

摄入有机硒与亚麻籽油对猪肉及其肉制品品质的影响

Effects of organic selenium and linseed oil supplementation on myofibrillar protein and quality of Frankfurters

唐辛悦¹

张文斌^{1,2}

蒋 将^{1,2}

TANG Xin-yue¹

ZHANG Wen-bin^{1,2}

JIANG Jiang^{1,2}

杨瑞金^{1,2}

华 霄^{1,2}

赵 伟^{1,2}

YANG Rui-jin^{1,2}

HUA Xiao^{1,2}

ZHAO Wei^{1,2}

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:研究日粮添加有机硒和亚麻籽油对猪背长肌中硒含量、脂肪酸组成、肌原纤维蛋白特性及加工肉制品的影响。选取192头“杜×长×大”三元杂交猪,随机分为4组,设为C组(0.3 mg/kg 亚硒酸钠+1.5%大豆油),S1组(0.3 mg/kg 酵母硒+1.5%大豆油),S2组(0.5 mg/kg 酵母+1.5%大豆油)及SL组(0.3 mg/kg 酵母硒+1.5%亚麻籽油)。研究发现有机硒能显著提高猪背长肌中的硒贮存量($P<0.05$);亚麻籽油能改善肉品的 $n-6/n-3$ 比例;亚麻籽油相比大豆油能显著提高肌原纤维蛋白的溶解性和凝胶强度($P<0.05$);0.5 mg/kg 有机硒在7~12 d的储藏期内能减少香肠的脂质氧化($P<0.05$),但是香肠的微观结构和感官评价不受有机硒和亚麻籽油的影响。因此在日粮中添加亚麻籽油和有机硒有益于富硒富 $n-3$ PUFA猪肉的生产和加工。

关键词:猪肉;硒;亚麻籽油;肉制品;品质;肌原纤维蛋白

Abstract: Crossed pigs were fed a control diet (with 0.3 mg/kg sodium selenite+1.5% soybean oil) or organic selenium diets (0.3 mg/kg Se-Yeast +1.5% soybean oil or linseed oil, 0.5 mg/kg Se-Yeast+1.5% soybean diet) to investigate the effects on selenium deposition in loin muscle, fatty acid profile, properties of myofibrillar and processed meat products. The organic diets increased muscular selenium content up to 54% ($P<0.05$) compared to the control diet. Linseed

oil supplemented in the pig diet improved $n-6/n-3$ ratio, the solubility and gelatin strength of myofibrillar ($P<0.05$), without affecting the microstructure and sensory characters of Frankfurters. The high level of organic selenium supplementation inhibited the lipid oxidation of Frankfurters from d 7 to d 12. Hence, dietary organic selenium and linseed oil supplementation have some enhancement in Se-enriched meat production and processing.

Keywords: Pork; Selenium; Linseed oil; Meat products; Quality; Myofibrillar protein

猪肉的营养价值是影响消费者选择的一个重要因素,除此以外,肉色、风味物质、持水力等都是重要的评定和影响因素^[1]。在畜禽日粮中添加硒能够有效提高机体免疫能力,增加肉品营养价值减少贮存过程中肉品质下降^[2-4]。传统方法是以亚硒酸钠作为硒源,但由于较强的毒性和较低的生物利用率,补硒效果不佳,且对环境造成巨大压力。据研究^[5-6]表明,有机硒在诸多方面优于无机硒,首先其毒性较小,适口性好,便于作饲料应用,其次因其吸收率高,可以减少日粮中硒的添加量,减少硒对环境的污染,在提高畜禽生产性能和肉品质方面也占有优势。

随着社会生活水平的提高,肉类消费将逐步增高,消费者对肉类的要求也会随之增高。大多数肉类产品,如猪牛羊肉等,富含饱和脂肪酸(SFA),而缺乏多不饱和脂肪酸(PUFA),且相较于 $n-6$ PUFA而言, $n-3$ PUFA的摄入过低。据研究^[7]表明,较高的 $n-6/n-3$ PUFA比值会提高心脑血管疾病、肿瘤和自身免疫性疾病的发病率。猪体脂肪酸组成受饲料影响程度较大^[8],近年来的研究^[9]发现,可利用亚麻籽油

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(编号:2016YFD0401404)

作者简介:唐辛悦,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:张文斌(1979—),男,江南大学副教授,博士。

E-mail:wbzhang@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2017-02-11

来改善肉品中脂肪酸组成,提高猪肉中 *n*-3 PUFA 的含量,生产出有益于人体健康的肉品。蔡传江等^[10]通过在肥育猪日粮中添加 1.5%亚麻籽油,发现添加能显著提高猪背长肌中 ALA、EPA 和 *n*-3 PUFA 含量。肉制品在氧化初期形成的低浓度醛类化合物对肉的风味有促进作用,但是随着氧化的进行,酮、醛、醇等小分子物质富集,易产生哈败味^[11]。硒是动物所必需的微量元素,作为谷胱甘肽过氧化物酶的重要组成部分,能够影响谷胱甘肽过氧化物酶活力,进而影响机体抗氧化能力^[12]。Ahmed 等^[13]发现在含 2.5%亚麻籽油的兔日粮中添加 0.3 mg/kg 有机硒,相较于未添加组,可以显著改善肌肉的脂肪酸组成。Zlata 等^[14]在肉鸡日粮中以亚麻籽油等量替代 3%葵花油,并额外添加了 0.5 mg/kg 有机硒,鸡大腿肉的脂肪酸组成得到了明显的改善。但是这两个研究未对鲜肉的硒含量、加工后肉制品氧化稳定性和产品品质做进一步的研究。另根据大量研究^[5-6]发现当日粮中亚麻籽油的添加量超过 2.5%时,虽然会提高新鲜肉品的营养价值,但会造成后期加工的肉制品食用价值较低。此外,中国规定日粮中硒的允许添加量应≤0.5 mg/kg,硒添加剂量与体内代谢残留量二者之间有最佳平衡点,在饲料中添加硒源浓度为 0.3 mg/kg 为最佳。

本研究以 1.5%亚麻籽油替代等量大豆油,比较饲喂不同硒源、不同硒含量及不同油脂对生长肥育猪的硒贮存量和脂肪酸组成的影响。此外,由于法兰克福香肠是一类利用肌球蛋白、肌动蛋白等肉中盐溶性蛋白质而生产的肉制品,利用蛋白质的热凝胶能力,使香肠能够形成良好的凝胶组织结构。本试验充分探讨了不同硒源和油脂对肌原纤维蛋白的特性的影响,以及进一步对法兰克福香肠品质的影响,为生产绿色食品富硒富含 *n*-3 PUFA 猪肉及加工肉制品提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

氯化钠、三氯甲烷、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

硝酸、高氯酸:优级纯,国药集团化学试剂有限公司;

酵母硒:含硒量 1 mg/g,北京奥特奇生物制品有限公司;

试验选用含 1.5%大豆油的基础日粮 S 和含 1.5%亚麻籽油的基础日粮 L^[15],参照美国 NRC(2012)肥育猪的营养需求配制成粉状全价料,基础日粮 S 和 L 组成及营养水平见表 1、2。

1.1.2 主要仪器设备

色谱—原子荧光联用仪:AF-610D2 型,北京瑞利分析仪器公司;

质构仪:TA-XTplus 型,英国 Stable Micro System 公司;

流变仪:DHR-3 型,美国 TA Instruments 公司;

扫描电镜:TM3030 型,日本 Hitachi 公司;

化学发光凝胶成像系统:ChemIDoc XRS+型,美国 Bio-rad 公司;

表 1 基础日粮的组成

Table 1 Composition of the basal diet %					
日粮	基础日粮 S	基础日粮 L	日粮	基础日粮 S	基础日粮 L
玉米	60	60	亚麻籽油	—	1.5
豆粕	22	22	石粉	1.5	1.5
小麦粉	12	12	磷酸氢钙	1	1
大豆油	1.5	—	预混料	2	2
合计	100	100			

表 2 基础日粮的营养水平[†]

Table 2 Nutrient levels of the basal diet		
日粮	基础日粮 S	基础日粮 L
消化能/(MJ·kg ⁻¹)	13.03	13.04
粗蛋白*/%	16	16
赖氨酸/%	0.8	0.8
蛋氨酸+胱氨酸/%	0.58	0.58
苏氨酸/%	0.62	0.62
钙/%	0.63	0.63
磷/%	0.53	0.53
有效磷/%	0.28	0.28

† * 为实测值,其余为计算值。预混料为每千克日粮提供:2 000 IU V_A、400 IU V_{D3}、20 IU V_E、0.5 mg V_K、0.5 mg V_{B1}、5.6 mg 核黄素、4.4 mg V_{B6}、16 μg V_{B12}、5 mg 烟酸、0.4 mg 叶酸、4 mg 泛酸、0.3 mg 碘。

台式冷冻离心机:Allegra 25R[†]型,美国 Beckman 公司;
紫外可见分光光度计:UV-1100 型,上海美谱达公司;
液压灌肠机:EM-20 型,西班牙 Mainca 公司。

1.2 方法

1.2.1 试验采用单因子完全随机区组设计 选择体重(52 kg)相近的“杜×长×大”肥育猪 192 头,按体重相近、遗传基础相似、公母比例一致的原则,随机分为 4 组,每组 6 个重复,每个重复 8 头。C 组:基础日粮 S + 0.3 mg/kg 亚硒酸钠;S1 组:基础日粮 S + 0.3 mg/kg 酵母硒;S2 组:基础日粮 S + 0.5 mg/kg 酵母硒;SL 组:基础日粮 L + 0.3 mg/kg 酵母硒。其中亚硒酸钠、酵母硒添加量参照杨华等^[5]、Zhan 等^[16]的报道。试验预试期 7 d,正式试验期为 60 d,自由采食和饮水。

1.2.2 屠宰取样 饲养试验结束后,从每组随机选取试验猪 6 头,共 24 头,按常规方法进行屠宰。屠宰时,取左侧背最长肌同一部位 100 g 左右,用锡纸包裹后,立即浸入液氮,然后移入-80 ℃冰箱保存备用,用于硒含量的测定;剩余背最长肌在 4 ℃冷库中储藏 24 h 后,将猪肉与猪骨分离,切成 12 mm 厚的片状,分装后抽真空保藏在-18 ℃冰箱中,用于研究肌原纤维蛋白及加工肉制品法兰克福香肠。

1.2.3 硒含量的测定 采用色谱—原子荧光联用仪,消解方法为微波消解,测定方法参照 GB 5009.93—2010,所选标准物为鸡肉(GBW10018)和芹菜(GBW10048)。

1.2.4 脂肪酸组成分析 参照文献[17]。

1.2.5 肌原纤维蛋白的提取 参考文献[18]。

1.2.6 肌原纤维蛋白溶解度测定 取 2 mg/mL 蛋白液于 4 ℃下 5 000×g 离心 15 min,原液和上清液的蛋白浓度用双缩脲法测定。蛋白的溶解度按式(1)计算:

$$S = \frac{W_1}{W_0} \times 100\%,$$

(1)

式中:

S——蛋白的溶解度,%;

W₁——上清液中的蛋白含量,mg/g;

W₀——原蛋白液中的蛋白含量,mg/g。

1.2.7 肌原纤维蛋白凝胶强度 取 40 mg/mL 的 MFP 溶液 5 g 放入小玻璃瓶(内径×长度=16 mm×40 mm)中,置于 20 ℃的水浴中,以 0.8 ℃/min 的升温速度,从 20 ℃升至 75 ℃。达到 75 ℃后,立即将小玻璃瓶取出,置于冰浴中冷却,并于 4 ℃冰箱内过夜。将样品放在 25 ℃室温下平衡 1 h 后,测定其凝胶强度。测试条件:测前速度 2.00 mm/s,测试速度 0.3 mm/s,测后速度 2 mm/s;探头类型 P/0.5;测定时环境温度 20~25 ℃;样品数 *n*=6。凝胶强度定义为刺破凝胶所需的初始压力(N)。

1.2.8 凝胶体系持水性 参考文献[19]。

1.2.9 法兰克福香肠制作工艺 法兰克福香肠配方:瘦肉 700 g,猪背脂 250 g,食盐 15 g,冰水混合物 200 g。法兰克福香肠的加工工艺:

原料肉整理(鲜肉冷却至 0~1.1 ℃,瘦肉切成 3 cm 左右的块状,脂肪切成 1 cm 左右的丁)→肥肉搅碎 30 s→加 1/3 冰水→加入瘦肉、辅料和 1/3 冰水→加入剩余冰水→灌肠→蒸煮(95 ℃,40 min)→冷却至室温→真空包装→成品→4 ℃冷库中保存

1.2.10 蒸煮得率 按式(2)计算:

$$CY = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%,$$

(2)

式中:

CY——蒸煮得率,%;

W₁——蒸煮之前样品的质量,g;

W₂——每组样品经蒸煮后减少的质量,g。

1.2.11 储藏稳定性(TBARS) 参考文献[20]。

1.2.12 质构特性 香肠剥去肠衣,切成 20 mm 高的圆柱体,采用 TA-XT plus 型质构仪以全质构分析(TPA)方法测定样品的硬度、弹性、内聚性和回复性等指标,测试条件:测前速度 3.00 mm/s,测试速度 5.00 mm/s,测后速度 5.00 mm/s;压缩比 40%;两次测试间隔时间 5.0 s;负载类型 Auto-5g;探头类型 P/36R;测定时环境温度 20~25 ℃;数据获得速度 200 pps。样品数 *n*=10。

1.2.13 扫描电镜 从样品中间切取 3 mm 左右的正方体,在 2.5%的戊二醛磷酸盐缓冲液(0.05 mol/L,pH 7.0,4 ℃)中固定 24 h,再用超纯水浸泡清洗 3 次,每次 10 min,再用不同浓度的乙醇进行梯度脱水(30%,50%,70%,95%和 3 次 100%,每次 30 min),将处理好的样品置于通风橱中 5 h,喷金 10 nm 后于扫描电镜观察并拍照。加速电压为 15 kV。

1.2.14 感官评定 参考文献[21]。

1.3 数据处理

每个样品设 3 个平行,采用 Sigmaplot 12.5 和 Statistix 9.0 软件进行数据分析。测定结果以平均值±标准误差表示。试验数据采用 ANOVA 进行 LSD 差异分析,以 P<0.05 为差异性分析。重复试验所得数据以均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 硒含量

由表 3 可知硒在肾脏中含量最高,肝脏次之,猪背长肌最低,这一结果与 Zhan 等^[16]报道的一致;日粮中有机硒的添加相较于无机硒能显著提高猪背长肌中的硒含量(P<0.05);S2 样品的含硒量高达 0.198 mg/kg,与 C 组相比显著提高了 68%(P<0.05)。试验结果表明:有机硒相较于无机硒能够更有效地贮存在肌肉组织中,其原因在于这两种硒源的代谢通路不同,无机硒在小肠的吸收中是被动的,仅有少量的无机硒能够结合进入体蛋白,而酵母硒是以氨基酸的运输机制主动吸收的^[22];S1 与 SL 这两组结果相比,亚麻籽油的添加与同等添加水平的大豆油相比,能提高 12%的硒含量,Haug 等^[23]也报道过日粮中的亚麻籽油能提高肉鸡中硒含量,可能是亚麻籽油中含量丰富的 *n*-3 PUFA,更易被氧化^[24],这就需要机体产生更多的抗氧化物酶(如谷胱甘肽过氧化物酶),因此肌肉中会贮存更多的硒。日粮中 0.5 mg/kg 的有机硒添加能够生产出 0.2 mg/kg 硒含量的富硒猪肉,消费者只需每天使用 200 g 这种富硒猪肉就能满足 70%的硒每日推荐需求摄入量。

2.2 脂肪酸组成

由表 4 可知,日粮中的亚麻籽油和硒源的添加对脂肪酸组成有显著影响,包括 C16:1、C18:1、C18:3 *n*-3、C20:3 *n*-6、LA/ALA 和 *n*-6/*n*-3 比例。亚麻籽油的添加显著增加了肌肉组织中的 C18:3 *n*-3 和 C20:3 *n*-6 的含量(P<0.001),使得肌肉中的 EPA 和 DHA 含量分别提高了 3.4 倍,此前 Wood 等^[25]也报道过这一相似的结果,日粮中的亚麻籽油能明显提高 *n*-3 长链脂肪酸的含量。然而,各组的 DPA(C22:5 *n*-3)含量在 0.15%左右,没有受到影响。

喂食有机硒的肥育猪,其 C18:1 含量比无机硒组的高。

表 3 日粮中硒和亚麻籽油的添加对猪肝脏、肾脏、猪背长肌中硒含量的影响[†]

Table 3 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on selenium content in liver, kidney and loin muscle of pigs

mg/kg			
级别	肝脏	肾脏	猪背长肌
C	0.393±0.072	1.237±0.096	0.118±0.055 ^c
S1	0.393±0.042	1.157±0.140	0.163±0.095 ^b
S2	0.450±0.069	1.210±0.140	0.198±0.094 ^a
SL	0.437±0.081	1.320±0.173	0.182±0.006 ^{ab}

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。肝脏和肾脏中的硒含量无组间显著性差异。

表 4 日粮中硒和亚麻籽油对脂肪酸组成的影响[†]
Table 4 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on fatty acid profile of loin muscle %

来源	C	S1	S2	SL	标准误差 (SE 值)	P 值
C12:0	0.07	0.07	0.07	0.08	0.002	—
C14:0	1.18	1.14	1.08	1.24	0.03	—
C16:0	21.06	21.45	21.56	21.91	0.43	—
C17:0	0.47	0.35	0.35	0.31	0.04	—
C18:0	12.90	13.72	11.23	12.81	0.41	—
C20:0	0.28	0.28	0.17	0.25	0.02	—
C21:0	0.15	0.15	0.14	0.11	0.01	—
C16:1	1.17 ^{ab}	1.12 ^b	1.42	1.39 ^a	0.07	<0.05
C18:1	31.30 ^b	33.45 ^a	33.89 ^a	33.34 ^a	0.52	<0.05
C20:1	0.80	0.81	0.80	0.78	0.03	—
C18:2 <i>n</i> -6(LA)	23.89	22.46	23.87	21.20	0.88	—
C18:3 <i>n</i> -6	0.03	0.04	0.04	0.04	0.003	—
C20:2 <i>n</i> -6	1.20	1.12	1.19	0.97	0.06	—
C20:3 <i>n</i> -6	0.26 ^b	0.31 ^b	0.23 ^b	0.43 ^a	0.03	<0.001
C20:4 <i>n</i> -6	0.27	0.35	0.25	0.24	0.03	—
C18:3 <i>n</i> -3(ALA)	1.59 ^b	1.43 ^b	1.47 ^b	3.53 ^a	0.10	<0.001
C20:5 <i>n</i> -3(EPA)	0.012	0.009	0.010	0.033	0.001	<0.001
C22:5 <i>n</i> -3(DPA)	0.15	0.14	0.11	0.16	0.01	—
C22:6 <i>n</i> -3(DHA)	0.016	0.019	0.017	0.063	0.001	<0.001
SFA	36.11	37.19	34.6	36.71	0.76	—
PUFA	27.39	25.85	27.08	26.57	1.04	—
LA/ALA	14.99 ^b	15.87 ^a	16.24 ^a	6.05 ^c	0.18	<0.001
<i>n</i> -6 PUFA	25.65	24.28	25.58	22.88	0.88	—
<i>n</i> -3 PUFA	1.74 ^b	1.55 ^b	1.61 ^b	3.68 ^a	0.10	<0.001
<i>n</i> -6/ <i>n</i> -3	13.88 ^b	14.96 ^a	17.49 ^a	5.88 ^c	0.21	<0.001

† 同行中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

不同硒源和油脂能共同影响 LA/ALA 和 *n*-6/*n*-3 值(P<0.001)。当饲料中添加大豆油时,有机硒相较于无机硒能够显著提高 LA/ALA 和 *n*-6/*n*-3 值。当亚麻籽油代替大豆油作为油脂来源时,LA/ALA 和 *n*-6/*n*-3 值最低(P<0.001)。

据研究^[26]表明,日粮中增加的 C18:3 *n*-3 会与 C18:3 *n*-6 在代谢时产生竞争,由此影响肌肉中中链不饱和脂肪酸的组成。肌肉组织中的 *n*-3 PUFA 含量的增加,尤其是 C18:3 *n*-3 含量的增加,显著降低了 *n*-6/*n*-3 值^[27]。PUFA 中 *n*-6/*n*-3 值是评价膳食脂肪酸质量的重要指标,适宜的 *n*-6/*n*-3 值对维持机体多个代谢途径的平衡十分重要,WHO 推荐的 *n*-6/*n*-3 值为 2~8,低于 4.0 有利于降低癌症和冠心病的发病率^[28]。以上结果表明,日粮中亚麻籽油的添加相比较大豆油,能够明显降低 *n*-6/*n*-3 值(从 13.88 降低至 4.88),这一适宜的 *n*-6/*n*-3 值有利于消费者的心血管健康。

2.3 肌原纤维蛋白特性

肌原纤维蛋白特性是影响肉制品质构的一个重要因素^[29],日粮中硒和亚麻籽油的添加对肌原纤维蛋白的影响见表 5。由表 5 可知,日粮中的有机硒相较于无机硒,能显著提高肌原纤维蛋白的溶解度、凝胶强度和凝胶体系持水性(P<0.05);在同一硒源、同一硒含量的添加水平,亚麻籽油相比大

表 5 日粮中硒和亚麻籽油的添加对肌原纤维蛋白特性的影响[†]
Table 5 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on properties of myofibrillar

组别	溶解度/%	凝胶强度/N	凝胶体系持水性/%
C	28.38±0.677 ^b	0.2439±0.014 ^c	42.97±0.232 ^d
S1	30.57±0.726 ^{ab}	0.3138±0.006 ^b	50.17±0.173 ^c
S2	31.90±0.635 ^b	0.3174±0.007 ^b	53.54±0.341 ^b
SL	32.30±0.923 ^a	0.3587±0.013 ^a	57.18±0.379 ^a

† 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

豆油更能提高凝胶强度和凝胶体系持水性(P<0.05)。

肌原纤维蛋白悬浮液中蛋白溶解度的增加与肌原纤维的解聚有关^[30],肌原纤维的分解能提高整个蛋白液体体系的稳定性,使得肌原纤维蛋白的溶解度更高,在 Jiang 等^[17]的研究中,无机硒组肌原纤维蛋白的氧化程度比有机硒组的低,与本试验中溶解度的结果趋势相符;可溶性蛋白浓度的升高,在另一方面能增强凝胶强度,也有利于凝胶体系持水性的提高^[31],因为持水能力依赖于蛋白体系中溶解的肌球蛋白的数量。

2.4 法兰克福香肠蒸煮得率

由图 1 可知,与大豆油相比,亚麻籽油能显著提高法兰克福香肠的蒸煮得率(提高 4%;P<0.05),不同硒源对蒸煮得率无显著影响(P>0.05)。

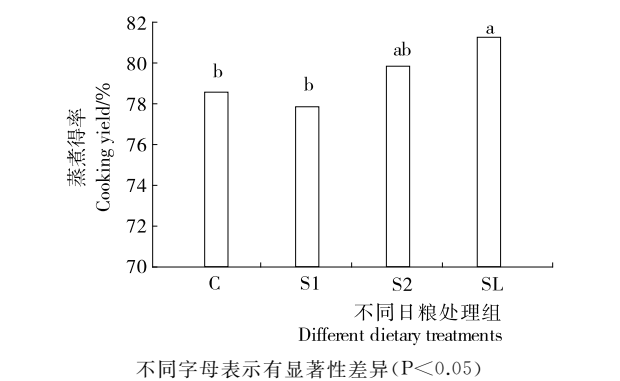


图 1 日粮中硒和亚麻籽油的添加对加工肉制品法兰克福香肠蒸煮得率的影响

Figure 1 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on cooking yield of Frankfurters

SL 组显著提高的蒸煮得率显然与其脂肪酸组成有关。Jiang 等^[17]的研究表明,经亚麻籽油喂食生产出的猪肉,其丰富的 *n*-3 脂肪酸有助于形成柔韧的、可压缩的双层层流脂膜,能显著提高猪肉的持水性;1.5%亚麻籽油的添加能够显著降低新鲜猪肉的滴水损失。在经高温蒸煮的过程中,SL 组的样品依旧能很好地锁住水分。

2.5 质构特性

不同日粮对香肠质构的影响见表 6。C 组样品的各个参数都保持最高,S1 和 S2 的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性和回弹性均有所下降,说明不同的硒源会影响加工肉制品的质构特性;SL 组的样品在硬度降低的同时也保持了最高的弹性,

表 6 日粮中硒和亚麻籽油的添加对加工肉制品法兰克福香肠全质构的影响[†]

Table 6 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on texture of Frankfurters

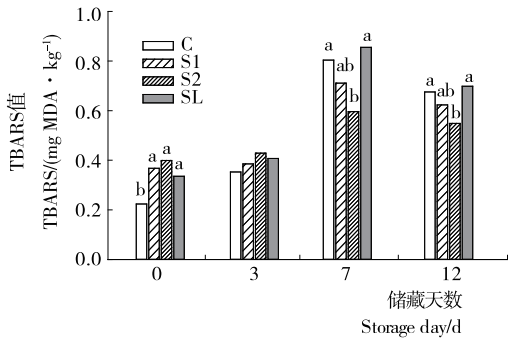
组别	硬度/g	弹性	黏聚性	胶黏性	咀嚼性	回弹性
C	2 433 ^a	0.781 ^a	0.318 ^a	768.48 ^a	630.46 ^a	0.107 ^a
S1	2 227 ^{ab}	0.734 ^{ab}	0.270 ^b	672.81 ^{ab}	432.58 ^b	0.096 ^b
S2	2 138 ^{ab}	0.704 ^b	0.260 ^b	577.26 ^b	393.58 ^b	0.089 ^b
SL	2 047 ^b	0.798 ^a	0.266 ^b	625.27 ^b	475.66 ^b	0.093 ^b

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)。

可能与该组样品较好的持水性有关,亚麻籽油的加入可以适当改善富硒猪肉生产法兰克福香肠时弹性降低的问题。

2.6 贮藏稳定性

由图 2 可知,贮藏 0 d 时,C 组香肠的 TBARS 显著低于其他有机硒组(P<0.05);贮藏 3 d,4 组香肠的 TBARS 值在 0.35~0.42 mg/kg,无显著区别;贮藏 7 d,C 组与 SL 组的 TBARS 值超过 0.8 mg/kg,而 S2 组的仅为 0.59 mg/kg;贮藏 12 d,各组 TBARS 值均有所下降,趋势与贮藏 7 d 时一致。



同天中不同字母表示有显著性差异(P<0.05)

图 2 日粮中硒和亚麻籽油的添加对法兰克福香肠贮藏稳定性的影响(4 ℃)

Figure 2 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on storage stability (TBARS) of Frankfurters(4 ℃)

进一步分析图 2 的数据,还可以发现,相较于无机硒,有机硒在肉制品冷藏过程中能延缓脂质氧化,使 TBARS 值保持在相对较低的水平。Chen 等^[32]的研究发现,经有机硒喂养的猪,其 GPx 酶活相较于同等无机硒喂养的显著提高,其贮藏过程中的 TBARS 值也显著降低;边连全等^[33]指出,日粮中添加有机硒,其猪背最长肌的 MDA 含量显著低于相同添加水平的无机硒,上述文献的结论与本试验的结果相符。

2.7 扫描电镜

日粮中硒和亚麻籽油的添加对法兰克福香肠微观结构的影响见图 3,经对比发现,硒源和油脂的不同对香肠的微观结构无显著影响。

2.8 感官评价

不同日粮对法兰克福香肠的感官评价的影响见图 4。由

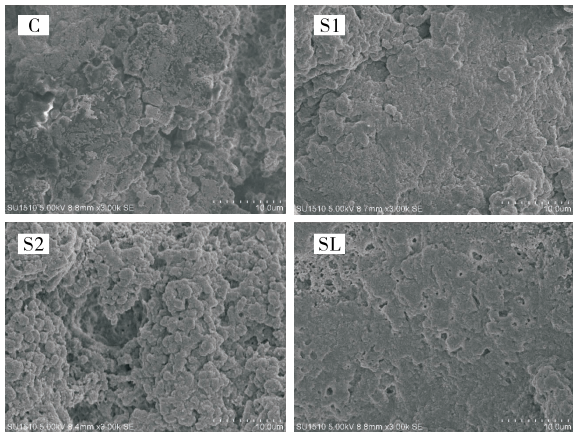


图 3 日粮中硒和亚麻籽油的添加对法兰克福香肠微观结构的影响

Figure 3 Effects of dietary selenium and linseed oil supplementation on microstructure of Frankfurters

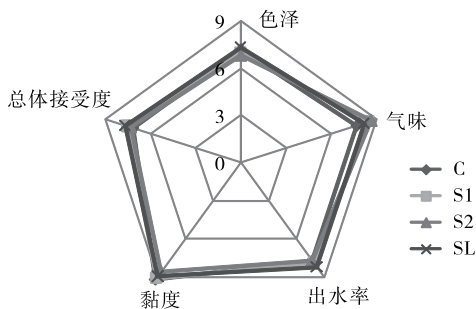


图 4 法兰克福香肠感官得分

Figure 4 Sensory analysis of Frankfurters

图 4 可知,日粮中的不同硒源和油脂没有影响肉制品的感官品质。郎婧等^[34]指出,日粮中 2.5% 以上的亚麻籽油添加量会对猪肉的食用价值产生负面影响。本试验中,1.5% 的亚麻籽油添加量明显改善了鲜肉脂肪酸组成,且后期没有降低鲜肉的食用价值,这与先前的报道^[35]结果是一致的。

3 结论

日粮中有机硒/亚麻籽油的添加(0.3 mg/kg 酵母硒+1.5%亚麻籽油)对猪背长肌中硒含量的提高、脂肪酸组成的改善、肌原纤维蛋白凝胶特性的提高有重要影响。有机硒相比无机硒能显著提高肉品中的硒含量;亚麻籽油的添加能明显改善 n-6/n-3 比例;饲料中同时添加有机硒和亚麻籽油显著增强了猪背长肌中肌原纤维蛋白的溶解度、凝胶强度和凝胶体系持水性,改善了法兰克福香肠的蒸煮得率,并且未对贮藏稳定性和感官评价造成负面影响。因此,饲料中 0.3 mg/kg 酵母硒和 1.5% 亚麻籽油的添加能够推动富硒富 n-3 PUFA 的猪肉及其肉制品的开发。本试验研究日粮中有机硒和亚麻籽油对肉制品的开发时,只选用了 1.5% 亚麻籽油这一添加浓度,后续试验可以考虑对亚麻籽油添加量的选择做一个梯度试验。另外 GB 26418—2010《日粮中硒的允许量》于 2017 年 3 月 23 日废止,0.5 mg/kg 的硒添加量很有可能会在未来更广泛应用到养殖产业中,本试验对于这一浓度日粮中的硒添加量对肉品质的影响未做过多讨论。

参考文献

[1] 陈艳珍. 猪肉品质的评定及影响因素[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(7): 155-158.

[2] 刘孟洲, 权群学, 王玉安, 等. 富硒饲料对肥育猪生长和胴体肉质影响的研究[J]. 养猪, 2016(5): 46-48.

[3] 丁文杰, 戴晋军, 杨志龙, 等. 富硒猪肉的研究进展[J]. 饲料与畜牧, 2008(7): 55-57.

[4] MATEO R D, SPALLHOLZ J E, ELDER R, et al. Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium[J]. Journal of Animal Science, 2007, 85(5): 1 177-1 183.

[5] 杨华, 傅衍, 陈安国. 有机硒对杜大长商品猪生产性能、胴体性状、肉质的影响[J]. 中国饲料, 2004(6): 21-24.

[6] 邹晓庭, 郑根华, 尹兆正, 等. 不同硒源对肉鸡生长性能、胴体特性和肉质的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(6): 773-776.

[7] SIMOPOULOS A P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2002, 56(8): 365-379.

[8] BROOKS C C. Fatty acid composition of pork lipids as affected by basal diet, fat source and fat level[J]. Journal of Animal Science, 1971, 33(6): 1 224-1 231.

[9] 史清河. 饲粮调控对猪胴体脂肪酸的组成改善及氧化稳定性的增强效应[J]. 动物营养学报, 2000, 12(4): 1-7.

[10] 蔡传江, 车向荣, 赵克斌, 等. 亚麻油对育肥猪生产性能及猪肉脂肪酸组成的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2010, 46(9): 46-48.

[11] 唐学燕, 励建荣, 赵爱明, 等. 洋葱对西式香肠品质及储存稳定性的影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 29-37.

[12] 姚昭, 李红艳, 张云龙, 等. 有机硒、无机硒、V_E单独使用及有机硒与 V_E联用对大鼠体内抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 272-276.

[13] SALEH A A, EBEID T A, EID Y Z. The effect of dietary linseed oil and organic selenium on growth performance and muscle fatty acids in growing rabbits[J]. Pakistan Veterinary Journal, 2013, 33(4): 450-454.

[14] KRALIK Z, KRALIK G, BIAZIK E, et al. Effects of organic selenium in broiler feed on the content of selenium and fatty acid profile in lipids of thigh muscle tissue [J]. Acta Veterinaria, 2013, 82(3): 277-282.

[15] CERVEK M, GEISTER M, PREVOLNIK M, et al. Effect of linseed supplementation on carcass, meat quality and fatty acid composition in pigs[J]. Agriculturae Conspectus Scientificus, 2011, 76(3): 183-186.

[16] ZHAN Xiu-an, MIN Wang, ZHAO Ru-qian, et al. Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs[J]. Animal Feedence & Technology, 2007, 132(3): 202-211.

[17] JIANG Jiang, TANG Xin-yue, LIN Gang, et al. Dietary linseed oil supplemented with organic selenium improved the fatty acid nutritional profile, muscular selenium deposition, water retention, and tenderness of fresh pork[J]. Meat Science, 2017, 131: 99-106.

[18] PARK D, XIONG You-ling. Oxidative modification of amino acids in porcine myofibrillar protein isolates exposed to three oxidizing systems [J]. Food Chemistry, 2007, 103 (2): 607-616.

[19] 朱君, 曾茂茂, 何志勇, 等. 膳食纤维对肌原纤维蛋白凝胶性能的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 55-59.

[20] 金牧, 何志勇, 熊幼翎, 等. 改性大豆分离蛋白对法兰克福香肠品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 1-4.

[21] 王洋, 高杨, 戴瑞彤, 等. 超高压处理对法兰克福香肠理化及感官品质的影响[J]. 肉类研究, 2012, 26(8): 1-5.

[22] 陈忠法, 俞信光, 韩泽建. 不同硒源对肉仔鸡生长性能和肉质的影响[J]. 浙江农业学报, 2003, 15(4): 250-254.

[23] HAUG A, EICH-GREATOR S, BERNHOFT A, et al. Effect of dietary selenium and omega-3 fatty acids on muscle composition and quality in broilers[J]. Lipids in Health & Disease, 2007, 6(1): 2 058-2 065.

[24] SKRIVAN M, DLOUHA G, MAŠATA O, et al. Effect of dietary selenium on lipid oxidation, selenium and vitamin E content in the meat of broiler chickens[J]. Czech Journal of Animal Science, 2008, 53(7): 306-311.

[25] WOOD J D, RICHARDSON R I, NUTE G R, et al. Effects of fatty acids on meat quality: a review[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 21-32.

[26] RAES K, HAAK L, BALCAEN A, et al. Effect of linseed feeding at similar linoleic acid levels on the fatty acid composition of double-muscled Belgian Blue young bulls[J]. Meat Science, 2004, 66(2): 307-315.

[27] ENSER M, RICHARDSON R I, WOOD J D, et al. Feeding linseed to increase the n-3 PUFA of pork; fatty acid composition of muscle, adipose tissue, liver and sausages[J]. Meat Science, 2000, 55(2): 201-212.

[28] World Health Organization. The world health report 2003[J]. Midwifery, 2003, 19(1): 617.

[29] 夏秀芳, 孔保华, 张宏伟. 肌原纤维蛋白凝胶形成机理及影响因素的研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(9): 264-268.

[30] XIONG You-ling, BREKKE C J. Changes in protein solubility and gelation properties of chicken myofibrils during storage[J]. Journal of Food Science, 1989, 54(5): 1 141-1 146.

[31] SAMEJIMA K, EGELANDSDAL B, FRETHEIM K. Heat Gelation Properties and Protein Extractability of Beef Myofibrils[J]. Journal of Food Science, 2006, 50(6): 1 540-1 543.

[32] CHEN Guo-shun, WU Jing-feng, LI Chong. Effect of different selenium sources on production performance and biochemical parameters of broilers[J]. Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition, 2014, 98(4): 747-754.

[33] 边连全, 王瑞年, 张勇刚, 等. 日粮中添加不同硒源对生长肥育猪肉品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(6): 690-694.

[34] 郎婧, 石宝明, 张宏宇, 等. 亚麻籽中 n-3 多不饱和脂肪酸对猪肌脂脂肪酸组成和肉品质的影响[J]. 中国饲料, 2010(8): 9-12.

[35] SHEARD P R, ENSER M, WOOD J D, et al. Shelf life and quality of pork and pork products with raised n-3 PUFA[J]. Meat Science, 2000, 55(2): 213-221.