

单宁酸的营养生理功能及其在单胃动物生产中的应用研究进展

宋妍妍 陈代文 余冰 虞洁*

(四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养教育部重点实验室,雅安 625014)

摘要: 单宁酸是一种植物源水溶性多酚化合物,由于能够与蛋白质、消化酶、生物碱、多糖和金属离子等结合或络合形成沉淀,降低动物机体对养分的消化和吸收,通常被认为是一种抗营养因子。但近年来有研究发现,单宁酸的多元酚羟基使其本身具有收敛抗腹泻、抗氧化、抑菌和抗病毒等特性。适量的单宁酸可以为动物的生长性能和肠道健康带来良性的促进作用。本文综述了单宁酸的营养生理功能并总结了其在单胃动物生产中的应用效果,为单宁酸的进一步研究提供方向。

关键词: 单宁酸;抗营养因子;饲料添加剂;单胃动物

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)06-2544-08

单宁酸,又被称为鞣酸、鞣质等,属于植物的次级代谢产物,主要存在于豆类植物、五倍子、高粱、石榴和金缕梅树等植物中^[1-2]。单宁酸可溶于水 and 乙醇,易溶于甘油,其化学结构较为复杂,根据化学结构和性质一般将其分为水解单宁酸、缩合单宁酸和复杂单宁酸。水解单宁酸是由酚酸和多元醇通过甙键或酯键形成的聚合物,在酸、碱和酶的作用下可水解生成多元醇和酚酸;缩合单宁酸是多羟基黄烷-3-醇低聚物和碳-碳结合类黄酮的聚合物,在酸、碱和酶的作用下不易水解;复杂单宁酸含有水解单宁酸和缩合单宁酸的结构单元,具有2种类型单宁酸的特征和性质^[3]。单宁酸的结构如图1所示。缩合单宁酸通常被认为是一种抗营养因子,近年来研究表明水解单宁酸可作为饲料添加剂^[4-5]。单宁酸的多元酚羟基结构,使其具有良好的收敛抗腹泻、抑菌、抗氧化和抗病毒等生理功能^[6]。欧盟已经批准单宁酸作为一种安全的新型饲料添加剂,现阶段在猪、奶牛和肉鸡等动物生产中已有部分应用^[7]。

1 单宁酸的抗营养作用及机理

单宁酸味苦涩,导致适口性较差,饲料中单宁酸含量较高会影响动物的食欲,降低采食量,并且具有一定的毒性作用^[8]。单宁酸易与蛋白质和部分消化酶结合形成不溶性复合物,降低动物的养分消化率,尤其是蛋白质的消化率^[9-10]。研究发现,单宁酸的添加能够显著降低蛋白质的表观消化率,且蛋白质的表观消化率与单宁酸的添加剂量呈线性负相关,但蛋白质表观消化率受饲料中蛋白质水平影响,在一定范围内,饲料中蛋白质水平越高,蛋白质表观消化率会相对更高^[11]。King等^[12]研究表明,高单宁酸高粱组北京鸭的养分利用率、真代谢能水平和真氮保持率较低单宁酸高粱组均显著降低,研究还发现,单宁酸在食品中的抗营养作用是因为其对肠道刷状缘氨基酸转运蛋白存在抑制作用。单宁酸是足以沉淀蛋白质或交联蛋白质的变性剂,它能够使蛋白质的催化剂作用失效^[13]。Oke等^[14]研究发现,蛋白质效率

收稿日期:2018-12-14

基金项目:四川省科技支撑计划项目(2016NZ0006);“十三五”国家重点研发计划专项(2016YFD0500506);国家生猪产业技术体系(CARS-35)

作者简介:宋妍妍(1995—),女,河南商丘人,硕士研究生,从事猪营养研究。E-mail: 1310950619@qq.com

*通信作者:虞洁,副研究员,硕士生导师,E-mail: yujie@sicau.edu.cn

(PER)和净蛋白质比率(NPR)与饲料中单宁酸含量呈负相关关系。单宁酸与消化酶的结合导致饲料中的纤维素和半纤维素等聚合物的生物降解量显著减少^[9]。单宁酸可与铁、钙和锌等金属离子利用多元酚羟基络合成螯合物,降低饲料中这些金属离子的利用率。单宁酸可显著降低果蝠体内铁的吸收,且不受剂量的影响^[15]。Lee等^[16]研究发现,在缺铁饲料中添加单宁酸对血浆铁储备

产生了不利影响。在不缺铁的基础饲料中添加单宁酸对猪血浆铁含量仍有不利影响,猪粪便中铁的排泄率线性提高^[17]。众多研究表明,单宁酸与金属离子的络合程度与pH和饲料蛋白质水平有关。不同pH条件下,单宁酸与金属离子形成不同的螯合物;在一定范围内,饲料中蛋白质水平增加,单宁酸对金属离子的螯合作用减弱。

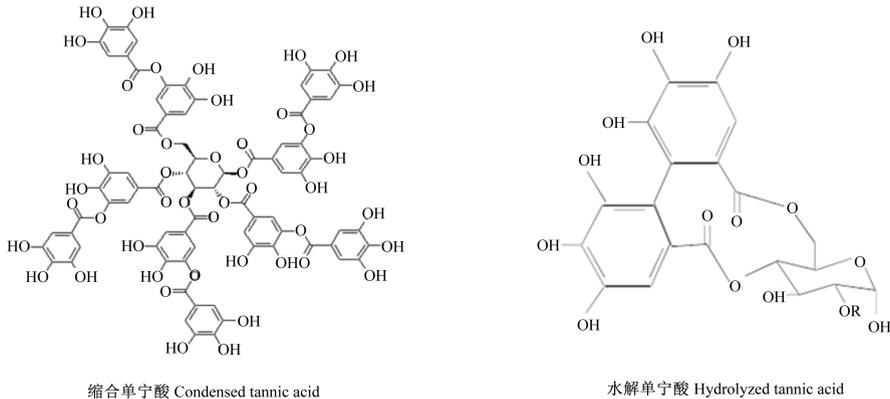


图1 单宁酸的结构

Fig.1 Structure of tannic acid

2 单宁酸的生理作用

单宁酸的多元酚羟基结构决定了它具有良好的收敛抗腹泻、抑菌、抗氧化、抗病毒和抗寄生虫等作用。

2.1 收敛抗腹泻作用

单宁酸进入动物机体胃肠道后,首先与胃黏膜蛋白结合形成鞣酸蛋白,保护胃黏膜不被外来粗糙食物刺激,并且能够在局部达到抗炎、止血和镇痛的作用^[18];然后,鞣酸蛋白抵达小肠,小肠液呈碱性,促进鞣酸蛋白解离,释放出单宁酸,单宁酸凝固炎症表面的蛋白质,减少炎症渗出物,降低食糜在肠道中的流速,减慢肠道蠕动,呈现出止泻作用。此外,大肠杆菌和轮状病毒是引起动物腹泻的重要病原体,单宁酸对大肠杆菌的增殖以及轮状病毒吸附细胞期间的复制均有很强的抑制作用^[19-20]。安文亭等^[21]、隋慧等^[22]和孙展英等^[23]在动物饲料中添加单宁酸,均发现单宁酸组腹泻率较对照组显著降低。Rezar等^[24]发现0.07%和0.20%的栗木单宁酸能够显著增加粪中干物质含量,减少粪便水分含量,说明单宁酸具有干粪效

果。Yang等^[25]研究发现,用五倍子单宁提取物(GTE)制备的五倍子口服液(GOS)在蓖麻油引起的小鼠腹泻模型中具有明显的止泻作用,且呈剂量依赖性。Girard等^[26]建立了产肠毒素大肠杆菌F4(ETEC F4)断奶后腹泻动物模型,检验1%板栗可水解单宁酸预防腹泻的效果,结果发现1%板栗可水解单宁酸显著降低了仔猪的腹泻率和腹泻持续时间。

2.2 选择性抑菌作用

单宁酸在人和动物消化道内可以与细菌相互作用,单宁酸对微生物生长的影响,特别是它的抑菌作用,已经得到了较多的研究^[27]。众多研究表明,单宁酸对不同种类的微生物具有不同的抑制或促进作用。Elizondo等^[28]对单宁酸进行体外试验,发现不同来源的单宁酸(白坚木、栗木或二者的组合)均抑制了健康动物和患病动物肠道中A、B、C、D和E型产气荚膜梭菌的生长,且与单宁酸的含量呈现剂量效应,此外,对比分析发现,栗木单宁酸的抑菌活性优于白坚木单宁酸,由此得出动物饲料中添加单宁酸能有效预防梭菌属引起的疾病。Tosi等^[29]与Elizondo等^[28]的研究结果

相似,栗木单宁酸对抑制产气荚膜梭菌的增殖非常有效,与感染未添加栗木单宁组相比,减轻了肠道损伤。Van Parys 等^[30]探究了栗木水解单宁酸在体内和体外对鼠伤寒沙门氏菌的存活是否具有抑制作用,第1个体外试验发现,栗木水解单宁酸对57株鼠伤寒沙门氏菌分离菌株的最小抑菌浓度(MIC)均在160~320 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内;第2个体外试验发现,25~50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 栗木水解单宁酸显著抑制鼠伤寒沙门氏菌的生长,100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 栗木水解单宁酸能够完全抑制此细菌生长,但将鼠伤寒沙门氏菌接种到猪体内之后对此细菌的抑制没有显著效果。Jamroz 等^[31]研究发现较高含量的单宁酸能够显著降低28日龄肉鸡小肠中大肠杆菌的数量。单宁酸能够通过抑制外排泵 NorA 进而抑制金黄色葡萄球菌的生长^[32]。研究表明,单宁酸可能通过2条途径发挥抑菌作用:一是单宁酸与细菌细胞膜和细胞质功能蛋白之间的直接相互作用;二是单宁酸对细菌细胞代谢(如代谢酶、脂质和脂肪酸等)存在二次作用,引起细菌细胞代谢功能改变^[27,33]。

2.3 抗氧化作用

已知动物体内自由基过多会导致机体氧化应激。氧化应激通常被认为是活性氧(ROS)含量的增加与抗氧化机制的低活性之间的不平衡,氧化应激会引起细胞结构的损伤,并有可能破坏组织^[34]。单宁酸的多元酚羟基可以提供氢离子,有效地清除自由基,是一种天然的抗氧化剂^[35-36]。单宁酸能够显著提高布氏田鼠肝脏中过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)、谷胱甘肽还原酶(GR)和超氧化物歧化酶(SOD)等酶的活性^[37]。Liu 等^[38]研究发现,在高温条件下,栗木提取单宁酸对家兔的抗氧化能力有积极影响,显著降低了家兔血浆和肝脏中丙二醛(MDA)和皮质醇的含量,显著提高了SOD和GPx的活性以及总抗氧化能力(T-AOC)。单宁酸可提高糖尿病大鼠的抗氧化能力,即降低糖尿病大鼠血清和肾组织中MDA的含量,提高GPx、SOD和CAT的活性^[39]。Ye 等^[35]研究表明,在饲料中添加单宁酸能够显著提高 Brandt 田鼠肝脏中GPx的活性,对CAT活性有提高趋势。SOD、GPx和CAT是机体内3个重要的抗氧化酶,属于主要的抗氧化防御机制,能够保护细胞免受ROS含量过高所造成的损害,并减少氧化应激^[40]。由此得出,在饲料中添

加单宁酸对动物机体的抗氧化能力具有明显的提高作用。

2.4 抗病毒作用

单宁酸是一种较好的抗病毒药物^[41]。很多富含单宁酸的植物提取物均已被证明具有抗病毒活性^[42]。番樱桃单宁酸能够通过抑制B淋巴细胞性疱疹病毒(EBV)DNA聚合酶的活性来显著抑制EBV的增殖,从而有效降低鼻咽癌的发生几率^[43]。Theisen 等^[42]首次证明富含单宁酸的金缕梅树皮提取物能抑制乳头瘤病毒感染,而且发现含有高分子质量的单宁酸提取物或单宁酸(1702 g/mol)能够抑制甲型流感病毒受体结合和神经氨酸酶的活性。诃黎勒酸(chebulagic acid)是一种水解单宁酸,其在体内和体外均有抗肠道病毒71型的活性,可能是一种控制肠道病毒71型感染的潜在治疗剂^[44]。单宁酸可有效抑制丙型肝炎病毒(HCV)进入Huh7.5细胞(一种肝癌细胞),而且能够阻止传染性HCV细胞的胞间传播^[45]。魏昆鹏等^[46]研究发现0.15 mg/mL 的水解单宁酸能够显著降低无特定病原体(SPF)蛋中超强鸡传染性法氏囊病毒、鸡传染性支气管炎病毒、鸡新城疫病毒和鸡传染性喉炎病毒的滴度。

2.5 抗寄生虫作用

动物体内寄生虫的存在,不仅危害动物机体本身,严重时导致营养不良、发育迟缓、免疫力降低,而且危害到人类食品安全。单宁酸具备抗寄生虫作用^[47]。Williams 等^[48]发现缩合单宁酸在体外对猪蛔虫具有直接有效的抑制作用,表现为新孵化的三阶段幼虫的迁移能力降低,从猪身上恢复的四阶段幼虫的活动能力和生存能力也有所降低,透射电子显微镜显示缩合单宁酸对幼虫表皮和消化组织造成了严重的损害。Hoste 等^[49]在电子显微镜下观察到缩合单宁酸可以损伤寄生虫的表皮蛋白。天然植物单宁酸能够抑制反刍动物肠道寄生虫感染,尤其是线虫感染^[50]。Tonda 等^[51]研究发现,单宁酸提取物能够作为球虫病疫苗的辅助药物治疗肉鸡球虫病。目前认为单宁酸的抗寄生虫作用可能有2种机制:第一为代谢阻断假说,即单宁酸通过负面影响寄生虫本身的生理代谢过程抑制寄生虫生长;第二为营养免疫假说,即单宁酸通过提高宿主本身的抵抗力和免疫力抑制寄生虫生长和增殖^[52]。

3 单宁酸在单胃动物生产中的应用研究

腹泻问题一直是制约我国畜牧业发展的重要因素,现已发现传统的兽药保健措施会带来许多负面效应,寻找天然的植物来源添加剂越来越受到人们的重视,而单宁酸的收敛抗腹泻作用引起了广泛关注。众所周知,当富含单宁酸的饲料被供应给非反刍动物时,对它们的生长性能有不利影响^[53]。但近年来研究发现,在动物饲料中添加适宜剂量的单宁酸,不仅对预防和治疗动物腹泻有良好的效果,而且对动物的生长性能无负面影响甚至会出现良性促进作用。

Čandek-Potokar 等^[54]研究发现,在饲料中添加1%和2%的单宁酸对猪的平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)均无不良影响,3%的添加量虽然显著降低了ADFI,但对ADG和F/G无不良影响。Biagi 等^[53]在基础饲料中分别添加1.13、2.25和4.50 g/kg 栗木单宁酸,结果发现1.13和2.25 g/kg 单宁酸组对断奶仔猪的生长性能均无显著影响,4.5 g/kg 单宁酸组显著降低了F/G,且对ADFI和ADG无不良影响。安文亭等^[21]发现,在饲料中添加不同剂量的单宁酸对仔猪生长性能的影响未见规律性,与对照组相比,1 000 g/t 单宁酸组ADFI下降,1 500 g/t 单宁酸组ADG显著提高,F/G显著降低,而2 000 g/t 单宁酸组的ADG下降,F/G升高,但1 000、1 500和2 000 g/t 单宁酸组均显著降低了仔猪腹泻率,且在饲料中添加单宁酸促进了仔猪对粗纤维、钙和磷的消化;之后,此课题组又发现单宁酸对育肥猪的生长性能亦有改善作用^[55]。宋之波等^[56]研究表明坚木单宁能够显著提高育肥猪的ADG和ADFI。综上所述,适宜剂量的单宁酸对猪的生长性能呈现出积极的作用。

已有大量研究表明了单宁对家禽的抗营养作用,且单宁酸在肉鸡上的应用安全水平至今没有统一清晰的标准,但单宁酸在家禽上的应用被认为是一种潜在的生长促进剂^[57],单宁酸在家禽饲料中已经被成功地用作控制疾病和提高生长性能的添加剂^[58]。Schiavone 等^[59]在饲料中添加0.15%、0.20%和0.25%栗木提取物,有机物、蛋白质等大分子物质的表观消化率未被影响,对照组肉鸡粪便中的干物质含量较低,说明单宁酸具有干粪效果,有利于水分重吸收;肉鸡的生长性能与

栗木提取物的添加剂量呈二次或三次相关,0.20%栗木提取物组显著改善了14~35日龄肉鸡的ADG。侯海锋等^[60]证明了0.1%的单宁酸能够显著提高蛋鸡试验期第3周和第4周的产蛋率,料蛋比较对照组下降了8.77%,差异显著。Samuel 等^[61]研究发现75~100 mg/kg 的没食子酸可以显著提高肉仔鸡1~42日龄的饲料转化率。Starčević 等^[62]研究表明,在肉鸡饲料中添加单宁酸和没食子酸均能显著提高饲料利用率。

综上所述,适量的单宁酸应用于单胃动物实际生产中在一定程度上能够提高生长性能。但是,现阶段单宁酸在动物体内的功效仍然充满争论,从营养学角度讲,单宁酸同时具有负面营养作用和正面营养作用,当饲料中单宁酸含量较高时,可作为抗营养因子,而动物饲料中单宁酸的摄入又对胃肠道有积极的影响^[63]。

4 小结与展望

单宁酸作为一种植物来源的多酚化合物,不仅具有良好的收敛抗腹泻作用,而且在抗氧化、抑菌、抗病毒和抗寄生虫等方面表现出积极的影响。因此,单宁酸在畜禽生产中广泛应用前景可期。

众所周知,腹泻问题在当前养殖生产,特别是生猪养殖中非常普遍,造成的畜禽生产性能下降和死亡率上升给养殖业带来了巨大的经济损失。过去长期依靠饲用抗生素和高剂量氧化锌来防治腹泻,但抗生素的长期使用会诱导动物机体产生耐药菌株,对食品安全也有不利影响,而高剂量氧化锌通过畜禽粪便排泄造成土壤锌积累而污染环境。目前,“禁抗”和“限锌”也是畜牧业发展的方向。因此,单宁酸作为预防腹泻和改善肠道健康的天然饲料添加剂,安全性高,在部分或全部代替氧化锌和饲用抗生素等方面有很大的应用前景,对畜禽的高效安全生产具有重要的意义。然而,现阶段单宁酸在反刍动物上的应用较多,而在单胃动物上应用的研究并不广泛,所以把单宁酸应用于单胃动物仍然有较大的挑战。一方面,不同植物来源、不同剂量的单宁酸,由于动物种类和动物生长阶段不同其应用效果不一,所以需要单宁酸的植物来源、化学结构、添加剂量及补充时间进一步筛选,筛选出最佳添加剂量及最适宜补充时间;另一方面,单宁酸在动物生产中的作用机制研究尚处于初级阶段,具体的作用途径尚不明确,

需要进一步研究。

参考文献:

- [1] JEZIERNY D, MOSENTHIN R, BAUER E. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: a review [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2012, 157(3/4): 111-128.
- [2] DARVIN P, JOUNG Y H, KANG D Y, et al. Tannic acid inhibits EGFR/STAT1/3 and enhances p38/STAT1 signalling axis in breast cancer cells [J]. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2017, 21(4): 720-734.
- [3] 郭珊珊. 石榴中类单宁的分离纯化、结构及活性研究 [D]. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- [4] BHAT T K, KANNAN A, SINGH B, et al. Value addition of feed and fodder by alleviating the antinutritional effects of tannins [J]. *Agricultural Research*, 2013, 2(3): 189-206.
- [5] EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed. Scientific opinion on the safety and efficacy of tannic acid when used as feed flavouring for all animal species [J]. *EFSA Journal*, 2016, 12(10): 3828.
- [6] FRASCA G, CARDILE V, PUGLIA C, et al. Gelatin tannate reduces the proinflammatory effects of lipopolysaccharide in human intestinal epithelial cells [J]. *Clinical and Experimental Gastroenterology*, 2012, 5: 61-67.
- [7] 侯海峰, 刘彦慈, 马可为, 等. 水解单宁酸对肉仔鸡生产性能、屠宰性能及肉品质的影响 [J]. *今日畜牧兽医*, 2016(2): 51-53.
- [8] 崔朝霞, 张书杰, 刘志伟. 饲料原料中常见的抗营养因子及其消除方法 [J]. *河南畜牧兽医(综合版)*, 2007, 28(10): 27-28.
- [9] OZKOSE E, KULOĞLU R, COMLEKCIOĞLU U, et al. Effects of tannic acid on the fibrolytic enzyme activity and survival of some ruminal bacteria [J]. *International Journal of Agriculture & Biology*, 2011, 13(3): 386-390.
- [10] CHUNG S Y, REED S. Removing peanut allergens by tannic acid [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(3): 1468-1473.
- [11] BARSZCZ M, TACIAK M, SKOMIAŁ J. A dose-response effects of tannic acid and protein on growth performance, caecal fermentation, colon morphology, and β -glucuronidase activity of rats [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2011, 20(4): 613-625.
- [12] KING D, FAN M Z, EJETA G, et al. The effects of tannins on nutrient utilisation in the White Pekin duck [J]. *British Poultry Science*, 2000, 41(5): 630-639.
- [13] ZUCKER W V. Tannins: does structure determine function? An ecological perspective [J]. *The American Naturalist*, 1983, 121(3): 335-365.
- [14] OKE D B, OKE M O, ADEYEMI O A. Protein quality of autoclaved cowpea varieties as influenced by anti-nutritional factors [J]. *Nigerian Journal of Animal Production*, 2004, 31(1): 17-21.
- [15] LAVIN S R, CHEN Z S, ABRAMS S A. Effect of tannic acid on iron absorption in straw-colored fruit bats (*Eidolon helvum*) [J]. *Zoo Biology*, 2010, 29(3): 335-343.
- [16] LEE S H, SHINDE P, CHOI J Y, et al. Effects of tannic acid added to diets containing low level of iron on performance, blood hematology, iron status and fecal microflora in weanling pigs [J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2009, 51(6): 503-510.
- [17] LEE S H, SHINDE P L, CHOI J Y, et al. Effects of tannic acid supplementation on growth performance, blood hematology, iron status and faecal microflora in weanling pigs [J]. *Livestock Science*, 2010, 131(2/3): 281-286.
- [18] 辛苏文. 鞣酸对断奶仔猪生长性能和腹泻的影响 [J]. *畜禽业*, 2015(3): 26-27.
- [19] FAIRBROTHER J M, NADEAU É, GYLES C L. *Escherichia coli* in postweaning diarrhea in pigs: an update on bacterial types, pathogenesis, and prevention strategies [J]. *Animal Health Research Reviews*, 2005, 6(1): 17-19.
- [20] UEDA K, KAWABATA R, IRIE T, et al. Inactivation of pathogenic viruses by plant-derived tannins: strong effects of extracts from persimmon (*Diospyros kaki*) on a broad range of viruses [J]. *PLoS One*, 2013, 8(1): e55343.
- [21] 安文亭, 刘树栋, 郭佳伟, 等. 单宁酸对仔猪营养物质利用率及健康的影响 [C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会第七届中国饲料营养学术研讨会论文集. 郑州: 中国畜牧兽医学会动物营养学分会, 2014.
- [22] 隋慧, 付莉, 史丽华, 等. 单宁酸对断奶仔猪腹泻率和生长性能的影响 [J]. *饲料研究*, 2013(7): 50-53.
- [23] 孙展英, 李建涛, 陈宝江. 单宁酸对仔猪生长性能、营养物质利用率及相关消化酶活性的影响 [J]. *饲料研究*, 2014(1): 46-49.
- [24] REZAR V, SALOBIR J. Effects of tannin-rich sweet chestnut (*Castanea sativa* mill.) wood extract supple-

- mentation on nutrient utilisation and excreta dry matter content in broiler chickens [J]. *European Poultry Science*, 2014, 78, doi: 10.1399/eps.2014.42.
- [25] YANG Y, LUO H H, SONG X, et al. Preparation of *Galla chinensis* oral solution as well as its stability, safety, and anti-diarrheal activity evaluation [J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 2017: 1851459.
- [26] GIRARD M, THANNER S, PRADERVAND N, et al. Hydrolysable chestnut tannins for reduction of post-weaning diarrhea: efficacy on an experimental ETEC F4 model [J]. *PLoS One*, 2018, 13(5): e0197878.
- [27] BOSSI A, RINALDUCCI S, ZOLLA L, et al. Effect of tannic acid on *Lactobacillus hilgardii* analysed by a proteomic approach [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2007, 102(3): 787–795.
- [28] ELIZONDO A M, MERCADO E C, RABINOVITZ B C, et al. Effect of tannins on the *in vitro* growth of *Clostridium perfringens* [J]. *Veterinary Microbiology*, 2010, 145(3/4): 308–314.
- [29] TOSI G, MASSI P, ANTONGIOVANNI M, et al. Efficacy test of a hydrolysable tannin extract against necrotic enteritis in challenged broiler chickens [J]. *Italian Journal of Animal Science*, 2013, 12(3): e62.
- [30] VAN PARYS A, BOYEN F, DEWULF J, et al. The use of tannins to control *Salmonella typhimurium* infections in pigs [J]. *Zoonoses and Public Health*, 2010, 57(6): 423–428.
- [31] JAMROZ D, WILICZKIEWICZ A, SKORUPINSKA J, et al. Effect of sweet chestnut tannin (SCT) on the performance, microbial status of intestine and histological characteristics of intestine wall in chickens [J]. *British Poultry Science*, 2009, 50(6): 687–699.
- [32] TINTINO S R, OLIVEIRA-TINTINO C D M, CAMPINA F F, et al. Evaluation of the tannic acid inhibitory effect against the NorA efflux pump of *Staphylococcus aureus* [J]. *Microbial Pathogenesis*, 2016, 97: 9–13.
- [33] 刘秀丽. 植物缩合单宁对大肠杆菌的抑制作用及抑菌机理的研究 [D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2013.
- [34] VOHR H W. Oxidative stress [M] // VOHR H W. *Encyclopedic reference of immunotoxicology*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005.
- [35] YE M H, NAN Y L, DING M M, et al. Effects of dietary tannic acid on the growth, hepatic gene expression, and antioxidant enzyme activity in Brandt's voles (*Microtus brandti*) [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 2016, 196–197: 19–26.
- [36] GÜLÇİN İ, HUYUT Z, ELMASTAŞ M, et al. Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid [J]. *Arabian Journal of Chemistry*, 2010, 3(1): 43–53.
- [37] 刘倩. 单宁酸对布氏田鼠代谢的影响 [D]. 硕士学位论文. 扬州: 扬州大学, 2014.
- [38] LIU H W, DONG X F, TONG J M, et al. A comparative study of growth performance and antioxidant status of rabbits when fed with or without chestnut tannins under high ambient temperature [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 164(1/2): 89–95.
- [39] 魏海峰, 魏雁虹, 李相军, 等. 单宁酸对糖尿病大鼠抗氧化能力及体外蛋白质非酶糖基化作用的影响 [J]. *中国实验诊断学*, 2011, 15(6): 977–979.
- [40] WEYDERT C J, CULLEN J J. Measurement of superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase in cultured cells and tissue [J]. *Nature Protocols*, 2010, 5(1): 51–66.
- [41] ZHANG X F, DAI Y C, ZHONG W M, et al. Tannic acid inhibited norovirus binding to HBGA receptors, a study of 50 Chinese medicinal herbs [J]. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2012, 20(4): 1616–1623.
- [42] THEISEN L L, ERDELMEIER C A J, SPODEN G A, et al. Tannins from *Hamamelis virginiana* bark extract: characterization and improvement of the antiviral efficacy against influenza A virus and human papillomavirus [J]. *PLoS One*, 2014, 9(1): e88062.
- [43] LEE M H, CHIOU J F, YEN K Y, et al. EBV DNA polymerase inhibition of tannins from *Eugenia uniflora* [J]. *Cancer Letters*, 2000, 154(2): 131–136.
- [44] YANG Y J, XIU J H, LIU J N, et al. Chebulagic acid, a hydrolyzable tannin, exhibited antiviral activity *in vitro* and *in vivo* against human enterovirus 71 [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2013, 14(5): 9618–9627.
- [45] LIU S H, CHEN R, HAGEDORN C H. Tannic acid inhibits hepatitis C virus entry into Huh7.5 cells [J]. *PLoS One*, 2015, 10(7): e0131358.
- [46] 魏昆鹏, 朱子洁. 水解单宁酸对家禽肠道健康的促进作用 [J]. *中国动物保健*, 2016, 18(7): 30–31.
- [47] MIN B R, HART S P, MILLER D, et al. The effect of grazing forage containing condensed tannins on gastrointestinal parasite infection and milk composition in angora does [J]. *Veterinary Parasitology*, 2005, 130(1/2): 105–113.

- [48] WILLIAMS A R, FRYGANAS C, RAMSAY A, et al. Direct anthelmintic effects of condensed tannins from diverse plant sources against *Ascaris suum* [J]. PLoS One, 2014, 9(5): e97053.
- [49] HOSTE H, JACKSON F, ATHANASIADOU S, et al. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants [J]. Trends in Parasitology, 2006, 22(6): 253-261.
- [50] BONELLI F, TURINI L, SARRI G, et al. Oral administration of chestnut tannins to reduce the duration of neonatal calf diarrhea [J]. BMC Veterinary Research, 2018, 14: 227.
- [51] TONDA R M, RUBACH J K, LUMPKINS B S, et al. Effects of tannic acid extract on performance and intestinal health of broiler chickens following coccidiosis vaccination and/or a mixed-species *Eimeria* challenge [J]. Poultry Science, 2018, 97(9): 3031-3042.
- [52] 王文霞, 周冉, 刘宝庆, 等. 植物缩合单宁对草食动物的抗寄生虫性 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2483-2490.
- [53] BIAGI G, CIPOLLINI I, PAULICKS B R, et al. Effect of tannins on growth performance and intestinal ecosystem in weaned piglets [J]. Archives of Animal Nutrition, 2010, 64(2): 121-135.
- [54] ČANDEK-POTOKAR M, ŠKRLEP M, LUKAČ N B, et al. Hydrolysable tannin fed to entire male pigs affects intestinal production, tissue deposition and hepatic clearance of skatole [J]. The Veterinary Journal, 2015, 204(2): 162-167.
- [55] 刘树栋, 安文亭, 郭佳伟, 等. 单宁酸对生长育肥猪生长性能、营养物质利用率及健康的影响 [C]//中国畜牧兽医学动物营养学会第七届中国饲料营养学术研讨会论文集. 郑州: 中国畜牧兽医学动物营养学会, 2014.
- [56] 宋之波, 苏成文, 徐相亭, 等. 坚木单宁对育肥猪生产性能及胴体性状的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017(11): 120-122.
- [57] CENGİZ Ö, KÖKSAL B H, TATLI O, et al. Effect of dietary tannic acid supplementation in corn- or barley-based diets on growth performance, intestinal viscosity, litter quality, and incidence and severity of footpad dermatitis in broiler chickens [J]. Livestock Science, 2017, 202: 52-57.
- [58] REDONDO L M, CHACANA P A, DOMINGUEZ J E, et al. Perspectives in the use of tannins as alternative to antimicrobial growth promoter factors in poultry [J]. Frontiers in Microbiology, 2014, 5: 118.
- [59] SCHIAVONE A, GUO K, TASSONE S, et al. Effects of a natural extract of chestnut wood on digestibility, performance traits, and nitrogen balance of broiler chicks [J]. Poultry Science, 2008, 87(3): 521-527.
- [60] 侯海锋, 高宗旺, 李茜. 水解单宁酸对蛋鸡生产性能及肠道健康的影响 [J]. 中国饲料, 2017(12): 21-23.
- [61] SAMUEL K G, WANG J, YUE H Y, et al. Effects of dietary gallic acid supplementation on performance, antioxidant status, and jejunum intestinal morphology in broiler chicks [J]. Poultry Science, 2017, 96(8): 2768-2775.
- [62] STARČEVIĆ K, KRSTULOVIĆ L, BROZIĆ D, et al. Production performance, meat composition and oxidative susceptibility in broiler chicken fed with different phenolic compounds [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(6): 1172-1178.
- [63] INSERRA L, LUCIANO G, BELLA M, et al. Effect of including carob pulp in the diet of fattening pigs on the fatty acid composition and oxidative stability of pork [J]. Meat Science, 2015, 100: 256-261.

Physiological Functions of Tannic Acid and Its Application in Monogastric Animal Production

SONG Yanyan CHEN Daiwen YU Bing YU Jie*

(Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: Tannic acid is a plant-derived water-soluble polyphenol compound. Tannic acid is generally considered as an anti-nutritional factor because it can bind with proteins, digestive enzymes, alkaloids, polysaccharides and metal ions to form a precipitate, which impairs the digestion and absorption of nutrients in animals. However, recent studies have found that the polyphenolic hydroxyl group of tannic acid not only has astringency to decrease diarrhea, but also has anti-oxidative, antibacterial, anti-viral activities and so on. Appropriate amount of tannic acid can promote growth performance and intestinal health of animals. This review summarized the nutritional and physiological functions of tannic acid and summarizes its application in the production of monogastric animals, which would provide a direction for the further study of tannic acid. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6):2544-2551]

Key words: tannic acid; antinutritional factor; feed additive; monogastric animals

* Corresponding author, associate professor, E-mail: yujie@sicau.edu.cn