

任向蕾, 吴菊清, 谭建庄, 等. 日粮中添加湿发酵饲料对育肥猪肉品质及抗氧化性能的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 97–104. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120312

REN Xianglei, WU Juqing, TAN Jianzhuang, et al. Effects of Dietary Supplementation of Wet Fermented Feed on Quality and Antioxidant Property of Fattening Pork[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(18): 97–104. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120312

· 研究与探讨 ·

日粮中添加湿发酵饲料对育肥猪肉品质及抗氧化性能的影响

任向蕾¹, 吴菊清¹, 谭建庄², 卞宝国², 杜 宏², 李春保^{1,*}

(1. 南京农业大学食品科技学院肉品加工与质量控制教育部重点实验室, 江苏南京 210095;

2. 淮安拾分味道食品有限公司, 江苏淮安 211700)

摘要:为研究日粮中添加湿发酵饲料对育肥猪肉品质及抗氧化性能的影响, 本实验以三元猪研究对象, 在实验组日粮中添加 10% 的湿发酵饲料 (含发酵豆粕、发酵玉米和发酵麸皮), 出栏后取臀肉进行实验, 分析对照组与样品组的相关指标变化, 并进行感官评定。结果表明: 与对照组相比, 添加 10% 湿发酵饲料组的滴水损失率显著降低了 29.80% ($P < 0.05$), 但在剪切力上无显著性差异 ($P > 0.05$); 样品组的臀肉红度值 (a^*) 与黄度值 (b^*) 显著升高 ($P < 0.05$), 色泽更加饱满鲜艳。两组的抗氧化能力有显著性差异 ($P < 0.05$), 样品组的总抗氧化能力 (The total antioxidant capacity, T-AOC)、超氧化物歧化酶 (Superoxide dismutase, SOD) 活力、谷胱甘肽过氧化物酶 (Glutathione peroxidase, GSH-PX) 活力均显著提高 ($P < 0.05$), 分别提高了 51.90%、37.51%、29.63%, 丙二醛 (Malonaldehyde, MDA) 含量显著降低了 10.73% ($P < 0.05$), 蛋白游离羰基含量无显著性差异 ($P > 0.05$)。电子鼻结果显示, 两组肉样间的风味差异较大, 实验组肉样风味更加丰富。感官评定结果显示, 实验组在总分、风味、多汁感、整体评价上均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。综上所述, 添加 10% 湿发酵饲料的日粮可以提高三元猪的保水性及其抗氧化性能, 改善猪肉品质。

关键词:湿发酵饲料, 猪肉品质, 感官评定, 抗氧化性能, 风味

中图分类号: TS251.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)18-0097-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120312

本文网刊:



Effects of Dietary Supplementation of Wet Fermented Feed on Quality and Antioxidant Property of Fattening Pork

REN Xianglei¹, WU Juqing¹, TAN Jianzhuang², BIAN Baoguo², DU Hong², LI Chunbao^{1,*}

(1. Key Laboratory of Meat Processing and Quality Control, College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Huaian Shifen Flavor Food Co., Ltd., Huaian 211700, China)

Abstract: This research was designed to explore the effects of adding 10% wet fermented feed to fattening pork quality and antioxidant properties. In this study, ternary pig research subjects added 10% wet fermentation feed (including fermented soybean meal, fermented corn and fermented bran) to the diet of the experimental group. After the pigs came out of the pen, the buttocks were selected for experimentation. The relevant indicator changes in the control group and the experimental group were analyzed and the sensory assessment was performed. The results showed that the drip loss rate of the 10% wet fermentation feed group was significantly reduced by 29.80% compared with the control group ($P < 0.05$). There was no significant difference in shear force ($P > 0.05$). The meat redness value (a^*) and yellowness value (b^*) of the experimental

收稿日期: 2021-12-30

基金项目: 国家生猪产业技术体系 (CARS-35); 江苏省肉品营养健康与生物技术创新团队; 基于结构光谱图信息的冷却肉微生物安全预报关键技术研究示范 (BE2020693)。

作者简介: 任向蕾 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: renxianglei77@163.com。

* 通信作者: 李春保 (1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 肉品营养基因组学, 肉品加工与质量控制, E-mail: chunbao.li@njau.edu.cn。

group were significantly increased ($P<0.05$), which indicated that the flesh color of the group was more plump and vivid. There were significant differences in antioxidant capacity between the two groups ($P<0.05$). Among them, the total antioxidant capacity (T-AOC), superoxide dismutase (SOD) activity and glutathione peroxidase (GSH-PX) activity in the experimental group were significantly higher than those in the control group ($P<0.05$), with 51.90%, 37.51% and 29.63% respectively. malonaldehyde (MDA) content was significantly reduced by 10.73% ($P<0.05$), and protein free carbonyl content was not significantly reduced ($P>0.05$). The results of the electronic nose experiment showed that the flavor difference between the two groups of meat samples was larger, and the meat sample flavor of the experimental group was more abundant. The sensory evaluation results showed that the experimental group was significantly higher than the control group in terms of total score, flavor, juiciness and overall evaluation ($P<0.05$). In conclusion, the addition of 10% wet fermented feed in the diet could improve the water holding capacity and antioxidant properties, thereby improving pork quality.

Key words: fermented feed; meat quality; sensory evaluation; oxidation resistance; flavor

猪肉在人们餐桌上一直是占有绝对优势的动物性食品^[1],随着生活水平的提高,消费者对肉及肉制品的追求也由量转向质。然而,肉质欠佳是我国生猪发展面临的诸多问题之一^[2],改善肉品质便成为了研究者们当下追求的目标。影响肉品质的因素众多,包括品种筛选^[3-4]、环境条件^[5]、营养调控^[6]及饲养管理^[7]等,其中营养调控技术是改善肉质的重要途径。动物营养调控技术是指根据动物的生长发育规律,调配适宜的营养成分与含量并应用到动物的生长过程中,使其生长发育朝着人们的意愿方向发展^[8]。由于日粮中的营养物质会参与畜禽机体内脂肪和蛋白质的合成与代谢过程^[9],且营养物质作用机理研究的逐步深入为开发新型饲料配方提供了理论依据,凭借营养调控技术去改善猪肉品质特性成为了最直接有效的一种技术方法。

发酵饲料指将微生物和复合酶作为生物饲料发酵剂菌种,实现从饲料原料到微生物菌体蛋白、生物活性小肽类氨基酸、活性益生菌和复合酶制剂为一体的转变^[10]。一方面,发酵饲料将工农副产品利用起来,扩大了饲料原料范围,绿色环保;另一方面,发酵饲料具有香味独特、氨基酸种类更加均衡等优点^[11]。Luo等^[12]的研究揭示了用发酵豆粕替代母猪基础日粮中的豆粕,可以降低母猪血清中丙二醛、皮质醇和8-异前列腺素F_{2α}的水平,并提高了仔猪出生后第14和21d的平均体重,这说明发酵豆粕有优于普通豆粕的抗氧化性能,并能够提高猪的生产性能。Okeke等^[13]通过研究玉米籽粒经过微生物发酵后对仔猪生长性能的影响,发现发酵玉米的风味及安全性提高,进一步增强了仔猪食欲,降低腹泻率。任雪荣^[14]、Choi等^[15]研究发现经过微生物发酵的麸皮可以有效提高水溶性麸皮多酚的利用率,较发酵前提高294.41%,从而增强抗氧化活性;而王震^[16]的研究进一步发现了食用添加10%枯草芽孢杆菌发酵的饲料后育肥猪血清中总超氧化物歧化酶(SOD)活性显著升高($P<0.05$),即发酵麸皮的抗氧化性可以在育肥猪中得到体现。

目前,关于日粮中添加混合菌种发酵的饲料对猪肉品质影响的研究鲜见报道,因此为研究发酵饲料

对育肥猪肉品质及抗氧化能力的影响,本实验以三元猪为研究对象,分别饲喂基础饲料和发酵饲料,通过测定基础品质、抗氧化能力和电子鼻气味差异,并进行感官评价,揭示添加10%湿发酵饲料后对育肥猪品质的影响,以期发酵混合饲料在生猪养殖中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

健康三元猪 45 kg左右,115日龄,240头,汉世伟食品集团;基础日粮、发酵饲料 安徽天邦生物公司;总抗氧化能力(T-AOC)试剂盒、超氧化物歧化酶(SOD)测定试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)测试盒、丙二醛(MDA)测试盒、蛋白质羰基含量测试盒、蛋白定量(TP)测定试剂盒 南京迈博生物科技有限公司建成生物工程研究所。

Fiveeasy 台式 pH 计 瑞士 Mettler Toledo 公司; CR-300 色差仪 日本柯尼卡美能达公司; AUY120 电子分析天平 日本岛津公司; TW20 水浴锅 德国 Julabo 公司; C-LM3B 数显式肌肉嫩度仪 东北农业大学工程学院; TVM002-T2 定时涡旋混匀仪器 上海泰坦科技股份有限公司; PF10446 纯水机 美国 Thermo 公司; CDX24 组织破碎仪 法国 Bertin 公司; Avanti J-C 高速冷冻离心机 美国 Beckman Coulter 公司; Synergy-2 酶标仪 美国 Biotek 公司; Type HM100 刀式研磨仪 北京格瑞德曼仪器设备有限公司; PEN3 便携式电子鼻 德国艾尔森斯检测公司

1.2 实验方法

1.2.1 动物分组及饲养管理 将初始体质量无显著差异的240头三元猪随机分成2组,每组120头。对照组饲喂基础日粮(豆粕、玉米、麸皮),样品组在基础日粮中添加10%的湿发酵饲料^[17-19],湿发酵饲料以基础日粮为原料,由芽孢杆菌、乳酸菌(粪肠球菌、嗜酸乳杆菌)混合菌种发酵制得。实验猪实验期间自由采食饮水,日常管理及免疫均按公司规定执行,饲养至175日龄出栏。

1.2.2 样品前处理 在淮安拾分味道食品有限公司

进行屠宰与采样。在生产线上测定猪胴体后腿肌肉 $\text{pH}_{45\text{ min}}$, 宰后 60 min 取后腿肌肉样品于无菌均质袋中, 由低温运输车运回实验室, 放入 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冻库中保存。取 4 g 肉样于冻存管中, 放入液氮, 随后转入 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱中保存, 用于抗氧化指标的测定。

1.2.3 $\text{pH}_{24\text{ h}}$ 的测定 参照中华人民共和国农业行业标准 NY/T 2793-2015《肉的可食品质客观评价方法》^[20], 将校准后的 pH 计的玻璃电极一端插入肉样中, 待读数稳定后即为其测定的 pH, 每个样品测定三次, 取平均值。

1.2.4 肉色的测定 参照 NY/T 2793-2015, 将冻肉于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库中解冻, 沿肉样肌纤维垂直的方向取 $5.0\text{ cm}\times 4.0\text{ cm}\times 3.0\text{ cm}$ 的肉块, 将肉样平放在托盘上, 新切面朝上。之后置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库中避光静置 30 min。将色差计的镜头垂直于肉面上, 镜头紧扣肉面, 测定并分别记录亮度值(L^*)、红度值(a^*)、黄度值(b^*), 每个样品随机测定三个点, 取平均值。

1.2.5 滴水损失率的测定 参照 NY/T 2793-2015, 沿纤维方向将肉样切成 $2.0\text{ cm}\times 3.0\text{ cm}\times 5.0\text{ cm}$ 肉条, 称重, 用铁勾悬挂肉条的一端, 悬挂于聚乙烯塑料袋中, 充气, 扎紧袋口, 悬挂于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库中 24 h, 取出肉条, 定性滤纸吸干水分, 再次称重, 吊挂前后重量损失占其原重量的百分比即为滴水损失率。

1.2.6 剪切力的测定 参照 NY/T 2793-2015, 将肉样于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 解冻后, 沿与肌肉长轴垂直的方向切取 $5.0\text{ cm}\times 4.0\text{ cm}\times 2.6\text{ cm}$ 的肉块放在室温下平衡 30 min, 随后放入塑料蒸煮袋中, 将温度计探头由上而下插入至肉块中心, 记录肉块的初始温度, 封紧开口处, $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴至中心温度达到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 立即取出肉样, 流水冷却 30 min, 滤纸吸干表面水分。将肉样放在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷库中, 12 h 后取出, 放在室温下平衡 0.5 h, 用定性滤纸吸干表面的汁液, 用双片刀(间距 1.0 cm)沿肌纤维方向分切成 5~6 个 $1.0\text{ cm}\times 1.0\text{ cm}$ 的肉块, 用嫩度仪测定剪切力, 沿肌纤维垂直方向剪切肉柱, 记录剪切力值, 计算平均值。

1.2.7 抗氧化指标的测定 总抗氧化能力(T-AOC)、超氧化物歧化酶(SOD)活力、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)活力、丙二醛(MDA)含量、蛋白质羰基含量均采用南京建成生物工程研究所的试剂盒方法测定。

1.2.8 电子鼻分析 参考周慧敏等^[21]的方法, 并稍作改动。称取 5 g 肉于顶空瓶中, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min, 室温下平衡 30 min, 开始测定。如表 1, 设置数据采集时间为 120 s, 清洗时间为 60 s。

1.2.9 感官评定 挑选经过感官培训的学生 16 人(8 名男生, 8 名女生), 组成感官评价小组。将 2 组猪肉分别经焖煮之后, 切成相同大小的肉块, 盛放在白色一次性纸盘中内, 在感官实验室内随机取样进行感

表 1 PEN3 便携式电子鼻传感器性能说明

Table 1 Performance description of PEN3 portable electronic nose sensors

传感器名称	符号	性能描述
W1C	R(1)	芳香族化合物
W5S	R(2)	广泛的物质
W3C	R(3)	氨, 芳香族化合物
W6S	R(4)	碳氢化合物
W5C	R(5)	烷烃和芳烃
W1S	R(6)	甲烷, 广泛的物质
W1W	R(7)	含硫化物, 吡嗪类和萜烯类
W2S	R(8)	广泛的物质, 醇类, 芳香族化合物
W2W	R(9)	芳烃和有机硫类物质
W3S	R(10)	甲烷和脂肪族化合物

表 2 感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	评价(分)
嫩度	肉质柔嫩, 咀嚼1~5次已完全烂了	9~10
	肉质较软, 咀嚼6~10次已完全烂了	7~8
	肉质一般, 咀嚼11~15次就已经烂了	5~6
	肉质较硬, 咀嚼16~20次才烂	3~4
	肉质粗硬, 咀嚼21次以上仍未烂	1~2
风味	很浓郁的鲜香味	9~10
	较浓的鲜香味	7~8
	鲜香味一般	5~6
	鲜香味较淡	3~4
	完全没有鲜香味	1~2
多汁感	多汁饱满, 入口即有汁水	9~10
	汁水较多, 咀嚼1~3次后有汁水	7~8
	汁水一般, 咀嚼4~6次后有汁水	5~6
	汁水较少, 咀嚼7~9次后有汁水	3~4
	汁水很少, 咀嚼10次以上仍无汁水	1~2
整体评价	整体感觉很好	9~10
	整体感觉较好	7~8
	整体感觉一般	5~6
	整体感觉较差	3~4
	整体感觉极差, 难以下咽	1~2

表 3 感官评价指标权重

Table 3 Weight of sensory evaluation index

因素	嫩度	风味	多汁感	整体评价
权重值(%)	40	20	10	30

官评定, 评价标准见表 2, 感官指标权重见表 3。评定每一个样品前后, 必须用清水对口腔进行清洁, 并休息 5 min, 全程不允许交流。

1.3 数据处理

所有指标每组至少进行 18 个生物学重复, 数据分析采用 SAS9.1.2 统计分析软件, 组间的差异显著性采用假设检验, 数据用“平均值±标准差”来表示, $P<0.05$ 为差异显著。使用 GraphPad Prism 8.0 软件进行箱型图绘制, 电子鼻测定结果运用其配套的 Win Muster 软件对数据进行 PCA 分析、Loading 分析。

2 结果与分析

2.1 品质指标分析

pH 是肉品品质的一个重要指标,它影响着肉的颜色、持水力、嫩度等。如表 4 所示,对照组和样品组的 $\text{pH}_{45\text{ min}}$ 和 $\text{pH}_{24\text{ h}}$ 均存在显著性差异 ($P<0.05$); 且样品组具有较高的 $\text{pH}_{45\text{ min}}$ 和较低的 $\text{pH}_{24\text{ h}}$, 即样品组的肉样 pH 下降得较快,可能会对肉质产生一定影响。同时,由表 4 可知,两个组肉样的亮度值 (L^*) 不存在显著性差异 ($P>0.05$),但是样品组的肉样拥有更高的红度值 (a^*) 和黄度值 (b^*),即样品组的肉色泽更加鲜艳。综合来看,样品组的肉 pH 下降速度较快,但并没有使肉的色泽变差,甚至红度值适当地增高,利于增强消费者的购买欲望。该结果与 Mark 等^[22] 的研究结果相同, pH 缓慢适当地下降有利于改善肉的颜色。对于消费者来说,肉色的鲜艳与否是评判肉品新鲜度一个重要因素。

持水力又称系水力,影响着肉的嫩度、多汁性、颜色和营养组成等品质^[23]。持水力的降低,不仅会对肉品品质带来一定的负面影响,还会造成经济损失^[24]。因此,本研究通过滴水损失来表征肉样的持水力。由表 4 可知,与对照组相比较,样品组的肉样滴水损失显著降低了 29.80% ($P<0.05$),保水能力提高,即添加 10% 湿发酵饲料饲喂的猪肉可能更加多汁、鲜嫩,并在一定程度上能够提高经济效益。对照组较高的滴水损失率可能是成对照组红度值较低的一个因素,从 Luciano 等^[25] 的研究得知,水分流失会带走肌肉中的部分血红素,进而对肉色造成影响。剪切力方面,两个组之间并无显著性差异 ($P>0.05$),即说明样品组的肉样嫩度与对照组几乎无差异。发酵饲料并未明显改善猪肉嫩度,这可能与 pH 下降得较快有所关联^[26]。

2.2 抗氧化指标分析

2.2.1 总抗氧化能力(T-AOC) 抗氧化是抗氧化自

由基的简称。机体的许多疾病都与自由基息息相关,提高与完善机体的抗氧化体系,可以有效克服自由基所带来的伤害,使机体更健康^[27]。总抗氧化能力体现的是一个体系内的各种抗氧化大分子、抗氧化小分子和酶的总的水平^[28]。因此总抗氧化能力可以一定程度上反应机体的健康水平。如表 5 所示,相比于对照组,样品组的总抗氧化能力显著提高了 51.90% ($P<0.05$),表示饲喂了添加 10% 湿发酵饲料的猪在一定程度上更健康,肉质也更佳。这与 Joris 等^[29] 的研究结果一致,饲料中物质的抗氧化能力会对猪肉产生影响;而本实验中所添加的发酵豆粕、发酵麸皮都具有抗氧化性能。

2.2.2 酶抗氧化保护能力(SOD 和 GSH-PX)

机体内的抗氧化防御体系主要由体内所固存的各种内源性抗氧化物质(如维生素 E、维生素 C、酸)组成的非酶保护体系以及超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)等抗氧化酶组成的酶保护体系^[30]。

SOD 反应底物是超氧化物自由基,其发生作用便可以清除体内自由基^[31],是一种重要的抗氧化酶。如图 1 所示,两组之间的 SOD 活力水平存在显著性差异 ($P<0.05$),样品组表现出较高水平(提高了 32.51%),即样品组的肉清除自由基的能力更强。GSH-PX 是机体内广泛存在的一种重要的催化过氧化氢分解的酶,可以起到保护细胞膜结构和功能完整的作用^[32]。GSH-PX 的活性中心是硒半胱氨酸,硒是 GSH-PX 的必需部分,1 g 分子酶含有 4 g 原子硒;GSH-PX 的活力可以作为衡量机体硒含量的一项生化指标。由图 1 可知,样品组的 GSH-PX 活力显著 ($P<0.05$) 高于对照组(提高了 29.63%)。这意味着,样品组的猪机体硒含量较高,还原过氧化氢的力更强。综合两个酶抗氧化指标来看,样品组的肌肉具有较高的抗氧化水平,机体清除自由基的能力更强,从而可能一定程度降低肌肉氧化程度,改善肉质,延

表 4 添加 10% 湿发酵饲料对育肥猪猪肉品质的影响

Table 4 Effects of adding 10% wet fermented feed on meat quality of fattening pigs

指标	对照组	样品组	$P_{t>t}$
$\text{pH}_{45\text{ min}}$	6.65±0.17 ^b	6.83±0.15 ^a	<0.0001
$\text{pH}_{24\text{ h}}$	5.77±0.13 ^a	5.67±0.11 ^b	0.0174
L^*	45.45±1.93 ^a	46.21±3.08 ^a	0.3833
a^*	5.80±0.96 ^b	6.51±0.88 ^a	0.0271
b^*	3.66±1.49 ^b	5.27±0.99 ^a	0.0012
滴水损失(%)	2.45±0.72 ^a	1.72±0.40 ^b	0.0103
剪切力(N)	27.07±2.27 ^a	27.22±3.68 ^a	0.8891

注:同一指标不同小写字母表示组别差异显著 ($P<0.05$);表 5 同。

表 5 添加 10% 湿发酵饲料对总抗氧化能力的影响

Table 5 Effects of adding 10% wet fermented feed on total antioxidant capacity

指标	对照组	样品组	$P_{t>t}$
T-AOC(mmol/g)	0.79±0.30 ^b	1.20±0.20 ^a	0.0002

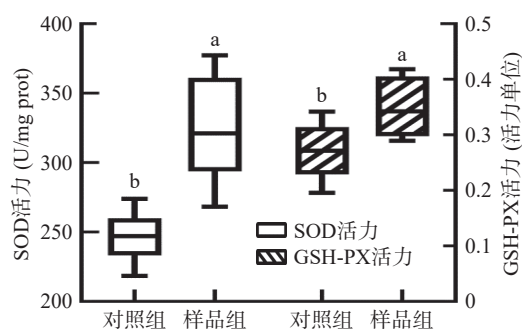


图1 添加 10% 湿发酵饲料对酶抗氧化能力(SOD 活力、GSH-PX 酶活力)的影响

Fig.1 Effect of adding 10% wet fermented feed on enzyme antioxidant capacity (SOD activity, GSH-PX activity)

长货架期。

2.2.3 氧化程度 动物在屠宰之后,体内的氧化-还原体系遭到破坏,氧化反应处于主导地位^[33]。现有研究表明,肌肉中脂质与蛋白质会受到活性氧(ROS)自由基的攻击^[34-35],从而造成氧化损伤,给肉以及肉制品的品质带来负面影响,且研究表明脂质氧化与蛋白氧化会相互作用^[36-37]。

丙二醛(malondialdehyde, MDA)作为脂质氧化的终产物^[38],常常用来反映机体内脂质过氧化程度,间接地反映出细胞损伤的程度。如图 2 所示,对照组的 MDA 含量与样品组之间存在显著性差异($P<0.05$),且样品组的 MDA 含量降低了 10.73%,表明脂质氧化程度降低。研究表明^[39],抗氧化酶的活性随着脂质过氧化程度而下降。本研究样品组的 MDA 含量的降低,随之两种抗氧化酶活性的提高,进一步印证了该说法。

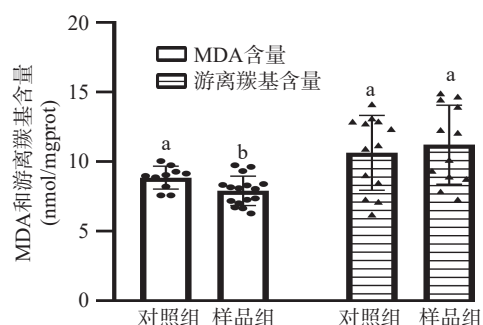


图2 添加 10% 湿发酵饲料对机体氧化程度的影响

Fig.2 Effect of adding 10% wet fermented feed on the oxidation degree of the organism

蛋白质游离羰基是多种氨基酸在蛋白质氧化修饰过程中的早期标志,其含量高低表明蛋白质氧化损伤程度的大小,是衡量蛋白质氧化损伤的主要指标^[40]。由图 2 可知,两组的游离羰基含量不存在显著性差异($P>0.05$),即两组肉样的蛋白氧化程度在统计学水平上无异。而游离羰基含量不存在差异,这可能与后腿肌肉的蛋白质含量较低有关。

2.3 电子鼻分析结果

由图 3 可知,对照组与样品组的臀肉成分差异

较大,可以较好地区分出来,PC1 贡献率为 78.08%,其中样品组样品对于 PC1 的贡献率更高,即样品组样品风味更加丰富。图 4 的雷达图显示,样品组在传感器 W1S、W3S 上表现出较高的信号强度,而对照组在 W1C、W3C、W5C 表现出较高的信号强度,一方面说明与对照组相比,样品组肉样风味物质中广泛的物质、甲烷和脂肪族化合物更加丰富,另一方面说明传感器 W1S、W3S、W1C、W3C 和 W5C 适用于两组猪肉之间的风味鉴别,另外,图 5 可以更加明显的观察到两组猪肉对各个传感器响应信号值的差异。综上所述,电子鼻对不同组别臀肉样品具有较好的分离能力,且添加 10% 的湿发酵饲料可以增强猪肉的风味,使肉质得到改善。

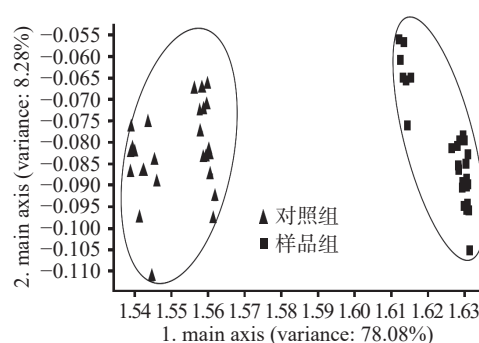


图3 臀肉电子鼻分析 PCA 图

Fig.3 Hip PCA diagram

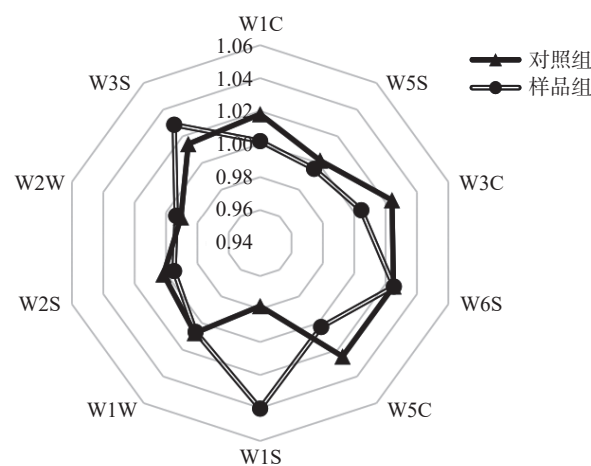


图4 臀肉电子鼻分析雷达图

Fig.4 Gluteal electronic nose analysis radar chart

2.4 感官评定结果

由表 6 可知,以焖煮方式烹饪臀肉时,样品组的风味评分、多汁感评分、整体评价以及总分均显著高于对照组,这一结果表明添加湿发酵饲料可以改善臀肉感官品质。

3 结论

本研究通过比较分析对照组和实验组的肉品品质和抗氧化能力,发现改变日粮组成可以在一定程度上改善肉品质。通过在日粮中添加 10% 的湿发酵饲料可以有效降低猪肉的滴水损失率,从而提高经济效益。样品组的 a^* 值显著提高($P<0.05$),使肉色泽更

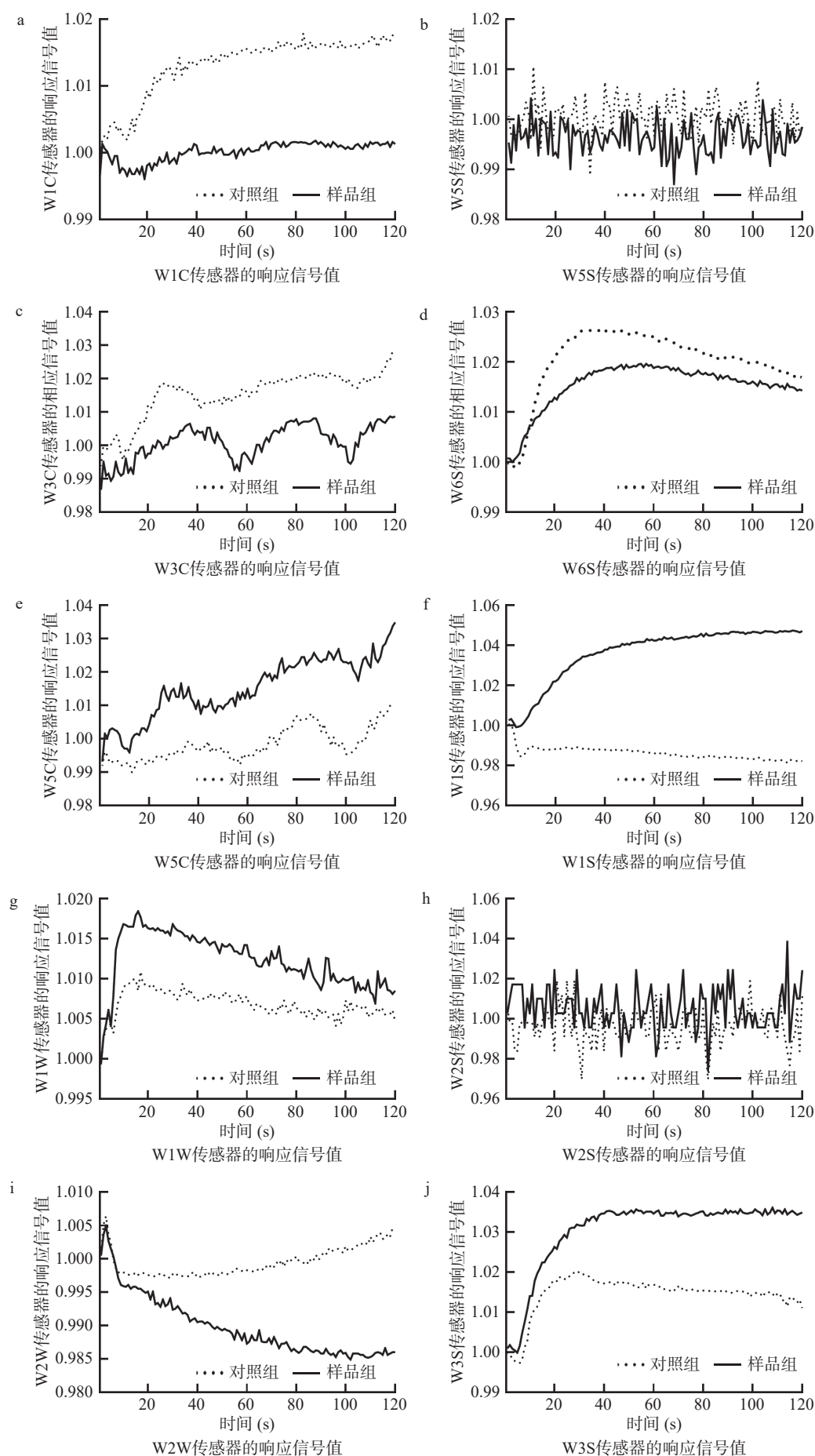


图5 猪肉的电子鼻传感器响应信号值

Fig.5 Response signals of sensors of electronic nose data in pork

表 6 感官评定结果

Table 6 Results of sensory assessment

指标	对照组	样品组	$P>t$
总分	6.09±0.54 ^b	6.52±0.52 ^a	0.002
嫩度	6.42±0.75 ^a	6.82±0.70 ^a	0.1204
风味	6.11±0.44 ^b	6.46±0.43 ^a	0.0382
多汁感	5.13±0.48 ^b	5.90±0.51 ^a	0.0013
整体评价	5.97±0.35 ^b	6.35±0.34 ^a	0.0034

加鲜艳饱满;总抗氧化能力、SOD 活力、GSH-PX 活力显著提高($P<0.05$),MDA 含量显著降低($P<0.05$),多方面体现出实验组的肉具有更好的抗氧化能力,这意味着日粮中添加 10% 湿发酵饲料是能够有效延缓肌肉的营养价值、感官品质等的降低,从而改善肉质,延长肉品货架期。同时,这是一次规模较大的生猪养殖实验,对于发酵饲料组成及比例对猪肉品质的影响具有一定的参考价值。本实验并为对该发酵饲料的最适添加量进行研究,这也可能是导致某些抗氧化性能并未明显提高的原因之一,若能进一步研究,将为该发酵饲料投入市场应用提供更加可靠的理论依据。

参考文献

[1] 王馨慧. 中国居民肉类消费及影响因素研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2020. [WANG X H. Research on meat consumption and its influencing factors in China[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2020.]

[2] 周虎. 浅述新时期我国生猪养殖领域的十大机遇[J]. 中国猪业, 2017, 12(8): 17-19. [ZHOU H. Light of pig-producing areas in new period, the ten major opportunities[J]. China's Pig Industry, 2017, 12(8): 17-19.]

[3] LIU Q, LONG Y, ZHANG Y F, et al. Phenotypic and genetic correlations of pork myoglobin content with meat color and other traits in an eight breed-crossed heterogeneous population[J]. Animal, 2021, 15(11): 1364-1371.

[4] COBO DÍAZ JOSÉ F, ALVAREZ-MOLINA A, ALEXA EA, et al. Microbial colonization and resistome dynamics in food processing environments of a newly opened pork cutting industry during 1.5 years of activity[J]. Microbiome, 2021, 9(1): 145-151.

[5] ČOBANOVIĆ NIKOLA, NOVAKOVIĆ SAŠA, TOMAŠEVIĆ IGOR, et al. Combined effects of weather conditions, transportation time and loading density on carcass damages and meat quality of market-weight pigs[J]. Archives Animal Breeding, 2021, 64(2): 425-435.

[6] 张鑫, 王宇波, 黄志清, 等. 猪肉品质营养调控的研究进展[J]. 动物营养学报, 2020, 32(10): 4555-4564. [ZHANG X, WANG Y B, HUANG Z Q, et al. Research progress on nutrition regulation of pork quality[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(10): 4555-4564.]

[7] 迟兰, 薛忠, 朱广琴, 等. 浅析现代猪场不同猪群的饲养管理技术[J]. 中国猪业, 2021, 16(4): 46-50. [CHI L, XUE Z, ZHU G Q, et al. Analysis of modern pig farm different pig group feeding management technology[J]. China Pig Industry, 2021, 16(4): 46-50.]

[8] 霍金金. 营养调控措施对猪肉品质的影响 [C]//中国畜牧兽医学学会兽医食品卫生学分会第十五次学术交流会论文集, 北京: 中国畜牧兽医学学会, 2019: 3-8. [HUO J J. The effect of nutritional regulation measures on pork quality[C]//Proceedings of the 15th Academic Exchange Meeting of veterinary food hygiene branch of Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Beijing: Chinese Society of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2019: 3-8.]

[9] JOHN M, BRAMELD. Molecular mechanisms involved in the nutritional and hormonal regulation of growth in pigs[J]. Proceedings of the Nutrition Society, 1997, 56(2): 607-619.

[10] 汪以真, 王成, 靳明亮, 等. 生物发酵饲料与生猪健康养殖[J]. 饲料工业, 2021, 42(2): 1-6. [WANG Y Z, WANG C, JIN M L, et al. Biological fermented feed and healthy pig breeding[J]. Feed Industry, 2021, 42(2): 1-6.]

[11] CHANG HEE LEE, HYEUN BUM KIM, JUNG HYUN AHN, et al. Effects of restricted feeding with fermented whole-crop barley and wheat on the growth performance, nutrient digestibility, blood characteristic, and fecal microbiota in finishing pigs[J]. Korean Journal of Agricultural Science, 2018, 45(4): 665-675.

[12] LUO Wenli, YIN Xiaofeng, YAO Jianbo, et al. Fermented soybean meal affects the reproductive performance and oxidative status of sows, and the growth of piglets[J]. Animals, 2021, 11(3): 1792-1798.

[13] OKEKE C A, EZEKIEL C N, NWANGBURUKA CC, et al. Bacterial diversity and mycotoxin reduction during maize fermentation (steeping) for ogi production[J]. Frontiers in Microbiology, 2015, 6(17): 1402-1404.

[14] 任雪荣, 齐景伟, 刘娜, 等. 微生物发酵对麦麸水溶性多酚含量、组成及抗氧化活性的影响研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 104-109. [REN X R, QI J W, LIU N, et al. Effects of microbial fermentation on the content, composition and antioxidant activity of water-soluble polyphenols in wheat bran[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 104-109.]

[15] CHOI, SO-YOUNG LEE, YOUNG-DO NAM, et al. Hepato-protective effect of fermented rice bran against carbon tetrachloride-induced toxicity in mice[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(1): 165-171.

[16] 王震. 不同菌种发酵麸皮对育肥猪生产性能、抗氧化以及粪便微生物的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2018. [WANG Z. Effects of bran fermentation with different strains on performance, antioxidant capacity and fecal microorganisms of finishing pigs[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2018.]

[17] 王娟娟, 王顺喜, 陆文清, 等. 无抗生素微生物发酵饲料对仔猪免疫及抗氧化功能的影响[J]. 中国饲料, 2011, 95(16): 25-27. [WANG J J, WANG S X, LU W Q, et al. Effects of antibiotic-free microbial fermented feed on immunity and antioxidant function of piglets[J]. China Feed Sciences, 2011, 95(16): 25-27.]

[18] WANG P, FAN C G, CHANG J, et al. Study on effects of microbial fermented soyabean meal on production performances of sows and suckling piglets and its acting mechanism[J]. J Anim Feed Sci, 2016, 25(1): 12-19.

[19] 赵会英, 杨在宾, 王功赢, 等. 日粮中添加发酵饲料对妊娠后

- 期母猪和育肥猪生产性能的影响和效益分析[J]. *山东畜牧兽医*, 2013, 17(5): 13-14. [ZHAO H Y, YANG Z B, WANG G Y, et al. Effect and benefit analysis of diet added fermented feed on production performance and fattening pig in late pregnancy[J]. *Shandong Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2013, 17(5): 13-14.]
- [20] 中华人民共和国农业部. 肉的食用品质客观评价方法 NY/T 2793-2015 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 1-14. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Objective evaluation method of meat eating quality NY/T 2793-2015[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2015: 1-14.]
- [21] 周慧敏, 张顺亮, 郝艳芳, 等. HS-SPME-GC-MS-O 结合电子鼻对坨猪肉主体风味评价分析[J]. *食品科学*, 2021, 42(2): 218-226. [ZHOU H M, ZHANG S L, HAO Y F, et al. Evaluation and analysis of the main flavor of tuo pork by HS-SPME-GC-MS-O combined with electronic nose[J]. *Food Science*, 2021, 42(2): 218-226.]
- [22] MARK P RICHARDS, ROMAN ARANDA, CAI HE, et al. Effect of pH on structural changes in perch hemoglobin that can alter redox stability and heme affinity[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2009, 18(4): 416-423.
- [23] LAROCHE, WAN JUN WU, PATRICIA GARCIA, et al. Evaluation of skin-on goat meat processing on processing efficiency, carcass yield, meat quality, and sensory attributes[J]. *Meat Science*, 2022, 1(14): 184-189.
- [24] ZHANG Ke, DU Jinping, WU Yan, et al. Effect of food gum on water-holding capacity and water activity of restructured meat [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2011, 37(3): 333-336.
- [25] LUCIANO G, MONAHAN F J, VASTA V, et al. Dietary tannins improve lamb meat color stability[J]. *Meat Science*, 2009, 81(7): 120-125.
- [26] 杨波若, 李华健, 苏娅宁, 等. 基于微观结构和蛋白质组学分析影响猪肉持水性的差异蛋白[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(7): 136-144. [YANG B R, LI H J, SU Y N, et al. Microstructural and proteomic analysis of differential proteins affecting water holding capacity of pork[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(7): 136-144.]
- [27] ERIC W, GRUNWALD, NANTAWAT TATIYABORWORNTHAM, et al. Effect of 4-hydroxy-2-nonenal on myoglobin-mediated lipid oxidation when varying histidine content and heme affinity[J]. *Food Chemistry*, 2017, 227(13): 289-297.
- [28] 刘文营, 高欣悦, 李 亨, 等. 几种地方猪猪肉及其腊肉制品的感官特性和理化品质分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(19): 52-59. [LIU W Y, GAO X Y, LI X, et al. Sensory characteristics and physicochemical quality analysis of pig meat and its cured meat products of several local pigs[J]. *Food Science*, 2019, 40(19): 52-59.]
- [29] JORIS AM MISSOTTEN, JORIS MICHIELS, JEROEN DE-GROOTE, et al. Fermented liquid feed for pigs: An ancient technique for the future[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2016, 7(1): 1-9.
- [30] 樊路杰, 窦鸣乐, 王小宇, 等. 宰后肌肉抗氧化能力与肉品质的关系[J]. *动物营养学报*, 2018, 30(5): 1676-1680. [FAN L J, DOU M L, WANG X Y, et al. Relationship between antioxidant capacity of postmortem muscle and meat quality[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(5): 1676-1680.]
- [31] MEDINAS DB, AUGUSTO O. Mechanism of the peroxidase activity of superoxide dismutase 1[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2010, 49(4): 682-682.
- [32] JIAO Y, WANG Y, GUO S, et al. Glutathione peroxidases as oncotargets[J]. *Oncotarget*, 2017, 8(45): 80093-80102.
- [33] PATEL J R, NOU X. Effect of a reactive oxygen species-generating system for control of airborne microorganisms in a meat-processing environment[J]. *Journal of Food Protection*, 2008, 71(9): 1922-1925.
- [34] TRABELSI I, BEN SLIMA S, KTARI N, et al. Incorporation of probiotic strain in raw minced beef meat: Study of textural modification, lipid and protein oxidation and color parameters during refrigerated storage[J]. *Meat Science*, 2019, 154(6): 29-36.
- [35] 刘昊天, 殷小钰, 汪海棠, 等. 基于蛋白氧化行为的肉及肉制品品质提升及劣变机制研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(21): 230-237. [LIU H T, YIN X Y, WANG H T, et al. Quality improvement and deterioration of meat and meat products based on the protein oxidation: A review of recent research[J]. *Food Science*, 2020, 41(21): 230-237.]
- [36] ZHAOMING WANG, ZHIFEI H E, EMARA A M, et al. Effects of malondialdehyde as a byproduct of lipid oxidation on protein oxidation in rabbit meat[J]. *Food Chemistry*, 2019, 288(56): 405-412.
- [37] 郭亚晶, 刘昆仑. 脂质氧化产物-蛋白质相互作用研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(13): 5327-5332. [GUO Y J, LIU K L. Research progress of lipid oxidation product-protein interaction[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(13): 5327-5332.]
- [38] SUNY, TSAOR, CHENE, et al. The phenolic profiles of radix tetragium after solid phase extraction(SPE) and antioxidant activities in H22 tumor bearing mice[J]. *Food and Function*, 2017, 8(11): 4014-4027.
- [39] 刘文轩, 罗 欣, 杨啸吟, 等. 脂质氧化对肉色影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(21): 238-247. [LIU W X, LUO X, YANG X, et al. Effects of lipid oxidation on meat color[J]. *Food Science*, 2020, 41(21): 238-247.]
- [40] KIM Y J, KIM H Y, CHOE J H, et al. Antioxidant activity of goldenrod (*Solidago virgaurea*) leaf and stem powder on raw ground pork during chilled storage[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2013, 33(1): 1-8.