

我国白羽肉鸡一般饲料添加剂研究进展

杨欣¹ 杨小军¹ 李绍钰^{2*} 吕于明³

(1.西北农林科技大学动物科技学院,杨凌 712100;2.河南省农业科学院畜牧兽医研究所,郑州 450002;

3.中国农业大学动物科技学院,动物营养学国家重点实验室,北京 100193)

摘要:白羽肉鸡具有生长速度快、饲料转化率高及肌肉蛋白质含量高等特点,在我国肉类供应中占有重要地位。在后抗生素时代,一般饲料添加剂在提高动物生产性能、保证动物健康、节省饲料成本和改善畜产品品质等方面发挥着越来越重要的作用。本文综述了近年来益生菌、乳化剂、酸化剂、中草药、精油、多糖及其他植物提取物等常见一般饲料添加剂在白羽肉鸡上的研究和应用,以推进白羽肉鸡养殖业健康发展。

关键词:一般饲料添加剂;白羽肉鸡;研究进展

中图分类号:S831

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)10-4592-10

我国肉鸡养殖业发展速度快,集约化程度高,据国家肉鸡生产信息监测数据显示:2019年我国肉鸡出栏量达105亿只,产肉量1580万t,其中白羽肉鸡出栏44亿只,占总出栏量的42%,产肉量830万t,占总产肉量的53%,白羽肉鸡依然是我国最重要的鸡肉供给来源。白羽肉鸡生长速度快,饲养周期短,肠道在营养物质消化吸收及屏障功能方面发挥重要作用,特别是在“饲料禁抗”的背景下,肉鸡产业因肠道疾病造成经济损失的风险在加大。

一般饲料添加剂是指为保证和改善饲料品质、提高饲料利用率而掺入饲料中的少量或者微量物质,对提高动物生产性能、维护肠道健康、节约养殖成本和改善畜产品品质等方面有明显的效果。近3年来,我国科研工作者针对白羽肉鸡一般饲料添加剂开展了大量研究工作,在75种国内外行业主流期刊中,关于白羽肉鸡营养研究的文章有566篇(截止到2020年7月31日),在家禽营养研究对象占比达到39%,而这其中关于饲料添加剂的研究文章占比超过40%。这些数字体现

出在当前饲料禁抗的背景下,肉鸡营养研究工作进入了对饲料添加剂研发的产业需求新阶段。本文对近年来国内学者在白羽肉鸡一般饲料添加剂相关研究进展进行综述,为后抗生素时代我国白羽肉鸡养殖业健康、可持续发展提供参考。

1 益生菌

益生菌是一类对宿主有益的活性微生物,具有对动物健康、安全、无污染、促生长效果显著等优点,益生菌及其代谢产物一直以来都是“饲用抗生素替代物”的重要候选添加剂之一。本节从乳酸菌、芽孢杆菌和复合益生菌方面来总结益生菌对白羽肉鸡生长性能和肠道菌群的影响,以及在感染产气荚膜梭菌、沙门氏菌、溃疡性结肠炎白羽肉鸡病理模型下的功能调节。

1.1 乳酸菌

乳酸菌是一种厌氧或兼性厌氧的革兰氏阳性菌,是在健康动物肠道存在的优势菌群,维持肠道微生态平衡和机体健康。乳酸菌主要通过发酵产生酶、有机酸、多糖及其他活性成分来调控

收稿日期:2020-08-21

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0500600);国家自然科学基金(31972529);国家肉鸡产业技术体系(CARS-41-G19)

作者简介:杨欣(1981—),男,吉林敦化人,副教授,博士,主要从事家禽营养与肠道健康研究。E-mail: yangx0629@163.com

*通信作者:李绍钰,研究员,硕士生导师,E-mail: lisy9617@aliyun.com

机体免疫功能、营养过程、氧化还原状态等生理状态。刘晓静等^[1]以无特定病原体(SPF)雏鸡为研究对象,探索嗜酸乳杆菌在预防溃疡性结肠炎发生中的作用及其机制,结果表明,嗜酸乳杆菌可以通过调节血清中白细胞介素(IL)-8和IL-10的含量,预防和缓解雏鸡溃疡性结肠炎的发生和发展,而这一作用可能是通过Toll样受体2/髓样分化蛋白抗原88(TLR2/MyD88)信号传导通路进行调节。刘华伟等^[2]研究表明,植物乳杆菌P-8具有缓解热应激肉鸡生长性能、肠道形态及免疫功能损伤的效果。研究发现饲粮补加植物乳杆菌JM113可以增加21日龄肉鸡十二指肠IL-10和IL-12的表达,增加42日龄肉鸡的回肠分泌型免疫球蛋白A(sIgA)含量和21日龄肉鸡的法氏囊指数,进一步得到的空肠转录组数据证明植物乳杆菌JM113缓解了呕吐毒素引起的肠道吸收代谢相关基因表达的减少^[3],同时通过改善肠道细菌及代谢产物组成提升小肠抗凋亡能力,改善呕吐毒素诱导的肠道炎症^[4]。

坏死性肠炎是由产气荚膜梭菌引起的常见肠道传染病,急性坏死性肠炎可直接导致鸡群大量死亡,慢性坏死性肠炎导致肉鸡肠道消化吸收功能降低,严重影响生产效益。Wang等^[5]发现约氏乳杆菌BY15可增强肉鸡抗氧化能力以及免疫球蛋白(Ig)、IL-2和干扰素的含量,特别在前3周补充约氏乳杆菌BY15可增强肠道免疫,进而达到预防亚临床型坏死性肠炎的效果。Li等^[6]研究显示,嗜酸乳杆菌可通过降低受感染肉鸡的肠道病变评分,促炎细胞因子mRNA表达,增加了小肠乳杆菌的数量,进而改善肠道健康,降低肉鸡坏死性肠炎的死亡率。夏亿等^[7]研究发现,饲粮中添加发酵乳杆菌或凝结芽孢杆菌均对感染A型产气荚膜梭菌肉鸡的肠道微生物具有调控作用。

屎肠球菌作为一种乳酸菌已广泛应用于肉鸡生产,其代谢产物对病原菌的抑制、肠道菌群稳定和肉鸡生长具有重要意义。Wu等^[8-9]发现屎肠球菌11181提高肉鸡平均日增重存在剂量效应,而高剂量(2×10^8 CFU/kg)屎肠球菌对细胞免疫和体液免疫有明显的刺激作用,作者进一步研究该菌可通过增强肠黏膜屏障功能、调节肠道菌群和肠黏膜免疫应答,进而有效减轻产气荚膜梭菌诱导的肠道损伤。研究发现,饲粮中添加200 mg/kg屎肠球菌能显著提高血清和肝脏中总抗氧化能力

(T-AOC)及谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性,降低丙二醛(MDA)含量,即提高肉鸡抗氧化酶分泌,降低过氧化物含量^[10]。曹广添等^[11]研究表明,饲喂屎肠球菌可显著提高大肠杆菌感染肉鸡的生长性能,提高血液免疫相关指数,改变盲肠菌群多样性。Wang等^[12]研究表明,饲喂屎肠球菌增加肉鸡肠道泽利菌属、真杆菌属、瑞肯菌属和瘤胃菌科的相对丰度,粪杆菌属和埃希氏菌-志贺氏菌属的相对丰度有所下降,增加了短链脂肪酸产生菌的相对丰度,提高了肠道对磷的吸收和骨形成代谢活性,减少了磷的排泄。

1.2 芽孢杆菌

芽孢杆菌由于生长速度快、易存活、易繁殖、可以分泌多种酶等优点,成为饲用益生菌研究的热点。Cao等^[13]发现解淀粉芽孢杆菌可改善肉鸡体增重,增加21日龄粪杆菌属和瘤胃球菌属的相对丰度,代谢组学结果显示,其改变了盲肠氨基酸和甘油三酯代谢。李佳骏等^[14]研究了芽孢表面镶嵌鸡白痢沙门氏菌OmpC重组枯草芽孢杆菌SE1对肉鸡生长性能、肠道消化酶活性和菌群的影响,结果表明,重组枯草芽孢杆菌SE1具有与枯草芽孢杆菌168相同的效果,能有效促进肉鸡生长,提高肠道脂肪酶和蛋白酶活性,调节肉鸡肠道菌群,提高肠道菌群稳定性和多样性。

孙全友等^[15]研究显示,地衣芽孢杆菌能显著提高血清中谷胱甘肽过氧化物酶和溶菌酶(LZM)活性,降低MDA含量,与姜黄素联合使用效果更佳。研究认为,地衣芽孢杆菌主要是通过改善肠道微生物区系,特别是厚壁菌门相对丰度的增加及拟杆菌门相对丰度的下降,进而改善肉鸡生长性能^[16]。Xu等^[17]通过Illumina MiSeq测序技术发现,地衣芽孢杆菌主要通过恢复肉鸡回肠乳酸菌、乳球菌、拟杆菌、反刍球菌和螺旋杆菌丰度,降低与幽门螺杆菌丰度呈负相关的抑癌基因p53丰度,进而降低坏死性肠炎的发生。Zhao等^[18]同样证实地衣芽孢杆菌H2可以通过提高回肠、血清和肝脏抗氧化酶活性,上调肝脏抗凋亡基因表达,改善肠道形态,进而有效防止产气荚膜梭菌和球虫诱导的坏死性肠炎的发生。

Zhen等^[19]研究了饲粮凝结芽孢杆菌补充剂对感染肠炎沙门氏菌肉鸡的保护作用,结果显示凝结芽孢杆菌的补充上调了LZM mRNA表达水平(感染后第17天),下调了干扰素- γ mRNA表

达水平(感染后第7和17天),同时显示抗菌肽 *Fowlicidin-2* mRNA 表达水平(感染后第7天)有增加的趋势和肝脏沙门氏菌丰度有减少的趋势,表明饲喂凝结芽孢杆菌对肉鸡沙门氏菌的感染有保护作用。Wu 等^[20]发现,通过向肉鸡饲料中添加凝结芽孢杆菌可以减轻坏死性肠炎引起的增重下降,肠道病变评分显著降低,并且抗菌肽 *Fowlicidin-2* mRNA 表达水平增加,改善了肠道屏障结构,进一步提高了空肠中特异性 sIgA 含量和碱性磷酸酶活性,增强了空肠 *LZM* mRNA 的表达,并抑制了产气荚膜梭菌在盲肠和肝脏中的定植和入侵。研究认为饲料添加凝结芽孢杆菌通过减轻机体氧化损伤和炎症反应,一定程度上改善了热应激肉鸡的生长性能^[21]。

1.3 复合益生菌

复合益生菌是将几类或几种益生菌复合,能兼顾各种(类)益生菌各自益生特性,达到更好的应用效果。谢文惠等^[22-23]发现饲料中添加复合益生菌制剂可不同程度地提高肉鸡的生长性能,改善屠宰性能,提高血清 Ig 含量,并改善干物质、粗蛋白质、粗脂肪和钙的表现利用率,其中以添加 1 000 mg/kg 配比为 1:2:1:1(枯草芽孢杆菌:酿酒酵母:嗜酸乳杆菌:乳双歧杆菌)的复合益生菌制剂效果最好。饲料添加 0.1% 的复合益生菌制剂(由植物乳杆菌 LP、戊糖片球菌 PP、枯草芽孢杆菌 B7348、丁酸梭菌 Cb、酵母菌及其培养物、曲霉及其培养物和柠檬酸组成)可提高肉鸡生长性能,改善肉鸡肠道菌群,促进肉鸡脾脏和法氏囊的发育;其提高盲肠内容物 sIgA 含量、降低血清内毒素含量的效果优于 20 g/t 硫酸黏杆菌素^[24]。梅文晴等^[25]研究发现,在早期饲喂复合益生菌(由双歧杆菌、乳酸杆菌、粪链球菌和双歧杆菌、乳酸杆菌、粪链球菌和贝氏酵母菌组成)对肉仔鸡盲肠内容物中细菌多样性无显著影响,但可升高某些有益菌的定植丰度;上调小肠上皮组织中紧密连接相关基因的表达,促进绒毛的生长,从而潜在地影响肉鸡早期和后期的生长性能。Chang 等^[26]使用枯草芽孢杆菌、干酪乳杆菌和产朊假丝酵母菌复合益生菌制剂饲喂肉鸡,结果表明其可以通过正向调节肠道相关细菌丰度,降低黄曲霉毒素 B₁ 和玉米赤霉烯酮残留量,进而减轻组织学病变和临床表征。

2 乳化剂

乳化剂能够将油脂乳化,从而有效改善肉鸡对饲料油脂的吸收和能量的转化,提高屠宰性能,改善饲料利用率,降低饲料成本^[27-28]。近年来饲用乳化剂研究主要集中在胆汁酸和磷脂类乳化剂。作为内源性乳化剂,胆汁酸不仅具有天然乳化优势,还可激活脂肪酶的活性,以及促进乳糜微粒的形成。Lai 等^[29]评价了猪源胆汁酸在肉鸡上的应用,结果表明饲料添加 60 和 80 mg/kg 的胆汁酸能有效地提高肠道的脂肪酶和脂蛋白脂酶活性,进而提高生长性能和屠宰性能。研究在 2 个能量水平饲料中添加胆汁酸对肉鸡生长性能和脂质代谢的影响,发现补充胆汁酸可提高 21 日龄体重及 42 日龄饲料转化效率,并提高胴体质量,改善血清和肝脏脂质代谢^[30]。Lai 等^[31]评估了高剂量胆汁酸是否会影响到肉鸡的健康,通过整个研究中的临床观察、血液及组织病理等指标发现,添加 400 mg/kg 的胆汁酸不影响肉鸡的健康情况。磷脂类乳化剂可在脂肪和胰脂肪酶的中间发挥桥梁作用,同时参与乳糜微粒的形成,其中溶血卵磷脂因有促生长、抗氧化及提高脂类代谢等生物学功能而越来越受到关注^[32-33]。李明等^[34]研究表明,磷脂和溶血磷脂可显著提高肉鸡屠体重、腿肌重、腿肌率,减缓屠宰后 pH 的降低,改善肉质。吴卓秋等^[35]在饲料添加 200 mg/kg 大豆溶血磷脂显著提高肉鸡平均日增重,降低料重比,改善血脂组成,并提高全净膛率、胸肌率、腿肌率。

3 酸化剂

饲料酸化剂作为高效、无污染、无残留的添加剂应用也日益普遍。不同酸化剂其理化特性、益生理各不相同,为达到更好的使用效果,将其组合使用逐渐成为发展趋势。Yang 等^[36-37]研究了饲料中添加山梨酸、富马酸和百里酚混合物(EOA)对肉鸡生长性能、消化功能和免疫力的影响,结果表明 EOA 可以减少有害菌数量,提高空肠黏膜蔗糖酶和麦芽糖酶活性及挥发性脂肪酸含量来促进饲料转化率,同时 EOA 补充增加空肠闭合蛋白-1(*claudin-1*) mRNA 表达以及十二指肠和回肠黏膜中 sIgA 含量。彭钰箏等^[38]研究了由柠檬酸、乳酸、磷酸和延胡索酸等组成混合型酸化剂对肉鸡小肠形态和盲肠微生物区系的影响。在饮

水中加入乳酸型复合酸化剂,结果发现可显著提高肉鸡平均日增重,降低料重比,提高消化酶活性、粗脂肪和粗蛋白质的表观利用率以及血清总蛋白、白蛋白含量,降低盲肠内容物大肠杆菌数量及鸡舍内氨气和硫化氢含量^[39]。为了能让酸化剂直接作用于肠道,微囊缓释包被技术应运而生。陈杰等^[40]发现,使用脂质微胶囊包被复合酸化剂能显著提高生长前期肉鸡的生长性能,但对肠道长度和重量影响不大。

4 植物及其提取物

我国植物资源丰富,研究开发植物及其提取物作为饲料添加剂可促进肉鸡养殖业的发展。植物及其提取物因种类多、提取部位及提取工艺不同,其活性成分含量和功能差异较大。当前相关研究多集中在中草药、多糖、精油等对白羽肉鸡生长性能、抗氧化功能、免疫功能、肠道发育、血清生化等方面的影响。

4.1 中草药

宣晶晶等^[41]发现以黄芪、当归、甘草(主要为黄芪多糖、枸杞多糖等成分)等为主要成分组配的复方中草药能够改善肉鸡血液生理生化指标,增强其抗氧化功能。周昭希等^[42]研究显示,酒炙菟丝子(主要药用成分为黄酮类和多糖类化合物)显著提高了 21 日龄肉仔鸡的血清 LZM 活性、胸腺指数,并且显著提高了 42 日龄肉仔鸡的血清球蛋白含量、脾脏指数、血浆谷胱甘肽过氧化物酶活性,显著降低了 42 日龄肉仔鸡的胸肌 MDA 含量。郭宏伟等^[43]证实与对照组和未发酵组相比,在 817 肉鸡饮水中添加发酵扶正解毒口服液,可以显著提高其平均日增重、法氏囊指数和脾脏指数,显著降低了料重比和平均日采食量,同时提高鸡肉中粗蛋白质、粗脂肪、肌苷酸和水分含量,改善了鸡肉品质。研究表明,饲料添加盐酸益母草碱可以线性增加脾脏的相对重量,血清 IgA 和 IgM 含量,过氧化氢酶(CAT)、总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性及 T-AOC;线性降低血清 MDA、血红蛋白、甘油三酯和总胆固醇含量及红细胞(RBC)数量^[44]。孟凡匡等^[45]验证了传统方剂枳术粉(枳实和白术按 1:2 比例粉碎)可提高肉鸡平均日增重及免疫器官指数,增加血清 IgG、IgM 和 IL-2 含量,且新城疫病毒抗体效价显著升高。

银杏叶(主要化学成分为黄酮类化合物、银杏

素、萜内酯等)具有活血化瘀、通络止痛、敛肺平喘、化浊降脂的功效。研究证实添加 3.5 ~ 4.5 g/kg 的发酵银杏叶的饲料可上调小肠中转录因子红系衍生的核因子 2 相关因子(Nrf2)介导抗氧化相关基因,提高胰腺中的淀粉酶、空肠中的胰蛋白酶、回肠中的脂肪酶和十二指肠和空肠中的谷胱甘肽过氧化物酶的活性^[46]。Ren 等^[47]评价了银杏叶(GL)和银杏叶萃取物(EGB)对肉鸡营养和能量利用的影响,结果显示,与对照组相比,EGB 组的粗脂肪、粗蛋白质、苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸和精氨酸的表观消化率与真消化率呈二次曲线增加,蛋氨酸的表观消化率和真消化率随着 EGB 的添加呈线性增加。而 GL 也线性地增加了粗脂肪、苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、组氨酸和蛋氨酸的表观消化率和真消化率,而精氨酸表观消化率和真消化率有增加的趋势;与 GL 组相比,EGB 的添加显著提高了粗脂肪、苏氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和精氨酸的表观消化率和真消化率,两者的最适添加水平分别为 60.0 和 0.8 g/kg。陈洪博等^[48]研究认为,高浓度的银杏叶提取物(GBE)对鸡原代心肌细胞具有细胞毒性,能够极显著抑制细胞生长,50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ GBE 具有极显著促进细胞增殖作用;热应激能使鸡原代心肌细胞产生氧化损伤,GBE 可有效缓解热应激所致的氧化应激损伤和细胞凋亡,且其作用机制可能与 GBE 能增加细胞内热休克蛋白 72(Hsp72)的表达,从而提高热应激状态下细胞抗氧化酶活性有关。

4.2 精油

植物精油是从植物体组织器官中提取的一类芳香性油状液体,其发挥生物学作用的主要成分包括萜类的混合物以及许多低分子质量的脂肪族的烃类化合物。植物精油能够清除体内的自由基,发挥抗氧化的功能,同时它还具有调节肠道菌群平衡、杀灭病原菌、促进消化液分泌等功能。张书汁等^[49]比较了肉桂精油(肉桂醛)、丁香精油(丁子香酚)和香芹精油(香芹酚)在肉鸡上的应用效果,结果表明,饲料添加 400 mg/kg 肉桂精油可以提高肉鸡的生长性能、促进营养物质的消化率,降低总氮排泄量;饲料添加 400 mg/kg 丁香精油显著降低总氮、单位体重及单位肌肉重量氮排泄量;饲料添加 400 mg/kg 香芹精油显著提高腿肌

灰分含量。柴建亭等^[50]证实 200 mg/kg 肉桂醛可显著提高肉鸡 21 日龄体重和饲料转化率,提升脂肪和氨基酸消化率,降低肠内容物大肠杆菌和产气荚膜梭菌数量,并改善胴体品质。研究发现,不同营养水平饲料中添加精油可以提高肉鸡体重、平均日采食量、平均日增重和饲料转化率;同时,饲料营养水平和精油对肉鸡法氏囊和腹脂相对重量的影响具有显著交互作用^[51]。丁晓等^[52-53]研究表明,饲料添加 50 mg/kg 八角精油可以在一定程度上提高小肠相对长度和重量及绒毛高度,增加氮的表观和真利用率,改善肉鸡氨基酸代谢。

4.3 多糖

植物多糖作为饲料添加剂对畜禽具有免疫调节、抗肿瘤、抗衰老等多种生物学功能,且具有毒副作用小、在动物体内和产品中不易造成残留等优点,其中以黄芪多糖研究较多。Li 等^[54-55]在种公鸡饲料添加 1% 黄芪多糖 (APS) 可传代诱导肉鸡脾脏 TLR4 信号通路及相关细胞因子的内毒素耐受样免疫反应,改善商品代肉鸡前期的生长性能和肠道黏膜形态,并诱导商品代肉鸡干扰素 α -细胞因子信号转导抑制因子 1 (IFN α -SOCS1) 信号相关的内毒素耐受样免疫反应,此传代调控效应由 SOCS1 启动子甲基化及其他几个关键调控因子的启动子区段组蛋白修饰介导发生。Wu 等^[56]饲喂 APS 可增加肉仔鸡体重,提升消化酶(淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶)、超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性及血清 IgG、IgM 和 IgA 含量,降低 MDA 含量。采用 γ 射线处理 APS,比较处理前后 APS 对环磷酰胺 (CPM) 处理肉鸡生长性能和免疫功能的影响,结果表明,2 种 APS 均能减轻 CPM 诱导的免疫抑制,而 γ 射线处理 APS 拥有更好的免疫能力,表明 γ 辐照可以作为一种有效的方法来提高 APS 的免疫调节活性^[57]。饲喂发酵黄芪能显著提高肉鸡平均日增重,降低料重比,提高肉鸡的生长性能,且能通过提高血清中氧化氢酶、谷胱甘肽过氧化物酶和总超氧化物歧化酶活性来提高其抗氧化能力,改善肉品质^[58-59]。

4.4 菊粉

菊粉,又叫果聚糖,菊糖,是由 D-呋喃果糖通过 β -2,1 糖苷键连接而成的一类天然果聚糖的混合物。菊粉在自然界分布较广,易从植物中获得,性质稳定,常与其他益生菌或益生元联用,具有促进营养物质吸收、提高饲料利用率、调节肠道微生

态、提高机体免疫力等功能。菊粉和乳酸杆菌联用可以增加乳酸杆菌和双歧杆菌的数量,提高血清中 IgG 和 IgA 的含量,降低回肠和盲肠大肠杆菌的数量和 pH,提升矿物质消化率^[60]。Xia 等^[61]研究认为,在早期饲料中添加菊粉会影响肉仔鸡营养物质消化,联合添加 *L. johnsonii* 和双歧杆菌 (*B. gallinarum* 和 *B. pullorum*) 可能有助于克服其早期对生长性能的负面影响。体外研究表明,菊粉和大豆寡糖协同下,粪臭素和吲哚的含量降低可能是由微生物生态系统和 pH 的变化引起的 L-色氨酸降解率下降引起的^[62]。Song 等^[63]以 SPF 鸡为研究对象证实 0.25% 或 0.50% 菊粉可能有益于促进肠道免疫功能。

其他多糖的研究还包括:艾蒿水溶性多糖的免疫调节功能^[64];姬松茸多糖通过增强抗氧化活性和减轻炎症反应来抵消镉对鸡睾丸的损伤^[65];刺五加多糖对雏鸡免疫器官指数、T 细胞增殖活性、血清中细胞因子含量等主要免疫指标的影响^[66];以及酵母多糖(β -葡聚糖和甘露寡糖)对生长性能、屠宰性能和机体免疫功能的影响^[67-68]。

4.5 其他植物及其提取物

给肉鸡饲喂大蒜素(二烯丙基硫代亚磺酸酯)可显著提升胸腺和肾上腺重量和相对指数^[69],提高生长性能^[70],与姜辣素(姜酚)组合在改善胴体性能、抗氧化及免疫功能上效果更优^[71]。王留等^[72]发现,饲料添加 5 g/L 蒲公英水提取物(蒲公英甾醇、胆碱、菊糖和果胶等)可显著提高血清中 IgG 含量,增加外周血淋巴细胞转化率及谷胱甘肽过氧化物酶活性,降低 MDA 含量。饲料添加染料木黄酮可抑制因采食高能饲料引起的肉鸡血脂及肝脏胆固醇的合成和沉积^[73];缓解因大肠杆菌攻毒造成的肉鸡平均日增重降低,胸腺指数和法氏囊指数下降,血清异硫氰酸荧光素-葡聚糖含量升高,空肠 sIgA 含量下降,claudin-1 和紧密连接蛋白-1(ZO-1)蛋白表达水平升高,以及 TNF- α 和 IL-6 蛋白表达水平升高^[74]。Cui 等^[75]评估了饲料添加辣木叶对肉鸡生长性能、胴体品质、肉品质和胸肌氧化稳定性的影响,结果发现辣木叶的膳食补充增加了胸肌 C18:2、C18:3n-3、C20:4 等多不饱和脂肪酸的含量,提高了 T-AOC、总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性,表明辣木叶可提升鸡肉多不饱和脂肪酸含量,提升氧化稳定性,回归分析表明最佳添加量为 1.56%。饲料添加

1 000 mg/kg甜菜碱可改善热应激或运输应激引起的增重和采食量下降,减轻热应激或运输应激对肌肉品质和氧化状态的负面影响,对肌肉品质的影响可能是因为甜菜碱盖面肌肉的无氧糖酵解能力^[76-77]。Chen 等^[78]研究认为,1 000 mg/kg甜菜碱可能通过上调胰岛素样生长因子 1/哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(IGF1/mTOR)通路介导的成肌因子[肌细胞增强因子 2B(MEF2B)、mTOR、肌分化因子 1(MyoD1)]的表达,进而提高胸肌产量。

5 小 结

国内关于白羽肉鸡一般饲料添加剂的研究主要集中在植物及其提取物和益生菌及其代谢产物等两大部分。在植物及其提取物的研究中,中草药、多糖和精油占比最大,其中大多数都集中在对机体免疫及抗氧化功能的调节。关于肉鸡精油和益生菌的研究则更多聚焦在与其他饲料添加剂联合使用,来缓解产气荚膜梭菌、致病性大肠杆菌、沙门氏菌或其他致病菌攻毒模型的表征。

大部分关于白羽肉鸡一般饲料添加剂的研究都不约而同指向肠道健康,但具体调控机制还需深度剖析。西北农林科技大学动物营养与健康养殖科研创新团队一直致力于营养素调控肉鸡肠道健康相关研究,并提出肠道健康的五环标准,即强有力的消化吸收、完整的物理性屏障、特异的化学性屏障、稳定的微生物区系、适度的黏膜的免疫。但是由于影响肠道健康因素的多样性,生理机制的复杂性,还远远不能对肠道健康进行量化以精准把控一般饲料添加剂的研发。尽管在研究方法和手段方面日趋先进,如各种组学技术与生物信息学、激光共聚焦、质谱、基因敲除与转基因等新技术方法的大量应用,但如何由关联分析深入到因果关系研究,以获得明确的调控肠道健康的有效活性成分(对中草药尤为重要),从而推进一般饲料添加剂的作用机理研究还需有所突破。

近年来,欧美等发达国家关于白羽肉鸡胚期注射功能活性物质促进鸡胚发育的研究日渐增多,我国在这方面研究还鲜有报道。胚期营养注射可将早期营养由出壳后提前到胚期,通过功能活性物质刺激,促进肉鸡肠道早期生长发育,进而提高其饲料转化率和生产性能等方面的基础研究尚需加强。

继续围绕肠道健康,大力开展一般饲料添加

剂的基础研究与应用开发,逐步提升研究深度和技术可推广价值,助力无抗饲料综合技术及其产品研发,推动我国白羽肉鸡产业健康可持续发展。

参考文献:

- [1] 刘晓静,郑世民,孙正阳,等.嗜酸乳杆菌在预防雏鸡溃疡性结肠炎发生中的作用及其机制[J].中国兽医杂志,2018,54(3):3-6,10.
- [2] 刘华伟,赵金山,吕孝国,等.植物乳杆菌 P-8 对热应激肉鸡生产性能、血液指标和肠道形态及免疫功能的影响[J].中国家禽,2020,42(2):59-63.
- [3] WU S R, LIU Y L, DUAN Y L, et al. Intestinal toxicity of deoxynivalenol is limited by supplementation with *Lactobacillus plantarum* JM113 and consequentially altered gut microbiota in broiler chickens [J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2018, 9:74.
- [4] YANG X, LIANG S S, GUO F S, et al. Gut microbiota mediates the protective role of *Lactobacillus plantarum* in ameliorating deoxynivalenol-induced apoptosis and intestinal inflammation of broiler chickens [J]. Poultry Science, 2020, 99(5):2395-2406.
- [5] WANG H S, NI X Q, QING X D, et al. Probiotic *Lactobacillus johnsonii* BS15 improves blood parameters related to immunity in broilers experimentally infected with subclinical necrotic enteritis [J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9:49.
- [6] LI Z, WANG W W, LIU D, et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* on the growth performance and intestinal health of broilers challenged with *Clostridium perfringens* [J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2018, 9:25.
- [7] 夏亿,张元可,徐晶云,等.发酵乳杆菌和凝结芽孢杆菌对产气荚膜梭菌感染肉鸡生长性能和肠道健康的影响[J].中国畜牧兽医,2019,46(10):2927-2936.
- [8] WU Y Y, ZHEN W R, GENG Y Q, et al. Effects of dietary *Enterococcus faecium* NCIMB 11181 supplementation on growth performance and cellular and humoral immune responses in broiler chickens [J]. Poultry Science, 2019, 98(1):150-163.
- [9] WU Y Y, ZHEN W R, GENG Y Q, et al. Pretreatment with probiotic *Enterococcus faecium* NCIMB 11181 ameliorates necrotic enteritis-induced intestinal barrier injury in broiler chickens [J]. Scientific Reports, 2019, 9:10256.
- [10] 毛俊舟,董丽,王淑楠,等.屎肠球菌对 AA 肉鸡血清

- 和肝脏抗氧化功能的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(8):2182-2189.
- [11] 曹广添,代兵,张玲玲,等.屎肠球菌对大肠杆菌感染肉鸡生长性能、血清生化指标和盲肠菌群结构的影响[J].畜牧兽医学报,2018,49(5):962-970.
- [12] WANG W W, CAI H Y, ZHANG A R, et al. *Enterococcus faecium* modulates the gut microbiota of broilers and enhances phosphorus absorption and utilization [J]. *Animals*, 2020, 10(7):1232.
- [13] CAO G T, ZHAN X A, ZHANG L L, et al. Modulation of broilers' caecal microflora and metabolites in response to a potential probiotic *Bacillus amyloliquefaciens* [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(2):e909-e917.
- [14] 李佳骏,王振华,胡正茂,等.重组枯草芽孢杆菌 SE1 对肉鸡生长性能、肠道消化酶活性和菌群的影响[J].动物营养学报,2018,30(4):1582-1591.
- [15] 孙全友,李文嘉,徐彬,等.姜黄素和地衣芽孢杆菌对肉鸡生长性能、血清抗氧化功能、肠道微生物数量和免疫器官指数的影响[J].动物营养学报,2018,30(8):3176-3183.
- [16] CHEN Y C, YU Y H. *Bacillus licheniformis*-fermented products improve growth performance and the fecal microbiota community in broilers [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(3):1432-1443.
- [17] XU S, LIN Y C, ZENG D, et al. *Bacillus licheniformis* normalize the ileum microbiota of chickens infected with necrotic enteritis [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8:1744.
- [18] ZHAO Y, ZENG D, WANG H S, et al. Dietary probiotic *Bacillus licheniformis* H2 enhanced growth performance, morphology of small intestine and liver, and antioxidant capacity of broiler chickens against *Clostridium perfringens*-induced subclinical necrotic enteritis [J]. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 2019, 12(3):883-895, doi:10.1007/s12602-019-09597-8.
- [19] ZHEN W R, SHAO Y J, GONG X Y, et al. Effect of dietary *Bacillus coagulans* supplementation on growth performance and immune responses of broiler chickens challenged by *Salmonella enteritidis* [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(8):2654-2666.
- [20] WU Y Y, SHAO Y J, SONG B C, et al. Effects of *Bacillus coagulans* supplementation on the growth performance and gut health of broiler chickens with *Clostridium perfringens*-induced necrotic enteritis [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2018, 9:9.
- [21] 王乙茹,柳成东,白华毅,等.凝结芽孢杆菌对热应激肉鸡生长性能及血清指标的影响[J].动物营养学报,2020,32(5):2148-2157.
- [22] 谢文惠,姜宁,张爱忠.复合益生菌制剂对肉鸡生长性能、屠宰性能和免疫指标的影响[J].动物营养学报,2018,30(1):360-367.
- [23] 谢文惠,姜宁,王鑫,等.复合益生菌制剂对肉仔鸡养分表观利用率、血清生化指标和肠道黏膜形态的影响[J].动物营养学报,2018,30(4):1495-1503.
- [24] 于佳民,陈振,齐秀晔,等.复合微生态制剂、饲用抗生素对肉鸡生长性能、肠道菌群数量和免疫性能的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(8):2219-2226.
- [25] 梅文晴,冯宇妍,姚志浩,等.复合益生菌对雏鸡小肠形态和盲肠微生物区系的影响[J/OL].南京农业大学学报,2020:1-10.(2020-03-09)[2020-08-12].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1148.s.20200308.1544.002.html>.
- [26] CHANG J, WANG T, WANG P, et al. Compound probiotics alleviating aflatoxin B₁ and zearalenone toxic effects on broiler production performance and gut microbiota [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, 194:110420.
- [27] 吴娟娟,刘江华.不同乳化剂对肉鸡生长和屠宰性能的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(7):117-119,124.
- [28] 张世忠,陈盛星,刘景,等.乳化剂对不同水平油脂日粮肉鸡屠宰性能及养分代谢率的影响[J].福建畜牧兽医,2019,41(6):4-7.
- [29] LAI W Q, HUANG W G, DONG B, et al. Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(1):196-202.
- [30] GE X K, WANG A A, YING Z X, et al. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers [J]. *Poultry Science*, 2018, 98(2):887-895.
- [31] LAI W Q, CAO A Z, LI J T, et al. Effect of high dose of bile acids supplementation in broiler feed on growth performance, clinical blood metabolites, and organ development [J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2018, 27(4):532-539.
- [32] HUANG J, YANG D D, GAO S D, et al. Effects of soy-lecithin on lipid metabolism and hepatic expression of lipogenic genes in broiler chickens [J]. *Livestock Science*, 2008, 118(1/2):53-60.
- [33] 王倩倩,朴香淑.乳化剂溶血磷脂在猪和鸡生产中的应用[J].饲料工业,2019,40(13):12-18.

- [34] 李明,牛岩,崔朝霞,等.大豆磷脂及溶血磷脂对肉鸡屠宰性能和肉品质的影响[J].中国家禽,2018,40(5):29-32.
- [35] 吴卓秋,胡世忠,林智鑫,等.大豆溶血磷脂对白羽肉鸡生长性能、肠道消化酶活性及脂肪沉积的影响[J].饲料工业,2018,39(22):33-38.
- [36] YANG X, XIN H L, YANG C B, et al. Impact of essential oils and organic acids on the growth performance, digestive functions and immunity of broiler chickens[J]. Animal Nutrition, 2018, 4(4):388-393.
- [37] YANG X, LIU Y L, YAN F, et al. Effects of encapsulated organic acids and essential oils on intestinal barrier, microbial count, and bacterial metabolites in broiler chickens[J]. Poultry Science, 2019, 98(7):2858-2865.
- [38] 彭钰箐,王相科,宋曼玲,等.混合型酸化剂对肉鸡小肠形态和盲肠微生物区系的影响[J].中国家禽,2020,42(2):52-58.
- [39] 徐青青,张少涛,杨海涛,等.乳酸型复合酸化剂对白羽肉鸡生长性能、养分利用率、肠道指标和鸡舍空气质量的影响[J/OL].动物营养学报,2020:1-12.(2020-08-07)[2020-08-12].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5461.S.20200806.1706.008.html>.
- [40] 陈杰,钟光,施寿荣.缓释包被复合酸化剂对肉鸡生长性能和肠道发育的影响[J].中国家禽,2019,41(21):37-40.
- [41] 宣晶晶,周先建,孙启,等.复方中草药对肉鸡血液生理生化指标及抗氧化功能的影响[J].安徽科技学院学报,2018,32(3):10-16.
- [42] 周昭希,杨柳,高立杰,等.中药菟丝子对肉仔鸡免疫和抗氧化指标的影响[J].饲料工业,2018,39(4):46-49.
- [43] 郭宏伟,张丽,王林康,等.发酵扶正解毒口服液对肉鸡生产性能、免疫指标及肉品质的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(11):3104-3111.
- [44] YANG L, QIAO Y J, LIU G, et al. Effects of dietary supplementation with leonurine hydrochloride on growth performance, immune response, antioxidant capacity and blood parameters in male broiler chicks[J]. Journal of Applied Animal Research, 2018, 46(1):1490-1495.
- [45] 孟凡匡,白石,肖娜,等.枳术粉对肉鸡生长性能和免疫功能的影响[J].中国家禽,2018,40(5):33-36.
- [46] NIU Y, ZHANG J F, WAN X L, et al. Effect of fermented *Ginkgo biloba* leaves on nutrient utilisation, intestinal digestive function and antioxidant capacity in broilers[J]. British Poultry Science, 2019, 60(1):47-55.
- [47] REN X J, YANG Z B, DING X, et al. Effects of *Ginkgo biloba* leaves (*Ginkgo biloba*) and *Ginkgo biloba* extract on nutrient and energy utilization of broilers[J]. Poultry Science, 2018, 97(4):1342-1351.
- [48] 陈洪博,段滇宁,王华.银杏叶提取物对热应激致鸡心肌细胞氧化损伤的保护作用研究[J].中国畜牧兽医,2018,45(1):100-105.
- [49] 张书汁,胡梅,钱明珠,等.日粮添加不同精油对肉鸡生长性能、养分消化率及肌肉成分含量的影响[J].中国饲料,2018(10):61-66.
- [50] 柴建亭,胡梅,张书汁.肉桂醛对肉鸡生长性能、养分利用率及肉质的影响[J].中国饲料,2018(18):33-37.
- [51] 张艳雯,玉发杨,何永权,等.不同营养水平日粮中添加精油对肉鸡生长性能、组织器官重量、盲肠菌群及血液生化指标的影响[J].中国饲料,2018(18):18-22.
- [52] 丁晓,杨在宾,姜淑贞,等.八角抽提油和蚯蚓粉对肉鸡肠道发育和养分利用率的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(2):80-86.
- [53] 丁晓,任小杰,杨在宾,等.八角、精油及残渣对肉鸡氨基酸利用率的影响[J].饲料工业,2018,39(21):48-51.
- [54] LI Y L, LEI X Y, YIN Z C, et al. Transgenerational effects of paternal dietary *Astragalus polysaccharides* on spleen immunity of broilers[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115:90-97.
- [55] LI Y L, LEI X Y, GUO W, et al. Transgenerational endotoxin tolerance-like effect caused by paternal dietary *Astragalus polysaccharides* in broilers' jejunum[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 111:769-779.
- [56] WU S J. Effect of dietary *Astragalus membranaceus* polysaccharide on the growth performance and immunity of juvenile broilers[J]. Poultry Science, 2018, 97(10):3489-3493.
- [57] LI S, REN L N, ZHU X D, et al. Immunomodulatory effect of γ -irradiated *Astragalus polysaccharides* on immunosuppressed broilers[J]. Animal Science Journal, 2019, 90(1):117-127.
- [58] 乔宏兴,史洪涛,宋予震,等.发酵黄芪对肉鸡生长性能、抗氧化功能的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(3):705-711.
- [59] 张晓静,史洪涛,牛湘楠,等.发酵黄芪-甘草水提物对817肉鸡生长性能、免疫器官指数和肉品质的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(4):933-939.

- [60] WU X Z, WEN Z G, HUA J L. Effects of dietary inclusion of *Lactobacillus* and inulin on growth performance, gut microbiota, nutrient utilization, and immune parameters in broilers [J]. *Poultry Science*, 2019, 98 (10): 4656–4663.
- [61] XIA Y, KONG J, ZHANG G B, et al. Effects of dietary inulin supplementation on the composition and dynamics of cecal microbiota and growth-related parameters in broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2019, 98 (12): 6942–6953.
- [62] LIU H Y, HOU R, YANG G Q, et al. *In vitro* effects of inulin and soya bean oligosaccharide on skatole production and the intestinal microbiota in broilers [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(3): 706–716.
- [63] SONG J, LI Q H, LI P, et al. The effects of inulin on the mucosal morphology and immune status of specific pathogen-free chickens [J]. *Poultry Science*, 2018, 97 (11): 3938–3946.
- [64] ZHANG P, SHI B, LI T, et al. Immunomodulatory effect of *Artemisia argyi* polysaccharide on peripheral blood leucocyte of broiler chickens [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2018, 102(4): 939–946.
- [65] SONG Y Y, ZHANG R L, WANG H M, et al. Protective effect of *Agaricus blazei* polysaccharide against cadmium-induced damage on the testis of chicken [J]. *Biological Trace Element Research*, 2018, 184(2): 491–500.
- [66] 闫雪, 解琳, 刘琳, 等. 刺五加多糖对雏鸡主要免疫指标的影响 [J]. *饲料研究*, 2018(4): 31–33.
- [67] 鄯来平, 魏国兰. 酵母多糖对肉仔鸡生产性能和免疫功能的影响 [J]. *中国饲料*, 2018(18): 48–52.
- [68] 王明武, 梁晓晓, 王全亮, 等. 酵母多糖对肉鸡的生长性能和屠宰性能的影响 [J]. *现代牧业*, 2020, 4(2): 34–36, 39.
- [69] 蔡治华, 龚争, 程郁昕, 等. 大蒜素对 AA 肉鸡免疫器官生长发育的影响 [J]. *安徽科技学院学报*, 2018, 32(4): 20–24.
- [70] 权根花, 金春梅, 尚学东. 大蒜素对肉仔鸡生长性能、血液指标和屠体特性的影响 [J]. *中国饲料*, 2019 (12): 49–52.
- [71] 范秋丽, 李辉, 蒋守群, 等. 姜辣素和大蒜素及其组合对 817 肉鸡生长性能、抗氧化和免疫功能的影响 [J/OL]. *动物营养学报*, 2020: 1–8. (2020–06–10) [2020–08–14]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5461.S.20200610.1358.012.html>.
- [72] 王留, 刘秀玲. 蒲公英水提物对肉仔鸡免疫功能和血清抗氧化功能的影响 [J]. *饲料研究*, 2018(3): 20–23.
- [73] 陈咏然, 张明, 田宁, 等. 染料木黄酮对高能日粮肉鸡胆固醇代谢的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2018, 54(2): 93–98.
- [74] ZHANG M, KOU J, WU Y J, et al. Dietary genistein supplementation improves intestinal mucosal barrier function in *Escherichia coli* O78-challenged broilers [J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2020, 77: 108267.
- [75] CUI Y M, WANG J, LU W, et al. Effect of dietary supplementation with *Moringa oleifera* leaf on performance, meat quality, and oxidative stability of meat in broilers [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(8): 2836–2844.
- [76] WEN C, CHEN Y P, LENG Z X, et al. Dietary betaine improves meat quality and oxidative status of broilers under heat stress [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(2): 620–623.
- [77] CHEN R, WEN C, GU Y F, et al. Dietary betaine supplementation improves meat quality of transported broilers through altering muscle anaerobic glycolysis and antioxidant capacity [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(6): 2656–2663.
- [78] CHEN R, ZHUANG S, CHEN Y P, et al. Betaine improves the growth performance and muscle growth of partridge shank broiler chickens via altering myogenic gene expression and insulin-like growth factor-1 signaling pathway [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(12): 4297–4305.

Research Advances in Common Feed Additives of White Feather Broilers in China

YANG Xin¹ YANG Xiaojun¹ LI Shaoyu^{2*} GUO Yuming³

(1. *College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China*; 2. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, China*;

3. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China*)

Abstract: White feather broilers are characterized as growth speed, high feed conversion rate, and high muscle protein content. White feather broilers occupy an important place in the Chinese supply of meat. In a post-antibiotic era, common feed additives play a more and more important role in improving the quality of animal products and performance, keeping animal health, and saving feed costs etc. This paper summarized the recent progress in the research and application of common feed additives on white feather broilers, such as probiotics, emulsifier, acidulant, herbs, essential oils, polysaccharides, and other plant extracts, in order to promote healthy development of white feather broilers production. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32 (10):4592-4601]

Key words: common feed additives; white feather broiler; research advance

* Corresponding author, professor, E-mail: lsy9617@aliyun.com

(责任编辑 陈 鑫)