

# 黄酮类化合物在动物生产方面的研究进展

王蕊新, 贺庆华

(西南民族大学畜牧兽医学院, 四川 成都 610041)

**摘要:** 黄酮类化合物在动物生产领域研究广泛。本综述旨在总结黄酮类化合物的抗氧化、提升免疫力以及微生物特性等方面的研究。从黄酮类化合物的生物活性出发, 在饲喂动物的饲料中添加黄酮类化合物, 并探究其对动物的各种生长指标、畜产品品质和预防疾病的效果, 改善动物健康和动物福利。总结黄酮类化合物在动物生产中的应用前景和存在的挑战, 为黄酮类化合物在动物生产中的合理应用提供科学依据。

**关键词:** 黄酮类化合物; 生物活性; 动物生产; 生产性能

**中图分类号:** S816.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-2177 (2025) 01-121-07

黄酮类化合物又称类黄酮, 是一种植物特有的次级代谢产物, 广泛分布于蔬菜、水果、草药、根茎和种子中<sup>[1]</sup>。它们的基本结构是由2个具有酚羟基的苯环(A环和B环)通过中央3个不饱和碳原子(C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>)作为骨架连接而成的一系列化合物。在植物体内, 大部分黄酮类化合物与糖结合成苷类或碳糖基, 多以O-糖苷或C-糖苷形式存在, 也有少数以游离形式存在<sup>[2]</sup>。黄酮类化合物依据中央的不饱和碳原子部分是否成环以及取代方式的不同, 可被划分为多个亚类结构, 在某种程度上决定了其多样的生物活性。黄酮类化合物在动物饲料中常常以糖苷或糖苷聚合物等形式存在<sup>[3]</sup>, 而膳食黄酮在自然界以葡萄糖苷、半乳糖苷等糖苷的形式存在, 一部分在肠道的水解酶作用下水解成糖苷元, 进而被小肠上皮细胞吸收进入血液循环发挥生物活性功能; 而剩下的则通过肠道微生物产生的代谢酶, 进行生物转化生成多酚类物质后再进入循环系统。随着天然饲料添加剂的研究以及技术的进步, 更多的黄酮类化合物及其水解聚合物将被分离鉴定出来。在实际动物生产中总会出现精神状态不佳、采食量和抗病力下降、生长缓慢等养殖难题, 最终引发肠道疾病。而我国为保护人类健康和生态环境, 防止细菌耐药性的增加, 禁止非中药饲料添加剂在动物生产

中应用。研究表明, 黄酮类化合物能通过调节酶活性、清除自由基和促进细胞增殖等方式维护肠黏膜上皮结构和功能; 因具备抗炎、镇痛<sup>[4]</sup>、抗氧化、抗增殖、抗病毒、抗肿瘤、抗肥胖以及神经保护<sup>[5]</sup>等潜在药理功效而引起广泛关注。因此, 利用绿色健康的天然有机黄酮类化合物提高动物生产性能, 预防疾病危害成为动物营养研究的热点之一。本文对近年来黄酮类化合物生物活性的作用与机制进行总结, 旨在为其在动物饲料生产中的应用与研究提供理论依据。

## 1 黄酮类化合物的生物活性

### 1.1 抗氧化活性

黄酮类化合物是植物中的一种重要的有效成分, 许多研究发现黄酮类化合物作为一种多酚类化合物, 具有多种生物活性, 而抗氧化就是其中之一。在动物养殖过程中发挥其抗氧化活性主要是黄酮类化合物通过中和自由基, 从而阻断自由基引起的应激反应, 保护细胞免受氧化应激的损伤, 抗氧化就是机体内清除自由基的一个过程。自由基在生物体中的存在与多种生物学过程相关, 包括细胞信号传递、免疫反应等。这些自由基在动物机体代谢过程中会不断产生, 也会不断被动物机体所清除,

收稿日期: 2024-11-7

基金项目: 盐藻甘油酯代谢与甘油代谢的碳流导向研究(2022NSFC0244)

作者简介: 王蕊新(1999-), 男, 汉族, 四川成都人, 硕士研究生, 研究方向: 蛋白纯化及基因克隆。

通信作者: 贺庆华(1977-), 男, 汉族, 四川成都人, 研究员, 博士研究生, 研究方向: 生物活性物质开放利用, 以及生物大分子结构与功能领域的研究。

但自由基产生与清除处于一个动态平衡的体系中。当动物处于应激状态时,这种平衡也被打破,导致体内自由基含量相对升高,而过多的自由基可以通过机体内的各种代谢途径,产生丙二醛(MDA)等有害物质,后者可以在动物机体各部位攻击脂质、核酸、肽段及各种不饱和脂肪酸等,使生物大分子出现功能紊乱,当这种紊乱达到一定程度时,就会导致动物细胞结构与功能受到不可逆的损伤。

研究表明黄酮分子中的酚羟基可以与活性自由基结合,形成相对稳定的酚自由基,在动物机体内短暂地存在,从而阻断自由基之间引起的连锁反应<sup>[6]</sup>。此外,黄酮类化合物还能与过渡金属离子铁和铜形成稳定的络合物,减少这些金属离子参与过氧化氢反应,间接减少具有极高氧化能力的羟基自由基的生成。在实际生产中调节抗氧化相关基因表达,是通过调节细胞内关键因子,然后影响调控信号的通路,从而激活丝氨酸激酶信号转导通路和抑制丝裂原活化蛋白激酶信号通路,动物进入免疫应答阶段,最后达到保护细胞免受自由基损伤<sup>[7-8]</sup>。在家禽养殖常见的问题中,会出现尿酸过高的难题,在家禽催化嘌呤代谢过程中,将次黄嘌呤和黄嘌呤氧化生成尿酸,是家禽尿酸生成的关键步骤,此过程需要黄嘌呤氧化酶来参与,Hosseinzade A等<sup>[9]</sup>研究表明,黄酮类化合物,尤其类黄酮中具有抗氧化特性,是黄嘌呤氧化酶活性的有效抑制剂,而黄嘌呤酶催化代谢过程中产生的尿酸可能还会导致痛风、肾脏损伤和代谢紊乱,还会导致家禽骨质疏松,患上软骨病,严重影响动物生产力和经济效益。

## 1.2 免疫调节作用

植物中存在的天然多酚化合物除有效调节抗氧化外,还能对转录因子进行调控,而槲皮素在免疫反应中就可以通过抑制炎症小体这类关键转录因子,减少促炎细胞因子的生成,进而发挥抗炎作用,防止动物机体遭受过度免疫应答的伤害<sup>[10]</sup>。此外,黄酮类化合物可以通过抑制关键的炎症介质来直接减少炎症反应。存在于黄酮类化合物中的槲皮素被发现能显著降低一氧化氮、前列腺素E2以及细胞因子的产生。这种效果主要是通过抑制诱导型一氧化氮合酶和环氧化酶-2的表达实现抗氧化和抗炎等免疫调节作用。此外,黄酮类化合物还可以通过抑制T细胞和B细胞的过度增殖来调节免疫反应,提

高动物细胞免疫和体液免疫。在桑黄黄酮类化合物的研究中,黄酮类化合物对小鼠T细胞和B细胞增殖有明显的抑制作用,这种作用有助于防止免疫系统的过度反应,从而减少小鼠的应激反应<sup>[11]</sup>。黄酮类化合物也被证明能够促进巨噬细胞的增殖和吞噬活性,并增加一氧化氮的释放,从而增强细胞免疫功能,同时还增强机体对病原体的杀害<sup>[8]</sup>。黄酮类化合物可以通过抑制mTOR通路来诱导CD4<sup>+</sup>调节性T细胞的分化<sup>[12]</sup>。这一机制有助于控制免疫反应,防止自身免疫疾病的产生。

除了对动物机体的免疫保护以外,在对抗免疫抑制方面也有显著的调节作用,在对于桑黄黄酮类化合物能在环磷酰胺引起的免疫抑制小鼠模型的实验中,不仅显著提高胸腺指数质量,提高吞噬细胞吞噬能力,同时还增强淋巴细胞的增殖<sup>[8]</sup>。环磷酰胺是一种常用的免疫抑制剂,在实验中用于模拟免疫系统受损的情况。桑黄黄酮不仅能恢复由环磷酰胺导致的胸腺萎缩,还在分子层面激活或增强了T细胞的免疫响应<sup>[12]</sup>。综上,黄酮类化合物在免疫系统受损时可以为动物机体提供保护,并加快机体的免疫保护。

## 1.3 抗炎和抗微生物特性

黄酮类化合物在动物机体内通过抑制炎症介质的生成、调控信号传导路径、阻断多聚泛素化等达到抗炎特性。抗炎作用则体现在它们能够调控多种炎症相关分子的表达和活性,从而减轻炎症反应带来的损害<sup>[13]</sup>。在美国肥胖率直线上升的相关报道中<sup>[14]</sup>,评估了黄酮类化合物的多酚物质可以降低脂肪细胞活力和前提脂肪细胞的增殖,抑制脂肪细胞的分化与甘油三酯的累积,刺激脂肪分解和脂肪酸的氧化,并减少炎症。越来越多的科学证据表明,饮食中黄酮类化合物的摄入量在代谢性疾病、心血管疾病<sup>[3, 15]</sup>和炎症性疾病<sup>[16]</sup>等疾病的预防中起着重要作用,这在很大程度上归因于它们的抗炎作用。此外,一些体外试验和动物研究表明黄酮类化合物的摄入通过抑制机体内的调节酶或者一些转录因子来控制或调节参与炎症的介质。Yamagata K等<sup>[17]</sup>的研究表明,黄酮类槲皮素和山柰酚通过抑制NF- $\kappa$ B信号通路,减少促炎细胞因子白介素1 $\beta$ 、白介素6、白介素8和肿瘤坏死因子 $\alpha$ 等促炎因子的产生和分泌,该反应通过抑制炎症过程中的蛋白复合物的激活和转移来

减轻炎症。黄酮类的槲皮素和根皮素能抑制包括环氧合酶-2、脂氧合酶和一氧化氮合酶等酶的活性<sup>[18]</sup>。其中环氧合酶-2和脂氧合酶能够催化花生四烯酸转化为前列腺素和白三烯，进而这些不饱和脂肪酸和脂质介质引发炎症反应。许多研究表明<sup>[19-20]</sup>，黄酮类化合物中的木犀草素在动物体外和体内均具有强大的抗炎活性，它的衍生物木犀草素-3'-O-磷酸酯具有相似的抗炎活性，并且对比木犀草素，其衍生物能更有效地抑制丝裂原活化蛋白激酶。总的来说，黄酮类化合物通过影响信号通路中显著活化的蛋白和转录基因的表达，阻断信号通路激活的级联反应，进而减少炎症物质、炎症蛋白和炎症因子的分泌和释放，从而达到抗炎作用。

类黄酮化合物杀灭或抑制微生物主要是从细菌、真菌、病毒和寄生虫等方面进行，它们通过改变微生物的细胞膜通透性，进而抑制核酸的合成，并伴随着抑制能量代谢来抑制细菌生长，也可以间接地调控相关信号通路，调节宿主免疫细胞分化来降低细菌的感染。也有研究揭示了特定黄酮类化合物对某些微生物具有显著的抑制效果。此外，通过改变查尔酮的化学结构，让它对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑制能力得到显著增强<sup>[21]</sup>。当真菌的细胞膜的完整性遭受破坏时<sup>[22]</sup>，导致细胞内容物流失，内外渗透压不平衡，进而抑制真菌的生长。槲皮素还可以通过抑制病毒吸附、穿透和复制等多个环节对流感病毒、疱疹病毒起到有效抑制<sup>[23]</sup>。

## 2 在动物生产中的应用

### 2.1 促进动物生长

在动物生长过程中，能量代谢是一个非常重要的过程，随着现在市场的需求量，在养猪生产中调节脂肪代谢，减少脂肪的聚集，提高瘦肉率。而桑叶黄酮提取物就能够显著改善猪的脂肪代谢，尤其对于怀孕母猪，作为绿色保健品饲喂，不但提高仔猪的高健康率和高存活率，还减少了母猪流产的风险。在实际生产中，在饲料中添加特定剂量的桑叶黄酮、槲皮素等，来提高肉用动物的肌肉发育和整体生产性能取得了非常大的进展。冯淦熠等<sup>[24]</sup>研究已证实一定剂量的桑叶黄酮添加在肉羊犊牛和肉羊的基础日粮中，可以显著提高犊牛肠道内乳糖脱氢酶的活性，并显著减低犊牛血液中谷胱甘肽过氧化

物酶的活性，改善犊牛抗氧化性能降低断奶应激达到高效饲养；对肉羊瘤胃微生物有改善作用，并促进挥发性脂肪酸含量的增加。槲皮素<sup>[25]</sup>（50 nmol/L）在分化阶段表现出最佳的促分化作用，使肌源性分化标志物肌球蛋白重链的表达上调4.73倍，二羟基黄酮也能使猪肌肉干细胞显著增殖34%，并上调转录因子的表达水平，以上2种促分化的组合，使肉的收缩面积扩大，显著提高了肌管和肌肉蛋白的生成。在显著改善肉品和奶制品的品质的同时，也提高了动物的生长速度、饲料利用率以及肌肉的抗氧化性能，提升动物健康水平和动物生产力，增加养殖效益<sup>[26]</sup>。

### 2.2 改善动物免疫力

在动物生产中，含有天然抗氧化剂的食物因其在清除动物机体内自由基及其有害影响等方面的积极作用而越来越受欢迎。而黄酮类化合物常被作为一种天然提取的植物雌激素，因为具有丰富的有益功能，是天然绿色代替抗生药的选择之一，常被添加到动物饲料中，改善动物健康。大豆黄酮作为一种异黄酮类植物雌激素，能够促进动物的生长、免疫功能和抗氧化作用。红三叶草异黄酮作为一种植物源饲料添加剂，在奶牛日粮中的添加能够显著提高牛奶中的抗氧化酶活性和抗氧化物质含量，增强牛奶的抗氧化能力，并且抗氧化牛奶的功效在小鼠实验中被进一步证明，对小鼠的氧化应激和肠道损伤起到有效阻止<sup>[27]</sup>。也有人在荷斯坦牛的饮食中补饲从苜蓿中提取的黄酮类化合物，实验证实当达到60 mg·kg<sup>-1</sup>的剂量时<sup>[28]</sup>，显著提升乳中的抗氧化酶活性，提高乳品质。也显著降低了荷斯坦牛的某些纤维分解菌的数量，增加有益的丁酸菌等，达到调节瘤胃微生物群落，优化发酵过程。以上研究表明黄酮类化合物可以促进动物生长，有效提高免疫能力。

免疫器官的状态一定程度上反映了免疫功能的调节，而免疫功能主要由免疫器官去体现。动物免疫的增强也促进了器官的增大，复方蒲公英注射液在小鼠实验中发现免疫增强会导致免疫器官（如脾脏和胸腺）的重量显著增加证实了以上观点<sup>[29]</sup>。在免疫抑制的肉鸡模型中，竹叶黄酮也显著提高了胸腺指数和法氏囊指数，显示出对免疫系统的显著增强作用。相反，免疫抑制状态下，免疫器官的重量往往会下降。在保护动物脾脏、胸腺和细胞增殖的

过程中,环磷酰胺作为一种常见的免疫抑制剂,能显著减少脾脏和胸腺的重量<sup>[30]</sup>。适当地使用黄酮类化合物,这些免疫抑制引起的器官萎缩是可以得到一些逆转,并且能显著恢复环磷酰胺导致的脾脏和胸腺重量减少,组织学上也显示出免疫细胞结构的恢复<sup>[9]</sup>。据报道,染料木黄酮和橙皮苷在脂多糖诱导的免疫抑制肉鸡模型中增加了脾脏、胸腺和法氏囊的指数<sup>[10]</sup>。同样,大豆黄酮、银杏黄酮、沙棘黄酮等也被证明可以增强免疫器官的功能。所以黄酮类化合物也可以通过增加免疫器官的重量和活力来增强免疫功能。以上研究共同表明了免疫增强和免疫抑制对关键免疫器官产生的影响,免疫增强状态下,免疫器官的重量增加,反映了这些器官的活跃生长和功能提升。反之,免疫抑制不仅削弱了免疫反应,还导致这些免疫器官的重量减少。通过黄酮类化合物的补充,可以到达免疫增强的效果,也可以在免疫抑制状态下恢复或缓解免疫器官的部分功能,从而提升整体免疫能力和生产力。在我国沿海发达的水产业中,为了减少鱼类和虾类向各地运输过程中的应激与缺氧反应,提前在水产饲料中添加花青素可以提高运输过程中的成活率。在实际生产中通过优化动物饲料配方,合理添加黄酮类化合物不仅提高动物畜产品的质量安全,还显著增强动物生产力,减少经济损失,从而推动畜牧生产绿色发展。

### 2.3 改善肠道微生物

据统计,动物肠道包含数以万计微生物群,其中细菌就是肠道微生态系统的一部分,而肠道菌群有影响动物宿主代谢、肠道免疫力和肠道屏障等功能。肠道细菌在类黄酮的代谢中起着重要作用,不仅可以水解糖苷、葡糖苷酸和硫酸盐,还进行裂环、还原、脱羧、去甲基化和二羟基化等反应,影响肠道微生物。在动物生产的应用中黄酮类化合物能够被肠道微生物代谢,产生新的代谢物产物,而代谢产物对于调节肠道菌群有深远影响。对于仔猪早期断奶是提高怀孕母猪多胎次生产的重要环节,在提高母猪生产胎次的同时,也随之诱发仔猪肠道菌群失调、精神萎靡、采食量和抵抗力下降等问题,最终引发了肠道功能失调和仔猪腹泻等严重问题。近年,黄酮类化合物对于仔猪肠道黏膜的形态结构、肠绒毛高度和十二指肠的隐窝深度都有显著

的影响<sup>[29]</sup>。因此,这种植物中的次级代谢物对仔猪肠道黏膜屏障的改善有着正面作用,主要包括对肠道屏障机械功能的调节作用;增强肠道免疫功能,提升仔猪肠道的免疫应答能力、缓解肠道应激状态;改善肠道微环境,增强小肠消化酶功能,提高仔猪消化吸收能力。此外,黄酮类化合物还可以通过抑制有害菌的生长或促进有益菌的生长来优化肠道菌群结构。

### 3 研究的局限性与未来方向

由于植物的生长周期很长,类黄酮含量通常很低,这使得它们容易受到时间、地理、环境和许多其他变量的限制<sup>[30]</sup>。在合成天然产物时,化学合成方法仍然存在严重的环境污染危害、成本高、操作复杂、效率低下。尽管在微生物中成功合成了许多黄酮类化合物,但低生产效率仍然是许多类黄酮生产中的一个挑战,可以通过控制碳源的流动、调节共培养和操纵基因表达以提高类黄酮的输出,并且它们水溶性差,这也限制了在胃肠道中的吸收。因此,对黄酮类化合物的结构进行亲水基团的修饰,可以改善溶解性,也可以通过包埋到脂质体中,减少肠道微生物群的影响。

黄酮类化合物的安全性评价通过了急性毒性试验、亚慢性和慢性毒性试验、致突变性试验等,在适当剂量下是安全的,虽然如今对黄酮类化合物的研究很多,但是对于联合药物或其他保健品使用时提高生物利用度仍需要更多的研究。

### 4 总结

目前黄酮类化合物已经在医药和食品等行业进行了广泛应用,并表现出显著效果。对畜牧业生产中的各个方面也有不小的影响,在繁殖方面,黄酮类化合物可能对动物的生殖激素调节起到一定作用,有助于提高繁殖效率。在动物的免疫功能上,它能够增强机体的免疫力,帮助动物更好地抵抗疾病,减少疾病发生率,进而降低因疾病带来的生产损失。同时,黄酮类化合物在改善动物产品品质方面也有潜在作用,对整个动物生产的效益提升有不可忽视的贡献。总体而言,黄酮类化合物作为一种绿色、安全、高效的添加剂,在动物生产中具有广泛的应用前景,尤其是在当前对饲料安全和环境保

护日益关注的背景下, 它们提供了一种减少抗生素和化学药品使用的替代方案。

#### 参考文献

- [1] 杨文博, 彭丹, 曹思邈, 等. 微生物合成黄酮类化合物研究进展[J]. 生命科学, 2022, 34 (2): 220-227.  
YANG Wenbo, PENG Dan, CAO Simiao, et al. Research progress on the biosynthesis of flavonoids by microorganisms[J]. Life Sciences, 2022, 34 (2): 220-227.
- [2] 张瑛煜, 申光焕, 崔琳琳, 等. 黄酮类化合物结构修饰及抗肿瘤活性研究进展[J]. 化学通报, 2023 (12): 1467-1474.  
ZHANG Yingyu, SHEN Guanghuan, CUI Linlin, et al. Research progress on the structural modification and antitumor activity of flavonoid compounds[J]. Chemical Bulletin, 2023 (12): 1467-1474.
- [3] Mahmoud A M, Hernández Bautista R J, Sandhu M A, et al. Beneficial Effects of Citrus Flavonoids on Cardiovascular and Metabolic Health[J]. Oxid Med Cell Longev, 2019, 2009: 5484-138.
- [4] Ferraz C R, Carvalho T T, Manchope M F, et al. Therapeutic Potential of Flavonoids in Pain and Inflammation: Mechanisms of Action, Pre-Clinical and Clinical Data, and Pharmaceutical Development[J]. Molecules, 2020, 25 (3): 762.
- [5] Crozier A, Jaganath I B, Clifford M N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health[J]. Nat Prod Rep, 2009, 26 (8): 1001-1043.
- [6] 张瑜芯, 赵梦佳, 尹梓在, 等. 中药黄酮抗氧化作用及其在化妆品中的应用研究[J]. 药物资讯, 2021, 10 (3): 78-84.  
ZHANG Yuxin, ZHAO Mengjia, YIN Zizai, et al. Research on the antioxidant action of flavonoids in traditional chinese medicine and their application in cosmetics[J]. Pharmaceutical Information, 2021, 10 (3): 78-84.
- [7] 韩文沁, 张规富. 火棘果实的营养成分及黄酮的抗氧化活性研究[J]. 农业科学, 2019, 9 (6): 399-404.  
HAN Wenqin, ZHANG Guifu. Study on nutritional components and antioxidant activity of total flavonoids in pyracantha fruit[J]. Agricultural Science, 2019, 9 (6): 399-404.
- [8] Dong W, Wei X, Zhang F, et al. A dual character of flavonoids in influenza A virus replication and spread through modulating cell-autonomous immunity by MAPK signaling pathways[J]. Sci Rep, 2014, 28 (4): 7237.
- [9] Hosseinzade A, Sadeghi O, Naghdipour Biregani A, et al. Immunomodulatory Effects of Flavonoids: Possible Induction of T CD4<sup>+</sup> Regulatory Cells Through Suppression of mTOR Pathway Signaling Activity[J]. Front Immunol, 2019, 10: 51.
- [10] 杨杰, 沙金丹, 高翔, 等. 黄酮类化合物的免疫调节作用及机制[J]. 动物营养学报, 2017, 29 (12): 4295-4300.  
YANG Jie, SHA Jindan, GAO Xiang, et al. Immunomodulatory effects and mechanisms of flavonoid compounds[J]. Journal of Animal Nutrition, 2017, 29 (12): 4295-4300.
- [11] 郎明紫. 桑黄黄酮类化合物的免疫药理学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2019.  
LANG Mingzi. Immunopharmacological research on flavonoids from Sanghuang[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.
- [12] 赵志强, 贾丽霞, 张庆波, 等. 黄酮对免疫功能影响的体内研究[J]. 临床荟萃, 2014, 29 (1): 49-51.  
ZHAO Zhiqiang, JIA Lixia, ZHANG Qingbo, et al. In Vivo study on the impact of flavonoids on immune function[J]. Clinical Review, 2014, 29 (1): 49-51.
- [13] Al-Khayri J M, Sahana G R, Nagella P, et al. Flavonoids as Potential Anti-Inflammatory Molecules: A Review[J]. Molecules, 2022, 27 (9): 2901.
- [14] Wang S, Moustaid-Moussa N, Chen L, et al. Novel insights of dietary polyphenols and obesity[J]. J Nutr Biochem, 2014, 25 (1): 1-18.
- [15] Klinder A, Shen Q, Heppel S, et al. Impact of increasing fruit and vegetables and flavonoid intake on the human gut microbiota[J]. Food Funct, 2016, 7 (4): 1788-1796.
- [16] Thanassiou P, Athanassiou L, Kostoglou-Athanassiou I. Nutritional Pearls: Diet and Rheumatoid Arthritis[J]. Mediterr J Rheumatol, 2020, 31 (3): 319-324.
- [17] Yamagata K, Miyashita A, Matsufuji H, et al. Dietary flavonoid apigenin inhibits high glucose and tumor necrosis factor alpha-induced adhesion molecule expression in human endothelial cells[J]. J Nutr Biochem, 2010, 21 (2): 116-124.
- [18] Wan H, Huang X, Xu Y, et al. Threshold effects and inflection points of flavonoid intake in dietary anti-inflammatory effects: Evidence from the Nhanes[J]. Medicine

- ( Baltimore ) , 2023 , 102 ( 36 ) : e34 665 .
- [19] Al-Khayri J M , Sahana G R , Nagella P , et al . Flavonoids as Potential Anti-Inflammatory Molecules: A Review[J]. *Molecules* , 2022 , 27 ( 9 ) : 2 901 .
- [20] Kim J H , Park T J , Park J S , et al . Luteolin-3' -O-Phosphate Inhibits Lipopolysaccharide-Induced Inflammatory Responses by Regulating NF- $\kappa$  B/MAPK Cascade Signaling in RAW 264.7 Cells[J]. *Molecules* , 2021 , 26 ( 23 ) : 7 393 .
- [21] Hao Y , Wei Z , Wang Z , et al . Biotransformation of Flavonoids Improves Antimicrobial and Anti-Breast Cancer Activities In Vitro[J]. *Foods* , 2021 , 10 ( 10 ) : 2 367 .
- [22] Singh G , Kumar P . Phytochemical study and screening for antimicrobial activity of flavonoids of *Euphorbia hirta*[J]. *Int J Appl Basic Med Res* , 2013 , 3 ( 2 ) : 111-116 .
- [23] Hao B , Yang Z , Liu H , et al . Advances in Flavonoid Research: Sources, Biological Activities, and Developmental Prospectives[J]. *Curr Issues Mol Biol* , 2024 , 46 ( 4 ) : 2 884-2 925 .
- [24] 冯淦熠, 刘莹莹, 李颖慧, 等. 桑叶黄酮降糖、降脂作用与机制及其在动物生产中的应用[J]. *动物营养学报*, 2020, 32 ( 1 ) : 48-53 .
- FENG Ganyu, LIU Yingying, LI Yinghui, et al . Mulberry leaf flavonoids: hypoglycemic and lipid-lowering effects, mechanisms, and applications in animal production[J]. *Acta Nutrimenta Sinica* , 2020 , 32 ( 1 ) : 48-53 .
- [25] Guo Y , Ding S J , Ding X , et al . Effects of selected flavonoids on cell proliferation and differentiation of porcine muscle stem cells for cultured meat production[J]. *Food Res Int* , 2022 , 160 : 111 459 .
- [26] Onu E O , Ugwoke J I , Edeh H O , et al . A review: Flavonoid; A Phyto-nutrient and its impact in livestock animal nutrition[J]. *World Journal of Advanced Research and Reviews* , 2024 , 21 ( 1 ) : 311-320 .
- [27] Zhang X , Xiong Z , Zhang S , et al . Enrichment of milk antioxidant activity by dietary supplementation of red clover isoflavone in cows and its improvement on mice intestinal health[J]. *Food Chem* , 2024 , 446 : 138 764 .
- [28] Zhan J , Liu M , Su X , et al . Effects of alfalfa flavonoids on the production performance, immune system, and ruminal fermentation of dairy cows[J]. *Asian-Australas J Anim Sci* , 2017 , 30 ( 10 ) : 1 416-1 424 .
- [29] 金忠辉, 肖希龙, 薛占永. 复方蒲公英注射液的研制[J]. *畜牧兽医学报*, 2005 ( 4 ) : 402-406 .
- JIN Zhonghui, XIAO Xilong, XUE Zhanyong . Research on the preparation of compound dandelion injection[J]. *Journal of Animal Science and Veterinary Medicine* , 2005 ( 4 ) : 402-406 .
- [30] You T , Tang J , Yin S , et al . Effect of dietary licorice flavonoids powder on performance, intestinal immunity and health of weaned piglets[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr ( Berl )* , 2023 ( 1 ) : 147-156 .

## Research Progress of Flavonoid Compounds in Animal Production

WANG Ruixin, HE Qinghua

( College of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Southwest University for Nationalities,  
Chengdu Sichuan 610041, China )

**Abstract:** Flavonoids have been extensively studied in the context of animal production. This review highlights research on the antioxidant, immune-boosting, and antimicrobial properties of flavonoids. By leveraging their biological activities, flavonoids are incorporated into animal feed to investigate their effects on growth performance, product quality, and disease prevention, ultimately aiming to enhance animal health and welfare. Additionally, the review discusses the potential applications and challenges associated with using flavonoids in animal production, offering a scientific foundation for their rational and effective implementation in the industry.

**Keywords:** flavonoid compounds, bioactivity, animal production, production performance

---

**Fund project:** Study on the carbon flow orientation of glycerol Metabolism and Glycerol Metabolism of Salina Salina ( 2022NSFSC0244 )

**Correspondence author:** HE Qinghua ( 1977- ) , male, Han nationality, from Chengdu, Sichuan, researcher, Ph.D., research direction: open utilization of bioactive substances, and research on the structure and function of biological macromolecules.