

日粮中添加姜黄素对鸡肉品质的影响

周子涵¹, 黄梦程², 淑英^{1,2}, 齐文慧¹, 吴峰洋¹, 张志胜^{1*}, 陈宝江^{3*}

(1. 河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071001; 2. 河北省蛋鸡产业研究院, 河北 邯郸 050033;

3. 河北农业大学 动物科技学院, 河北 保定 071001)

摘要: 为探究在日粮中添加姜黄素对肉鸡宰后肉品质的变化情况, 将肉鸡分为4组(对照组、100 mg/kg 姜黄素组、150 mg/kg 姜黄素组和 200 mg/kg 姜黄素组)。取屠宰后肉样进行肉品质、硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值、营养指标、抗氧化能力、微观结构等指标的测定。结果表明, 与对照组相比, 日粮中添加姜黄素后可以明显降低肉的滴水损失率、蒸煮损失率、TBARS值, 抑制pH值的下降, 对水分、灰分、脂肪含量影响差异不显著($P>0.05$), 可以明显提高肉的抗氧化能力。综上所述, 添加姜黄素可改善鸡肉色泽, 提高鸡肉的抗氧化能力和保水性, 其中, 日粮中添加150 mg/kg 姜黄素的效果最佳。

关键词: 鸡肉; 姜黄素; 肉品质; 嫩度; 抗氧化

Effect of Dietary Supplementation with Curcumin on the Chicken Quality

ZHOU Zihan¹, HUANG Mengcheng², SHU Ying^{1,2}, QI Wenhui¹, WU Fengyang¹,

ZHANG Zhisheng^{1*}, CHEN Baojiang^{3*}

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei, China;

2. Hebei Research Institute of Laying Hens Industry, Handan 050033, Hebei, China; 3. College of Animal

Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei, China)

Abstract: The changes in meat quality of broilers fed with the diet supplemented with curcumin were studied. Broilers were assigned into four groups: control, 100 mg/kg curcumin, 150 mg/kg curcumin, and 200 mg/kg curcumin. The quality, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), nutrients, antioxidant capacity, and microstructure of the meat were determined. The results showed that compared with the control group, the dietary supplementation with curcumin reduced the drip loss, cooking loss, and TBARS, inhibited the pH decline, had no significant effects on water, ash or fat content ($P>0.05$), and significantly improved the antioxidant capacity of the meat. In conclusion, supplementing curcumin can improve the color, antioxidant capacity, and water retention of chicken, and the supplementation at 150 mg/kg had the best effect.

Key words: chicken; curcumin; meat quality; tenderness; antioxidant

引文格式:

周子涵, 黄梦程, 淑英, 等. 日粮中添加姜黄素对鸡肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(9): 42-47.

ZHOU Zihan, HUANG Mengcheng, SHU Ying, et al. Effect of Dietary Supplementation with Curcumin on the Chicken Quality[J]. Food Research and Development, 2024, 45(9): 42-47.

鸡肉是我国主要食用肉类之一, 具有优质的营养成分、胆固醇含量少、氨基酸组成多样以及较高的消化率, 深得消费者的青睐^[1]。近年来, 由于全球经济的飞速增长以及居民日益改善的饮食习惯, 消费者对于高

营养、低胆固醇、高蛋白的食物需求也在不断提升。在饲料中严禁使用抗生素、养殖中严格管控抗生素使用的大背景下, 寻找可以代替抗生素的饲用添加剂并将其投入到饲料中, 减少有害物残留, 逐渐成为研究

基金项目: 河北省蛋鸡产业技术研究院项目(225676150H); 河北省自然科学基金资助项目(C2023204010); 河北省现代农业产业技术体系肉禽创新团队(HBCT2023210203); 鸡肉保鲜技术研究项目(310513001)

作者简介: 周子涵(1999—), 男(汉), 硕士研究生, 研究方向: 肉品科学与技术。

*通信作者: 张志胜(1970—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 肉品科学与技术; 陈宝江(1971—), 男(汉), 教授, 博士, 研究方向: 畜牧与动物医学。

热点。

姜黄素是从姜黄根茎中提取的一种多酚类物质。研究表明,姜黄素不仅具有抗氧化、抗炎、清除自由基的作用,还可以抑制微生物的生长繁殖,具有较高的研究和应用价值^[2-3]。近年来,姜黄素在家禽养殖领域方面已经有了一定程度的研究。Rajput 等^[4]研究表明,将姜黄素添加到日粮中可提高肉鸡的生长性能。Al-Kassie 等^[5]研究表明,在肉鸡日粮中添加姜黄可以改善饲料转化率,提高鸡肉品质。祝国强等^[6]与樊祥宇等^[7]均在研究中发现,在日粮中添加姜黄素不仅可以提高肉鸡的生产性能和屠宰性能,同时还可以有效减少腹部脂肪和肝脏脂肪的沉积,从而改善肉质。

姜黄素具有取代传统抗生素的潜质,有着良好的应用前景。然而,近年来,关于姜黄素的研究主要集中在姜黄素对鸡肉生长性能和屠宰性能的影响,对其宰后肉品质和肉的抗氧化能力方面研究较少。本文以姜黄素为实验材料,肉鸡为研究对象,通过研究日粮中添加不同剂量姜黄素对鸡肉品质和抗氧化能力的影响,确定最适宜的姜黄素添加浓度,以期姜黄素对鸡肉品质的改善研究及其在鸡肉加工生产中的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

选取体质质量均匀的 400 只 1 日龄艾拔益加 (Arbor Acres, AA) 肉仔鸡公雏,随机分成 4 组,每个处理 10 个重复,每个重复 10 只,实验期为 43 d。自由饮水和采食,按常规肉仔鸡免疫程序进行免疫。4 个处理组分别为对照组(饲喂基础日粮)、100 mg/kg 姜黄素组(饲喂基础日粮+100 mg/kg 姜黄素)、150 mg/kg 姜黄素组(饲喂基础日粮+150 mg/kg 姜黄素)、200 mg/kg 姜黄素组(饲喂基础日粮+200 mg/kg 姜黄素)。实验第 44 天,每组随机选取 10 只鸡进行屠宰并采集肉样,保存于 4 °C 冰箱,待测。

乙酸镁、盐酸、硫酸、三氯乙酸、氢氧化钠(均为分析纯):天津市科密欧化学试剂有限公司;硫酸钾、硫酸铜、硼酸(均为分析纯):天津市天大化工实验厂;乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA):北京博奥拓达科技有限公司;2-硫代巴比妥酸(2-thiobarbituric acid, TBA):国药集团化学试剂有限公司;过氧化氢酶测定试剂盒、谷胱甘肽过氧化物酶测定试剂盒、超氧化物歧化酶测定试剂盒、总抗氧化能力测定试剂盒:南京建成生物工程研究所。

1.2 仪器与设备

CR 400 色彩色差计:日本柯尼卡美能达公司;USA HZ 分析天平:美国 HUAZHI 公司;Testo205 便携式 pH 计:德国仪表(深圳)有限公司;SYNERGY HTX 酶标仪:美国伯腾仪器有限公司;TMS-PILOT 质构仪:美国 FTC

公司;H550S 显微镜:尼康仪器(上海)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 肉品质的测定

1) pH 值

采用便携式 pH 计测定宰后肉鸡肌肉 45 min 和 24 h 的 pH 值,测定 3 次,取平均值。

2) 色泽

采用色彩色差计测定肉样的亮度(L^*)、红度(a^*)和黄度(b^*),测定 3 次,取平均值。

3) 滴水损失率

记录肉样的初始质量(m_1, g),悬挂于 4 °C 冰箱中 24 h 后称其质量(m_2, g)。计算滴水损失率($A, %$)的公式如下。

$$A=(m_1-m_2)/m_1 \times 100$$

4) 蒸煮损失率

参考 Lin 等^[8]的方法,准确称取蒸煮前后样品质量。蒸煮损失率($B, %$)的计算公式如下。

$$B=(G_1-G_2)/G_1 \times 100$$

式中: G_1 为蒸煮前样品质量, g; G_2 为蒸煮后样品质量, g。

5) 质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)性能及剪切力

肉样蒸煮后,平行于肌纤维切取 1 cm×1 cm×1 cm 的肉块,用质构仪测定 TPA 性能及剪切力,重复 3 次,计算平均值。

1.3.2 硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值的测定

参考聂复新等^[9]的方法,取 10 g 肉样加入 50 mL 的 7.5% 的三氯乙酸溶液(含体积分数 0.1% 的 EDTA),匀浆 30 s,过滤。取 5 mL 滤液,加入 5 mL 0.02 mol/L 的 TBA 溶液,90 °C 水浴 40 min,冷却 20 min 后,以 4 500 r/min 离心 5 min,取上清液,加入 5 mL 氯仿,摇匀,静置分层,取上清液,分别测定 532 nm 和 600 nm 处的吸光度, TBARS 值($T, mg/kg$)的计算公式如下。

$$T=(A_{532}-A_{600}) \times 72.6 \times 1\ 000 / (155 \times 10)$$

式中: A_{532} 和 A_{600} 分别为肉样在 532 nm 和 600 nm 的吸光度;72.6 为丙二醛的相对分子质量;155 为摩尔吸光系数, L/(mol·cm);1 000 为每千克肉样的 TBARS 值, mg/kg;10 为肉样质量, g。

1.3.3 营养指标的测定

灰分含量参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[10]进行测定;蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[11]进行测定;水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[12]进行测定;脂肪含量参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[13]中的第一法进行测定。

1.3.4 抗氧化能力的测定

参考试剂盒说明书,利用酶标仪测定总抗氧化能力(total antioxidant capacity, T-AOC)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)、过氧化氢酶(catalase, CAT)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)的活性。

1.3.5 微观结构观察

将肉样切成1 cm×1 cm×1 cm立方体,经固定后制备成石蜡切片,经过苏木精-伊红染色法(hematoxylin-eosin staining, HE)染色和脱水封片后,利用显微镜进行观察。

1.4 数据处理

使用SPSS 23.0对各指标进行分析,用方差分析

(analysis of variance, ANOVA)中的Duncan法检测差异显著性($P<0.05$),使用Origin 2021绘图。

2 结果与分析

2.1 姜黄素对鸡肉品质的影响

pH值是肉类品质的重要参考,可以直观地反映出肉的酸碱度,并且pH值会影响肉的颜色、口感、水分损失率以及肉质。肉色决定消费者对肉的接受程度,目前常用 L^* 、 a^* 和 b^* 来表示^[14]。滴水损失率和蒸煮损失率是直接体现保水性高低的重要品质指标,能反映出样品在不施加任何作用力时的水分损失^[15]。姜黄素对鸡肉品质的影响结果见表1。

由表1可知,与对照组相比,添加姜黄素后pH_{45 min}

表1 姜黄素对鸡肉品质的影响

Table 1 Effect of curcumin on chicken quality

组别	pH _{45 min} 值	pH _{24 h} 值	L^*	a^*	b^*	滴水损失率/%	蒸煮损失率/%
对照组	6.45±0.03 ^a	5.69±0.03 ^c	55.33±0.74 ^b	1.04±0.28 ^c	6.39±0.62 ^c	2.72±0.10 ^a	29.85±2.49 ^a
100 mg/kg 姜黄素组	6.28±0.03 ^b	5.85±0.04 ^a	58.02±1.30 ^a	2.59±0.31 ^a	10.49±0.04 ^a	2.27±0.27 ^b	29.77±1.82 ^a
150 mg/kg 姜黄素组	6.25±0.02 ^b	5.86±0.02 ^a	55.19±1.37 ^b	1.95±0.21 ^b	6.74±0.19 ^c	1.73±0.23 ^c	25.32±0.50 ^b
200 mg/kg 姜黄素组	6.27±0.02 ^b	5.78±0.07 ^b	53.32±1.68 ^c	2.30±0.43 ^{ab}	7.92±0.53 ^b	2.04±0.21 ^{bc}	27.78±1.76 ^{ab}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

值、滴水损失率、蒸煮损失率明显降低,pH_{24 h}值、 a^* 和 b^* 均升高。其中,150 mg/kg 姜黄素组的pH_{24 h}值最高且显著高于对照组($P<0.05$)。肌肉在排酸期间会产生乳酸积累,导致pH值下降^[16]。添加姜黄素后,肉的pH值下降速率降低,说明姜黄素对pH值下降有抑制作用。100 mg/kg 姜黄素组的 L^* 最高且显著高于其他各组($P<0.05$),200 mg/kg 姜黄素组的 L^* 最低且显著低于其他各组($P<0.05$);100 mg/kg 姜黄素组的 a^* 最高且显著高于对照组($P<0.05$),对照组的 a^* 最低且显著低于其他各组($P<0.05$);100 mg/kg 姜黄素组的 b^* 最高且显著高于其他各组($P<0.05$)。一般来说,亮度较低,红度、黄度较高的肉更被大众喜爱^[14]。 a^* 是由肌红蛋白的色泽决定, a^* 越高,表明肉的红色更浓烈。肉样表面渗透的氧气与肌红蛋白相结合形成了具有鲜红色的氧合肌红蛋白导致 a^* 升高。添加姜黄素的实验组 a^* 高于对照组,说明添加姜黄素后可防止肌红蛋白过度氧化为高铁肌红蛋白,提高了鸡肉的抗氧化能力,从而起

到护色效果。150 mg/kg 姜黄素组的蒸煮损失率和滴水损失率均为最低且显著低于对照组($P<0.05$)。肉中肌球蛋白、肌动蛋白的氧化降解会改变蛋白质与水分子的氢键、静电斥力以及毛细管的引力,这些变化会限制蛋白质与水的结合能力,最终提高肉的滴水损失率^[17]。由此可知,添加姜黄素后降低了肉的滴水损失率,延缓了蛋白的氧化降解速率,提高了肉的持水性,150 mg/kg 姜黄素组的滴水损失率最低说明该浓度的姜黄素添加量最为适宜。添加姜黄素后蒸煮损失率降低的原因可能是添加姜黄素后降低了肉中肌原纤维的收缩程度,从而提高了肉的保水性^[18]。添加姜黄素后对肉品质的影响与Kumar等^[19]的研究结果一致。

2.2 姜黄素对鸡肉TPA及剪切力的影响

肉的质构受很多因素的影响,其中水分流失、脂肪氧化等因素均会导致质构发生改变^[20]。姜黄素对鸡肉质构的影响结果见表2。

由表2可知,相比于对照组,添加姜黄素的实验组

表2 姜黄素对鸡肉TPA及剪切力的影响

Table 2 Effect of curcumin on the TPA and shear force in chicken

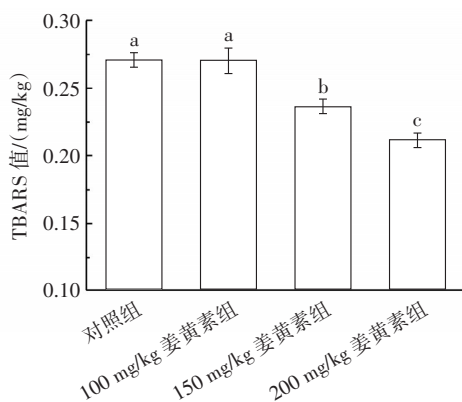
组别	硬度/N	弹性/mm	内聚性/Ratio	黏附性/mJ	胶黏性/N	咀嚼性/mJ	剪切力/N
对照组	46.28±4.25 ^a	2.75±0.10 ^b	0.56±0.04 ^a	0.08±0.02 ^b	25.94±3.65 ^a	71.17±9.48 ^a	33.22±1.20 ^a
100 mg/kg 姜黄素组	38.08±1.75 ^b	3.15±0.11 ^a	0.56±0.07 ^a	0.08±0.03 ^b	21.23±2.35 ^b	66.75±5.79 ^a	29.52±1.50 ^b
150 mg/kg 姜黄素组	26.79±1.94 ^c	2.24±0.04 ^d	0.54±0.06 ^a	0.06±0.02 ^b	14.60±0.89 ^d	31.71±2.16 ^b	20.93±0.77 ^c
200 mg/kg 姜黄素组	33.61±2.59 ^b	2.52±0.14 ^c	0.50±0.03 ^a	0.13±0.02 ^a	16.73±0.44 ^c	42.28±3.17 ^b	19.04±0.55 ^c

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

硬度、胶黏性、咀嚼性、剪切力均有所降低,对照组硬度值最高且显著高于其他各组($P<0.05$);150 mg/kg 姜黄素组的硬度和弹性值最低且显著低于其他各组($P<0.05$)。各组间内聚性无显著差异($P>0.05$)。200 mg/kg 姜黄素组黏附性最高且显著高于其他各组($P<0.05$),150 mg/kg 姜黄素组和 200 mg/kg 姜黄素组与对照组之间黏附性无显著差异($P>0.05$)。随着姜黄素浓度的增加,胶黏性和咀嚼性呈现先降低后升高的趋势。对照组的胶黏性最高且显著高于其他各组($P<0.05$);150 mg/kg 姜黄素组胶黏性最低且显著低于其他各组($P<0.05$)。对照组的咀嚼性最高且明显高于其他各组。剪切力随着姜黄素浓度的增加而降低。200 mg/kg 姜黄素组剪切力最低且显著低于对照组($P<0.05$);150 mg/kg 姜黄素组剪切力与 200 mg/kg 姜黄素组相比无显著差异($P>0.05$)。添加姜黄素后的硬度、胶黏性、咀嚼性、剪切力降低说明姜黄素具有的抗氧化能力,能有效地抑制肉的脂肪氧化^[21],从而提高肉的嫩度,且 200 mg/kg 姜黄素组对肉嫩度的改善效果最好,这与朱士臣等^[21]和 Reihani 等^[22]的研究结果一致。

2.3 姜黄素对鸡肉硫代巴比妥酸值的影响

TBARS 值可以反映出肉中脂质的氧化程度。由于肉中含有较多的多不饱和脂肪酸,使得肉制品极易产生脂质氧化变质^[23]。TBARS 值越大,肉的脂肪氧化程度越高,肉品质越差^[24]。姜黄素对鸡肉 TBARS 值的影响结果见图 1。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图 1 姜黄素对鸡肉 TBARS 值的影响

Fig.1 Effect of curcumin on the TBARS in chicken

由图 1 可知,对照组及 100、150、200 mg/kg 姜黄素组的 TBARS 值分别为 0.27、0.27、0.24、0.21 mg/kg。与对照组相比,姜黄素各实验组的 TBARS 值明显降低。随着姜黄素浓度的增加,TBARS 值呈降低趋势。日粮中添加姜黄素可以降低脂质氧化的原因是姜黄素作为自由基清除剂,防止自由基破坏细胞组织,从而防止细胞氧化损伤^[3]。综上,添加姜黄素可提高鸡肉的抗氧化能力,且姜黄素浓度越高,鸡肉的 TBARS 值越低,抗

氧化能力越强,其中 150 mg/kg 姜黄素组和 200 mg/kg 姜黄素组可以改善肉的脂质氧化效果,这与 Ali Beh-roozlak 等^[25]的研究结果一致。

2.4 姜黄素对鸡肉营养指标的影响

姜黄素对鸡肉营养指标的影响结果见表 3。

表 3 姜黄素对鸡肉营养指标的影响

Table 3 Effect of curcumin on the nutrient content in chicken

组别	脂肪/ (g/100 g)	蛋白质/ (g/100 g)	灰分/ (g/100 g)	水分/ (g/100 g)
对照组	0.95±0.26 ^a	22.27±0.88 ^a	1.22±0.10 ^a	74.62±0.08 ^a
100 mg/kg 姜黄素组	1.19±0.26 ^a	19.53±0.93 ^b	1.23±0.09 ^a	74.33±1.24 ^a
150 mg/kg 姜黄素组	1.08±0.15 ^a	19.81±1.54 ^b	1.13±0.07 ^a	74.93±0.37 ^a
200 mg/kg 姜黄素组	0.91±0.22 ^a	17.58±1.40 ^b	1.14±0.05 ^a	74.72±0.09 ^a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表 3 可知,各组灰分含量差异不显著($P>0.05$),表明添加姜黄素对鸡肉中灰分含量的影响较小。添加姜黄素后,蛋白质含量降低且显著低于对照组($P<0.05$),且添加姜黄素的 3 个实验组间蛋白质含量无显著差异($P>0.05$),添加姜黄素后鸡肉的蛋白质含量低于对照组的原因可能是姜黄素抑制了肉中的菌体繁殖,而对照组中微生物繁殖数量较多,菌体蛋白使对照组蛋白质含量高于添加姜黄素的 3 个实验组的蛋白质含量^[26]。各实验组的水分含量无显著差异($P>0.05$),说明添加姜黄素对鸡肉的水分含量无明显影响。各实验组的脂肪含量无显著差异($P>0.05$),100 mg/kg 姜黄素组和 150 mg/kg 姜黄素组的脂肪含量略高于对照组,说明添加姜黄素对鸡肉的脂肪含量影响较小,这与康艳梅^[27]的研究结果一致。

2.5 姜黄素对鸡肉抗氧化能力的影响

姜黄素是一种抗氧化活性物质,添加姜黄素可以影响肉的抗氧化能力,T-AOC 是体现抗氧化能力的一个综合性指标,GSH-Px、CAT 和 SOD 是重要的抗氧化酶,通过测定肉中 T-AOC 及 GSH-Px、CAT、SOD 活性可评价肉抗氧化能力的强弱^[28]。姜黄素对鸡肉抗氧化能力的影响结果见表 4。

由表 4 可知,姜黄素对鸡肉的 T-AOC 及 GSH-Px、CAT、SOD 活性影响明显。相比于对照组,150 mg/kg 姜黄素组的 T-AOC 显著提高($P<0.05$)。T-AOC 可以调节肉的总抗氧化能力以避免多种并发症的发生^[25]。实验结果表明,添加姜黄素后肉的总抗氧化能力提高,且 150 mg/kg 姜黄素组的抗氧化能力最高,说明该实验组的姜黄素浓度最适宜。添加姜黄素实验组的 GSH-Px、CAT 活性显著高于对照组($P<0.05$),SOD 活性均高于对照组且 100、150 mg/kg 姜黄素组显著高于对照组($P<0.05$),说明添加姜黄素后可以提高肉中

表4 姜黄素对鸡肉抗氧化能力的影响

Table 4 Effect of curcumin on the antioxidant capacity of chicken

组别	T-AOC/(mmol/g 蛋白)	GSH-Px 活性/(μ mol/g 蛋白)	CAT 活性/(U/mg 蛋白)	SOD 活性/(U/mg 蛋白)
对照组	0.37 \pm 0.01 ^b	3.72 \pm 0.06 ^d	36.71 \pm 0.38 ^d	828.04 \pm 81.52 ^b
100 mg/kg 姜黄素组	0.38 \pm 0.01 ^{ab}	5.87 \pm 0.08 ^b	70.82 \pm 1.30 ^b	981.03 \pm 64.86 ^a
150 mg/kg 姜黄素组	0.40 \pm 0.01 ^a	6.48 \pm 0.37 ^a	90.94 \pm 1.73 ^a	1050.01 \pm 68.39 ^a
200 mg/kg 姜黄素组	0.37 \pm 0.01 ^b	4.73 \pm 0.01 ^c	47.66 \pm 0.01 ^c	941.66 \pm 58.24 ^{ab}

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

GSH-Px、CAT、SOD 的活性,与 Zhang 等^[29]的研究结果一致。这可能是由于姜黄素作为一种抗氧化活性物质,可以清除机体内的羟自由基,通过调节 Nrf2 信号通路增强机体氧化还原能力,避免氧化应激,改善了肉质,从而提高肉的抗氧化能力^[28]。综上所述,日粮中添加姜黄素可以减缓肉的脂质氧化,提高抗氧化能力,其中 150 mg/kg 姜黄素组的抗氧化效果最佳。

2.6 姜黄素对鸡肉微观结构的影响

姜黄素对鸡肉微观结构的影响结果见图 2。

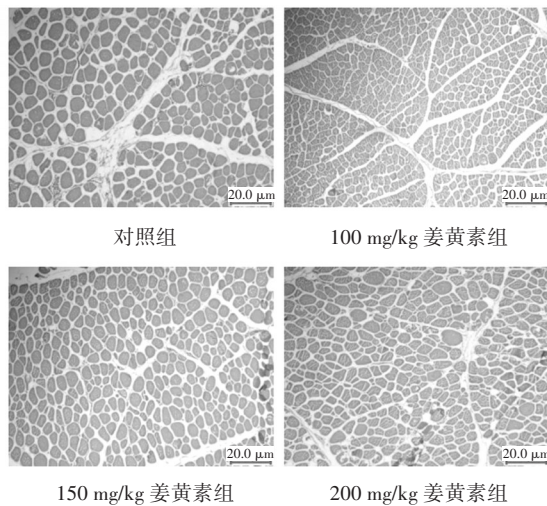


图2 姜黄素对鸡肉微观结构的影响

Fig.2 Effect of curcumin on the microstructure of chicken

由图 2 可知,红色为肌纤维,白色为肌内膜,呈网状结构。添加姜黄素实验组相比于对照组,肌细胞的排列紧密,形状更为规则。添加姜黄素的实验组肌纤维密度均有所提高且肌束间隙降低,150 mg/kg 姜黄素组的肌纤维结构相比于其他实验组更完整。由此可知,添加姜黄素可改善鸡肉的微观结构,可能是由于姜黄素增强了肉的持水能力,提高了肉的紧实度,从而改善微观结构^[21],这与李宁宁等^[30]的研究结果一致。综上所述,150 mg/kg 姜黄素组的姜黄素浓度最为适宜。

3 结论

本文通过分析 pH 值、肉色、质构、剪切力、营养指标、抗氧化能力以及微观结构等指标来探究日粮中添加

不同浓度姜黄素对鸡肉品质的影响。结果表明,日粮中添加适宜浓度的姜黄素能有效延缓鸡肉 pH 值的下降速率,改善色泽,降低滴水损失率和蒸煮损失率,提高保水性,改善鸡肉的嫩度,减缓脂质氧化进程,提高抗氧化能力。综上,日粮中添加 150 mg/kg 姜黄素可以更好地提高鸡肉的加工品质和抗氧化能力,改善鸡肉品质的效果最佳。

参考文献:

- [1] 徐娜,石金明,何伟俊,等.宰后成熟对鸡肉风味的影响研究进展[J].食品安全质量检测学报,2021,12(2):727-732.
XU Na, SHI Jinming, HE Weijun, et al. Research progress on the effect of post-mortem aging on chicken flavor[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(2): 727-732.
- [2] LUCAS M, FREITAS M, XAVIER J A, et al. The scavenging effect of curcumin, piperine and their combination against physiological relevant reactive pro-oxidant species using *in vitro* non-cellular and cellular models[J]. Chemical Papers, 2021, 75(10): 5269-5277.
- [3] NELSON K M, DAHLIN J L, BISSON J, et al. The essential medicinal chemistry of curcumin[J]. Journal of Medicinal Chemistry, 2017, 60(5): 1620-1637.
- [4] RAJPUT N, MUHAMMAD N, YAN R, et al. Effect of dietary supplementation of curcumin on growth performance, intestinal morphology and nutrients utilization of broiler chicks[J]. The Journal of Poultry Science, 2013, 50(1): 44-52.
- [5] AL-KASSIE G A, MOHSEEN A M, ABD-AL-JALEEL R A. Modification of productive performance and physiological aspects of broilers on the addition of a mixture of cumin and turmeric to the diet[J]. Research Opinions in Animal & Veterinary Sciences, 2011, 1: 31-34.
- [6] 祝国强,王斌,侯风琴,等.姜黄素对肉鸡生产性能及肉品质的影响[J].饲料工业,2009,30(13):8-10.
ZHU Guoqiang, WANG Bin, HOU Fengqin, et al. Effects of curcumin on performance and meat quality of broilers[J]. Feed Industry, 2009, 30(13): 8-10.
- [7] 樊祥宇,张富群,黄泰来,等.姜黄素对中速型黄羽肉鸡生长性能、腹脂沉积、抗氧化能力、肝脏脂肪代谢相关酶活性及基因表达的影响[J].动物营养学报,2021,33(10):5581-5590.
FAN Xiangyu, ZHANG Fuqun, HUANG Tailai, et al. Effects of curcumin on growth performance, abdominal fat deposition, antioxidant capacity, liver enzyme activities and gene expression related to lipid metabolism of medium speed yellow-feathered broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(10): 5581-5590.
- [8] LIN H, ZHANG J J, HUANG Y Q, et al. Effects of acetic acid and citric acid on quality properties of ground pork during storage and subsequent commercial sterilization[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(1): 155-166.

- [9] 聂复新, 汪凤仙, 张婷, 等. 板栗壳多酚对冷藏鱼糜制品的保鲜效果研究[J]. 食品科技, 2022, 47(8): 89-95.
NIE Fuxin, WANG Fengxian, ZHANG Ting, et al. Effects of chestnut shell polyphenols on the preservation of frozen silver carp surmise products[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(8): 89-95.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of ash in foods: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [11] 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, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [13] 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, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Medical Products Administration. National food safety standard Determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [14] MANCINI R A, SUMAN S P, KONDA M K R, et al. Effect of carbon monoxide packaging and lactate enhancement on the color stability of beef steaks stored at 1 °C for 9 days[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 71-76.
- [15] 宋宇朵, 刘强, 杨密, 等. 甜菜碱对黄羽肉鸡屠宰性能和肌肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(2): 897-907.
SONG Yuduo, LIU Qiang, YANG Mi, et al. Effects of betaine on slaughter performance and muscle quality of yellow feather broilers[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2022, 34(2): 897-907.
- [16] 姬琛. 滩羊宰后肉品质变化对能量代谢演化及其通路转换的响应[D]. 银川: 宁夏大学, 2022.
JI Chen. Response of meat quality changes to energy metabolism evolution and pathway transformation of Tan lamb during postmortem aging[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022.
- [17] WANG J C, LI J A, WANG R, et al. Improving water retention of chicken breast meats by CaCl₂ combined with pulsed electric fields[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2022, 57(2): 791-800.
- [18] 徐晨晨. 钙蛋白酶介导的日粮抗氧化剂降低羊肉滴水损失的机制[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
XU Chenchen. The mechanism of calpain-mediated dietary antioxidant reduce drip loss in lamb meat[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [19] KUMAR F, TYAGI P K, MIR N A, et al. Dietary flaxseed and turmeric is a novel strategy to enrich chicken meat with long chain ω-3 polyunsaturated fatty acids with better oxidative stability and functional properties[J]. Food Chemistry, 2020, 305: 125458.
- [20] WANG L, ZHANG M, FANG Z X, et al. Gelation properties of myofibrillar protein under malondialdehyde-induced oxidative stress[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(1): 50-57.
- [21] 朱士臣, 曾曦, 龙官誉, 等. 茶多酚-姜黄素复配液对冻藏贻贝品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15): 198-205.
ZHU Shichen, ZENG Xi, LONG Guanyu, et al. The effect of tea polyphenol and curcumin on the quality of frozen mussel meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(15): 198-205.
- [22] REIHANI S F S, TAN T C, HUDA N, et al. Frozen storage stability of beef patties incorporated with extracts from *ulam raja* leaves (*Cosmos caudatus*)[J]. Food Chemistry, 2014, 155: 17-23.
- [23] SARACILA M, UNTEA A E, PANAITTE T D, et al. Effects of supplementing sea buckthorn leaves (*Hippophae rhamnoides* L.) and chromium (III) in broiler diet on the nutritional quality and lipid oxidative stability of meat[J]. Antioxidants, 2022, 11(11): 2220.
- [24] REITZNEROVÁ A, ŠULEKOVÁ M, NAGY J, et al. Lipid peroxidation process in meat and meat products: A comparison study of malondialdehyde determination between modified 2-thiobarbituric acid spectrophotometric method and reverse-phase high-performance liquid chromatography[J]. Molecules, 2017, 22(11): 1988.
- [25] ALI BEHROOZLAK M, DANESHYAR M, FARHOOMAND P, et al. Broiler responses to ferrous sulfate at different time periods: A comprehensive research on qualitative parameters of breast meat[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(4): 1319-1330.
- [26] 陈鹏, 程镜蓉, 陈之瑶, 等. 黄羽肉鸡冷鲜储存过程中品质变化研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(3): 140-146.
CHEN Peng, CHENG Jingrong, CHEN Zhiyao, et al. Changes in the quality of yellow broiler meat during chilled storage[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(3): 140-146.
- [27] 康艳梅. 日粮中添加百里香对滩羊肉风味物质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2014.
KANG Yanmei. Effect of dietary added thyme on Tan sheep mutton's flavor substances[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2014.
- [28] ZHANG P F, CHEN H Y, SHI B L, et al. *In vitro* antioxidant activity of *Artemisia argyi* powder and the effect on hepatic and intestinal antioxidant indices in broiler chickens[J]. Annals of Animal Science, 2020, 20(3): 1085-1099.
- [29] ZHANG L G, ZHANG J Q, YAN E F, et al. Dietary supplemented curcumin improves meat quality and antioxidant status of intrauterine growth retardation growing pigs via Nrf2 signal pathway[J]. Animals, 2020, 10(3): 539.
- [30] 李宁宁, 李钊, 赵圣明, 等. 地皮菜添加量对鸡胸肉糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 53-59.
LI Ningning, LI Zhao, ZHAO Shengming, et al. Effect of *Nostoc commune* on gelation and rheological properties of chicken breast meat batters[J]. Food Science, 2021, 42(2): 53-59.

加工编辑:张昱

收稿日期:2023-07-07