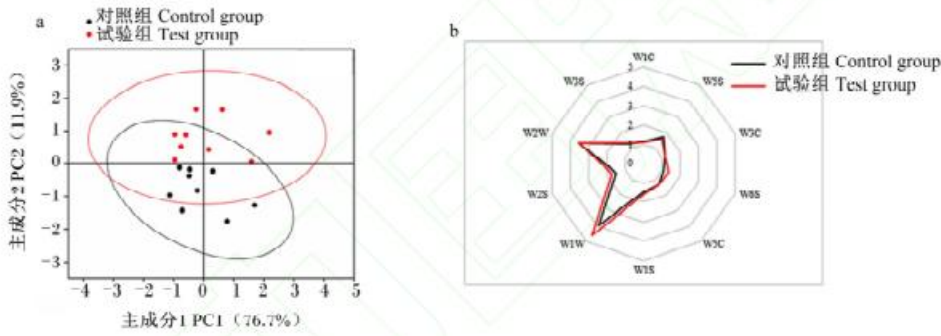


图 1 PCA 得分图 (a) 和电子鼻气味响应值雷达图 (b)

Fig.1 PCA score plot (a) and spider plot for electronic nose sensor response value (b)

2.4 酵母多糖对育肥牛肌肉风味物质的影响

2.4.1 多元统计分析

2.4.1.1 PCA

通过对样本进行无监督模式识别的 PCA,初

步了解了各组样本的总体代谢差异和组内样本间变异度大小,结果如图 2 所示,PC1、PC2 和主成分 3 (PC3) 贡献率分别为 46.11%、24.39% 和 12.31%,2 组样品明显分开。

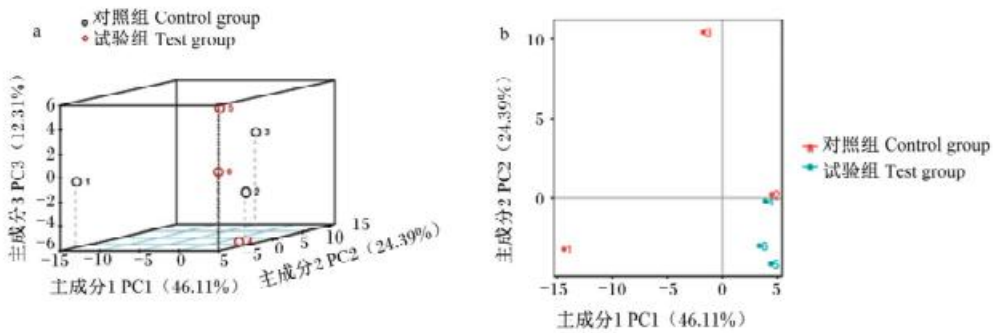


图 2 PCA 得分图

Fig.2 PCA score plots

2.4.1.2 PLS-DA

为了消除其他因素的影响,进一步采用有监督的 PLS-DA 进行统计分析,结果如图 3-a 所示,可见组间样品无交叉重叠部分,区分度良好,说明饲料添加酵母多糖对肌肉代谢物有显著影响。对照组内样品间虽有离散,但小于组间差异。PLS-DA 模型参数 R^2Y 表示模型的解释率, Q^2Y 用于评价模型的预测能力, R^2Y 越接近 1,表明模型越稳定可靠,且 R^2Y 大于 Q^2Y 时表示模型建立良

好。本研究中, R^2Y 和 Q^2Y 分别为 0.94 和 -0.12,说明该模型的解释率高,且 R^2Y 大于 Q^2Y ,说明该模型建立良好。此外,为了避免过度拟合,本研究还进行了 PLS-DA 模型验证(置换检验 $n=200$),结果如图 3-b 所示,置换回归曲线 R^2 与 Q^2 截距分别达到 0.95 和 -0.92, R^2 大于 Q^2 且 Q^2 回归线与 Y 轴截距小于 0,说明模型稳健可靠且不存在过拟合现象。以上结果说明样品具有足够的重现性,适合于后续的分析验证。

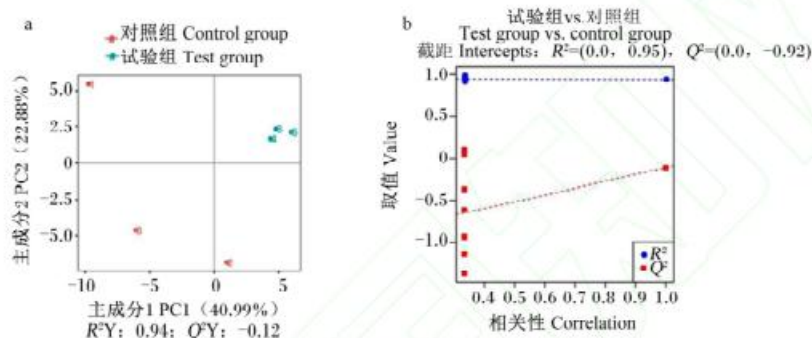


图 3 PLS-DA 得分图 (a) 和模型验证图 (b)

Fig.3 PLS-DA score plot (a) and model validation plot (b)

2.4.2 差异代谢物分析

以 $VIP>1.0$ 、 $FC>1.2$ 或 $FC<0.833$ 且 $P<0.05$ 作为筛选差异代谢物的条件,由表 6 可知,与对照

组相比,试验组筛选出 2 种显著上调差异小分子代谢物——磷酸吡哆醛和赤藓糖-4-磷酸 ($P<0.05$),可作为潜在标记物。

表 5 酵母多糖对育肥牛背最长肌差异代谢物的影响

Table 5 Effects of yeast polysaccharide on differential metabolites in *longissimus dorsi* muscle of finishing cattle

化合物识别号 Compound ID	代谢物名称 Metabolite name	保留时间 RT/min	差异倍数 FC	变量投影重要性 VIP	P 值 P-value
Com_143	磷酸吡哆醛	22.17	1.89	1.31	0.040
Com_163	赤藓糖-4-磷酸	18.05	2.41	1.50	0.047

2.4.3 层次聚类分析

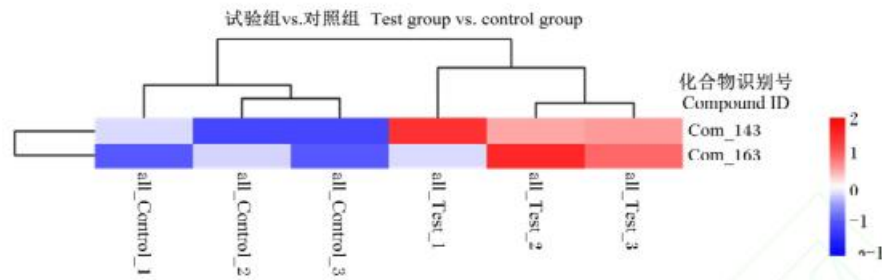
为了全面直观地显示样本间的关系及代谢物在不同样本中的表达模式差异,对差异代谢物进行层次聚类分析,结果如图 4 所示,对照组和试验组样本通过聚类出现在同一簇中,并且具有类似表达模式的代谢物聚类在同一簇内,说明组间整体代谢物相对定量值层次聚类区分明显。

3 讨论

3.1 酵母多糖对育肥牛屠宰性能的影响

屠宰性能是衡量畜禽产肉量、饲料转化率和

饲养管理水平的重要指标。黄文明等^[17]、李俊朋等^[18] 研究报道,饲料添加酵母培养物对育肥牛屠宰率、胴体产肉率和眼肌面积均无显著影响;赵国宏等^[19] 研究报道,饲料添加不同水平酵母培养物对育肥湖羊胴体重、屠宰率及眼肌面积等均无显著影响。本试验中,2 组之间育肥牛胴体重、屠宰率和眼肌面积差异不显著,与上述研究结果一致。值得注意的是,虽然无统计学上的显著差异,但酵母多糖添加组育肥牛胴体重和眼肌面积较对照组分别提高了 7.28% 和 11.54%,说明饲料添加酵母多糖在一定程度上改善了育肥牛胴体品质,提高了产肉性能。



all_Control: 对照组样本 samples in control group; all_Test: 对照组样本 samples in test group.

图 4 差异代谢物层次聚类分析热图

Fig.4 Heatmap of hierarchical cluster analysis of differential metabolites

3.2 酵母多糖对育肥牛肌肉理化性质和化学成分的影响

西门塔尔牛肉脂肪少而分布均匀,蛋白质含量高,矿物质含量是猪肉的 2 倍以上。pH、系水力、熟肉率、剪切力以及粗蛋白质和粗脂肪含量等是衡量肉品质高低的常用指标。栗哲^[20] 研究报道,饲料添加酵母水解物对荷斯坦阔牛肌肉 pH、熟肉率和系水力均无显著影响; Zhang 等^[21] 研究报道,饲料添加 1 g/kg β -葡聚糖对肉仔鸡胸肌 pH 无显著影响。本试验中,饲料添加酵母多糖对育肥牛肌肉 pH、熟肉率和系水力均无显著影响,与上述研究结果一致。剪切力是牛肉嫩度的重要体现,剪切力越小,肌肉越嫩,肉品质越高。栗哲^[20] 研究报道,饲料添加酵母水解物可显著降低荷斯坦阔牛肌肉剪切力,提高肉质嫩度; 窦晓利等^[22] 研究报道,饲料添加酵母培养物显著降低了黑山羊肌肉剪切力,改善了肌肉嫩度; Geng 等^[8] 研究报道,饲料添加 50 g/d 酵母培养物可改善牛肉嫩度,提升牛肉风味。本试验中,2 组之间育肥牛肌肉剪切力差异不显著,但试验组剪切力较对照组降低了 5.77%,说明饲料添加酵母多糖在一定程度上改善了牛肉嫩度。

动物机体中脂类沉积主要取决于受饲料因素影响较大的脂肪沉积率,沉积顺序为皮下组织>内脏组织>肌肉组织^[17]。马吉锋等^[23] 研究报道,饲料添加酵母细胞壁多糖有提高滩羊屠宰率、减少背膘厚的趋势。本试验中,试验牛 20 月龄左右出栏,宰前活重均在 700 kg 以上^[11],而试验组育肥牛背膘厚显著低于对照组,而粗脂肪含量有显著高于对照组的趋势,说明饲料添加酵母多糖能够

促进肉牛肌肉组织脂肪沉积;此外,饲养时长适宜,也有利于更多脂肪沉积于肌肉组织^[24]。肌肉常规营养成分是反映肉品质的客观指标,肌肉粗蛋白质和粗脂肪含量直接决定肌肉营养价值^[25],而且我国消费者喜欢脂肪含量丰富的牛肉^[26]。De Ondarza 等^[27]、Poppy 等^[28] 研究报道,酵母及其衍生物可提高奶牛牛奶中乳蛋白和乳脂含量;栗哲^[20] 研究报道,饲料添加酵母多糖显著提高了荷斯坦阔牛肉肌肉间脂肪含量,提高了粗蛋白质含量。本试验中,酵母多糖添加组育肥牛肌肉粗脂肪含量有显著高于对照组的趋势,可能是因为酵母多糖提高了养分消化率和能量利用水平,促进了肌肉脂肪沉积,从而改善了肉品质。

3.3 酵母多糖对育肥牛肌肉气味轮廓的影响

风味品质是重要的食用品质,是消费者最终评价肉质的关键指标,影响消费者的长期购买决策^[29]。电子鼻是测定肉质风味的一种常用手段,可对样品中物质做出快速分析,试验结果可反映样品的气味特征,迄今为止已广泛应用于食品及产品加工领域、掺假和溯源地追踪等方面^[30-31]。田晓静等^[32] 报道,电子鼻技术能有效应用于检测肉质新鲜度、掺假和品质判定等方面。马小明等^[33] 通过电子鼻检测了饲喂不同配方饲料的滩羊肉风味,发现不同配方饲料喂养的滩羊肉风味能被很好地区分。本研究通过电子鼻检测发现,酵母多糖添加组育肥牛肌肉的 W3S 传感器响应值显著高于对照组, W3S 传感器对长链烷烃芳香物质敏感,说明饲料添加酵母多糖显著促进了肌肉中长链烷烃芳香类物质的合成。此外, W1W、W2W 和 W5S 传感器对样品挥发性化合物显示出

较强的响应,说明西门塔尔杂交育肥牛肉中含有丰富的含硫化合物和氮氧化合物。电子鼻可反映肉中气味轮廓,但作用较局限,不能把肉质中具体的挥发性化合物信息表示出来^[34],因此本研究进一步采用 GC-MS 技术详细地分析肉中挥发性风味化合物的构成。

3.4 酵母多糖对育肥牛肌肉风味物质的影响

GC-MS 主要是将样品组分质谱图和标准谱库的质谱图进行比较,初步确定样品中未知组分的结构信息,并用峰面积归一法来确定各组分相对含量^[34],是一种常用的检测技术。李娟^[35]把电子鼻测定和 GC-MS 技术相结合,对华中、华北、华东、西南和西北 5 个地区酱卤牛肉风味进行比较,发现不同酱卤牛肉的风味轮廓存在显著差异,区分度良好。本试验基于 GC-MS 技术^[36],结合 PCA 和 PLS-DA 模式识别方法对饲料添加酵母多糖的育肥牛背最长肌代谢谱进行了研究,结果显示,对照组和试验组在 PCA 模式下基本可区分开来,但对照组内样本较分散;在 PLS-DA 模式识别方法下组间样本可完全区分,无重叠和交叉。通过模式识别方法,试验组筛选出 2 种显著上调差异代谢物:磷酸吡哆醛和赤藓糖-4-磷酸。磷酸吡哆醛是 100 多种酶的辅酶,参与生物体内多种代谢反应^[37]。例如,磷酸吡哆醛以辅酶活性形式参与多种氨基酸代谢反应(包括脱羧作用、消旋作用、羟醛反应和转氨作用等),对生物体内氨基酸合成代谢起重要作用^[38-40];而赤藓糖-4-磷酸是生物合成芳香族氨基酸——色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸的前体。由此说明,这 2 种物质均参与氨基酸代谢,而氨基酸对微生物的生长和新陈代谢有重要作用,其也是蛋白质和多肽合成的关键成分,并调节多种代谢通路^[41]。以上结果表明,饲料添加酵母多糖对育肥牛肌肉氨基酸合成代谢有促进作用。目前这 2 种代谢物在畜禽生产中研究较少,具体作用机制有待进一步研究。

4 结 论

本试验条件下,饲料添加酵母多糖降低了育肥牛背膘厚,有提高肌肉粗脂肪含量的趋势,同时显著提高了肌肉中芳香族化合物含量,上调了肌肉中磷酸吡哆醛和赤藓糖-4-磷酸含量。由此可见,饲料添加 15 g/d 酵母多糖不仅可促进育肥牛生长,还可提高肌肉风味中芳香族化合物含量,改

善肉品质。

参考文献:

- [1] 张慧,丁原春,王喆,等.牛肉的营养价值及其嫩度的影响因素[J].饲料博览,2019(11):47-50.
ZHANG H, DING Y C, WANG Z, et al. The nutritional value of beef and the influencing factors of its tenderness [J]. Feed Review, 2019 (11): 47-50. (in Chinese)
- [2] 张宏博,王贵印,袁倩,等.巴美肉羊的食用品质[J].食品科学,2013,34(19):19-22.
ZHANG H B, WANG G Y, YUAN Q, et al. Eating quality of lamb meat of *Bamei* sheep [J]. Food Science, 2013, 34 (19): 19-22. (in Chinese)
- [3] GHOSH T K, HALDAR S, BEDFORD M R, et al. Assessment of yeast cell wall as replacements for antibiotic growth promoters in broiler diets: effects on performance, intestinal histo-morphology and humoral immune responses [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2012, 96 (2): 275-284.
- [4] WANG X, TSAI T C, WALK C L, et al. 219 Effect of yeast cell wall (YCW) inclusion rate on growth performance in nursery pigs [J]. Journal of Animal Science, 2017, 95 (Suppl.2): 105.
- [5] LEI C L, DONG G Z, JIN L, et al. Effects of dietary supplementation of montmorillonite and yeast cell wall on lipopolysaccharide adsorption, nutrient digestibility and growth performance in beef cattle [J]. Livestock Science, 2013, 158 (1/2/3): 57-63.
- [6] ARAGON S N, RIBEIRO F R B, HOSFORD A D, et al. Influence of yeast cell wall supplementation during the finishing phase on feedlot steer performance, carcass characteristics, and postmortem tenderness [J]. The Professional Animal Scientist, 2016, 32 (2): 192-200.
- [7] SWYERS K L, WAGNER J J, DORTON K L, et al. Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product as an alternative to monensin on growth performance, cost of gain, and carcass characteristics of heavy-weight yearling beef steers [J]. Journal of Animal Science, 2014, 92 (6): 2538-2545.
- [8] GENG C Y, REN L P, ZHOU Z M, et al. Comparison of active dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and yeast culture for growth performance, carcass traits, meat quality and blood indexes in finishing bulls [J]. Animal Science Journal, 2016, 87 (8): 982-988.
- [9] 武晓红,李旺,王生滨,等.不同酵母多糖水平对肉鸡屠体性状及肉品质的影响[J].江苏农业科学,2017,45(5):164-167.
WU X H, LI W, WANG S B, et al. Effects of different levels of yeast polysaccharides on carcass traits and

- meat quality in broilers [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45 (5) : 164–167. (in Chinese)
- [10] 熊子标. 酵母培养物对四川白鹅生产性能、消化生理和机体免疫的影响 [D]. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学, 2020.
XIONG Z B. Effect of yeast culture on production performance, digestive physiology and immunity of Sichuan white goose [D]. Master's Thesis. Chongqing: Southwest University, 2020. (in Chinese)
- [11] 王燕, 陈志龙, 施安, 等. 酵母多糖对育肥牛生长性能、血清免疫和抗氧化指标以及代谢物的影响 [J]. *动物营养学报*, 2023, 35 (10) : 6348–6451.
WANG Y, CHEN Z L, SHI A, et al. Effects of yeast polysaccharide on growth performance, serum immune and antioxidant indices and metabolites of finishing cattle [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35 (10) : 6348–6451. (in Chinese)
- [12] 中华人民共和国农业部. 肉牛生产性能测定技术规范: NY/T 2660—2014 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Technical specification of beef cattle performance test: NY/T 2660—2014 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2014. (in Chinese)
- [13] 中华人民共和国农业部. 畜禽肉质的测定: NY/T 1333—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of livestock and poultry meat quality: NY/T 1333—2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2007. (in Chinese)
- [14] 中华人民共和国农业部. 肉嫩度的测定 剪切力测定法: NY/T 1180—2006 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
The Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Determination of meat tenderness shear force method: NY/T 1180—2006 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. (in Chinese)
- [15] 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 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of protein in food: GB 5009.5—2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [16] 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 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of fat in food: GB 5009.6—2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. (in Chinese)
- [17] 黄文明, 谭林, 王芬, 等. 酵母培养物对育肥牛生长性能、屠宰性能及肉品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (3) : 1317–1325.
HUANG W M, TAN L, WANG F, et al. Effects of yeast culture on growth performance, slaughter performance and meat quality of finishing cattle [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 (3) : 1317–1325. (in Chinese)
- [18] 李俊朋, 宋博. 不同水平酵母培养物对育肥期郑县红牛生长性能、屠宰性能和肉品质的影响 [J]. *饲料研究*, 2021, 44 (6) : 24–27.
LI J P, SONG B. Effect of different levels of yeast culture on growth performance, slaughter performance and meat quality of *Jiexian* red cattle during the fattening period [J]. *Feed Research*, 2021, 44 (6) : 24–27. (in Chinese)
- [19] 赵国宏, 王世国, 王芬, 等. 饲料添加不同水平酵母培养物对育肥湖羊生长性能、屠宰性能、内脏器官发育及肉品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (5) : 2273–2281.
ZHAO G H, WANG S G, WANG F, et al. Effects of dietary different supplemental levels of yeast culture on growth performance, slaughter performance, visceral organ development and meat quality of fattening *Hu* sheep [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (5) : 2273–2281. (in Chinese)
- [20] 栗哲. 酵母水解物对荷斯坦阉牛生产性能、瘤胃发酵及肉品质的影响 [D]. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学, 2021.
LI Z. Effect of yeast hydrolysate on growth performance, rumen fermentation and meat quality of Holstein steers [D]. Master's Thesis. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2021. (in Chinese)
- [21] ZHANG Z F, ZHOU T X, AO X, et al. Effects of β -glucan and *Bacillus subtilis* on growth performance, blood profiles, relative organ weight and meat quality in broilers fed maize-soybean meal based diets [J]. *Livestock Science*, 2012, 150 (1/2/3) : 419–424.
- [22] 窦晓利, 范茂盛, 刘琦. 酵母培养物对黑山羊生长性能、养分表观消化率及肉品质的影响 [J]. *饲料研究*, 2022, 45 (14) : 1–4.
DOU X L, FAN M S, LIU Q. Effect of yeast culture on growth performance, apparent nutrient digestibility and meat quality of black goats [J]. *Feed Research*, 2022, 45 (14) : 1–4. (in Chinese)
- [23] 马吉锋, 赵东琪, 张建勇, 等. 酵母细胞壁多糖对滩羊生长性能、免疫及抗氧化指标的影响 [J]. *饲料工业*, 2021, 42 (13) : 17–23.
MA J F, ZHAO D Q, ZHANG J Y, et al. Effects of

- yeast cell wall polysaccharides on growth performance, immune and antioxidant indexes of *Tan* sheep [J]. *Feed Industry*, 2021, 42 (13): 17–23. (in Chinese)
- [24] HALAS V, DIJKSTRA J, BABINSZKY L, et al. Modelling of nutrient partitioning in growing pigs to predict their anatomical body composition. 2. Model evaluation [J]. *British Journal of Nutrition*, 2004, 92 (4): 725–734.
- [25] 王继卿, 沈继源, 刘秀, 等. 子午岭黑山羊与辽宁绒山羊产肉性能、肉品质、肌肉营养成分和脂肪酸含量比较 [J]. *草业学报*, 2021, 30 (2): 166–177.
WANG J Q, SHEN J Y, LIU X, et al. Comparative analysis of meat production traits, meat quality, and muscle nutrient and fatty acid contents between *Ziwuling* black goats and *Liaoning* cashmere goats [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30 (2): 166–177. (in Chinese)
- [26] 万发春, 张幸开, 张丽萍, 等. 牛肉品质评定的主要指标 [J]. *中国畜牧兽医*, 2004, 31 (12): 17–19.
WAN F C, ZHANG X K, ZHANG L P, et al. The main indexes of beef quality evaluation and measurement [J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2004, 31 (12): 17–19. (in Chinese)
- [27] DE ONDARZA M B, SNIFFEN C J, DUSSERT L, et al. Case study: multiple-study analysis of the effect of live yeast on milk yield, milk component content and yield, and feed efficiency [J]. *The Professional Animal Scientist*, 2010, 26 (6): 661–666.
- [28] POPPY G D, RABIEE A R, LEAN I J, et al. A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95 (10): 6027–6041.
- [29] FONT-I-FURNOLS M, GUERRERO L. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: an overview [J]. *Meat Science*, 2014, 98 (3): 361–371.
- [30] MASOUDI M, HENSEL J, TEGELER E. A review of the 2018 U.S.-DOE CLEERS conference: trends and deeper insights in reduction of NO_x and particulate in diesel and gasoline engines and advances in catalyst materials, mechanisms, and emission control technologies [J]. *Emission Control Science and Technology*, 2020, 6 (2): 113–125.
- [31] 王靖, 李璐, 王佳奕, 等. 电子鼻结合气相色谱-质谱法对宁夏小尾寒羊肉中鸭肉掺假的快速检测 [J]. *食品科学*, 2017, 38 (20): 222–228.
WANG Q, LI L, WANG J Y, et al. Rapid detection of *Ningxia* small-tailed *Han* sheep meat adulterated with duck by electronic nose combined with GC-MS [J]. *Food Science*, 2017, 38 (20): 222–228. (in Chinese)
- [32] 田晓静, 王俊. 电子鼻技术在肉与肉制品检测中的应用进展 [J]. *肉类研究*, 2012, 26 (6): 42–45.
TIAN X J, WANG J. Research progress on application of electronic nose in meat and meat products [J]. *Meat Research*, 2012, 26 (6): 42–45. (in Chinese)
- [33] 马小明, 丁伟. 电子鼻对不同饲料配方饲喂后羊肉风味的评价 [J]. *现代农业科技*, 2015 (2): 258–260.
MA X M, DING W. Evaluation of mutton flavor after different feed formulations by electronic nose [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2015 (2): 258–260. (in Chinese)
- [34] 岳胜楠. 西门塔尔杂交牛和夏南牛的肉品质差异分析 [D]. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学, 2022.
YUE S N. Analysis of meat quality between Simmental hybrid cattle and *Xianan* cattle [D]. Master's Thesis. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2022. (in Chinese)
- [35] 李娟. 我国不同地区酱卤牛肉风味物质剖面分析 [D]. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2018.
LI J. Flavor profiling of marinated beef collected from different regions of China [D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018. (in Chinese)
- [36] LAI Z J, TSUGAWA H, WOHLGEMUTH G, et al. Identifying metabolites by integrating metabolome databases with mass spectrometry cheminformatics [J]. *Nature Methods*, 2018, 15 (1): 53–56.
- [37] DI SALVO M L, CONTESTABILE R, SAFO M K. Vitamin B6 salvage enzymes: mechanism, structure and regulation [J]. *Biochimica et Biophysica Acta: Proteins and Proteomics*, 2011, 1814 (11): 1597–1608.
- [38] 周洁. 大豆磷酸吡哆醛磷酸酶基因的克隆与酶学分析 [D]. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
ZHOU J. Cloning and enzymatic analysis of pyridoxal-5'-phosphate phosphate gene from *glycine max* [D]. Master's Thesis. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [39] 沈蕾, 倪红兵, 苏建友, 等. 磷酸吡哆醛对血清 ALT、AST 测定的影响及相关参考值的初步建立 [J]. *临床检验杂志*, 2013, 31 (4): 291–294.
SHEN L, NI H B, SU J Y, et al. Effect of pyridoxal phosphate on the activities of ALT and AST in serum and the preliminary establishment of their reference intervals [J]. *Chinese Journal of Clinical Laboratory Science*, 2013, 31 (4): 291–294. (in Chinese)
- [40] 石瑞君. 家蚕 VB₆ 代谢中两个关键酶 cDNA 克隆、原核表达、酶学鉴定及基因结构研究 [D]. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学, 2007.
SHI R J. cDNA cloning, expression in *E. coli*, enzymatic identification and genomic organization of two

key enzymes, which are involved in the VB₆ metabolism of *Bombyx mori* [D]. Master's Thesis, Hefei: Anhui Agricultural University, 2007. (in Chinese)

[41] HUANG C, GE F, YAO X X, et al. Microbiome and

metabolomics reveal the effects of different feeding systems on the growth and ruminal development of yaks [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2021, 12: 682989.

Effects of Yeast Polysaccharide on Slaughter Performance and Meat Flavor of Finishing Cattle

WANG Yan¹ HOU Pengxia^{1,2*} LI Dan¹ LI Bo¹ SHI An² CHEN Zhilong³
SUN Wenyang² HUANG Xiaoyu¹ ZHANG Enping^{1**} LIANG Xiaojun^{2**}

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Institute of Animal Science, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750000, China; 3. Guyuan Branch of Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Guyuan 756000, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary yeast polysaccharide on slaughter performance and meat flavor of finishing cattle. Forty healthy 16-month-old Simmental crossbred finishing cattle weighing about 550 kg were randomly divided into 4 groups with 10 cattle per group. The cattle in the control group were fed a basal diet, and the others in 3 test groups were fed the basal diets supplemented with 5, 10 and 15 g/(d·head) yeast polysaccharide, respectively. The pre-trial period lasted for 10 days, and the experimental period lasted for 94 days. After the feeding experiment, each 3 cattle whose body weight was close to the average in the control group and test group [15 g/(d·head) yeast polysaccharide supplemental group with the best body weight gain] were selected for slaughter experiment to determine the slaughter performance and meat quality, the electronic nose was used to determine the odor profiles in muscle, and gas chromatography-mass spectrometry was used to determine the volatile flavor substances in muscle. The results showed as follows: 1) compared with the control group, dietary yeast polysaccharide had no significant effect on slaughter performance of finishing cattle ($P>0.05$), but significantly decreased the backfat thickness ($P<0.05$), and tended to increase the ether extract content in muscle ($P=0.078$). 2) Electronic nose analysis showed that compared with the control group, the response value of sensor sensitive to long-chain alkane aromatic substances in *longissimus dorsi* muscle of finishing cattle in test group was significantly increased ($P<0.05$). 3) Compared with the control group, dietary yeast polysaccharide significantly increased the contents of pyridoxal phosphate and erythrosin-4-phosphate in muscle of finishing cattle ($P<0.05$). In conclusion, dietary supplementation of 15 g/(d·head) yeast polysaccharide can promote the growth of finishing cattle, increase the aromatic compound content in muscle, and improve meat quality. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2023, 35 (11) : 6452-6461]

Key words: yeast polysaccharide; finishing cattle; slaughter performance; meat flavor

* Corresponding authors: ZHANG Enping, professor, E-mail: zhangenping@nwafu.edu.cn; LIANG Xiaojun, professor, E-mail: 1092295523@qq.com (责任编辑 田艳明)