

菊芋对鸡的生长、免疫性能和肉品质的影响

何 婷, 樊燕鸽, 赵俊宏, 曹长青, 陈世鹏,

王惠峰, 韩南丰, 薛宝玉

(河南省科学院 化学研究所有限公司, 郑州 450002)

摘 要: 菊芋作为一种高产优质的新型粗饲料原料,可促进动物生长,其富含的生物活性物质具有抗菌、抗炎、抗氧化等作用。本研究在饲料中添加1%、2%、4%菊芋茎叶,分别饲养50日龄恩系5号土鸡和20日龄岭南黄肉鸡,旨在研究饲料中添加不同量的菊芋茎叶对不同品种鸡的生长性能、免疫性能、鸡肉氨基酸和脂肪酸的影响。结果表明:①当菊芋茎叶添加量分别为1%和2%时,土鸡、肉鸡的平均日增重提高3.39%、3.84%,料重比分别降低6.01%、1.66%;②当菊芋茎叶添加量为2%时,土鸡和肉鸡的胸腺指数、法氏囊指数、脾指数分别提高29.23%、65.94%、37.25%和35.38%、24.77%、26.62%;③当菊芋茎叶添加量为2%时,对土鸡和肉鸡的IgA、IgG、IgM影响最大,分别提高50.54%、7.77%、45.83%和87.28%、11.23%、33.33%;④当菊芋茎叶添加量为4%和2%时,土鸡和肉鸡的T-AOC、GSH分别提高14.46%、7.42%和94.25%、6.51%,MDA降低43.58%和70.68%;⑤菊芋茎叶添加量为1%和2%时,土鸡和肉鸡鸡肉中鲜味氨基酸分别提高3.23%和4.79%;⑥当菊芋茎叶添加量为2%时,土鸡的饱和脂肪酸降低6.5%,不饱和脂肪酸提高3.55%, $n-6$ PUFA/ $n-3$ PUFA降低78.32%,对肉鸡鸡肉中 $n-6$ PUFA/ $n-3$ PUFA降低15.4%,对肉鸡鸡肉脂肪酸无显著影响($P>0.05$)。因此可知,菊芋茎叶可以一定程度提高鸡的生长性能和免疫性能,改善肉品质。

关键词: 菊芋; 生长性能; 免疫性能; 抗氧化能力; 鸡肉品质

中图分类号: S831

文献标志码: A

文章编号: 1004-3918(2026)01-0060-09

Effects of Jerusalem Artichoke on Growth Performance, Immune Function, Meat Quality of Chickens

HE Ting, FAN Yange, ZHAO Junhong, CAO Changqing, CHEN Shipeng,

WANG Huifeng, HAN Nanfeng, XUE Baoyu

(Institute of Chemistry Co. Ltd., Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Jerusalem artichoke is a promising material for roughage due to its high yield and quality, which is commonly used to feed animals and promote their growth. The bioactive substances in its stems and leaves also have several essential functions, including antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant properties. Therefore, 1%, 2%, and 4% Jerusalem artichoke stems and leaves were added to the feed in this study. Enxi No. 5 native chickens and Lingnan yellow broilers were raised, respectively. This study aimed to investigate the effects of varying amounts of Jerusalem artichoke stems and leaves on the growth performance, immune response, amino acid composition, and

收稿日期: 2025-03-07

修回日期: 2025-07-03

接受日期: 2025-07-24

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102320102);河南省科学院杰青人才培养项目(220403004);河南省科学院项目(240603015, Z20241471138)

作者简介: 何 婷(1989-),女,副研究员,博士,主要研究方向为养殖业新污染物和水污染治理,Email:he68ting@163.com

引用格式: 何婷,樊燕鸽,赵俊宏,等. 菊芋对鸡的生长、免疫性能和肉品质的影响[J]. 河南科学, 2026, 44(1): 60-68.

He T, Fan Y G, Zhao J H, et al. Effects of jerusalem artichoke on growth performance, immune function, meat quality of chickens[J]. Henan Science, 2026, 44(1): 60-68.

fatty acid profile of different chicken breeds. The results show that, ① When the contents of Jerusalem artichoke stems and leaves were 1% and 2%, the average daily gain of native chickens and broilers increased by 3.39% and 3.84%, the feed to weight ratio decreased by 6.01% and 1.66%, respectively; ② When the content of Jerusalem artichoke stems and leaves were 2%, the thymus index, bursa index, spleen index of native chickens and broilers increased by 29.23%, 65.94%, 37.25% and 35.38%, 24.77%, 26.62%, respectively; ③ When the content of Jerusalem artichoke stems and leaves were 2%, the effects on IgA, IgG, IgM of native chickens and broilers were most significant, which increased by 50.54%, 7.77%, 45.83% and 87.28%, 11.23%, 33.33%, respectively; ④ When the contents of Jerusalem artichoke stems and leaves were 4% and 2%, T-AOC, GSH of native chickens and broilers increased by 14.46%, 7.42% and 94.25%, 6.51%, while MDA decreased by 43.58% and 70.68%; ⑤ When the contents of Jerusalem artichoke stems and leaves were 1%, 2%, the fresh amino acids of native chickens and broilers increased by 3.23%, 4.79%, respectively; ⑥ When the content of Jerusalem artichoke stems and leaves were 2% for native chicken, its fatty acids, $n-6PUFA/n-3PUFA$ decreased by 6.5%, 78.32%, its unsaturated fatty acids increased by 3.55%. $n-6PUFA/n-3PUFA$ of broilers decreased 15.4%. However, there was no significant effect on the fatty acids of broilers ($P>0.05$). In summary, the growth performance, immune performance, and meat quality were improved by adding the Jerusalem artichoke stems and leaves.

Key words: Jerusalem artichoke; growth performance; immune function; antioxidant capacity; meat quality

0 引言

菊芋(Jerusalem artichoke)俗称洋姜,属于菊科向日葵属的多年生草本植物,其已被证明在同等肥力的耕地上种植苜蓿和菊芋,菊芋的亩产粗蛋白质(200~300 kg)明显高于苜蓿(138 kg)^[1]。菊芋茎叶粗蛋白质(CP)含量较高,具有可溶性碳水化合物、钙、磷和铁等多种营养素,可有效促进益生菌(如双歧杆菌和韦氏杆菌)的生长,调节肠道菌群,制成干草或青贮可全年饲喂草食家畜,改善动物的免疫功能^[1-2]。此外,菊芋茎叶中富含黄酮类、倍半萜类、酚酸类、氨基酸和多糖等生物活性物质,其具有抗氧化、抗炎、抗肿瘤和抗菌活性,对动物疾病的治疗产生积极作用^[3]。2023年,农业农村部将菊芋及其加工产品纳入《饲料原料目录》,增加菊芋茎秆、叶粉及全株3种新的饲料资源^[3-5]。

在肉鸡养殖业中,提高生长性能、降低养殖成本以及保障动物福利是行业发展的关键目标。农业农村部已发布194号公告,自2020年我国饲料中全面禁止添加抗生素,减少滥用抗生素造成的危害,维护动物源食品安全和公共卫生安全。因此,开发一种既环保无害又对畜禽健康有益的抗生素替代型饲料或添加剂显得至关重要。目前的研究表明,菊芋在动物生产中的应用多集中于块茎干粉及菊糖对动物生产性能与生理机能方面的调控^[1],且已证明菊芋不同部位可用于畜禽养殖,并取得较好结果。研究

发现,在饲料中常见的是添加菊粉、菊芋块茎或其提取物,其可提高山羊^[6]、仔猪^[7]、肉鸡^[8]、蛋鸡^[9]的生长性能或免疫性能。此外,菊芋秸秆也被制作成青贮饲料用于饲养奶牛、绵羊等反刍动物^[10-11],可以作为提高乳品质和机体健康的饲料原料。尽管已有不少关于菊芋在畜禽饲料中添加应用的研究报道,但菊芋茎叶对肉鸡生长发育的影响却知之甚少。因此,本研究旨在采用菊芋茎叶作为饲料添加剂,探讨其对土鸡、肉鸡的生长性能、免疫性能、鸡肉氨基酸和脂肪酸的影响。一方面以期为菊芋在畜禽饲料中的应用提供理论依据;另一方面为寻找和研发绿色、安全、有效的抗生素替代品提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 试验材料 and 设计

试验分为两部分,第一部分是选用50日龄恩系5号(土鸡)180只,随机分为4组,每组3个重复,每个重复15只鸡。第二部分是选用20日龄岭南黄(肉鸡),同样随机分为4组,每组3个重复,每个重复15只鸡。试验分组如表1所示,饲养周期分别为50和30 d。动物试验在河南省郑州市荥阳市某养殖场进行,专用养鸡饲料购买于河南省升元牧丰饲料有限公司,新鲜菊芋茎叶由本团队种植基地提供。

1.2 饲养管理

采用笼养方式饲养于同一舍内,饲养密度根据鸡生长情况酌情安排。自由饮水,采取勤添少喂的

表1 试验鸡的品种和日粮中菊芋茎叶的添加量

Tab.1 The varieties of experimental chickens, the amount of Jerusalem artichoke stems and leaves in their diets				
品种	对照组	试验组 1	试验组 2	试验组 3
恩系 5 号	基础日粮(T0)	菊芋茎叶 1%(T1)	菊芋茎叶 2%(T2)	菊芋茎叶 4%(T4)
岭南黄	基础日粮(R0)	菊芋茎叶 1%(R1)	菊芋茎叶 2%(R2)	菊芋茎叶 4%(R4)

方法。试验期间定时定量给料,舍内保持适宜温度、湿度及通风,保持鸡舍内的卫生。专人负责管理,定期防疫。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长性能

试验开始和结束当日,对鸡进行称重,记录初重和末重,并在试验期间,每周称重一次并记录数据。每天定时记录每组鸡的进料量、采食量、料余量和健康状况,计算平均日增重、平均日采食量和料重比。

1.3.2 免疫器官指数

试验结束当天,从每组试验鸡中随机挑选 3 只鸡,取其胸腺、法氏囊、脾脏等免疫器官,称重,计算免疫器官指数(免疫器官的重量/鸡的体重)。

1.3.3 血清生化指标的测定

试验结束,每组随机抽取 3 只鸡,翅静脉采血 2 mL 于肝素钠采血管,3000 r/min,离心 10 min 取上部血清分装于 1.5 mL 无酶离心管中,置于-20 ℃冰箱留存备用。采用免疫比浊试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定血清中的免疫球蛋白 A(IgA)、免疫球蛋白 M(IgM)和免疫球蛋白 G(IgG)含量^[12];丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和总抗氧化能力(T-AOC)试剂盒,购自南京建成生物科技有限公司^[13]。

1.3.4 鸡肉氨基酸和脂肪酸

氨基酸采用全自动氨基酸分析仪(L-8900 型,

日本日立公司)进行测定,具体方法参照《食品中氨基酸的测定》(GB/T 5009.124—2003);脂肪酸采用气相色谱-质谱法进行测定,参照《食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168—2016)。其中,Agilent 6890 毛细管气相色谱柱(30 m×0.25 mm I.D, 0.2 μm);火焰离子化检测温度:260 ℃;柱温 150 ℃保持 2 min,3 ℃/min 升至 180 ℃后保持 5 min,以 4 ℃/min 升温至 240 ℃后保持 18 min;载气为 N₂ (20 mL/min)。

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 27.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA),组间出现显著差异($P<0.05$),再用 Duncan 氏法进行多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。数据以“平均值±标准误差”形式表示。

2 结果

2.1 日粮中添加菊芋茎叶对土鸡和肉鸡生长性能的影响

由表 2 可知,试验选用的土鸡和肉鸡的初始体重均无显著差异($P>0.05$)。与对照组相比,日粮中添加菊芋茎叶后,土鸡的末重不存在显著差异($P>0.05$)和平均日增重存在显著差异($P<0.05$),平均日采食量存在差异($P<0.05$),料重比不存在显著差异($P>0.05$)。1% 菊芋茎叶使土鸡的平均日增重提高 3.39%,平均日采食量降低 1.81%,料重比降低

表2 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡生长性能的影响

Tab.2 The effects of Jerusalem artichoke stems and leaves on the growth performance of native and broiler chicken					
分组	初重/g	末重/g	平均日增重/g	平均日采食量/g	料重比
T0	453.81±14.51	1 133.07±66.67	13.86±1.06 ^b	81.32±1.62 ^{ab}	5.99±0.39 ^{ab}
T1	455.25±9.50	1 168.86±36.09	14.33±0.53 ^a	79.85±1.98 ^b	5.63±0.23 ^b
T2	446.12±13.81	1 147.39±49.70	14.02±0.73 ^{ab}	83.31±1.17 ^a	5.94±0.25 ^{ab}
T4	447.10±10.37	1 118.89±31.57	13.43±0.44 ^b	84.19±0.96 ^a	6.26±0.13 ^a
P值	0.411	0.136	0.038	0.025	0.13
R0	171.82±5.63	827.72±13.31 ^{bc}	21.86±0.46 ^{bc}	65.60±1.05	3.01±0.11 ^{ab}
R1	173.49±9.51	810.22±38.65 ^c	21.22±1.22 ^c	66.91±1.21	3.15±0.08 ^a
R2	172.27±11.62	853.29±26.63 ^{bc}	22.70±0.55 ^a	67.05±1.38	2.96±0.11 ^b
R4	177.09±10.06	849.91±32.59 ^{ab}	22.41±1.21 ^{ab}	67.34±1.32	3.00±0.02 ^{ab}
P值	0.409	0.004	0.003	0.158	0.115

注:上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

6.01%。与对照组相比,日粮中添加菊芋茎叶后,肉鸡的末重和平均日增重存在显著差异($P<0.05$),平均日采食量和料重比不存在显著差异($P>0.05$)。日粮中添加2%菊芋茎叶,肉鸡的平均日增重提高3.84%,平均日采食量提高2.21%,料重比降低1.66%。

2.2 日粮中添加菊芋茎叶对土鸡和肉鸡免疫器官指数的影响

表3结果表明,日粮中添加菊芋茎叶后,土鸡和肉鸡的免疫器官指数均有不同程度的提高,胸腺、法氏囊、脾指数随菊芋茎叶添加量的增加而先升高再降低。土鸡T2处理的三个免疫器官指数均与对照组存在显著差异($P<0.05$)。肉鸡的各处理与对照组均胸腺指数存在显著差异($P<0.05$),法氏囊和脾指数不存在显著差异($P>0.05$)。日粮中菊芋茎叶的最佳添加量为2%,分别使土鸡和肉鸡的胸腺指数、法氏囊指数、脾指数提高29.23%、65.94%、37.25%和35.38%、24.77%、26.62%。

表3 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡免疫器官指数的影响

Tab.3 The effects of Jerusalem artichoke stems and leaves on the immune organ index of native and broiler chicken

分组	胸腺指数	法氏囊指数	脾指数
T0	2.60±0.04 ^b	1.38±0.03 ^b	1.53±0.13 ^b
T1	2.97±0.01 ^{ab}	2.02±0.13 ^a	1.55±0.05 ^b
T2	3.36±0.37 ^a	2.29±0.15 ^a	2.10±0.15 ^a
T4	3.11±0.22 ^{ab}	1.64±0.15 ^b	1.64±0.12 ^b
P值	0.098	0.007	0.024
R0	1.95±0.10 ^c	2.22±0.16	1.54±0.45
R1	2.35±0.07 ^b	2.71±0.28	1.40±0.08
R2	2.64±0.06 ^a	2.77±0.12	1.95±0.07
R4	2.36±0.07 ^b	2.74±0.20	1.83±0.04
P值	0.004	0.121	0.221

注:上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 日粮中添加菊芋茎叶对土鸡和肉鸡血清免疫球蛋白的影响

如表4所示,与对照组相比,试验组的IgA、IgG和IgM均有不同程度的提高,土鸡和肉鸡受影响趋势一致。日粮中添加菊芋茎叶后,土鸡T2和T4处理的IgA、IgM与对照组存在显著差异($P<0.05$),而T1和T2处理IgG与对照组存在显著差异($P<0.05$)。肉鸡各处理IgA提高显著($P<0.05$),R2处理的IgG和IgM提高也达到显著。因此,添加2%菊芋茎叶对土鸡和肉鸡IgA、IgG和IgM含量影响最大,分别提高

50.54%、7.77%、45.83%和87.28%、11.23%、33.33%,其中2%菊芋茎叶对土鸡和肉鸡的血清免疫球蛋白的提高效果表现最佳。

2.4 日粮中添加菊芋茎叶对土鸡和肉鸡血清抗氧化指标的影响

表5所示,与对照组相比,土鸡试验组T-AOC、GSH不存在显著差异($P>0.05$),SOD、MDA存在显著差异($P<0.05$)。添加4%菊芋茎叶添加量使土鸡血清中的T-AOC、GSH提高14.46%、7.42%,MDA降低43.58%。菊芋茎叶对肉鸡血清指标的影响更显著,T-AOC、GSH、MDA存在显著差异($P<0.05$),SOD不存在显著差异($P>0.05$),添加2%菊芋茎叶使T-AOC、GSH提高94.25%、6.51%,MDA降低70.68%。

表4 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡血清免疫球蛋白含量的影响

Tab.4 Effects of Jerusalem artichoke stems and leaves on serum immunoglobulin content in native and broiler chicken 单位:g/L

分组	IgA	IgG	IgM
T0	1.84±0.08 ^b	63.67±0.93 ^b	0.48±0.02 ^b
T1	1.88±0.08 ^b	66.29±1.25 ^a	0.52±0.03 ^b
T2	2.77±0.19 ^a	68.62±1.12 ^a	0.70±0.05 ^a
T4	2.45±0.33 ^a	63.90±1.85 ^b	0.66±0.02 ^a
P值	0.024	0.057	0.006
R0	1.73±0.11 ^c	60.52±1.46 ^b	0.57±0.05 ^b
R1	2.26±0.19 ^b	62.76±0.59 ^b	0.55±0.03 ^b
R2	3.24±0.28 ^a	67.32±2.20 ^a	0.76±0.01 ^a
R4	2.49±0.11 ^b	56.11±0.71 ^c	0.62±0.08 ^{ab}
P值	0.006	0.006	0.046

注:上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表5 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡血清抗氧化能力的影响

Tab.5 Effects of Jerusalem artichoke stems and leaves on serum antioxidant capacity of native and broiler chicken

组别	T-AOC	SOD/ (U·mL ⁻¹)	GSH/ (μmol·L ⁻¹)	MDA/ (μmol·L ⁻¹)
T0	1.59±0.36	156.21±3.04 ^a	23.30±2.96	5.69±0.56 ^a
T1	1.56±0.04	136.37±5.99 ^b	22.69±1.39	3.32±0.39 ^b
T2	1.70±0.16	155.81±0.49 ^a	24.78±5.40	3.72±0.22 ^b
T4	1.82±0.01	142.34±6.15 ^b	25.03±0.52	3.21±0.19 ^b
P值	0.599	0.027	0.854	0.008
R0	0.87±0.23 ^b	154.28±5.13 ^a	49.32±4.18 ^a	3.82±0.06 ^a
R1	0.88±0.01 ^b	148.36±4.01 ^{ab}	51.29±1.04 ^a	1.79±0.06 ^b
R2	1.69±0.01 ^a	151.18±3.39 ^a	52.53±1.05 ^a	1.12±0.04 ^c
R4	1.46±0.01 ^a	137.74±4.05 ^b	40.94±0.35 ^b	1.26±0.37 ^{bc}
P值	0.004	0.060	0.021	<0.001

注:上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 日粮中添加菊芋茎叶对土鸡和肉鸡鸡肉中氨基酸含量的影响

试验结束后,检测了土鸡和肉鸡鸡胸肉中的16种氨基酸。如表6所示,土鸡组,与对照组相比,仅脯氨酸存在显著差异($P<0.05$),其余氨基酸不存在显著差异($P>0.05$)。添加1%菊芋茎叶后,鸡肉中的非必需氨基酸、必需氨基酸、鲜味氨基酸和总氨基酸均最佳,分别为较对照组提高了3.99%、6.85%、3.23%、5.06%,且5种鲜味氨基酸和7种必需氨基酸均有所提高。肉鸡组,与对照组相比,丝氨酸和精氨酸存在显著差异($P<0.05$),其他氨基酸不存在显著差异($P>0.05$)。添加2%菊芋茎叶后,鸡肉中的非必需氨基酸、必需氨基酸、鲜味氨基酸和总氨基酸分别较对照组分别提高6.34%、4.21%、4.79%、5.56%,且所有鲜味氨基酸和除苏氨酸外的所有必需氨基酸含量均最佳。

2.6 日粮中添加菊芋茎叶对土鸡和肉鸡鸡肉脂肪酸含量的影响

如表7所示,从土鸡和肉鸡的鸡胸肉中检测出15种脂肪酸。土鸡组,与对照组相比,C13:0、C15:1、C20:2、C18:2n6c、C18:3n3存在显著差异($P<0.05$),其他无显著差异($P>0.05$)。添加菊芋茎叶的试验组,其鸡肉饱和脂肪酸中的C18:0和C21:0含量降低;不饱和脂肪酸中的C14:1、C15:1、C16:1、C20:1、C18:1n9c、C18:3n3含量增加。添加1%和2%菊芋茎叶,饱和脂肪酸相较对照组分别降低2.57%、6.5%,不饱和脂肪酸提高1.41%、3.55%;添加2%菊芋茎叶,必需脂肪酸增加18.27%。肉鸡方面,添加菊芋茎叶后,与对照组相比,鸡肉中的C13:0、C21:0、C15:1、C16:1、C24:1、C18:1n9c、C20:2、C18:2n6c、C20:3存在显著差异($P<0.05$),其他无显著差异($P>0.05$)。总饱和脂肪酸含量增加,总不饱和脂肪酸含量降低,但不存在显著差异($P>0.05$),多不饱和脂肪

表6 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡鸡肉氨基酸含量的影响

Tab.6 The effects of Jerusalem artichoke stems and leaves on amino acid content in native and broiler chicken

单位:g/100 g

组别	非必需氨基酸									非必需氨基酸总和
	天冬氨酸*	丝氨酸	谷氨酸*	脯氨酸	丙氨酸*	精氨酸*	酪氨酸	甘氨酸*	组氨酸	
T0	2.10±0.19	0.72±0.05	3.53±0.27	1.09±0.01 ^b	1.70±0.08	1.71±0.09	1.02±0.06	1.17±0.09	0.97±0.08	14.02±0.74
T1	2.23±0.07	0.73±0.01	3.70±0.11	1.27±0.01 ^a	1.78±0.06	1.74±0.05	1.09±0.03	1.10±0.02	0.94±0.03	14.58±0.33
T2	2.15±0.01	0.72±0.01	3.56±0.02	0.98±0.03 ^c	1.67±0.02	1.70±0.01	0.99±0.02	1.04±0.02	0.92±0.01	13.70±0.14
T4	2.17±0.04	0.68±0.03	3.60±0.05	1.34±0.05 ^a	1.78±0.01	1.72±0.03	1.06±0.03	1.17±0.05	0.87±0.01	14.39±0.11
P值	0.705	0.581	0.698	<0.01	0.171	0.845	0.168	0.119	0.233	0.296
R0	1.92±0.06	0.72±0.01 ^{ab}	3.39±0.13	0.70±0.04	1.57±0.03	1.49±0.06 ^b	0.78±0.02 ^b	1.01±0.04	0.84±0.01	12.45±0.01
R1	1.95±0.15	0.70±0.02 ^{bc}	3.32±0.11	0.89±0.07	1.55±0.09	1.51±0.03 ^b	0.87±0.04 ^{ab}	0.94±0.08	0.87±0.01	12.60±0.94
R2	2.07±0.01	0.76±0.01 ^a	3.46±0.03	0.91±0.06	1.63±0.01	1.64±0.01 ^a	0.84±0.01 ^{ab}	1.04±0.08	0.89±0.07	13.24±0.11
R4	2.03±0.03	0.68±0.01 ^c	3.36±0.03	1.14±0.03	1.61±0.03	1.59±0.01 ^{ab}	0.98±0.10 ^a	0.98±0.03	0.89±0.01	13.25±0.21
P值	0.397	0.01	0.507	0.505	0.559	0.038	0.115	0.531	0.602	0.341
组别	必需氨基酸							必需氨基酸总和	鲜味氨基酸	总氨基酸
	苏氨酸	缬氨酸	蛋氨酸	异亮氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸	赖氨酸			
T0	0.85±0.06	1.07±0.12	0.63±0.08	1.08±0.09	1.87±0.15	1.18±0.11	2.19±0.18	8.90±0.79	10.22±0.54	22.92±1.53
T1	0.93±0.02	1.20±0.03	0.72±0.03	1.15±0.03	1.97±0.06	1.25±0.02	2.28±0.08	9.51±0.27	10.55±0.31	24.08±0.60
T2	0.87±0.02	1.11±0.01	0.68±0.01	1.13±0.01	1.90±0.02	1.21±0.02	2.23±0.02	9.15±0.11	10.10±0.08	22.85±0.25
T4	0.88±0.03	1.18±0.03	0.70±0.02	1.12±0.03	1.90±0.04	1.20±0.03	2.21±0.05	9.19±0.23	10.44±0.08	23.58±0.35
P值	0.413	0.317	0.366	0.636	0.727	0.669	0.809	0.62	0.54	0.498
R0	0.91±0.07	0.98±0.10	0.56±0.03 ^a	0.99±0.02	1.83±0.09	1.14±0.01	2.01±0.07	8.42±0.06	9.39±0.21	20.87±0.08
R1	0.86±0.03	1.01±0.09	0.59±0.04	1.01±0.05	1.79±0.04	1.11±0.04	2.03±0.09	8.39±0.41	9.27±0.42	20.98±1.35
R2	0.86±0.01	1.11±0.01	0.64±0.01	1.05±0.01	1.84±0.01	1.14±0.01	2.16±0.03	8.79±0.06	9.84±0.05	22.03±0.17
R4	0.85±0.00	1.09±0.01	0.6±0.03 ^a	1.04±0.03	1.81±0.03	1.13±0.01	2.10±0.03	8.65±0.15	9.56±0.08	21.90±0.37
P值	0.47	0.392	0.156	0.3	0.811	0.611	0.22	0.355	0.239	0.353

注:“*”鲜味氨基酸,包括天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、精氨酸、甘氨酸。上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表7 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡鸡肉脂肪酸含量的影响

Tab.7 The effect of Jerusalem artichoke stems and leaves on fatty acid content in native and broiler chicken

单位:mg/g

组别	不饱和脂肪酸									
	肉豆蔻烯酸 C14:1	十五碳烯酸 C15:1	棕榈油酸 C16:1	二十碳一烯酸 C20:1	二十四碳烯酸 C24:1	油酸 C18:1n9c	二十碳二烯酸 C20:2	亚油酸 C18:2n6c [#]	花生三烯酸 C20:3	α-亚麻酸 C18:3n3 [#]
T0	0.20±0.03	1.63±0.05 ^b	3.05±0.15	0.48±0.06	0.86±0.07	31.00±1.41	1.36±0.10 ^a	17.85±0.64 ^{ab}	7.09±0.86	0.38±0.03 ^b
T1	0.27±0.06	2.08±0.18 ^a	3.39±0.31	0.62±0.17	0.83±0.10	35.70±2.54	0.34±0.01 ^b	14.55±0.91 ^b	6.21±1.00	0.83±0.16 ^b
T2	0.22±0.01	1.52±0.11 ^b	3.04±0.14	0.54±0.19	0.67±0.07	33.20±0.42	0.29±0.02 ^b	19.60±1.98 ^a	5.14±0.34	1.96±0.34 ^a
T4	0.22±0.04	1.79±0.03 ^{ab}	3.47±0.13	0.55±0.01	0.75±0.06	34.10±3.53	0.35±0.03 ^b	15.40±0.71 ^b	5.82±0.44	0.43±0.05 ^b
P值	0.606	0.025	0.192	0.787	0.231	0.353	<0.001	0.04	0.193	0.003
R0	0.19±0.02	1.40±0.09 ^a	5.47±0.18 ^a	0.51±0.03	1.30±0.00 ^a	35.35±2.05 ^{bc}	0.42±0.00 ^a	15.90±0.42 ^a	3.94±0.34 ^a	0.46±0.05
R1	0.15±0.00	1.39±0.01 ^a	4.47±0.37 ^b	0.58±0.07	0.79±0.02 ^b	33.60±0.5 ^c	0.43±0.01 ^a	16.50±0.42 ^a	4.44±0.19 ^a	0.45±0.06
R2	0.15±0.03	0.68±0.02 ^b	5.09±0.13 ^{ab}	0.61±0.08	0.40±0.06 ^c	41.00±1.98 ^a	0.25±0.05 ^b	13.65±0.35 ^b	2.06±0.17 ^b	0.46±0.00
R4	0.17±0.05	0.24±0.04 ^c	5.34±0.20 ^a	0.56±0.00	0.39±0.02 ^c	39.20±1.13 ^{ab}	0.25±0.05 ^b	14.10±0.42 ^b	2.43±0.44 ^b	0.48±0.06
P值	0.568	<0.001	0.048	0.421	<0.001	0.027	0.013	0.006	0.004	0.927
组别	饱和脂肪酸					必需脂肪酸	饱和脂肪酸总数	不饱和脂肪酸总数	多不饱和脂肪酸总数	n-6PUFA/n-3PUFA
	十三碳酸 C13:0	肉豆蔻酸 C14:0	棕榈酸 C16:0	硬脂酸 C18:0	二十一碳酸 C21:0					
T0	0.41±0.05 ^b	0.51±0.05	22.70±1.27	11.60±0.28	0.92±0.14 ^a	18.23±0.66 ^{ab}	36.14±0.86 ^{ab}	63.91±1.12	26.68±0.30 ^a	46.45±2.10 ^a
T1	0.66±0.06 ^a	0.72±0.12	22.75±0.35	10.38±0.59	0.71±0.12 ^{ab}	15.38±0.76 ^b	35.21±0.54 ^{ab}	64.81±0.94	21.93±1.75 ^b	18.04±4.59 ^c
T2	0.43±0.07 ^b	0.60±0.10	21.95±0.64	10.18±0.45	0.63±0.073 ^b	21.56±2.32 ^a	33.79±1.33 ^b	66.18±2.27	26.98±1.96 ^a	10.07±0.75 ^c
T4	0.40±0.017 ^b	0.58±0.043	24.10±1.55	11.30±0.99	0.76±0.03 ^{ab}	15.83±0.76 ^b	37.14±0.59 ^a	62.89±3.46	22.01±0.35 ^b	36.06±2.75 ^b
P值	0.024	0.253	0.365	0.212	0.155	0.029	0.07	0.551	0.031	<0.001
R0	0.29±0.02 ^{ab}	0.49±0.09	24.40±0.85	8.96±1.02 ^a	0.90±0.13 ^{ab}	16.36±0.37 ^a	35.04±0.24	64.94±1.37 ^b	20.72±0.71 ^a	34.93±5.01
R1	0.32±0.05 ^a	0.54±0.03	24.30±1.27	10.98±0.31 ^a	0.97±0.16 ^a	16.95±0.36 ^a	37.11±0.78	62.81±0.26 ^a	21.82±0.57 ^a	36.87±5.94
R2	0.16±0.02 ^b	0.56±0.02	25.25±1.34	9.66±0.12 ^a	0.53±0.10 ^c	14.11±0.35 ^b	36.17±1.33	64.36±2.05 ^a	16.43±0.13 ^b	29.55±0.94
R4	0.18±0.08 ^b	0.54±0.00	25.45±0.07	9.61±0.97 ^a	0.60±0.00 ^{bc}	14.58±0.48 ^b	36.38±0.97	63.16±1.10 ^a	17.26±0.01 ^b	29.30±2.71
P值	0.072	0.492	0.619	0.179	0.042	0.005	0.297	0.484	<0.001	0.304

注:“[#]”必需脂肪酸;上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

酸总数存在显著差异($P<0.05$)。当日粮中添加2%和4%菊芋茎叶,其鸡肉中n-6PUFA/n-3PUFA分别降低15.4%和16.22%。菊芋茎叶添加量1%,肉鸡的必需脂肪酸提高3.61%。

3 讨论

3.1 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡生长性能的影响

菊芋的不同部位含有不同营养成分,并已有研究证明菊芋不同部位均可用于畜禽养殖,并能提高动物的生产性能。研究发现日粮中添加菊粉可提高海兰褐蛋鸡的产蛋率^[14]、日增重和存活率^[15];日粮中添加15%菊芋粕,可显著提高小尾寒羊的体重和体长^[16];肉鸡日粮中添加菊芋提取物(总黄酮类化合物和菊粉)可提高肉鸡的日增重和降低料重比^[8]。本试验结果与之一致,添加菊芋茎叶可提高土鸡和肉鸡的日增重,降低料重比,但无明显差异,可能是菊芋茎叶

中的粗蛋白质(CP)和钙(Ca)含量突出^[1],改善了雏鸡肠道内的微生物种群,促进了有益菌的生长,抑制了有害菌的滋长,改善了肠道微生物平衡。

3.2 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡免疫器官、血清免疫球蛋白和抗氧化能力的影响

免疫器官作为发挥免疫功能的主体,其重量的增加在一定程度上表明机体的免疫机能提高^[17]。血清中免疫球蛋白是衡量鸡机体免疫水平的重要指标,T-AOC、GSH-Px、SOD活性可以反映抗氧化系统对外来刺激的应对能力,MDA间接表明细胞损伤的程度^[18]。此前已有研究发现添加菊粉可提高蛋鸡的胸腺、脾脏、法氏囊免疫器官指数,也可提高IgA、IgM和IgG^[14-15];奶牛日粮中添加10%青贮菊芋秸秆,提高了血清中GSH-Px和SOD活性^[19]。本研究发现不同添加量的菊芋茎叶对土鸡、肉鸡的免疫器官指数、血清免疫球蛋白(IgA、IgM和IgG)、血清抗氧化能力(GSH-Px、SOD、T-AOC)均有提高。与之

前研究结果一致,其可能原因是菊芋茎叶含黄酮类、酚酸类和倍半萜类化合物等生物活性物质,能有效参与抗氧化、抗肿瘤、抗炎、抗菌等生物过程^[20]。

3.3 菊芋茎叶对土鸡和肉鸡鸡肉风味物质的影响

氨基酸是影响鸡肉品质的重要因素,其种类与肌肉的品质和风味密切相关^[21-22]。鲜味氨基酸为天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、精氨酸、甘氨酸^[21]。本研究中菊芋茎叶添加量为1%(土鸡)和2%(肉鸡)时,土鸡、肉鸡鸡肉中必需氨基酸、鲜味氨基酸、总氨基酸含量分别增加6.85%、3.23%、5.06%和4.39%、4.79%、5.56%,其原因可能与菊芋茎叶中含有大量的黄酮类等活性物质,对菊芋茎叶组的营养吸收可能会产生一定的影响有关,但具体机制有待进一步研究^[23]。赖氨酸是人乳中第一限制性氨基酸^[24],本研究添加菊芋茎叶后,土鸡和肉鸡中的赖氨酸含量均有不同程度的增加,说明鸡肉对人来说具有较高的营养价值^[23]。

肌肉脂肪酸的组成和种类是评价肉质营养价值的重要指标,同时对鸡肉的风味也有着重要的影响^[25],不饱和脂肪酸含量越高,风味越佳,适口性越好^[26-27],此外PUFA在调节脂质代谢、免疫调节、预防心血管疾病等方面发挥着重要作用。降低n-6/n-3比例,可以降低心血管疾病的发生率^[21]。本试验结果表明,添加1%和4%的菊芋茎叶,可降低土鸡的PUFA,2%和4%菊芋茎叶可降低肉鸡的PUFA。综上所述,添加菊芋茎叶可一定程度改善土鸡和肉鸡鸡肉中的脂肪酸含量。

4 结论

本研究在基础日粮中添加菊芋茎叶饲喂土鸡和肉鸡,得出以下结论:①显著提高土鸡和肉鸡的免疫器官指数、血清免疫球蛋白和部分指标血清抗氧化能力($P<0.05$);②对土鸡和肉鸡鸡胸肉中的氨基酸含量影响不显著($P>0.05$),当菊芋茎叶添加量为1%,土鸡非必需氨基酸、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量均最高;2%时,肉鸡的非必需氨基酸、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量均最高;③添加菊芋茎叶后,土鸡的必需脂肪酸、饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸和n-6PUFA/n-3PUFA存在显著差异($P<0.05$),肉鸡的必需脂肪酸和多不饱和脂肪酸存在显著差异($P<0.05$);④菊芋茎叶具有部分取代抗生素饲养土鸡和肉鸡的潜力。

参考文献:

[1] 汪悦,刘君,晏国生,等. 菊芋作为饲料原料的品种选育、营养价值及其饲用效果研究进展[J]. 中国饲料, 2020(19):106-114.
Wang Y, Liu J, Yan G S, et al. The research progress on variety breeding, nutritional value and feeding effect of Jerusalem artichoke as feedstuff[J]. China Feed, 2020(19): 106-114.

[2] 路顺萍,陈雪文,李龙龙,等. 菊芋饲料的活性成分、营养价值及其在畜禽生产中的应用[J]. 中国畜牧杂志, 2025,61(2):32-37.
Lu S P, Chen X W, Li L L, et al. Research progress on the active ingredients, nutritional value, and application in livestock and poultry production of Jerusalem artichoke feed[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2025, 61(2): 32-37.

[3] 汪悦,薛夫光,蒋林树,等. 菊芋饲料的营养价值、生物活性及其对动物生理功能的调控作用[J]. 动物营养学报, 2020,32(2):497-507.
Wang Y, Xue F G, Jiang L S, et al. Nutritional value and biological activity of Jerusalem artichoke feed and its regulation effects on animal physiological function [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(2): 497-507.

[4] 熊本海,罗清尧,赵峰,等. 中国饲料成分及营养价值表(2021年第32版)制订说明[J]. 中国饲料, 2021(23):97.
Xiong B H, Luo Q Y, Zhao F, et al. Introduction of tables of feed composition and nutritive values in China (2021 thirty-second edition)[J]. China Feed, 2021(23):97.

[5] 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所/畜禽营养与饲养全国重点实验室,中国饲料数据库情报网中心,国家农业科学数据中心(动物科学). 中国饲料成分及营养价值表(2024年第35版)制订说明[J]. 中国饲料, 2024, 21:181.
Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences/National Key Laboratory of Animal Nutrition and Feeding, China Feed Database Information Center, National Agricultural Science Data Center (Animal Science). Compilation instructions for tables of feed composition and nutritive values in China (35th edition, 2024)[J]. China Feed, 2024, 21:181.

[6] 梁雪,赵芳芳,刘巧玲,等. 添加菊粉和单宁后肉羊的生长、屠宰性能及肉品质[J]. 草业科学, 2022, 39(7): 1459-1465.
Liang X, Zhao F F, Liu Q L, et al. Growth, slaughter performance, and meat quality of Mutton sheep after add inulin and tannin [J]. Pratacultural Science, 2022, 39(7): 1459-1465.

- [7] Grela E R, Sobolewska S, Kowalczyk-Vasilev E, et al. Effect of dietary inulin source on piglet performance, immunoglobulin concentration, and plasma lipid profile[J]. Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy, 2014, 58(3): 453-458.
- [8] 王亚锴. 菊芋提取物对肉鸡生产性能、肉品质及免疫器官的影响[D]. 洛阳:河南科技大学, 2013.
- Wang Y K. The effects of Jerusalem artichoke extract on production performance, meat quality and immune organs of broilers[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013.
- [9] 程素彩, 郭增志, 路国强, 等. 添加菊芋全粉对蛋鸡育雏期采食量和免疫力的影响[J]. 中国畜禽种业, 2021, 17(9): 58-59.
- Cheng S C, Guo Z Z, Lu G Q, et al. Effects of dietary supplementation with whole Jerusalem artichoke powder on feed intake and immunity of laying hens during the brooding period[J]. China Livestock and Poultry Breeding, 2021, 17(9): 58-59.
- [10] Papi N, Kafilzadeh F, Fazaeli H. Effects of incremental substitution of maize silage with Jerusalem artichoke silage on performance of fat-tailed lambs[J]. Small Ruminant Research, 2017, 147: 56-62.
- [11] Papi N, K afilzadeh F, Fazaeli H. Use of Jerusalem artichoke aerial parts as forage in fat-tailed sheep diet[J]. Small Ruminant Research, 2019, 174: 1-6.
- [12] 刘英豪, 陈星, 李晓珍, 等. 蜈蚣草提取物对肉鸡生长性能、屠宰性能、抗氧化能力和免疫功能的影响[J]. 中国家禽, 2025, 47(5): 49-54.
- Liu Y H, Chen X, Li X Z, et al. Effect of centipede herb extract on growth performance, slaughter performance, antioxidant capacity and immune function of broiler chickens[J]. China Poultry, 2025, 47(5): 49-54.
- [13] 张煜, 崔雨葳. 丝兰皂苷对肉鸡生长性能、免疫力及抗氧化功能的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(21): 52-56.
- Zhang Y, Cui Y W. Effects of Yucca saponin on growth performance, immunity, and antioxidant function of broilers[J]. Feed Research, 2024, 47(21): 52-56.
- [14] 李禹涛, 王治家, 吴媛媛, 等. 日粮添加菊芋全粉对蛋鸡生产性能、血清指标和肠道菌群的影响[J]. 山东畜牧兽医, 2024, 45(11): 27-30.
- Li Y T, Wang Z J, Wu Y Y, et al. Effects of dietary inclusion of Jerusalem artichoke whole powder on production performance, serum indices, and gut microbiota of laying hens[J]. Shandong Journal of Animal Science and Veterinary Medicine, 2024, 45(11): 27-30.
- [15] 上官明军, 王芳, 张红岗, 等. 菊粉对蛋雏鸡生长性能、免疫器官指数和血清免疫球蛋白的影响[J]. 动物营养学报, 2009, 21(1): 118-122.
- Shangguan M J, Wang F, Zhang H G, et al. Effects of inulin on growth performance, immune organs indices and serum immunoglobulin of laying chicklings[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2009, 21(1): 118-122.
- [16] 王水旺, 韩向敏. 不同比例的菊芋粕日粮对羔羊生长发育及瘤胃内环境的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(2): 48-54.
- Wang S W, Han X M. Effects of different proportion of *Helianthus tuberosus* diets on growth and rumen environment of weaning lamb[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2014, 49(2): 48-54.
- [17] 姜同泉, 朱绍辉, 亓鹏, 等. 日粮中添加黄芪粉对白羽肉鸡生长性能和免疫功能的影响[J]. 家禽科学, 2022, 44(6): 16-20.
- Jiang T Q, Zhu S H, Qi P, et al. Effects of *Astragalus powder* in diet on growth performance and immune function of white-feathered broilers[J]. Poultry Science, 2022, 44(6): 16-20.
- [18] 李欣, 汲高丽. 紫苏籽提取物对肉鸡生长性能、血清抗氧化和免疫功能的影响[J]. 饲料研究, 2022, 45(12): 32-35.
- Li X, Ji G L. Effects of *Perilla* seed extract on growth performance, serum antioxidant capacity, and immune function in broilers[J]. Feed Research, 2022, 45(12): 32-35.
- [19] 杨立杰, 杨在宾, 姜淑贞, 等. 菊芋茎秆对荷斯坦奶牛泌乳性能及抗氧化能力的影响[J]. 饲料工业, 2017, 38(13): 47-50.
- Yang L J, Yang Z B, Jiang S Z, et al. The effects of *Helianthus tuberosus* on milk performance and oxidation resistance of Holstein-Friesian[J]. Feed Industry, 2017, 38(13): 47-50.
- [20] Yuan X Y, Gao M Z, Xiao H B, et al. Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves[J]. Food Chemistry, 2012, 133(1): 10-14.
- [21] 罗韦, 李辉, 叶涛, 等. 绿茶渣对赤水乌骨鸡肌肉中氨基酸和脂肪酸含量的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(7): 251-257.
- Luo W, Li H, Ye T, et al. The impact of green tea dregs on the amino acid and fatty acid content in the muscles of Chishui Wugu chicken[J]. Chinese Journal of Animal Science, 2022, 58(7): 251-257.
- [22] 巨晓军, 章明, 单艳菊, 等. 鸡肉品质分析及关键风味物质和基因的筛选[J]. 中国农业科学, 2023, 56(9): 1813-1826.
- Ju X J, Zhang M, Shan Y J, et al. Chicken quality analysis and screening of key flavor substances and genes[J]. Science

entia Agricultura Sinica,2023,56(9):1813-1826.

[23] 章杰,武秋申,揭晓蝶,等. 不同纤维源日粮对四川白鹅肉品质及氨基酸含量的影响[J]. 中国畜牧兽医,2020,47(3):736-743.

Zhang J, Wu Q S, Jie X D, et al. Effects of different dietary fiber source on the meat quality and amino acid content of Sichuan white geese [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2020,47(3):736-743.

[24] Seifter E. Amino acid function in treatment [J]. Surgery 1978,84:224-227.

[25] 李文嘉,孙全友,魏凤仙,等. 饲养方式对北京油鸡生长和屠宰性能、肉品质以及肌肉脂肪酸含量的影响[J]. 动物营养学报,2019,31(4):1585-1595.

Li W J, Sun Q Y, Wei F X, et al. Effects of different feeding patterns on growth and slaughter performance, meat quality and muscular fatty acid content of Beijing-You chickens [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(4):1585-1595.

[26] 张建伟,宫晓玮,王梁,等. 日粮添加地顶孢霉培养物对北京油鸡屠宰性能、肌肉氨基酸和脂肪酸含量的影响[J]. 中国家禽,2019,41(22):32-36.

Zhang J W, Gong X W, Wang L, et al. Effects of dietary *Acremonium terricola* culture on slaughter performance, muscular amino acid and fatty acid content of Beijing-You chicken [J]. China Poultry, 2019, 41(22):32-36.

[27] 贾代汉,杜明芳,计伟,等. 裂壶藻粉对青脚麻鸡生长性能、脂质代谢和抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2025,37(6):3697-3712.

Jia D H, Du M F, Ji W, et al. Effects of *Schizochytrium* powder on growth performance, lipid metabolism and antioxidant function of partridge shank chickens [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2025, 37(6):3697-3712.

(编辑 郑壮丽)