

植物精油的生物活性及其在畜禽免疫上的应用

赵琛¹ 丁健² 李艳玲^{1*}

(1.北京农学院动物科学技术学院,北京 102206;2.全国畜牧总站,北京 100125)

摘要: 植物精油是从植物中提取的天然、挥发性和芳香性化合物的混合物。植物精油具有调节肠道菌群、提高动物免疫力和生产性能、提高抗氧化能力及改善肉质等多种功能,可以作为一种良好的饲料添加剂,具有可观的应用前景。本文着重介绍了植物精油的抗菌、抗氧化和抗炎生物活性及其作用机制,以及植物精油在动物生产中提高畜禽免疫力方面的应用研究进展,为植物精油未来在动物生产中更深入的应用提供参考。

关键词: 植物精油;抗菌活性;抗氧化活性;抗炎活性;免疫

中图分类号: S816.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)09-4070-08

植物性饲料添加剂,又称植物生物素或植物性药物,通常被定义为对动物健康和生产性能产生有益影响的各种植物次生化合物和代谢物^[1],在动物生产中发挥着重要的作用。根据我国农业农村部发布的 194 号公告,自 2020 年起饲料中要全面禁止促生长类抗生素的添加,维护动物源食品和公共卫生安全。因此,进一步开发植物性饲料添加剂类产品提高动物免疫力相关的性能,挖掘其替代抗生素的潜力,在当今背景下就显得尤为迫切。植物精油作为植物性饲料添加剂中的一大类,具有调节肠道菌群、提高动物免疫力和生产性能^[2-4],提高抗氧化能力及改善肉质^[5-6]等多种功能。且由于其来源广泛,生物活性多样,被认为是极具应用潜力的安全、有效、绿色的饲料添加剂,具有良好的应用前景。目前已有大量的报道表明,植物精油的生物活性广泛,包括抗菌、抗炎、抗氧化、镇静、抗应激等生物活性^[7-9],在提高畜禽免疫力上具有重要作用。本文将重点介绍植物精油的抗菌、抗氧化和抗炎的生物活性及其作用机制,以及植物精油目前在动物生产中提高畜禽免疫力上的应用现状,为植物精油的进一步推广应用提供参考。

1 植物精油的简介

植物精油是一类从植物中提取的次生代谢物质,具有一定芳香性的油状液体物,具有可挥发和抗水解的特点^[10]。植物精油是芳香植物中存在的一种复杂混合物,通常含有 20 多种组分,其浓度变化很大。从植物中提取的精油是挥发性化合物的混合物,主要是单萜和倍半萜类化合物,以及含有多种生物活性化学物质的苯丙类化合物^[11]。植物精油来源广泛,自然界多种植物不同部位含有不同量的植物精油,目前已有描述的植物精油超过 3 000 多种^[12]。关于植物精油的应用,先前的研究多集中在提高动物生产性能方面,比如红花油和牛至油可以提高单胃动物的采食量和日增重,改善饲料转化率等^[13-14],而在反刍动物的应用多集中在改善瘤胃发酵和甲烷调控上,本课题组前期也开展了部分这方面的研究,发现香芹酚、茴香油和桉叶油等植物精油能够影响瘤胃发酵和甲烷产量以及饲料消化率,且与剂量有关^[15-16]。近年来随着替代抗生素研究的深入,人们将更多的关注转移到植物精油在畜禽免疫上的应用。本文重点综述了植物精油的生物活性,以及近年来植

收稿日期:2020-03-21

基金项目:国家自然科学基金项目(30302000);北京农学院 2020 年学位点建设项目(2136016009/011)

作者简介:赵琛(1996—),女,河北保定人,硕士研究生,研究方向为反刍动物营养与免疫。E-mail: zhaochenunique@163.com

* 通信作者:李艳玲,副教授,硕士生导师,E-mail: yan_li@163.com

物精油在畜禽免疫上的应用进展及作用机制,本课题组未来也将进一步深入开展这方面的研究工作。

2 植物精油的生物活性

2.1 植物精油的抗菌活性及其作用机制

植物精油对细菌具有良好的抑制作用,肠道内细菌数量的减少可提高上皮细胞再生绒毛的能力,从而改善肠道菌群,增强肠道吸收能力,提高动物机体免疫力^[17]。植物精油对 20 种致病性和食源性细菌的不同菌株具有很强的抗菌作用,如肠炎沙门氏菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、弯曲杆菌等^[18]。从马郁兰、牛膝草和牛至中提取的植物精油在体外具有广谱抗菌作用,对大多数革兰氏阳性和革兰氏阴性细菌有很好的抑制作用^[19]。

植物精油能够降解细菌细胞壁和破坏细胞膜的蛋白质结构,其抗菌活性主要是通过作用于细胞膜以及进入细胞内部 2 种途径发挥作用。植物精油中醛酚类化合物发挥抑菌活性主要是其结构中的酚羟基、羰基等脂溶性的疏水基团与细胞膜的蛋白质发生反应,使细胞膜结构遭受损伤,从而起到抑菌效果;萜烯类化合物通过抑制呼吸酶活性来抑制细菌的生长繁殖^[20]。由于膜通透性的改变,细菌的所有其他功能包括膜电位、外排泵活性或呼吸活性等也会受到损害^[21]。Bouhdid 等^[22]报道,牛至精油和肉桂精油引起铜绿假单胞菌和金黄色葡萄球菌钾渗漏和碘化丙二钠吸收,导致膜通透性丧失和结构改变。

早期的研究发现,植物精油具有选择性抗菌活性,一般来说,植物精油对革兰氏阳性菌的抗菌活性比革兰氏阴性菌更有效^[23],革兰氏阴性菌的生长抑制主要发生在细胞壁完整性没有损失的情况下。植物精油中的酚类化合物不能穿透革兰氏阴性细胞的脂多糖(LPS)壁,但是革兰氏阴性菌的外膜并非完全不透水,疏水分子可以通过孔隙。尽管如此,每种细菌有着不同的敏感性和菌株依赖性。Gonzalez-Gil 等^[24]研究发现,马黛茶精油能促进乳酸杆菌和球菌的生长,但对沙门氏菌和弯曲菌具有抑制作用。Ambrosio 等^[25]研究发现,柑桔类精油对致病菌大肠杆菌 U21 具有较强的抗菌活性,但对有益菌乳酸杆菌影响很小甚至没有影响,且呈现剂量依赖性抑制,表明柑桔精油具有选择性抗菌活性。但值得注意的是,植物精油的

抗菌活性可能存在潜在负面影响,如 Horošová 等^[26]通过体内、体外试验表明了牛至精油对鸡粪便中分离的有益菌乳酸杆菌具有较强的杀菌作用。以上研究都表明植物精油的抗菌活性可能具有一定的选择性。故今后的工作中研究和筛选对有益菌的生长起促进作用,而能有效抑制有害菌生长的植物精油就具有非常重要的意义,同时,也有待进一步研究植物精油发挥选择性抗菌活性的作用机制。

2.2 植物精油的抗氧化活性及其作用机制

一些常见的合成抗氧化剂如丁基羟基甲苯(BHT)、没食子酸丙酯(PG)和丁基羟基茴香醚(BHA)在畜禽生产养殖中由于其潜在的致癌力而受到质疑。植物精油用作抗氧化剂可提高动物免疫力以及改善肉品质^[5,27],其应用逐渐引起人们的重视。

植物精油的抗氧化活性主要有 2 种途径来表现:直接作用于自由基和间接消耗掉容易生成自由基的物质^[28],以防进一步发生反应。植物精油可通过以下方式发挥其抗氧化活性:酚类物质与过氧自由基结合降低自由基活性或将其清除;酚羟基与过渡金属离子螯合,阻断生物氧化过程,减少金属离子诱导的自由基的生成;以及萜烯类化学物质提高体内抗氧化酶的活性,进而发挥其抗氧化活性^[29]。香附精油在体内能够清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)和偶氮二异丁脒盐酸盐(AAPH)自由基;体外能够清除 DPPH、2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)和二价铁离子(Fe^{2+})自由基,具有良好的抗氧化活性^[30]。Djenane^[31]将柑橘类精油中的佛手柑植物精油和柠檬植物精油通过硫代巴比妥酸反应物质(TBARS)试验,测定它们在沙丁鱼模型中的抗氧化活性,发现佛手柑精油表现出比柠檬精油更强的抗氧化活性。三叶草精油仅在清除 DPPH 自由基方面显示出高抗氧化活性^[32]。Semeniuc 等^[33]对几种植物精油的抗氧化活性比较试验发现,欧芹精油和芦荟精油具有较弱的抗氧化活性,而罗勒精油具有中等的抗氧化活性,百里香精油显示出最高的抗氧化能力。

植物精油通过其抗氧化作用可以有助于改善肉质,也可改善不同器官中的氧化还原平衡,并减轻由不同生理应激源诱导的氧化损伤^[34]。Habibi 等^[35]的试验结果表明,生姜精油可使肉鸡肝脏总

超氧化物歧化酶(T-SOD)活性增加,丙二醛(MDA)含量降低,血清总抗氧化能力(TAC)增加,进而提高肉鸡整体的抗氧化能力。植物精油的抗氧化活性通常还与其作为抗炎剂的能力有关,影响动物免疫机能。单核细胞、中性粒细胞、嗜酸性粒细胞和巨噬细胞在细菌吞噬过程中产生大量活性氧(ROS)。ROS对生物大分子如脂质、蛋白质和DNA的氧化损伤被认为是各种疾病、衰老和癌症的初始阶段。有报道称,植物精油和/或它们的化合物能够阻断丝裂原活化蛋白激酶通路,通过减少氧化应激有关的机制来阻断核因子- κ B(NF- κ B)的激活,从而减少炎症的发生^[36]。

2.3 植物精油的抗炎活性及其作用机制

炎症反应被认为是对不同类型有害因素的复杂免疫反应,是生物体对各种病原体、有毒化合物和环境胁迫因素的防御机制^[37]。病原微生物、刺激性化合物或受损组织会引起急性炎症反应,这种反应可以持续很短的时间,这对宿主是有益的。尽管如此,如果炎症消退不充分或刺激持续存在,则称为慢性炎症,慢性炎症可能导致免疫细胞的持续激活,损害机体健康^[38]。在慢性炎症反应中,不同的信号通路被激活,导致促炎基因和蛋白质以及细胞因子的过度表达。这种炎症反应也与ROS和活性氮(RNS)的释放和积累增加有关。当ROS的产生大于细胞抗氧化能力时,氧化应激可损害脂质、蛋白质和DNA。从这个意义上说,植物精油的抗炎活性也成为一个研究热点。

动物机体健康的维持一般通过免疫途径进行调节。NF- κ B是一种转录因子,在几种诱导剂如促炎细胞因子、ROS和LPS的激活下,从胞浆转运到细胞核,然后诱导大量促炎蛋白的表达,包括参与炎症、细胞凋亡和增殖的细胞因子、趋化因子、黏附分子和酶^[39]。核因子E2相关因子2(Nrf2)和NF- κ B通路之间存在潜在的交叉对话,Nrf2基因功能障碍可导致对炎症应激的易感性增加。调节细胞因子可能是植物精油发挥抗炎活性的作用机制之一^[40]。张文静^[41]的试验表明,复合植物精油可以通过抑制Toll样受体(TLRs)中的Toll样受体4(TLR4)/NF- κ B通路转导,减少炎症细胞因子分泌,降低组织损伤程度,进而减轻炎症反应的发生。植物精油种类不同,应对炎症的因子也会有所改变。对肉桂醛的抗炎作用及其在调节与年龄相关信号转导通路中的作用评估表明,肉桂醛

通过氧化还原相关的激酶途径参与了NF- κ B活化的分子调控^[42]。

Cheng等^[43]在LPS刺激小鼠巨噬细胞RAW264.7的试验中,发现罗氏棘豆植物精油能促进抗炎细胞因子白细胞介素(IL)-10的分泌,减缓炎症的发生。Zou等^[44]研究表明,包括牛至油在内的植物精油增加了Nrf2的表达和移位,并阻止了NF- κ B的激活。植物精油可以通过改变Nrf2和NF- κ B途径来减轻炎症,最终改善畜禽的健康和生长性能。Bui等^[45]发现,胡椒植物精油通过降低IL-1 β 、IL-4、IL-17A和肿瘤坏死因子- α (TNF- α)含量来调节T细胞反应的平衡,表明植物精油具有抗炎活性。Kroismayr等^[46]的试验结果表明,植物精油显著降低断奶仔猪肠转录因子NF- κ B、凋亡标志物TNF- α 和派尔集合淋巴结大小的表达,并降低结肠、肠系膜淋巴结和脾脏中的增殖标记细胞周期蛋白D1的表达。Manzanilla等^[47]观察到植物精油可以减少空肠上皮和肠系膜淋巴结内的淋巴细胞数量。以上研究表明,植物精油的抗炎作用可通过降低肠道免疫防御活性需要来实现,而减轻的肠道免疫防御应激能够一定程度促进营养物质的吸收从而有利于生长。然而,关于植物精油抗炎活性更多作用机制的探索,尚需开展进一步的研究工作。

3 植物精油在畜禽免疫上的应用

3.1 植物精油在单胃动物上的应用

植物精油对单胃动物的促生长功能主要与其对胃肠道的影 响有关,植物精油可增加饲料的适口性,刺激动物胃肠道消化液的分泌,改善肠道形态,稳定肠道微生物菌群,减少炎症的发生^[48]。有研究认为植物精油对动物免疫能力的影响主要是由于它们的抗菌活性,因为免疫系统的成熟和最佳发育取决于动物自身微生物区系的发育和组成^[49]。Cairo等^[50]的研究表明,在断奶仔猪饲料中添加巴西红辣椒精油可以影响断奶仔猪肠道微生物菌群,但不会影响生长性能和器官重量,而且高剂量的精油可以降低断奶仔猪腹泻的发生率。刘猛^[51]试验表明,在早期断奶仔猪饲料中添加0.01%主要成分为麝香草酚和肉桂醛的植物精油对于提高动物生产性能、控制肠道微生物和提高动物机体免疫力有明显的作 用。植物精油可对消化系统产生有益影响,改善营养物质的吸收,减少

肠道中的病原体数量,同时可以发挥抗氧化活性,进而改善机体的免疫功能^[5]。另据报道,饲料添加含有百里香酚和肉桂醛的植物精油可以改善断奶仔猪的整体免疫状况,如提高淋巴细胞增殖率、吞噬率,提高血清免疫球蛋白 G (IgG)、免疫球蛋白 A (IgA)、免疫球蛋白 M (IgM) 等含量^[52]。Li 等^[53]的研究表明,主要成分为百里香酚和肉桂醛的植物精油可以提高断奶仔猪淋巴细胞的转化率和吞噬率,还能显著提高血清中 IgA、IgG 和补体 3 (C3)、补体 4 (C4) 含量,能够有效改善断奶仔猪的免疫状况。Yang 等^[54]的试验表明,在断奶仔猪饲料中添加肉桂醛和有机酸混合物对机体免疫系统有积极影响,可以显著提高血清 C3、C4 含量,有效调节血清中免疫指标。Su 等^[3]的研究还表明,饲料添加以百里香酚和肉桂醛为主要成分的植物精油可以提高血清 IgA、IgG 和 IgM 含量,随着植物精油添加量的增加,脾脏谷胱甘肽巯基转移酶 (GST)、脾脏谷胱甘肽过氧化酶 1 (GPX1) 和肝脏 GST 等抗氧化相关基因表达水平明显上调。脾脏是免疫系统的重要组成部分,肝脏在猪的解毒和新陈代谢中起着重要作用。脾脏和肝脏抗氧化能力的提高反映了断奶仔猪免疫力的增强和健康状况的改善。免疫球蛋白含量的提高可能对断奶仔猪是有益的,植物精油也可以通过调节免疫反应改善动物机体的健康状况^[55]。

Mitsch 等^[56]研究发现,以百里香酚和香芹酚为主要成分的植物精油混合物可以控制产气荚膜梭菌在肉仔鸡肠道的定植和增殖,从而有助于预防坏死性肠炎的发生。Farhadi 等^[57]研究表明,饲喂桉叶油的肉鸡对绵羊红细胞的一次抗体应答较强,认为饲料中添加桉叶油具有增强肉鸡免疫应答的潜力。在一次抗体应答中,IgM 是主要的免疫球蛋白^[58],而 IgM 和 IgG 在家禽血液中含有最丰富,免疫球蛋白含量的升高有助于家禽获得较高的免疫力。在肉鸡饲料中添加适量的百里香酚和香芹酚,能够增加肠道绒毛高度,缓解其肠道疾病的发生^[59]。杜恩存^[60]试验表明,以百里香酚和香芹酚为活性成分的植物精油不仅可提高 LPS 诱导的肉仔鸡肝脏的抗氧化能力,而且对脾脏 TLR4 介导的炎症相关基因的表达具有显著的调节作用。在生产中,植物精油的配合使用也可以达到很好的效果,如在肉鸡饲料中添加百里香精油、薄荷精油和桉叶油,按 40:40:20 的比例添加,随着添

加剂量的增加,血清中传染性新城疫、支气管炎和法氏囊病毒病的抗体效价呈线性增加,肉鸡的发病率有所降低,免疫力有所增强^[61]。王兰等^[62]研究表明,添加不同浓度的植物精油(主要成分为百里香酚、香芹酚、肉桂醛等)可提高养分消化率,且能显著改善肉鸡抗氧化性能和免疫机能。以上研究表明,植物精油可以通过改善畜禽的抗菌、抗氧化和抗炎性能,从而提高机体免疫力,促进畜禽健康生长。

3.2 植物精油在反刍动物上的应用

植物精油在反刍动物中的应用主要集中在改善营养物质的吸收和利用,提高生长性能,同时增强动物对疾病的抵抗力。陈昊等^[63]试验表明,牛至精油不仅可以提高荷斯坦奶牛的健康状况和生产性能,而且具有预防和治疗奶牛乳房炎和腹泻的作用。陈百万等^[64]试验表明,丁香精油能抑制白假丝酵母真菌、金黄色葡萄球菌等奶牛乳腺炎病原菌的生长,可用于奶牛乳腺炎的治疗。Liu 等^[65]研究发现,在荷斯坦奶牛新生犊牛饲料中添加植物精油和益生菌混合物替代饲喂亚治疗性抗生素,通过增加免疫球蛋白的含量减少腹泻的发病率,促进犊牛生长,增强营养物质消化率,能够改善荷斯坦犊牛的免疫状况。Froehlich 等^[66]的试验结果表明,在每头荷斯坦犊牛的代乳料中添加 1.25 g/d 的香芹酚、百里香酚和桉叶素等的复合植物精油可以提高犊牛生长速度,且犊牛表现出较高的免疫学反应。Chao 等^[67]的研究结果表明,肉桂醛可以抑制小鼠巨噬细胞 J774A.1 产生 IL-1 β 和 TNF- α ,而且可以有效地减少 LPS 诱导的 ROS 释放,证实了肉桂醛的抗氧化特性和抗炎特性,为肉桂醛在免疫调节领域的应用提供了可能性。随后,Pempek 等^[68]的试验表明,与对照组的犊牛相比,饲用肉桂醛的犊牛患脐部炎症的风险要低得多,犊牛的免疫力也有所提高。植物精油还可以通过影响瘤胃发酵而影响免疫应答,主要由于植物精油有利于瘤胃益生菌、纤毛虫及真菌的生长繁殖和营养代谢,可有效平衡瘤胃微生物区系,促进机体免疫应答,增强机体的免疫性能。另外,植物精油在羊上的应用也有改善营养物质吸收、提高机体免疫力的积极作用。如 Kholif 等^[69]研究发现,在哺乳期母羊的饲料中添加辣椒精油和酶的混合物,能够明显改善饲料转化率,提高了羊奶中的不饱和脂肪酸的含量,改善母羊的免疫性能和

健康状况。另有研究发现,牛至精油对绵羊瘤胃发酵具有调控作用,可促进胃肠道形态的发育,改变胃肠道细菌菌群结构,能够一定程度上改善羔羊的抗氧化能力和免疫性能^[70]。

4 小 结

植物精油是植物性饲料添加剂中的一大类,其作为新型绿色添加剂在养殖业可持续发展中将发挥愈来愈重要的作用。植物精油生物活性多样,具有抗菌、抗氧化和抗炎的生物功能,对畜禽生产和健康产生积极的影响,在畜禽免疫中将具有广阔的应用前景。现阶段植物精油在单胃动物上的应用较多,在反刍动物上的应用仍有很大的发展空间。当前,植物精油的生物活性及其作用机制、作用靶点等还有很多工作尚需进一步研究,为生产中更好地应用植物精油提高畜禽免疫力奠定基础。

参考文献:

- [1] SHARIFI-RAD J, SUREDA A, TENORE G C, et al. Biological activities of essential oils: from plant chemocology to traditional healing systems [J]. *Molecules*, 2017, 22 (1): 70, doi: 10.3390/molecules22010070.
- [2] ZHAI H X, LIU H, WANG S K, et al. Potential of essential oils for poultry and pigs [J]. *Animal Nutrition*, 2018, 4 (2): 179-186.
- [3] SU G Q, ZHOU X W, WANG Y, et al. Effects of plant essential oil supplementation on growth performance, immune function and antioxidant activities in weaned pigs [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2018, 17: 139, doi: 10.1186/s12944-018-0788-3.
- [4] MALAYOĞLU H B, BAYSAL Ş, MISIRLIOĞLU Z, et al. Effects of oregano essential oil with or without feed enzymes on growth performance, digestive enzyme, nutrient digestibility, lipid metabolism and immune response of broilers fed on wheat-soybean meal diets [J]. *British Poultry Science*, 2010, 51 (1): 67-80.
- [5] PETERFALVI A, MIKO E, NAGY T, et al. Much more than a pleasant scent: a review on essential oils supporting the immune system [J]. *Molecules*, 2019, 24 (24): 4530, doi: 10.3390/molecules24244530.
- [6] NIETO G. Biological activities of three essential oils of the *Lamiaceae* family [J]. *Medicines (Basel)*, 2017, 4 (3): E63.
- [7] BARDAWEEL S K, BAKCHICHE B, ALSALAMAT H A, et al. Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of essential oil of *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) from Algerian Saharan atlas [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 18: 201.
- [8] HUANG J H, QIAN C, XU H J, et al. Antibacterial activity of *Artemisia asiatica* essential oil against some common respiratory infection causing bacterial strains and its mechanism of action in *Haemophilus influenzae* [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2018, 114: 470-475.
- [9] PRAKASH B, KEDIA A, MISHRA P K, et al. Plant essential oils as food preservatives to control moulds, mycotoxin contamination and oxidative deterioration of agri-food commodities-potentials and challenges [J]. *Food Control*, 2015, 47: 381-391.
- [10] MOHAMMADHOSSEINI M, SARKER S D, AKBARZADEH A. Chemical composition of the essential oils and extracts of *Achillea* species and their biological activities: a review [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2017, 199: 257-315.
- [11] GANDHI G R, VASCONCELOS A B S, HARAN G H, et al. Essential oils and its bioactive compounds modulating cytokines: a systematic review on anti-asthmatic and immunomodulatory properties [J]. *Phytomedicine*, 2019: 152854, doi: 10.1016/j.phymed.2019.152854.
- [12] 郑建怡, 林厦菁, 蒋守群. 植物精油在肉鸡饲养中应用的研究进展 [J]. *广东畜牧兽医科技*, 2019, 44 (5): 17-20, 22.
- [13] 朱永刚, 王磊, 崔东安, 等. 植物精油在畜禽生产中的应用效果研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2016, 43 (7): 1812-1817.
- [14] 敖翔, 何健. 植物精油对家禽的促生长作用及机制 [J]. *饲料与畜牧*, 2018 (3): 55-60.
- [15] 曹玉伟, 寇占英, 贾淼, 等. 植物精油对体外瘤胃发酵、甲烷产量及底物降解率的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31 (10): 4746-4756.
- [16] WANG B, JIA M, FANG L Y, et al. Effects of eucalyptus oil and anise oil supplementation on rumen fermentation characteristics, methane emission, and digestibility in sheep [J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96 (8): 3460-3470.
- [17] MOURÃO J L, PINHEIRO V, ALVES A, et al. Effect of mannan oligosaccharides on the performance, intestinal morphology and cecal fermentation of fattening

- rabbits [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2005, 126(1/2): 107–120.
- [18] CALO J R, CRANDALL F G, O' BRYAN C A, et al. Essential oils as antimicrobials in food systems—a review [J]. *Food Control*, 2015, 54: 111–119.
- [19] DE MARTINO L, DE FEO V, NAZZARO F. Chemical composition and *in vitro* antimicrobial and mutagenic activities of seven *Lamiaceae* essential oils [J]. *Molecules*, 2009, 14(10): 4213–4230.
- [20] 张宇, 姜宁, 张爱忠. 植物精油在动物营养中的研究进展 [J]. *饲料博览*, 2018(5): 11–14.
- [21] O' BRYAN C A, PENDLETON S J, CRANDALL P G, et al. Potential of plant essential oils and their components in animal agriculture—*in vitro* studies on antibacterial mode of action [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2015, 2: 35.
- [22] BOUHDID S, ABRINI J, AMENSOUR M, et al. Functional and ultrastructural changes in *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* cells induced by *Cinnamomum verum* essential oil [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2010, 109(4): 1139–1149.
- [23] BURT S. Essential oils; their antibacterial properties and potential applications in foods—a review [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 94(3): 223–253.
- [24] GONONZALEZ-GIL F, DIAZ-SANCHEZ S, PENDLETON S, et al. Yerba mate enhances probiotic bacteria growth *in vitro* but as a feed additive does not reduce *Salmonella enteritidis* colonization *in vivo* [J]. *Poultry Science*, 2014, 93(2): 434–440.
- [25] AMBROSIO C M S, IKEDA N Y, MIANO A C, et al. Unraveling the selective antibacterial activity and chemical composition of citrus essential oils [J]. *Scientific Reports*, 2019, 9: 17719.
- [26] HOROŠOVÁ K, BUJŇÁKOVÁ D, KMEŤ V. Effect of oregano essential oil on chicken lactobacilli and *E. coli* [J]. *Folia Microbiologica*, 2006, 51(4): 278–280.
- [27] VALDIVIESO-UGARTE M, GOMEZ-LLORENTE C, PLAZA-DÍAZ J, et al. Antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties of essential oils; a systematic review [J]. *Nutrients*, 2019, 11(11): 2786, doi: 10.3390/nu11112786.
- [28] 温朋飞, 彭艳. 植物精油抗氧化作用机制研究进展 [J]. *饲料工业*, 2017, 38(2): 40–45.
- [29] 冯栋梁, 刁蓝宇, 邹彩霞, 等. 植物精油的生物活性及其在动物生产中的应用 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(11): 4334–4341.
- [30] HU Q P, CAO X M, HAO D L, et al. Chemical composition, antioxidant, DNA damage protective, cytotoxic and antibacterial activities of *Cyperus rotundus* rhizomes essential oil against foodborne pathogens [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 45231.
- [31] DJENANE D. Chemical profile, antibacterial and antioxidant activity of algerian citrus essential oils and their application in *Sardina pilchardus* [J]. *Foods*, 2015, 4(2): 208–228.
- [32] SHAKERI A, AKHTARI J, SOHEILI V, et al. Identification and biological activity of the volatile compounds of *Glycyrrhiza triphylla* Fisch. & C. A. Mey [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2017, 109: 39–44.
- [33] SEMENIUC C A, SOCACIU M I, SOCACI S A, et al. Chemometric comparison and classification of some essential oils extracted from plants belonging to Apiaceae and Lamiaceae families based on their chemical composition and biological activities [J]. *Molecules*, 2018, 23(9): 2261.
- [34] PLACHA I, TAKACOVA J, RYZNER M, et al. Effect of thyme essential oil and selenium on intestine integrity and antioxidant status of broilers [J]. *British Poultry Science*, 2014, 55(1): 105–114.
- [35] HABIBI R, SADEGHI G H, KARIMI A. Effect of different concentrations of ginger root powder and its essential oil on growth performance, serum metabolites and antioxidant status in broiler chicks under heat stress [J]. *British Poultry Science*, 2014, 55(2): 228–237.
- [36] DE LAVOR É M, FERNANDES A W C, DE ANDRADE TELES R B, et al. Essential oils and their major compounds in the treatment of chronic inflammation; a review of antioxidant potential in preclinical studies and molecular mechanisms [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 2018: 6468593.
- [37] HAMDY N A, GAMAL-ELDEEN A M. New pyridone, thioxopyridine, pyrazolopyridine and pyridine derivatives that modulate inflammatory mediators in stimulated RAW 264.7 murine macrophage [J]. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 2009, 44(11): 4547–4556.
- [38] TUMER T B, YILMAZ B, OZLEYEN A, et al. GR24, a synthetic analog of strigolactones, alleviates inflammation and promotes Nrf2 cytoprotective response; *in vitro* and *in silico* evidences [J]. *Computational Biology and Chemistry*, 2018, 76: 179–190.

- [39] OMONIJO F A, NI L J, GONG J H, et al. Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production [J]. *Animal Nutrition*, 2018, 4(2): 126–136.
- [40] SIVANDZADE F, PRASAD S, BHALERAO A, et al. NRF2 and NF- κ B interplay in cerebrovascular and neurodegenerative disorders: molecular mechanisms and possible therapeutic approaches [J]. *Redox Biology*, 2018, 21: 101059.
- [41] 张文静. 复合植物精油提高肉仔鸡生长性能和抗病力的初步研究与应用 [D]. 博士学位论文. 长春: 吉林大学, 2017: 82–86.
- [42] KIM D H, KIM C H, KIM M S, et al. Suppression of age-related inflammatory NF- κ B activation by cinnamaldehyde [J]. *Biogerontology*, 2007, 8(5): 545–554.
- [43] CHENG C S, ZOU Y, PENG J. Oregano essential oil attenuates RAW264.7 cells from lipopolysaccharide-induced inflammatory response through regulating NADPH oxidase activation-driven oxidative stress [J]. *Molecules*, 2018, 23(8): 1857.
- [44] ZOU Y, WANG J, PENG J, et al. Oregano essential oil induces *SOD1* and *GSH* expression through Nrf2 activation and alleviates hydrogen peroxide-induced oxidative damage in IPEC-J2 cells [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 2016: 5987183.
- [45] BUI T T, PIAO C H, SONG C H, et al. *Piper nigrum* extract ameliorated allergic inflammation through inhibiting Th2/Th17 responses and mast cells activation [J]. *Cellular Immunology*, 2017, 322: 64–73.
- [46] KROISMAYR A, SEHM J, PFAFFL M W, et al. Effects of avilamycin and essential oils on mRNA expression of apoptotic and inflammatory markers and gut morphology of piglets [J]. *Czech Journal of Animal Science*, 2008, 53: 377–387.
- [47] MANZANILLA E G, PÉREZ J F, MARTÍN M, et al. Dietary protein modifies effect of plant extracts in the intestinal ecosystem of the pig at weaning [J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87(6): 2029–2037.
- [48] STEINER T, SYED B. Phytogetic feed additives in animal nutrition [M]//MÁTHÉ Á. *Medicinal and Aromatic Plants of the World*. Dordrecht: Springer, 2015, doi: 10.1007/978-94-017-9810-5_20.
- [49] YAN L, WANG J P, KIM H J, et al. Influence of essential oil supplementation and diets with different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics, meat quality and fecal noxious gas content in grower-finisher pigs [J]. *Livestock Science*, 2010, 123(1/2/3): 115–122.
- [50] CAIRO P L G, GOIS F D, SBARDELLA M, et al. Effects of dietary supplementation of red pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) essential oil on performance, small intestinal morphology and microbial counts of weanling pigs [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(2): 541–548.
- [51] 刘猛. 植物精油对仔猪生产性能、肠道微生物及免疫性能的影响 [D]. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学, 2011: 22–25.
- [52] ZENG Z K, XU X, ZHANG Q, et al. Effects of essential oil supplementation of a low-energy diet on performance, intestinal morphology and microflora, immune properties and antioxidant activities in weaned pigs [J]. *Animal Science Journal*, 2015, 86(3): 279–285.
- [53] LI S Y, RU Y J, LIU M, et al. The effect of essential oils on performance, immunity and gut microbial population in weaner pigs [J]. *Livestock Science*, 2012, 145(1/2/3): 119–123.
- [54] YANG C M, ZHANG L L, CAO G T, et al. Effects of dietary supplementation with essential oils and organic acids on the growth performance, immune system, fecal volatile fatty acids, and microflora community in weaned piglets [J]. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(1): 133–143.
- [55] LEE I K, KYE Y C, KIM G, et al. Stress, nutrition and intestinal immune responses in pigs—a review [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2016, 29(8): 1075–1082.
- [56] MITSCH P, ZITTERL-EGLESEER K, KÖHLER B, et al. The effect of two different blends of essential oil components on the proliferation of *Clostridium perfringens* in the intestines of broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2004, 83(4): 669–675.
- [57] FARHADI D, KARIMI A, SADEGHI G, et al. Effects of using eucalyptus (*Eucalyptus globulus* L.) leaf powder and its essential oil on growth performance and immune response of broiler chickens [J]. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 2017, 18(1): 60–62.
- [58] JÚNIOR D M, ARAÚJO J A P, CATELAN T T T, et al. Sistema imunitário—parte II. Fundamentos da resposta imunológica mediada por linfócitos T e B [J]. *Revista Brasileira de Reumatologia*, 2010, 50(5): 552–580.
- [59] DU E C, WANG W W, GAN L P, et al. Effects of thymol and carvacrol supplementation on integrity and immune responses of broiler chickens challenged with

- Clostridium perfringens*[J].*Journal of Animal Science and Biotechnology*,2016,7:19.
- [60] 杜恩存.百里香酚和香芹酚对肉仔鸡肠上皮屏障和免疫功能的调节作用[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2016:30-38.
- [61] NAMEGHI A H,EDALATIAN O,BAKSHSHALINE-JAD R.Effects of a blend of thyme, peppermint and eucalyptus essential oils on growth performance, serum lipid and hepatic enzyme indices, immune response and ileal morphology and microflora in broilers [J].*Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*,2019,103(5):1388-1398.
- [62] 王兰,陈代文,余冰,等.植物精油对肉鸡生长性能、抗氧化能力和免疫机能的影响[J].*动物营养学报*,2019,31(2):831-838.
- [63] 陈昊,刘婷,姚喜喜,等.牛至精油对荷斯坦奶牛乳房炎和腹泻发病率的影响[J].*中国草食动物科学*,2015,35(2):39-41.
- [64] 陈百万,袁永红,王礼柏,等.丁香精油抗奶牛乳腺炎病原微生物活性研究[J].*绵阳师范学院学报*,2015,34(2):51-56.
- [65] LIU T,CHEN H,BAI Y,et al.Calf starter containing a blend of essential oils and prebiotics affects the growth performance of Holstein calves[J].*Journal of Dairy Science*,2020,103(3):2315-2323.
- [66] FROEHLICH K A,ABDELSALAM K W,CHASE C,et al.Evaluation of essential oils and prebiotics for newborn dairy calves[J].*Journal of Animal Science*,2017,95(8):3772-3782.
- [67] CHAO L K,HUA K F,HSU H Y,et al.Cinnamaldehyde inhibits pro-inflammatory cytokines secretion from monocytes/macrophages through suppression of intracellular signaling[J].*Food and Chemical Toxicology*,2008,46(1):220-231.
- [68] PEMPEK J A,HOLDER E,PROUDFOOT K L,et al.Short communication: investigation of antibiotic alternatives to improve health and growth of veal calves [J].*Journal of Dairy Science*,2018,101(5):4473-4478.
- [69] KHOLIF A E,KASSAB A Y,AZZAZ H H,et al.Essential oils blend with a newly developed enzyme cocktail works synergistically to enhance feed utilization and milk production of Farafra ewes in the subtropics[J].*Small Ruminant Research*,2018,161:43-50.
- [70] 周瑞.牛至精油对羔羊胃肠道结构和功能及其微生物多样性的影响[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2019:55-59.

Biological Activity of Plant Essential Oils and Their Application in Animal Immunity

ZHAO Chen¹ DING Jian² LI Yanling^{1*}

(1. *Animal Science and Technology College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China*; 2. *National Animal Husbandry Service, Beijing 100125, China*)

Abstract: Plant essential oils are a kind of mixture with natural, volatile and aromatic compounds extracted from plants. Plant essential oils have many functions such as regulating intestinal flora, improving animal immunity and performance, increasing antioxidant capacity and improving meat quality, which could be used as good feed additives and have a broad application prospect. This paper will mainly introduce the biological activities and mechanism of plant essential oils, including antibacterial, antioxidant and anti-inflammatory activities, and also review the application research progress on improving animal immunity in livestock breeding to provide references for the future advanced application of plant essential oils in animal production. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(9):4070-4077]

Key words: plant essential oils; antibacterial activity; antioxidant activity; anti-inflammatory activity; immunity