


Research Article

Soy Isoflavones in Poultry Production: Research Advances on Metabolism, Functions, and Applications

Baosheng Sun^{1,2,*} , Yujiao Ma¹, Yan Li¹, Junyan Bie¹, Danni Song¹

¹Hubei Jingruitianheng Biotechnology Co., Ltd., Yichang, China

²College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing, China

Abstract

Soy isoflavones are a class of natural secondary metabolites with phytoestrogenic activity found in soybeans, primarily classified into free-type and conjugated-type, with the conjugated form accounting for 97%–98% of the total. This review summarizes the absorption, transformation, and metabolic pathways of soy isoflavones in the small intestine, liver, and large intestine of chickens. Conjugated isoflavones must be hydrolyzed by gut microbiota-secreted β -glucosidase into free aglycones before absorption. Free isoflavones undergo phase I and phase II metabolism in the liver, with some metabolites excreted into the intestine via bile, forming enterohepatic circulation. The unabsorbed fraction enters the large intestine and is further converted into highly active metabolites such as equol. Gut microbiota-mediated hydrolysis and conversion are key to producing these bioactive metabolites. Application studies in poultry production demonstrate that soy isoflavones can effectively improve laying and growth performance, enhance meat quality, and boost antioxidant capacity, immune regulation, and intestinal health by modulating endocrine function, activating antioxidant and immune-related signaling pathways (e.g., NF- κ B and MAPK), and regulating gut microbiota. This review systematically summarizes the multifaceted biological effects and underlying mechanisms of soy isoflavones, providing a theoretical basis for their rational and standardized application in livestock and poultry farming.

Keywords

Soy Isoflavones, Chicken, Metabolism, Gut Microbiota, Free Type

大豆异黄酮在鸡生产中的代谢、功能与应用研究进展

孙宝盛^{1,2,*}, 马玉娇¹, 李艳¹, 别君艳¹, 宋丹妮¹

¹湖北景瑞天恒生物科技有限公司, 宜昌, 中国

²中国农业大学, 动物科学技术学院, 北京, 中国

*Correspondence: Baosheng Sun (xinxiabao85@163.com)

Received: 28 April 2026; Accepted: 5 June 2026; Published: 9 June 2026



摘要

大豆异黄酮是大豆中一类具有植物雌激素活性的天然次级代谢产物，主要分为游离型和结合型两大类，其中结合型占总量的97%–98%。本文综述了大豆异黄酮在鸡小肠、肝脏及大肠中的吸收、转化与代谢途径：结合型需经肠道微生物分泌的 β -葡萄糖苷酶水解为游离型后方可被吸收；游离型在肝脏发生I相和II相代谢，部分经胆汁排入肠道形成肠肝循环；未被吸收的部分进入大肠，转化为雌马酚等高活性代谢产物。其中，肠道菌群介导的水解与转化是产生高活性代谢物的关键。在鸡生产中的应用研究表明，大豆异黄酮能够通过调节内分泌、激活抗氧化及免疫相关信号通路（如NF- κ B和MAPK）以及调控肠道菌群，有效提高产蛋与生长性能、改善肉品质，并增强抗氧化能力、免疫调节功能及肠道健康。本文系统总结其多方面的生物学效应与作用机制，为大豆异黄酮在畜禽养殖中的合理应用提供理论依据。

关键词

大豆异黄酮，鸡，代谢，肠道微生物，游离型

1. 大豆异黄酮的定义和分类

大豆异黄酮（soy isoflavones, SI）是存在于大豆中的一类重要次级代谢产物与生理活性物质，含量约占大豆干重的0.1%–0.5%。其核心化学结构为具有苯环的异黄酮骨架。由于该结构与内源性雌激素相似，故常被称为“植物雌激素”[1]；其能够与机体雌激素受体结合，发挥类雌激素效应。

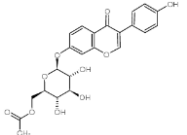
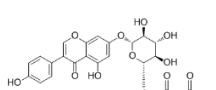
根据存在形式，大豆异黄酮可分为两大类：游离型与结合型，总计12种（见表1）。其中，游离型主要包括大

豆昔元、染料木素和黄豆黄素3种，约占总量的2%–3%，其生物活性较强[2]；而结合型（9种）则分别是上述3种游离型异黄酮的葡萄糖苷、乙酰基葡萄糖苷及丙二酰基葡萄糖苷形式，占总量的97%–98%，其本身生物活性较弱[3]。

需要指出的是，目前文献中大豆异黄酮的分类与命名体系尚不统一，同物异名现象较为常见，在查阅和使用相关资料时需注意甄别。

表1 大豆异黄酮的12种主要形式。

大类	小类	中文名1	中文别名2	英文名1	英文别名2	分子式	结构式
游离型		大豆昔元	大豆甙元、黄豆昔元、大豆素、4,7-二羟基异黄酮	Daidzein	Daidsein, Daidzeol, 4',7-Dihydroxy isoflavone	C ₁₅ H ₁₀ O ₄	
		染料木素	染料木黄酮、金雀异黄素、4',5,7-三羟基异黄酮	Genistein	Genisteol, 4',5,7-trihydroxy isoflavone	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	
		黄豆黄素	4',7-二羟基-6-甲氧基异黄酮	Glycitein	4',7-Dihydroxy-6-methoxy isoflavone	C ₁₆ H ₁₂ O ₅	
结合型	葡萄糖苷型	大豆昔	大豆甙、黄豆昔、异黄酮苷、7-羟基-3-(4-羟苯基)-异黄酮-7-糖苷	Daidzin	Daidzotide, daidzein 7-O- β -D-glucoside, Daidzein-7-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₉	

大类	小类	中文名 1	中文别名 2	英文名 1	英文别名 2	分子式	结构式
		染料木苷	染料木甙、4',5,7-三羟异黄酮-7-糖苷	Genistin	Genistein glucoside、4',5,7-trihydroxyisoflavone-7-D-glucoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀	
		黄豆黄苷	黄豆黄甙、大豆黄苷、大豆黄甙	Glycitin	Glycitein 7-O-glucoside;	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₀	
	乙酰基葡萄糖苷型	乙酰基黄豆苷	6''-O-乙酰黄豆苷	Daidzein 6''-O-Acetate	6''-o-acetyl daidzin	C ₂₃ H ₂₂ O ₁₀	
		乙酰基染料木苷	6''-O-乙酰染料木苷	Genistin 6''-O-Acetate	6''-o-acetyl genistin	C ₂₃ H ₂₂ O ₁₁	
		乙酰基黄豆黄苷	6''-O-乙酰黄豆黄苷	Glycitin 6''-O-Acetate	6''-o-acetyl glycitin	C ₂₄ H ₂₄ O ₁₁	
	丙二酰基葡萄糖苷型	丙二酰基大豆苷	6''-O-丙二酰基大豆苷	Daidzin 6''-O-Malonate	6''-O-Malonyl Daidzin, malonyl daidzin	C ₂₄ H ₂₂ O ₁₂	
		丙二酰基染料木苷	丙二酰基染料木甙	Genistin 6''-O-Malonate	6''-o-malonylgenistin, Genistin malonate	C ₂₄ H ₂₂ O ₁₃	
		丙二酰基黄豆黄苷	丙二酰黄豆黄甙、6''-O-丙二酰黄豆黄苷	Glycitin 6''-O-Malonate	6''-O-Malonyl Glycitin	C ₂₅ H ₂₄ O ₁₃	

注¹: 由于大豆异黄酮别名较多, 因此不同的文献会有不同的叫法。注²: 本文仅列出部分别名。

2. 大豆异黄酮的吸收和代谢

2.1. 小肠吸收与代谢

大豆异黄酮经口摄入后, 主要在小肠进行初始吸收与转化。游离型大豆异黄酮(如大豆苷元、染料木素和黄豆黄素)可被小肠上皮细胞直接吸收, 随后进入门静脉循环。而占总含量绝大多数的结合型大豆异黄酮(包括葡萄糖苷、乙酰基葡萄糖苷及丙二酰基葡萄糖苷等形式), 因其分子中的大豆异黄酮苷元通过β-D-葡萄糖苷键与糖基相连, 无法被直接吸收。这类结合物必须先在小肠腔或结肠内, 由

肠道微生物(如拟杆菌 *Bacteroides*、双歧杆菌 *Bifidobacterium*、梭菌 *Clostridium*、肠球菌 *Enterococcus*、乳杆菌 *Lactobacillus* 和史雷克氏菌属 *Slackia* 等菌属)分泌的β-葡萄糖苷酶催化水解[4-6]。该酶特异性裂解β-D-葡萄糖苷键, 脱去糖基, 释放出具有生物活性的游离型苷元及葡萄糖配基, 进而被吸收[7-9]。

结合型向游离型的转化是一个分步过程: 首先, 丙二酰基葡萄糖苷型在相应酶作用下转化为乙酰基葡萄糖苷型, 后者进一步转化为葡萄糖苷型, 最终由β-葡萄糖苷酶水解释放出游离型苷元[5, 10]。完成转化与吸收后, 游离型大豆异黄酮穿过肠上皮细胞基底膜, 汇入门静脉血流, 转运至肝脏进行后续代谢。

2.2. 肝脏代谢

游离型大豆异黄酮经门静脉进入肝脏后，迅速经历首过代谢。该代谢过程依次分为两步：首先，在肝细胞细胞色素P450酶系（CYP450）催化下，发生羟基化、去甲基化等I相代谢反应，对其化学结构进行初步修饰[11]。继而，修饰后的产物通过葡萄糖醛酸化等II相结合反应，与葡萄糖醛酸结合，形成葡萄糖醛酸苷结合物（如Daidzein-7-O-葡萄糖醛酸苷），从而显著提高其水溶性[11]。此类结合物生物活性较低，主要经由血液循环分布至全身组织，或随胆汁排入十二指肠，为后续的肠肝循环奠定基础。

2.3. “肠肝循环”代谢

经肝脏代谢生成的大豆异黄酮葡萄糖醛酸结合物随胆汁分泌进入十二指肠。在肠道中，该结合物可被以乳酸杆菌为代表的肠道菌群所分泌的β-葡萄糖醛酸苷酶水解，重新释放出游离型大豆异黄酮。释放出的游离苷元一部分可被小肠上皮细胞重吸收，经门静脉返回肝脏，再次经历上述代谢过程，生成结合物后重新排入胆汁，此过程被称为“肠肝循环”，通常可循环2-3次，从而显著延长大豆异黄酮在体内的滞留时间[16]。未被小肠重吸收的剩余游离大豆异黄酮则进入大肠，由结肠微生物进行进一步转化与代谢。

2.4. 大肠吸收代谢

进入大肠后，游离大豆异黄酮包括大豆苷元、染料木素和黄豆黄素在厌氧微生物酶作用下，经过还原、开环、去酮基等反应[6]，生成邻去甲基安哥拉紫檀素和雌马酚等多种具有生物活性的代谢产物[12, 13]。其各自代谢过程如下（图1）：

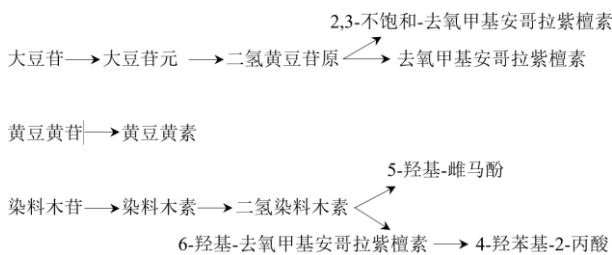


图1 大豆异黄酮肠道微生物代谢转换途径。

2.4.1. 大豆苷元

大豆苷元在双歧杆菌（*Bifidobacterium*）、乳酸杆菌（*Lactococcus*）等分泌的大豆苷元还原酶作用下，C环上的C2=C3双键被还原为单键，生成二氢大豆苷元，随后有两个分支：（1）二氢大豆苷元被史雷克氏菌种*Slackia isoflavoniconvertens*等分泌的二氢大豆苷元脱羟基酶脱去一个羟基，生成去甲基安哥拉紫檀素[14]；（2）二氢大豆苷元被史雷克氏菌（*Slackia*）等分泌的二氢大豆苷元还原

酶还原为四氢大豆苷元，然后四氢大豆苷元在*Slackia isoflavoniconvertens*等分泌的裂解酶作用下，C环开环并脱去一个羟基，生成雌马酚[15, 17]。雌马酚被肠道吸收或进一步代谢生成3-羟基雌马酚等代谢产物[18, 19]。

2.4.2. 染料木素

染料木素在*Slackia*等微生物分泌的染料木黄酮还原酶作用下，C2=C3双键被还原，生成二氢染料木黄酮，随后有两个分支：（1）二氢染料木黄酮在*Slackia*、*Eubacterium*等微生物的脱羟基酶/裂解酶作用下，生成6'-羟基-去甲基安哥拉紫檀素（6'-羟基-O-DMA）；6'-OH-O-DMA可通过C环裂解和侧链氧化转化为4-羟基苯基-2-丙酸。（2）二氢染料木黄酮C环在菌株微生物酶作用下断裂，开环产物经还原生成5-羟基-雌马酚[20, 21]。

2.4.3. 黄豆黄素

黄豆黄素被乳酸菌等进一步代谢，还原生成二氢黄豆黄素或C环裂解产生4-乙基苯酚和间苯三酚衍生物；部分黄豆黄素去甲基化转化为6-羟基黄豆黄素等。

2.5. 分布与排泄

游离型大豆异黄酮及其代谢物通过血液运至靶组织，通过与雌激素受体结合发挥抗氧化、抗炎等生理作用。未吸收的大豆异黄酮及其代谢物，主要以葡萄糖醛酸苷或硫酸酯形式经肾脏随尿液排泄，部分随粪便排出[22]。

3. 大豆异黄酮对鸡的作用及机制

3.1. 提高产蛋性能

大豆异黄酮作为“植物雌激素”，可影响动物的繁殖性能。研究发现，添加大豆异黄酮可提高青年蛋鸡[23]、产蛋后期蛋鸡[24, 25]以及黄羽肉种母鸡[26]的产蛋性能[27]。它能通过结合雌激素受体，促进垂体促性腺激素的生成和释放[28]，或通过调控肝脏中卵黄蛋白原基因表达提高产蛋性能[29]。大豆异黄酮也可提高蛋壳品质[26, 30]。

3.2. 提高生长性能

大豆异黄酮也能提高鸡的生长性能。研究表明，添加大豆异黄酮例如染料木素 [31, 32]可提高肉鸡的日增重和饲料转化率[33]。它是通过作用于下丘脑-垂体-靶器官生长调节轴，释放生长激素和胰岛素样生长因子-I (IGF-I) [34]或通过激活胞内的cAMP/PKA信号通路，促进畜禽的生长。大豆苷元也可激活Akt/mTOR信号诱导成肌细胞肌管形成和肥大[35]，增加骨骼肌细胞中葡萄糖转运载体4 (GLUT4)的表达和葡萄糖摄取，进而促进鸡的肌肉生长[36]。

另外,大豆异黄酮可上调骨保护素的mRNA表达,提高 1α 羟化酶活性,增加 $1,25-(OH)_2D_3$ 合成,促进成骨细胞的形成[37];通过激活氧化物酶增殖子受体(PPARs)等信号通路,促进成骨细胞的分化增殖和骨骼发育[33, 38],从而可预防骨质疏松症。

2.3. 改善肌肉品质

鸡的肌肉品质指标包括肉色、系水力、嫩度、风味等。研究表明,添加大豆异黄酮可改善肉鸡的肉色[39]、提高胸肌的系水力[40]、维持肌肉细胞膜完整性而降低滴水损失[41]、提高肌纤维密度使肉质更嫩[42]、改善胸肌中的脂肪酸组成[43]和提高肌苷酸等风味物质含量[42],从而改善肌肉品质。它还能通过调控与脂肪代谢有关的基因表达,降低肝脏葡萄糖-6-磷酸脱氢酶和苹果酸脱氢酶的活性,减少体内乙酰乙酸的合成[44],从而降低肉鸡皮下脂肪厚度和腹脂率[45]。

3.4. 提高抗氧化性能

研究发现,添加染料木素可提高鸡血液中的超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)和过氧化氢酶(CAT)活性[42, 46],并能防止氧化应激导致的膜通透性[47],进而发挥抗氧化活性。在饲料中添加大豆异黄酮,可提高谷胱甘肽过氧化物酶GSH-Px活性,改善蛋鸡的抗氧化功能[26, 30]。大豆异黄酮代谢产物S-雌马酚,可作为氢/电子受体,清除自由基,抗氧化活性要比亲本化合物黄豆苷元高出100多倍[6]。

大豆异黄酮抗氧化作用机理包括以下几方面:抑制和淬灭自由基[48];减轻DNA氧化损伤;抑制脂质过氧化反应诱导抗氧化酶基因表达,增强抗氧化酶活性;减少自由基和活性氧的形成,从而减少机体氧化损伤[49];增加抗氧化蛋白表达及螯合金属离子等[50]。还有研究表明,大豆异黄酮抗氧化作用机理是其与 β -雌激素受体结合后,激活丝裂原活化蛋白激酶激酶(MAPK/ERK Kinase, MEK),促进细胞外调节蛋白激酶1/2(ERK1/2)磷酸化,使NF- κ B抑制蛋白(I κ B)的2个亚基磷酸化,进而激活NF- κ B,上调锰超氧化物歧化酶基因*MnSOD*的表达,起到抗氧化作用[33, 51]。

3.5. 提高免疫功能

研究表明,大豆异黄酮例如染料木黄酮可增强鸡的免疫[52]。大豆异黄酮可提高法氏囊和脾脏指数[53];可介导核转录因子 κ B(NF- κ B)级联和丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号转导通路,调节细胞免疫[54];还能增加NK细胞[11]、T淋巴细胞的数量[55],增强巨噬细胞的功能[56],进而增强细胞免疫。大豆异黄酮也能通过抑制酪氨酸蛋白激酶和拓扑异构酶II活性[57],起到抗肿瘤作用。

另外研究发现,染料木黄酮改善老龄鸡肠道的黏膜屏障功能[58]。染料木素可抑制脂多糖诱导的TOLL样受体4(TLR4)的表达,从而保护肠道屏障[59];也可抑制丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)的产生来保护肠道紧密连接[11, 60]。游离型大豆异黄酮可增加大鼠结肠杯状细胞的数量和抗炎因子白细胞介素-10(IL-10),抑制肿瘤坏死因子- α (TNF- α)和白细胞介素IL-4、IL-6等促炎因子的表达以及NF- κ B的激活,进而增强免疫和肠道屏障功能[61]。

3.6. 改善肠道菌群

肠道微生物多样性对动物肠道健康十分重要。研究发现,结合型大豆异黄酮糖苷降解产生的葡萄糖可作为肠道微生物所需的碳源和能量[62],提高肠道微生物例如鼠李糖乳杆菌和黏质乳杆菌等有益菌的多样性[33]。另外,大豆异黄酮特别是染料木素可以通过抑制有害菌的拓扑异构酶的活性抑制DNA复制,从而抑制其增殖[63, 64]。

除了影响肠道微生物组成,大豆异黄酮还影响肠道微生物产生的水解酶和抗氧化酶的活性[65],例如可促进乳酸杆菌、双歧杆菌分泌 β -葡萄糖苷酶[66],进而促进结合型大豆异黄酮水解成游离型。

4. 小结及展望

大豆异黄酮作为一种天然生物活性物质,在鸡养殖中展现出改善生产性能、产品品质和机体健康的多重潜力。其作用机制涉及雌激素受体介导的内分泌调节、抗氧化酶系统的激活以及NF- κ B、MAPK等关键信号通路的调控,同时其代谢产物(尤其是雌马酚)的活性显著高于前体物质。肠道微生物在其活化与功能发挥中扮演核心角色。未来研究应聚焦于不同结构异黄酮及其代谢产物的特异功能、精准添加策略及其对肠道微生态的长期影响,以推动其在饲料工业中的科学化、标准化应用。

致谢

本论文受到2023年宜昌高新区科技创新项目“新型高活性大豆异黄酮作用机理及产业化应用的研究”(项目编号:A23-007)和2024年贵州省职业教育“技能贵州”行动计划项目“省级畜牧兽医专业群教师教学创新团队”(黔教函(2024)44号)资助。

参考文献

- [1] 何灵芝,覃圣,撒瑞雪,徐硕,程香,马俊贤.大豆异黄酮对生殖细胞增殖影响的研究进展[J].现代畜牧兽医,2019,(12):54-58.
<https://doi.org/10.20154/j.cnki.issn1672-9692.2019.12.012>

- [2] Villares, A., Rostagno, M. A., Ana García-Lafuente, Eva Guil-lamón, & J. Alfredo Martínez. Content and profile of isofla-vones in soy-based foods as a function of the production pro-cess. *Food & Bioprocess Technology*, 2011, 4(1), 27-38. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0311-y>
- [3] 李参参, 张淦, 常徽. 微生物发酵法转化大豆异黄酮研究进-展 [J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(12): 218-224. <https://doi.org/10.12161/j.issn.1005-6521.2023.12.030SIF>
- [4] Xu J, Chen H, Li S. Understanding the molecular mechanisms of the interplay between herbal medicines and gut microbiota [J]. *Medicinal Research Reviews*, 2017, 37(5): 1140-1185. <https://doi.org/10.1002/med.21431>
- [5] 陈嘉序, 陈如扬, 连媛, 姚欣硕, 黄钰昕, 高瑶, 肖愈. 大豆异黄酮的生物转化及功能活性研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 2023, 42(9): 176-182. <https://doi.org/10.12161/j.issn.1005-6521.2021.09.026>
- [6] 梁文欧, 赵力超, 方祥, 王丽. 大豆异黄酮与肠道微生物相-互作用研究进展 [J]. *食品科学*, 2019, 40(9): 283-288. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20180119-261>
- [7] Fang W, Song R, Zhang X, Zhang X, Zhang X, Wang X, Fang Z, Xiao Y. Characterization of a Novel β -Glucosidase from *Gongronella* sp. W5 and Its Application in the Hydrolysis of Soybean Isoflavone Glycosides [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2014, 62(48): 11688-11695. <https://doi.org/10.1021/jf502850z>
- [8] 鲍捷. 产 β -葡萄糖苷酶乳酸菌的筛选及发酵豆浆中大豆异-黄酮糖苷代谢研究 [D]. 大连: 大连工业大学, 2023. <https://doi.org/10.26992/d.cnki.gdlqc.2023.000578>
- [9] 王丹媚. β -葡萄糖苷酶水解大豆异黄酮及其在提高土鸡品-质中的探究 [D]. 金华: 浙江师范大学, 2022. <https://doi.org/10.27464/d.cnki.gzsfu.2022.000220>
- [10] 周文红, 郭咪咪, 李秀娟, 毕艳红, 王朝宇, 段章群. 大豆异-黄酮提取及其生物转化的研究进展 [J]. *粮油食品科技*, 2019, 27(5): 37-42. <https://doi.org/10.16210j.cnki1007-7561.2019.05.008>
- [11] 赵慧颖, 余诗强, 蒋林树, 熊本海. 大豆异黄酮的代谢及其-对动物肠道保护机制的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2022, 34(7): 4132-4142. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2022.07.006>
- [12] Snchez-calvo J M, Rodr guez-iglesias M A, Molinillo J M G, Macias F A. Soy isoflavones and their relationship with micro- flora: beneficial effects on human health in equol producers [J]. *Phytochemistry Reviews*, 2013, 12(4): 979-1000. <https://doi.org/10.1007/s11101-013-9329-x>
- [13] Islam M A, Punt A, Spenkelink B, et al. Murk A J, Rolaf van Leeuwen F X, Rietjens I M C M. Conversion of major soy iso- flavone glucosides and aglycones in in vitro intestinal models [J]. *Molecular nutrition & food research*, 2014, 58(3): 503-515. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300390>
- [14] Rowland I, Faughnan M, Hoey L, Wähälä K, Williamson G, Cassidy A. Bioavailability of phyto-oestrogens [J]. *British Journal of Nutrition*, 2003, 89(Suppl.1): S45-S58. <https://doi.org/10.1079/BJN2002796>
- [15] Wang X, Ma Y, Wu X, Chen B, Fang X, Zhong Q, Liao Z, Wang J, Wang L. The dietary intervention of synbiotic preparation promotes the bioconversion of soy isoflavones to equol and its metabolic mechanism [J]. *Journal of Functional Foods*, 2023, 109(000): 15. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105784>
- [16] Barnes S, Prasain J, D'alessandro T, Arabshahi A, Botting N, Lila M A, Jackson G, Janle E M, Weaver C M. The metabolism and analysis of isoflavones and other dietary polyphenols in foods and biological systems [J]. *Food & Function*, 2011, 2(5): 235-244. <https://doi.org/10.1039/c1fo10025d>
- [17] Maruo T, Sakamoto M, Ito C, Toda T; Benno Y. *Adlercreutzia equolifaciens* gen. nov., sp. nov., an equol-producing bacterium isolated from human faeces, and emended description of the genus *Eggerthella* [J]. *International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology*, 2008, 58(5): 1221-1227. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65404-0>
- [18] Rüter C E, Kulling S E. Antioxidant activity of isoflavones and their major metabolites using different in vitro assays [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006, 54(8): 2926-2931. <https://doi.org/10.1021/jf053112o>
- [19] 李燕, 蒋守群, 陈伟. 雌马酚的产生、生物学功能及潜在应-用 [J]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3236-3244. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2014.11.008>
- [20] Xie Y, Liu Z, Gao Y, Wang X, Hao Q, Yu X. Bioconversion of genistein to(-)-5-hydroxy-equol by a newly isolated cock in- testinal anaerobic bacterium [J]. *Journal of Chinese Pharma- ceutical Sciences*, 2015, 24 (7), 442-448. <https://doi.org/10.5246/jcps.2015.07.057>
- [21] 王秀伶, 王焯. 膳食中的植物雌激素、肠道菌群与人类健康 [J]. *世界华人消化杂志*, 2016, (35): 51-67. <https://doi.org/10.11569/wcjd.v24.i35.4660>
- [22] Lee D, Kim M J, Ahn J, Lee S H, Lee H, Kim J H, Park S H, Jang Y J, Ha TY, Jung CH. Nutrikinetics of isoflavone metab- olites after fermented soybean product (cheonggukjang) inges- tion in ovariectomized mice [J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2017, 61(12): 1700322. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700322>
- [23] Obianwuna U E, Chang X, Wu R, Wang J, Zhang H J, Wu S G, Qiu K. 2025. Effect of Genistein and Glycitein on production performance, egg quality, antioxidant function, reproductive hormones and related-genes in pre-peak laying hens [J]. *Poultry science*, 103(10): 103952. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103952>
- [24] 强桃艳. 2024. 大豆异黄酮对不同产蛋水平产蛋后期蛋鸡-生产性能、蛋品质和卵巢功能的影响 [D]. 成都: 四川农业-大学. <https://doi.org/10.27345/d.cnki.gsnvu.2024.000760>
- [25] 王贝贝, 武书庚, 张海华, 张海军, 郝二英, 邱凯. 饲粮添加-大豆异黄酮对产蛋后期蛋鸡生产的影响 [J]. *畜牧兽医学-报*, 2025, 56(1): 295-306. <https://doi.org/10.11843/j.issn.0366-6964.2025.01.027>

- [26] 林厦菁, 苟钟勇, 范秋丽, 叶金玲, 王一冰, 蒋守群. 大豆异黄酮对黄羽肉种母鸡产蛋、繁殖性能及血浆生化指标的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2023, 50(11): 4454-4462.
<https://doi.org/10.16431/j.cnki.1671-7236.2023.11.014>
- [27] Zhao R Q, Zhou Y C, Ni Y D, Lu L Z, Tao Z R, Chen W H. Effect of daidzein on egg-laying performance in Shaoring duck breeders during different stages of the egg production cycle [J]. *British Poultry Science*, 2005, 46: 175-181.
<https://doi.org/10.1080/00071660500064808>
- [28] 曹满湖, 罗理成, 孙佳静, 方热军, 朱静波. 大豆异黄酮对产蛋后期蛋鸡卵巢机能的影响 [J]. 动物营养学报, 2016, 28(8): 7. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2016.08.017>
- [29] 吴晶, 童海洋, 魏晓静, 倪迎冬. 产蛋后期母鸡日粮中添加大豆异黄酮对产蛋率及肝脏相关基因表达的影响 [C]. 全国动物生理生化第十一次学术交流会, 2025. <https://doi.org/ConferenceArticle/5a9fc4d1c095d72220584a1a>
- [30] 田何芳, 金永燕, 庄智威, 戴振宇, 刘文超, 郑春田, 张亚男. 大豆异黄酮对产蛋后期京粉1号蛋鸡产蛋性能、蛋品质、血浆生化指标和抗氧化能力的影响 [J]. 中国家禽, 2021, 43(12): 6.
<https://doi.org/10.16372/j.issn.1004-6364.2021.007>
- [31] Lv Z, Fan H, Zhang B, Xing K, Guo Y. Dietary genistein supplementation for breeders and their offspring improves the growth performance and immune function of broilers [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 5161.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-23530-z>
- [32] Fan H, Lv Z P, Gan L P, Ning C, Zhui Li, Yang M H, Zhang B B, Song B C, Li G, Tang D Z, Gao J X, Yan S J, Wang Y L, Liu J F, Guo Y M. A Novel lncRNA regulates the toll-like receptor signaling pathway and related immune function by stabilizing fos mRNA as a competitive endogenous RNA [J]. *Frontiers in Immunology*, 10: 838-838.
<https://doi.org/10.3389/fimmu.2019.00838>
- [33] 刘帅, 熊云霞, 孙铝辉, 王丽. 大豆异黄酮在猪禽养殖中应用的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2021, 33(4): 1822-1831.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2021.04.003>
- [34] 许啸, 齐智利. 大豆异黄酮对畜禽生理机能的调控 [J]. 动物营养学报, 2012, 24(3): 436-438.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-267x.2012.03.008>
- [35] Bodine S C, Stitt T N, Gonzalez M, Kline W O, Yancopoulos G D. Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo [J]. *Nat Cell Biol*, 2001, 3(11): 1014-1019.
<https://doi.org/10.1038/ncb1101-1014>
- [36] Cederroth C R, Vinciguerra M, Gjinovci A, Franoise Kü, Nef S. Dietary phytoestrogens activate AMP-activated protein kinase with improvement in lipid and glucose metabolism [J]. *Diabetes*, 2008, 57(5): 1176-1185.
<https://doi.org/10.2337/db07-0630>
- [37] Mueller M, Lukas B, Novak J, Simoncini T, Genazzani A R, Jungbauer A. Oregano: a source for peroxisome proliferator-activated receptor gamma antagonists [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(24): 11621-11630.
<https://doi.org/10.1021/jf802298w>
- [38] 王冬生, 韩婧, 康文博, 赵建宁. 植物雌激素防治骨质疏松作用的机制进展 [J]. 中国骨质疏松杂志, 2016, 22(5): 632-640. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-7108.2016.05.025>
- [39] Utami M M D, Hertamawati R T. Dietary edamame soybean isoflavon concentrate on improving carcass quality of broilers [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 411(1): 012035.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/411/1/012035>
- [40] Kamboh A A, Zhu W Y. Individual and combined effects of genistein and hesperidin supplementation on meat quality in meat type broiler chickens [J]. *J Sci Food Agric*, 2013, 93(13): 3362-3367. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6185>
- [41] Payne R L, Bidner T D, Southern L L, Geaghan J P. Effects of dietary soy isoflavones on growth, carcass traits, and meat quality in growing-finishing pigs [J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(5): 1230-1239. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(01\)00099-6](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(01)00099-6)
- [42] 官丽辉, 马旭平, 刘海斌, 张立永, 关琛, 王志伟. 大豆异黄酮对坝上长尾鸡卵巢功能、生殖激素和肌肉品质的影响 [J]. 中国兽医学报, 2021, 41(2): 338-344.
<https://doi.org/10.16303/j.cnki.1005-4545.2021.02.24>
- [43] 叶金玲, 范秋丽, 王一冰, 林厦菁, 阮栋, 罗琦丽, 苟钟勇, 蒋守群. 磷脂与大豆异黄酮对黄羽肉鸡生长性能、肉品质及抗氧化功能的影响 [J]. 中国畜牧兽医, 2024, 51(5): 1857-1867.
<https://doi.org/10.16431/j.cnki.1671-7236.2024.05.007>
- [44] 刘哲洁, 张桂春, 张维生. 半胱胺、大豆黄酮对肉仔鸡脂肪代谢的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2003, 34(2): 171-175.
<https://doi.org/10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.2003.02.012>
- [45] 宋凯. 大豆异黄酮的生理功能及其对畜产品品质的影响 [J]. 饲料博览, 2008, (7): 5-7.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-0084.2008.07.002>
- [46] 陈浩瀚, 王锦湘, 王敏奇. 大豆异黄酮对生长猪生长性能、血清生化、免疫和抗氧化能力的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(5): 229-238.
<https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20210602-07>
- [47] Jiang Z Y, Zhou G L, Lin Y C, Jiang S Q, Zheng C T, Han L M, Chen F. Effects of soybean isoflavones on in vitro antioxidative capacity of satellite cells of porcine skeletal muscles [J]. *Agr Sci China*, 2011, 10(1): 120-125.
[https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60297-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60297-2)
- [48] Shimada Y, Yasuda S, Takahashi M, Hayashi T, Miyazawa N, Sato I, Abiru Y, Uchiyama S, Hishigaki H. Cloning and expression of a novel nadp(h)-dependent daidzein reductase, an enzyme involved in the metabolism of daidzein, from equol-producing lactococcus strain 20-92 [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2010, 76(17), 5892-5901.
<https://doi.org/10.1128/AEM.01101-10>

- [49] Gun-Ae, Y, Sunmin P. Antioxidant action of soy isoflavones on oxidative stress and antioxidant enzyme activities in exercised rats [J]. *Nutrition Research and Practice*, 2014, 8(6): 618-624. <https://doi.org/10.4162/nrp.2014.8.6.618>
- [50] 杨帆.大豆异黄酮的生理作用及其在畜牧生产中的应用 [J]. *饲料与畜牧: 新饲料*, 2010, (2): 7. <https://doi.org/CNKI:SUN:SNCM.0.2010-02-013>
- [51] Chadha R, Bhalla Y, Jain A, Chadha K, Karan M. Dietary soy isoflavone: a mechanistic insight [J]. *Natural Product Communications*, 2017, 12(4): 1069-1074. <https://doi.org/10.1177/1934578X1701200439>
- [52] 吕增鹏. 2018. 染料木黄酮调节种鸡及其子代脂代谢与免疫的分子机理研究 [D]. 北京: 中国农业大学.
- [53] 王洋, 孙玉刚. 大豆异黄酮片对肉仔公鸡免疫功能的影响 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(20): 35-37. <https://doi.org/CNKI:SUN:ZNTB.0.2009-20-009>
- [54] Sakai T, Kogiso M. Soy isoflavones and immunity [J]. *J Med Invest*, 2008, 55(3-4): 167-173. <https://doi.org/10.2152/jmi.55.167>
- [55] 付丽佳, 林海, 王玉华. 大豆异黄酮雌激素样作用的研究进展 [J]. *中国伤残医学*, 2008, 16(6): 2. <https://doi.org/CNKI:SUN:XCYZ.0.2008-06-125>
- [56] Salces F R, Rostagno M A, Farfan J A. Novel process of hydration, followed by incubation and thermal processing, for high isoflavone bioconversion in soybeans [J]. *Food Research International*, 2019, 121(JUL.): 691-696. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.040>
- [57] 任维利. 大豆异黄酮的作用研究进展 [J]. *食品安全导刊*, 2021, 14: 74-75. <https://doi.org/10.16043/j.cnki.cfs.2021.14.033>
- [58] Hou Q, Huang J, Zhao L, et al. Dietary genistein increases microbiota-derived short chain fatty acid levels, modulates homeostasis of the aging gut, and extends healthspan and lifespan [J]. *Pharmacological Research*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2023.106676>
- [59] Jeong J W, Lee H H, Han M H, Kim G Y, Kim W J, Choi Y H. Anti-inflammatory effects of genistein via suppression of the tolllike receptor 4-mediated signaling pathway in lipopolysaccharide-stimulated BV2 microglia [J]. *Chemico Biological Interactions*, 2014, 212: 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.01.012>
- [60] Mccarty M F, Lerner A. Perspective: Prospects for nutraceutical support of intestinal barrier function [J]. *Advances in Nutrition*, 2020, 12(3). <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa139>
- [61] 程东静. 2019. 大豆异黄酮对高脂肥胖大鼠结肠屏障功能的影响 [D]. 雅安: 四川农业大学. <https://doi.org/10.27345/d.cnki.gsnnyu.2019.000680>
- [62] Vázquez L, Flórez A B, Guadamuro L, Mayo B. Effect of soy isoflavones on growth of representative bacterial species from the human gut [J]. *Nutrients*, 2017, 9(7), 727. <https://doi.org/10.3390/nu9070727>
- [63] Hong H, Landauer M R, Foriska M A, Ledney G D. Antibacterial activity of the soy isoflavone genistein [J]. *Journal of Basic Microbiology*, 2006, 46(4): 329-335. <https://doi.org/10.1002/jobm.200510073>
- [64] 王海涛. 2009. 大豆异黄酮的抑菌活性及其机制的研究 [D]. 硕士学位论文.大连: 辽宁师范大学. <https://doi.org/10.7666/d.y1600750>
- [65] 刘佳明, 吕德志, 张大伟. 双歧杆菌发酵对豆芽汁中大豆异黄酮含量及组分影响的研究 [J]. *中国微生态学杂志*, 2004, 16(4): 213-214. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-376X.2004.04.011>
- [66] Mika A, Greenwood B N, Chichlowski M, Borchert D, Hulen K A, Berg B M, Paton M, Fleshner M. Dietary prebiotics increase *Bifidobacterium* spp. and *Lactobacillus* spp. in the gut and promote stress resistance [J]. *Brain Behavior & Immunity*, 2014, 40: e45. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2014.06.175>