

吕绍娟, 杨燕, 王振南, 等. 花椒饲料化开发及其在畜禽生产中的应用研究进展 [J]. 畜牧与兽医, 2026, 58 (8): 147-152.

LÜ S J, YANG Y, WANG Z N, et al. Progress in research on feed development of Chinese prickly ash and its application in livestock and poultry production [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2026, 58 (8): 147-152.

花椒饲料化开发及其在畜禽生产中的应用研究进展

吕绍娟¹, 杨燕², 王振南^{1*}, 吕慎金^{1*}

(1. 临沂大学国际生物资源应用学院/农林科学学院, 山东 临沂 276000;

2. 临沂市农业科学院, 山东 临沂 276000)

摘要: 花椒是一种重要经济作物, 种植面积现已覆盖包括中国在内的全球多个国家和地区, 且产量大、资源丰富, 但其利用率较低, 大部分被焚烧处理或被当成废弃物丢弃。据研究显示, 花椒及其副产品中含有丰富的粗灰分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维等营养物质以及醇类、酰胺、黄酮、多糖等生物化学成分。因此, 对花椒及其副产品进行充分利用, 避免了资源浪费与环境污染; 推动了花椒产业的绿色发展, 拓展了非常规饲料来源; 减少了我国对传统饲料的过度依赖、应对了“人畜争粮”局面的出现; 显著增加了畜禽的抗氧化性能、生产性能、免疫作用等。本文围绕花椒及其副产品的饲料化原理及其对畜禽生理功能的影响以及在不同畜禽生产中的应用现状进行综述, 旨在为花椒及其副产品科学开发和利用提供参考。

关键词: 花椒; 花椒副产品; 畜禽生产; 非常规饲料

中图分类号: S816 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2026)08-0147-06

Progress in research on feed development of Chinese prickly ash and its application in livestock and poultry production

LÜ Shaojuan¹, YANG Yan², WANG Zhennan^{1*}, LÜ Shenjin^{1*}

(1. International School of Bioresource Application/College of Agriculture and Forestry Sciences, Linyi University, Linyi 276000, China;

2. Linyi Academy of Agricultural Sciences, Linyi 276000, China)

Abstract: Chinese prickly ash, as an important economic crop, is now widely cultivated in many countries and regions around the world, including China. It is characterized by high yield and abundant resources, yet its utilization rate remains low, with most being incinerated or discarded as waste. Researches show that Chinese prickly ash and its by-products are rich in nutrients such as crude ash, crude protein, ether extract, and crude fiber, as well as bioactive components like alcohols, amides, flavonoids, and polysaccharides. Therefore, full utilization of Chinese prickly ash and its by-products helps avoid resource waste and environmental pollution, promotes green development of the Chinese prickly ash industry, and expands non-conventional feed sources. It also reduces China's reliance on traditional feed and prevents emergence of “competition between humans and livestock for grain”. Additionally, it significantly enhances livestock and poultry's antioxidant capacity, production performance, and immune function. This review focuses on the principles of feed utilization of Chinese prickly ash and its by-products, their effects on the physiological functions of livestock and poultry, and their current application status in different livestock and poultry production systems, aiming to provide references for scientific development and utilization of Chinese prickly ash and its by-products.

Keywords: Chinese prickly ash; by-products; livestock and poultry production; non-conventional feed

收稿日期: 2025-06-07; 修回日期: 2026-06-14

基金项目: 山东省重点研发计划(科技型中小企业创新能力提升工程)项目(2024TSGC0897); 潍坊市现代种业科研创新团队项目(XM2024003); 国家自然科学基金面上项目(32372939); 山东省自然科学基金项目(ZR2024MC095); 山东省牧草、羊产业技术体系临沂综合试验站项目(SDAIT-23-8, SDAIT-10-13)

第一作者: 吕绍娟, 女, 本科生

* 通信作者, 王振南, 副教授, 主要从事动物行为福利与健康养殖研究方向, E-mail: wangzhennan@lyu.edu.cn; 吕慎金, 教授, 主要从事动物行为福利与健康养殖研究方向, E-mail: lvshenjin@lyu.edu.cn。

在国家“扶持畜牧业稳定发展”和“提升饲草生产能力”等政策的鼓励下，我国的畜牧业呈现蓬勃发展的趋势，但是豆粕、玉米等常规饲料成分严重短缺。因此，探寻高效、健康并且经济的饲料原料或饲料化产品对我国畜禽产业的发展具有重要的意义。花椒属于芸香科，现已成为全球种植面积最大的木本香料作物，在中国的甘肃、山东、四川等地被广泛种植，且种植面积超过 100 万公顷^[1]。据 2023 年花椒行业市场分析，我国是花椒生产第一大国，花椒年产量基本维持在 30 万吨以上^[2]。花椒味辛、性温，且具有健胃消食、补肾益气、抑菌杀菌等价值，常被作为食品调料或传统中药被人们利用。而花椒成熟后，花椒籽等副产品常被焚烧掩埋或被当作废弃物丢弃，这不仅会浪费资源，还会污染环境^[3]。近年来，学者们发现花椒及其副产品可作为饲料成分或饲料添加剂用于畜禽生产^[4]，其应用不仅丰富了饲料的来源，还对改善畜禽产业具有重要的作用。基于此，本文围绕花椒及副产品营养价值、花椒饲料化类型及其对畜禽生产的影响进行综述，以期为花椒的开发和利用提供理论与实践参考。

1 花椒及其副产品的饲料化原理

1.1 花椒籽的饲料化原理

花椒籽，又称椒目，在花椒果实成熟之后，可以

通过采收并与果皮分离得到，是花椒的主要副产品之一。且椒目的年产生量占花椒总产量的 60% 至 70%^[5]，但每年却有近半的花椒籽没有得到充足的利用，甚至会造成环境污染和资源浪费等问题^[6]。花椒籽中含有大量的粗蛋白，是天然优质蛋白资源的来源（表 1）；此外，花椒籽由花椒籽仁和花椒籽壳两种结构组成，其中脱脂花椒籽仁粕中氨基酸种类多样^[7]，还含有粗脂肪和粗灰分等多种营养物质（表 2）。卢利平等^[8]发现天水大红袍花椒籽中含有丰富的黑色素，其对 2，2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸（ABTS）自由基、1，1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基以及羟基自由基均具有较高的清除率，是一种天然且效果良好的抗氧化剂。并且花椒籽中还含有大量的总多酚与总黄酮，同样具有较强的抗氧化能力^[9]。谭玉鑫等^[10]研究发现质量浓度为 1 mg/mL 的花椒籽高 F 值寡肽的黄嘌呤氧化酶抑制率几乎达到 66.06%，能够显著降低尿酸活性，在治疗痛风等炎症方面具有潜在的价值。此外，有趣的是，经美拉德反应后，分布于 500~1 000 Da 的鲜味氨基酸占比增加 9.09%、苦味氨基酸占比减少 3.96%，表明美拉德反应使花椒籽蛋白肽增鲜能力增强且整体风味更加协调，从而改善畜禽对饲料的适口性，增加畜禽的进食量^[11]。

表 1 花椒籽的种类及其营养价值 %

产地	品种	水分	粗蛋白	粗脂肪	数据来源
甘肃省陇南市	九叶花椒	10.92	11.40	4.07	[12]
	红花椒	7.40	13.44	23.50	
甘肃省陇南市	无刺大红袍	8.81	—	30.66	[13]
河南安阳市	安阳花椒	9.67	14.12	—	[14]
—	—	12.00	10.00	6.00	LS/T 3313—2017

表 2 花椒籽仁脱脂粉的营养价值 %

产地	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	碳水化合物	参考文献
四川省眉山市	7.28	61.17	2.03	8.33	23.49	[5]
	8.35	60.91	1.31	8.98	20.43	[15]

1.2 花椒叶的饲料化原理

花椒叶是花椒的主要副产物之一，具有资源丰富、产量大的特点，但人们常将花椒叶作为花椒产业的最大废弃物，忽视了对它的利用^[16]。花椒叶中含有粗蛋白、粗脂肪、粗纤维以及粗灰分等营养物质（表 3），此外还含有酰胺类化合物（山椒素）、黄酮类物质。苟鼎等^[16]通过提高 α -淀粉酶抑制率和测定

3 种体外抗氧化模型（铁还原力测定、ABTS 自由基清除力测定、羟基自由基清除能力测定），表示花椒叶中的山椒素具有降低血糖含量以及增强抗氧化能力的作用。花椒叶还含有大量的黄酮类物质，其中花椒叶总黄酮对羟基自由基的清除率最高为（63.89±0.26）%，对二苯基苦基肼自由基的清除率可以达到（89.01±0.51）%，含有显著的抗氧化活性^[17]。周勇

等^[18]发现花椒叶中含有的多糖可通过提高具有清除和修复氧化自由基的抗氧化酶类活性、抑制脂肪氧化酶和乳酸脱氢酶活性来阻碍丙二醛和乳酸生成来达到提高抗氧化活性、改善细胞的抗氧化系统和降低运动之后对细胞造成的伤害。分离自花椒叶粉中的羟基胡椒酚,可以有效抗恶性细胞增生,其可通过 c-Jun 氨基末端激酶与 P38 丝裂原活化蛋白激酶介导,诱导耐 TP53 基因的 HT-29 结肠癌细胞 G0/G1 期细胞显著减少,表明其细胞周期进程受到阻滞和凋亡^[19]。

表 3 花椒叶的种类及其营养价值 %

产地	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	粗灰分	参考文献
四川省广安市	17.32	3.00	16.02	9.90	[20]
	15.20	4.10	17.80	11.10	[21]
重庆市荣昌区	15.03	4.40	18.58	11.21	[22]

1.3 花椒精油的饲料化原理

花椒精油,又被称为花椒挥发油,为一种极具天然麻味的、从花椒果壳中分离出的、呈淡黄绿色或黄

色的具有油状光泽的液体,具有香气浓郁、良好抑菌性等特点^[23]。从花椒精油的生物化学成分上看,其包含醇类(如芳樟醇等)烯炔类(如柠檬烯等)、酯类(乙酸芳樟酯)以及酮类等(表 4)主要成分。舒娟等^[24]发现,鲁甸青花椒具有显著的抑菌性,可使金黄色葡萄球菌细胞表面特性发生改变,破坏细胞壁膜的完整性,膜通透性变差,细胞内容物外泄等,进而抑制细胞活性,达到抑菌效果。从花椒精油中提取出的芳樟醇对大肠杆菌具有非常明显的抑制作用,这一原理表现为,芳樟醇首先抑制其细胞膜,进而破坏细胞膜的结构与功能,破坏质子动力,最后导致大肠杆菌的死亡^[25]。花椒精油还可通过影响转录激活因子 3 信号通路激活,减少炎症应答反应以及免疫细胞衰竭机制来延缓结肠炎相关性结直肠癌发生和发展进程,并对结肠组织免疫微环境有重大影响^[26]。此外,竹叶花椒挥发油具有较强的抗氧化活性,但需要注意竹叶花椒的贮存环境,在酸性、常温环境下其抗氧化活性更强;防腐剂和甜味剂能够影响竹叶花椒挥发油的抗氧化稳定性^[27]。

表 4 花椒精油的种类及其营养价值 %

产地	品种	芳樟醇	柠檬烯	乙酸芳樟酯	参考文献
江西省吉安市	红花椒	13	29	15	[28]
四川省雅安市	汉源花椒	4.7	38.41	0.38	[29]
四川省阿坝藏族羌族自治州	茂县花椒	26.71	21.78	15.11	
陕西省宝鸡市	凤县花椒	27.99	25.55	11.58	[30]
四川省茂汶县	茂汶大红袍花椒	11.69	16.83	14.02	
四川省雅安市	汉源红花椒	22.12	19.04	15.44	

2 花椒及其副产品对畜禽生理功能的影响

2.1 对畜禽血清生化指标的影响

花椒含有丰富的营养成分,其对畜禽血清生化指标具有积极影响。有研究表明,花椒中含有的大量生物活性成分,其具有降血脂^[31]和降胆固醇^[32]等作用,从而可以提高畜禽肉质和健康的指标。在饲料中添加 0.4%的花椒粉末可提高黄粉肉鸡血清白蛋白含量,并且可以降低肉鸡血清中甘油三酯含量,表明花椒粉可以有效调节脂质代谢、并对肝脏有积极影响^[33]。谢建鹏等^[34]研究发现在饲料中添加花椒籽可以提高肉羊血清总蛋白以及肌酐含量,而血清中的天门冬氨酸氨基转移酶活性较低,表示花椒籽可以提高肉羊对蛋白质的消化和吸收及氮利用率。另外,赵建飞等^[35]发现花椒叶粉能显著降低樱桃谷肉鸭血清甘油三酯的含量,且对总胆固醇的含量影响是微小的。

由此可得,花椒叶粉可以促进肉鸭的血清脂质代谢。因此,花椒及其副产品的利用,对于改善畜禽血清生化指标具有重要作用。

2.2 对畜禽消化作用的影响

在原有饲料基础上增添 3%比例的花椒籽能够有效提升湖羊营养物质表观消化率、提高十二指肠以及空肠的绒毛高度等,从而增强绵羊消化吸收的能力^[36]。张明良等^[37]也表明在小尾寒羊饲料中增添 15 mL · kg⁻¹的花椒挥发油,可以提高结肠肌层厚度与黏膜层厚度以及直肠肌层厚度,进而促进大肠对水分以及营养物质的消化吸收。此外,花椒的副产品还可通过反刍动物瘤胃来促进其消化吸收。黄云成等^[28]发现在饲料中添加 100~200 mg · L⁻¹红花椒精油或 100 mg · L⁻¹青花椒精油可以有效促进瘤胃的发酵过程,且两种花椒精油都可以抑制发酵初期的产气量,提高发酵液 pH 的含量,从而提升瘤胃的发酵率。Li

等^[38]也发现在饲料中添加一定量的花椒籽可以通过提高绵羊瘤胃微生物的丰度以及多样性,从而影响瘤胃中微生物群落的分布,增添瘤胃有益菌的数量,但添加至6%及以上时,花椒籽会导致瘤胃菌群中有害细菌增加,影响排泄系统功能。

2.3 对畜禽免疫功能的影响

花椒中含有多酚类等生物化学物质,植物多酚具有抑制炎症因子生成,减少氧化损伤和免疫失调的功能^[39],进而增强畜禽的免疫作用。Li等^[40]研究表明添加花椒籽可增加绵羊肠道微生物的多样性和丰富度,影响炎症因子的水平,从而提高绵羊的免疫力。花椒精油具有抗炎作用,进而可抑制与促炎反应相关的微生物的生长^[41]。此外,花椒挥发油还能通过提升母羊血清中免疫球蛋白G以及免疫球蛋白M的含量,进而增强母羊机体免疫应答活性^[42]。刘子龙等^[36]还研究发现用3%水平花椒籽替代湖羊基础饲料中的部分粗饲料,可以促进湖羊肠道的发育,从而提高其免疫功能。因此,花椒通过增强畜禽的免疫作用,促进畜禽的健康,减少发病率,进而促进养殖业的产业效益。

2.4 对畜禽抗氧化能力的影响

研究表明,花椒中含有的多酚类物质,如黄酮等具有良好的抗氧化活性,是一种具有较高开发价值的天然活性物质^[43]。Hu等^[44]发现在日粮中添加1%或2%的花椒叶可以通过增加肉鸡血清和肝脏中的抗氧化指标来增强其机体的抗氧化能力,并且根据肉鸡饲养天数,最佳添加量不同,如饲养第1~21天的最佳添加量为1.36%~1.60%,第22~42天的最佳添加量为1.14%~1.50%,过量易引起反作用。此外,陈星等^[45]研究发现在肉鸡饲料中用花椒籽粕替代2.5%豆粕可以提高其肉品质和抗氧化能力。杨海等^[46]研究发现花椒籽通过提高母羊机体的抗氧化水平,经胎盘和乳汁传递从而对羔羊的生长发育起到促进作用。花椒精油的抗氧化活性会伴随着存贮年份的增加而削弱^[47]。因此,花椒及其副产品在畜禽饲料添加时应尽量选择当年收的花椒及其副产品进行利用。

2.5 对畜禽生产性能的影响

花椒中含有烯烃类的挥发油和醇类化合物、酰胺等活性物质,可以提高畜禽的生产性能和屠宰率。郭衍新等^[48]研究发现花椒果皮粉中的醇类化合物和烯烃类挥发油等活性物质,可以通过影响蛋鸡的肝脏、肠道以及生殖内分泌系统,进而提高其生产性能。另外,需要严格控制花椒及其副产品的添加比例,梁永飞等^[49]研究发现花椒籽适量代替玉米能促进育肥猪的肥育性能,并有效改善育肥猪猪肉的脂肪酸组成,但当代替至7.5%水平时,不仅会增加饲料成本,还

会对育肥性能产生副作用;此外,在饲料中添加2%花椒叶粉,能有效提高公鸡进食量,促进公鸡的生长,但随着花椒叶粉的添加会降低其成活率^[50]。所以,在平时喂养畜禽时,应严格控制花椒及其副产品的添加比例,避免造成经济损失,产生不可逆的影响。

3 花椒及其副产品在畜禽生产中的应用

3.1 在反刍动物生产中的应用

前期研究发现,花椒及其副产品作为非常规饲料在反刍动物生产中具有一定的饲喂效果。研究发现花椒精油可以通过改变瘤胃微生物群的丰度来改变脂肪酶的活性,从而帮助反刍动物消化和吸收营养^[51]。在育肥羊饲料中增添10 mg·kg⁻¹花椒精油,可以有效提高其生长性能、屠宰性能以及肉品质^[52]。此外,在湖羊羔羊的饲养中增添3%和6%比例的花椒籽可以有效提高瘤胃发育,其中在饲料中增添3%花椒籽还对羔羊复胃发育具有积极作用^[3]。但是,需要严格控制花椒及其副产品与基础饲料的添加比例。杨海等^[46]针对围产期湖羊母羊发现在日粮中添加5%花椒籽对其繁殖性能和羔羊生长发育有利,还可以降低羔羊的腹泻率,而10%的花椒籽则会起反作用。以上研究表明,花椒及其副产品添加对反刍动物的生长性能、肉品质、胃肠道发育均有一定的促进作用,但应适量添加,过量反而起到负面效果。

3.2 在家禽生产中的应用

研究发现,饲料中增添3%水平的花椒叶具有提高鸡蛋品质以及风味的作用,还能显著提高蛋鸡生产性能以及抗氧化作用,且未出现不良影响^[20]。张萍等^[53]在研究花椒籽粉添加3.5%至时能有效改善鸡蛋品质,并提高散养鸡产蛋率,这和高玉林^[54]的研究成果类似。Hu等^[44]发现在肉鸡饲料中增添1%和2%的花椒叶粉末,可以上调空肠黏膜中与Nrf2/HO-1信号通路相关的基因表达,从而保持肠黏膜屏障的完整性。李宁等^[55]发现用2%花椒籽代替玉米可以提高蛋鸡的抗氧化活性以及免疫活性,还可显著提升鸡蛋的蛋品质和多不饱和脂肪酸的含量。Chen等^[56]也发现使用5%~10%花椒籽粕代替豆粕可显著改善肉鸡的生长和发育,并提高营养物质的消化率和利用率。以上研究表明,花椒副产物可作为饲料成分或饲料添加剂用于家禽生产,且具有较好的应用效果。

3.3 在猪生产中的应用

研究表明,花椒及其副产品尤其是花椒籽作为饲料原料或饲料添加剂在育肥猪生产方面具有一定积极作用。尚学峰等^[57]发现在饲料中增添5%比例花椒籽可以提高育肥猪的肉品质,这是由于花椒籽显著影响

了猪背肌以及其空肠组织中 FABP2 的表达水平的结果^[58]。还发现在饲料中增添 2.5%~5% 水平花椒籽后,可以提高猪背最长肌中 n-3 多不饱和脂肪酸的(n-3 PUFAs) 含量和育肥性能,且对其肉质无不良影响,但当花椒籽作为代替饲料添加至 7.5% 时,其肥育性能会产生负面效应^[59]。此外,在育肥猪的饲料粮中添加 5% 花椒籽,能够有效提高十二指肠绒毛隐比,增大空肠的肠壁厚度,提升猪回肠的绒毛高度以及肠壁厚度,提高绒毛隐比,降低隐窝深度,从而促进肠道发育,并增强育肥猪的消化及吸收^[60]。因此,精确了解并把握花椒籽的添加量不仅可以有效提高育肥猪的生长性能、肉品质和消化作用,还对促进养猪产业的发展具有重要意义。

4 小结与展望

花椒及其副产品是一种天然植物来源,含有丰富的营养成分和生物化学成分,可提高畜禽的消化、免疫、抗氧化性能、增强畜禽对饲料的适口性、在改善生产性能以及畜禽肉品质等方面具有广泛应用潜能。目前,饲料原料或饲料化产品的潜能已经受到广泛关注,但花椒及其副产品饲料化的应用仍存在一些问题:花椒及其副产品因品种及地区营养价值不一;其添加量因不同种类动物乃至个体而不同,且没有精确、标准的利用方式及添加比例;应用与推广受到限制等。另外,花椒及其副产品在反刍动物、家禽、猪等生产中的应用已得到广泛研究分析,但有些应用机制尚不明确,且需要进一步研究花椒的潜在毒性,保障畜禽产业的安全。花椒及其副产品的饲料化开发与利用,不仅为花椒产业绿色发展提供一条新思路,还可作为一种健康、经济和高效的非常规饲料,应用于畜牧业的健康可持续发展。

参考文献:

- [1] HU L, XU Z, FAN R, et al. The complex genome and adaptive evolution of polyploid Chinese pepper (*Zanthoxylum armatum* and *Zanthoxylum bungeanum*) [J]. Plant Biotechnol J, 2023, 21 (1): 78-96.
- [2] 2023 年花椒行业市场分析:花椒主产区消费量超过 39.4 万吨报告大厅 [EB/OL]. [2024-03-14]. <https://www.chinabga.com/info/1245773.html>.
- [3] 马学义,李乔,祁成虎,等.花椒籽对湖羊羔羊生产性能、内脏器官指数和瘤胃组织形态发育的影响[J].甘肃农业大学学报,2024,59(5):1-9.
- [4] 陈帅,李川皓,张相伦,等.发酵饲料颗粒料对肉鸡生长性能、肉品质及肠道菌群 α 多样性的影响[J].山东农业科学,2024,56(9):99-103.
- [5] 文秋萍,李超,徐丹萍,等.花椒籽壳蛋白与籽仁蛋白理化性质分析[J].中国油脂,2019,44(6):50-55.
- [6] 刘玉兰,李锦,王格平,等.花椒籽油与花椒油风味及综合品质对比分析[J].食品科学,2021,42(14):195-201.
- [7] 于豪杰,吕斌杰,秦召,等.花椒籽仁油及其脱脂粕中氨基酸的分析[J].食品科技,2019,44(12):233-240.
- [8] 卢利平,雷佳欣,杨琦,等.天水大红袍花椒籽黑色素的提取工艺优化及体外抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2022,43(22):205-213.
- [9] 慕钰文,黄玉龙,张辉元.花椒籽不同溶剂提取物的活性成分及抗氧化性比较[J].包装与食品机械,2021,39(3):21-26.
- [10] 谭玉鑫,张秀清,裴海生,等.花椒籽高 F 值寡肽的制备与降尿酸活性虚拟筛选[J].食品工业科技,2025,46(23):118-125.
- [11] 董雨飞,黄翊琚,王鹏,等.花椒籽蛋白美拉德肽的制备、表征及增鲜特性[J].食品工业科技,2026,47(4):115-124.
- [12] 张莉,古雪艳,韩富军,等.甘肃陇南不同种类花椒籽的营养成分对比研究[J].中国饲料,2024(14):14-19.
- [13] 班明辉,韩富军,金光辉,等.嫁接‘无刺大红袍’花椒基本品质与挥发性香气组分比较分析[J].经济林研究,2023,41(1):265-272.
- [14] 郑永军,王建广,郑勇,等.DTAB 反胶束萃取花椒籽中蛋白质和油脂研究[J].中国调味品,2024,49(11):71-74,119.
- [15] 李超,蒲彪,刘兴艳,等.响应面法优化花椒籽仁蛋白质盐提工艺条件[J].中国油脂,2017,42(6):97-101,120.
- [16] 苟鼎,张腊梅,黄红琴,等.响应面优化微波辅助提取花椒叶山椒素及其生物活性研究[J].化学试剂,2021,43(8):1136-1142.
- [17] 刘晓莹,卢利平,金伟嘉,等.天水秋椒叶黄酮的提取工艺优化[J].农产品加工,2022(5):24-29.
- [18] 周勇,杨珏.花椒叶多糖对小鼠运动疲劳作用及其机制研究[J].中国食品添加剂,2023,34(7):234-239.
- [19] RAJEDADRAM A, PIN K Y, LING S K, et al. Hydroxychavicol, a polyphenol from *Piper betle* leaf extract, induces cell cycle arrest and apoptosis in TP53-resistant HT-29 colon cancer cells [J]. J Zhejiang Univ Sci B, 2021, 22(2):112-122.
- [20] 付康,杨怀铭,龚昱丹,等.花椒叶对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质及血清抗氧化功能的影响[J].饲料工业,2023,44(7):40-45.
- [21] 郭志强,李钰莹,杨锐,等.青花椒叶对肉兔生产性能、养分表观消化率和血清生化指标的影响[J].中国饲料,2022(17):123-126.
- [22] 郭志强,李钰莹,杨锐,等.饲粮添加青花椒叶粉对肉兔生长性能、小肠发育、屠宰性能和肉品质的影响[J].动物营养学报,2023,35(5):3228-3236.
- [23] 王娟,杜静怡,贾雪颖,等.花椒精油及其水提物的香气活性成分分析[J].食品工业科技,2021,42(20):229-241.
- [24] 舒娟,张雪研,宋爽,等.鲁甸青花椒精油对金黄色葡萄球菌的抑菌活性及机制研究[J].食品工业科技,2025,46(23):178-189.
- [25] 郭伟钰,陈文学,陈海明,等.芳樟醇对大肠杆菌的抑菌作用机制[J].现代食品科技,2020,36(4):113-118.
- [26] 刘宏,陈芜,林俊芝,等.基于 STAT3 信号通路探讨花椒精油吸嗅改善 CAC 小鼠免疫微环境的机制[J].中华中医药杂志,

- 2024, 39 (1): 173–179.
- [27] 周孟焦, 陈凯, 孙李娜, 等. 竹叶花椒挥发油化学成分及其抗氧化活性研究 [J]. 食品与机械, 2024, 40 (12): 25–31.
- [28] 黄云成, 宗玉洁, 王可鑫, 等. 青花椒精油、红花椒精油对奶牛瘤胃体外产气量及发酵参数的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60 (10): 297–302.
- [29] 伍毅, 李紫微, 白娟, 等. 不同产地花椒精油化学成分分析及活性研究 [J]. 中国食品添加剂, 2023, 34 (7): 257–264.
- [30] 周杰, 刘璐, 邱盛敏, 等. 不同产地花椒精油的化学成分分析及花椒精油固体制剂的抗真菌作用考察 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27 (2): 153–160.
- [31] DENG S, RONG H, TU H, et al. Molecular basis of neurophysiological and antioxidant roles of Szechuan pepper [J]. Biomed Pharmacother, 2019, 112: 108696.
- [32] 杨成峻, 陈明舜, 刘成梅, 等. 花椒果皮多酚类成分鉴定及降血糖活性 [J]. 食品科学, 2023, 44 (2): 271–278.
- [33] 马尹鹏, 贾晓旭, 樊艳凤, 等. 花椒粉对黄羽肉鸡生长性能、屠宰性能、血清生化指标及免疫机能的影响 [J]. 动物营养学报, 2025, 37 (2): 927–937.
- [34] 谢建鹏, 何振富, 王斐, 等. 花椒籽对肉羊生长性能、营养物质表观消化率及血清生化指标的影响 [J]. 饲料研究, 2022, 45 (22): 11–14.
- [35] 赵建飞, 蒋继, 陆中乾, 等. 花椒叶粉能量价值评定及其在樱桃谷肉鸭饲料中的应用 [J]. 动物营养学报, 2025, 37 (6): 3802–3815.
- [36] 刘子龙, 李乔, 马学义, 等. 饲料中添加花椒籽对湖羊营养物质表观消化率、肠道发育、免疫功能和消化酶活性的影响 [J]. 动物营养学报, 2024, 36 (5): 3131–3142.
- [37] 张明良, 张海龙, 马世鹏, 等. 花椒精油对小尾寒羊生产性能和胃肠道组织结构的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50 (2): 556–563.
- [38] LI D, LI Q, MA X, et al. Prickly ash seeds can promote healthy production of sheep by regulating the rumen microbial community [J]. Front Microbiol, 2024, 15: 1364517.
- [39] 杨媛媛, 包丽娜, 吴树妍, 等. 药用植物提取物对动物免疫功能影响的研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2025, 37 (1): 168–181.
- [40] LI D, YANG H, LI Q, et al. Prickly ash seeds improve immunity of Hu sheep by changing the diversity and structure of gut microbiota [J]. Front Microbiol, 2023, 14: 1273714.
- [41] ZHANG H, LANG X, ZHANG Y, et al. Distribution of bacteria in different regions of the small intestine with *Zanthoxylum bungeanum* essential oil supplement in small-tailed Han sheep [J]. Front Microbiol, 2022, 13: 1062077.
- [42] 金茜, 景照明, 康芳娥, 等. 花椒精油和牛至精油对不同生长阶段母羊生长性能、血清生化 and 免疫指标的影响 [J]. 饲料研究, 2025, 48 (4): 1–6.
- [43] SUN X, ZHANG D, ZHAO L, et al. Antagonistic interaction of phenols and alkaloids in Sichuan pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) pericarp [J]. Ind Crops Prod, 2020, 152: 112551.
- [44] HU Z, QIU Y, HAN J, et al. Dietary *Zanthoxylum bungeanum* leaf powder improves growth performance and antioxidant capacity via Nrf2/HO-1 signaling pathway in broilers [J]. J Anim Sci, 2024, 102: skae343.
- [45] 陈星, 李晓珍, 郑爱娟, 等. 花椒籽粕替代豆粕对肉鸡生长性能、屠宰性能、血清生化指标、抗氧化能力和免疫功能的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2025, 52 (1): 158–168.
- [46] 杨海, 胡祥, 刘占经, 等. 花椒籽对围产期母羊繁殖性能、血清抗氧化能力和羔羊生长性能的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2026, 61 (1): 37–45.
- [47] 叶兆伟, 陈卫, 马晓辉, 等. 不同贮存年份的大别山区野生花椒精油成分分析及抗氧化活性测定 [J]. 化学试剂, 2024, 46 (1): 76–82.
- [48] 郭衍新, 汪德华, 黄世猛, 等. 花椒粉对蛋鸡生产性能、蛋品质、血浆生化指标和盲肠菌群的影响 [J]. 动物营养学报, 2022, 34 (8): 4959–4968.
- [49] 梁永飞. 花椒籽替代不同比例玉米对育肥猪生产性能、肉质、脂肪酸组成的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [50] 李佩洪, 陈政, 龚霞, 等. 花椒叶对土鸡生产性能和抗氧化能力的影响 [J]. 现代农业科技, 2019 (4): 206–207.
- [51] ZHANG H, LANG X, LI X, et al. Effect of *Zanthoxylum bungeanum* essential oil on rumen enzyme activity, microbiome, and metabolites in lambs [J]. PLoS One, 2022, 17 (8): e0272310.
- [52] 马世鹏, 王彩莲, 刘立山, 等. 花椒精油对肉羊育肥性能及肉品质的影响 [J]. 家畜生态学报, 2024, 45 (2): 82–86.
- [53] 张萍, 蹇姣, 邢蕾. 花椒籽粉对散养鸡产蛋性能和蛋品质的影响 [J]. 当代畜禽养殖业, 2022, 42 (3): 19–20.
- [54] 高玉林. 花椒籽粉对散养鸡产蛋性能和蛋品质的影响 [J]. 中国畜牧业, 2023 (10): 49–50.
- [55] 李宁, 梁世岳, 刘正群, 等. 花椒籽对蛋鸡生产性能、血清指标及蛋品质的影响 [J]. 饲料研究, 2024, 47 (18): 35–39.
- [56] CHEN X, LI Y, ZHENG A, et al. Dietary replacement of soybean meal with *Zanthoxylum bungeanum* seed meal on growth performance, blood parameters, and nutrient utilization in broiler chickens [J]. Animals, 2024, 14 (10): 1420.
- [57] 尚学峰, 李杰, 梁永飞, 等. 饲料中添加不同水平花椒籽对育肥猪脂肪酸组成和 FABP1 基因组织表达的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 58 (1): 1–9.
- [58] 李杰, 黄晓宇, 尚学峰, 等. FABP2 基因在不同比例花椒籽饲料喂育肥猪的组织差异表达、克隆及生物信息学分析 [J]. 华北农学报, 2022, 37 (6): 228–238.
- [59] 梁永飞, 滚双宝, 王鹏飞, 等. 花椒籽替代不同比例玉米对育肥猪生长性能和肉品质的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57 (2): 112–116.
- [60] 郭顺萍, 张亚丽, 尚学峰, 等. 花椒籽替代部分玉米饲料对生长育肥猪小肠组织形态的影响 [J]. 猪业科学, 2021, 38 (9): 83–87.