

饲用酸化剂防治家禽弯曲菌病的研究进展

杨文彬, 黄金林*, 焦新安

(扬州大学, 江苏省人兽共患病学重点实验室, 江苏省动物重要疫病与人兽共患病防控协同创新中心, 扬州 225009)

摘要: 弯曲菌作为全球腹泻病主要诱因之一, 是一种以家禽为天然宿主的食源性病原菌。随着食品安全意识的提升及抗生素耐药性的逐年攀升, 在养殖环节对家禽弯曲菌病的防治逐渐得到人们重视。而饲用酸化剂表现出提高饲料利用率、减少疾病发生、无污染、无残留等优势, 已成为与益生菌、酶制剂和微生物制剂等并列的重要绿色环保型添加剂, 有利于减少抗生素的滥用。本文介绍了饲用酸化剂的分类、作用机制、及在防治家禽弯曲菌病的应用进展, 并就饲用酸化剂的发展趋势进行了综述。

关键词: 酸化剂; 禽传染病防治; 家禽弯曲菌病

Advances in application of feed acidifiers in prevention poultry *Campylobacteriosis*

YANG Wen-Bin, HUANG Jin-Lin*, JIAO Xin-An

(Jiangsu Key Lab of Zoonosis/Jiangsu Co-Innovation Center for Prevention and Control of Important Animal Infectious Diseases and Zoonoses, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

ABSTRACT: *Campylobacter* is a species of food-borne pathogenic bacteria, of which natural reservoir is poultry and acting as the major cause of diarrhea all through the world. As promotion of the awareness in food security and antibiotics resistance, control of break out in poultry on farm is drawing more and more attentions. At the same time, feed acidifiers act as an kind of important environment friendly additives ranked with probiotic, enzymes, and microbial agent, with advantages of feed utilization promotion, disease decrease, no pollution, no residue and the like, which were made for reducing abuse of antibiotics. Classification, mechanism and application situations in poultry *Campylobacteriosis* of acidifying agent in-feed were discussed and proposed in this review, as well as the direction of further development.

KEY WORDS: acidification in-feed; prevention of poultry infectious diseases; poultry *Campylobacteriosis*

1 引言

弯曲菌(*Campylobacter*), 是一种引起全球细菌性食源腹泻病的重要人兽共患食源性病原菌。感染的典型表现为

自限性胃肠道疾病, 伴有腹泻, 发热和腹部绞痛等特征, 免疫力低下者会进一步导致心内膜炎、关节炎、骨髓炎、脑炎、败血症等全身性疾病, 病程中可并发肠系膜淋巴结炎、阑尾炎、胆囊炎或败血症, 最严重的是格林-巴利综合

基金项目: 国家科技支撑计划(2014BAD13B02)、江苏省农业科技自主创新资金(CX(15)1009)、国家自然科学基金项目(31372449)、江苏高校优势学科建设工程项目

Fund: Supported by National Key Technology R&D Program (2014BAD13B02), Jiangsu Province Agricultural Science and Technology Independent Innovation Fund (CX(15)1009), National Natural Science Foundation of China Grant (31372449), and the Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions (PAPD)

*通讯作者: 黄金林, 教授, 主要研究方向为食品安全与动物疫病防治。E-mail: jinlin@yzu.edu.cn

*Corresponding author: HUANG Jin-Lin, Professor, College of Life Science, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China. E-mail: jinlin@yzu.edu.cn

症(Guillain-Barrésyndrome, GBS), 严重威胁人类健康。家畜、家禽是弯曲菌重要贮存宿主, 粪-口是主要的传播途径^[1], 因此在养殖环节减少禽类肠道中的弯曲菌可减少人类感染弯曲菌的风险。

在国内虽然人们对弯曲菌防治研究已久, 但迄今仍未找到有效抑制其在食物链中传播的产品, 尤其是近些年来抗生素广泛应用于弯曲菌的防控加剧了人们对于食品安全问题的担忧, 寻找抗生素替代产品逐渐成为防控的研究热点。酸化剂以其价格低廉、无污染、无残留、吸收迅速、参与能量代谢且无生态毒理等优点而成为抗生素替代品的重要候选产品之一。许多试验表明, 酸化剂在改善饲料利用率、降低病死率、提高动物生产性能和增强抗应激能力等方面有显著的作用, 显示出广泛的应用前景^[2-4]。

2 饲用酸化剂的分类

通常把能提高饲料或饮水酸度(pH 值降低)的一类物质称作饲用酸化剂(下文简称酸化剂)。酸化剂必须具有的功能就是降低饲料 pH 值和酸结合力, 以提高消化酶活性或激活一些重要的酶。酸化剂的分类方式有很多, 根据产品类型分类有液态酸、粉剂和包被型酸化剂^[2]。包被型缓释酸化剂是由许多酸化剂采用微胶囊制剂及脂化缓释技术对其包被, 生产出的包被缓释型酸化剂能够使酸化作用延伸到畜禽的胃肠道, 比普通的酸化剂具有更好的应用效果^[3]。根据主要成分可将酸化剂分为单一型和复合型。复合酸化剂有磷酸型、乳酸型以及有机酸和有机酸盐复合酸化剂。复合型酸化剂克服了单一型酸化剂的功能单一、添加量大、腐蚀性强等缺点, 逐渐占领市场^[4]。

依据酸化剂对不同动物的作用机制和用途来分类, 酸化剂分为禽用、猪用、反刍动物用、水产用和应激用酸化剂。禽用酸化剂, 主要以有机酸盐为主(又作为能量物质)^[5], 其主要功能为降低肠道 pH, 杀死葡萄球菌、链球菌和大肠杆菌, 改善消化环境, 促进生长^[6-8]; 调节体内代谢, 预防啄癖, 增强机体免疫性能及动物抗应激能力^[9]; 延缓胃排空的速度, 帮助消化部分纤维素, 提高营养物质消化效率, 改善鸡肉品质^[10,11]; 提高产蛋率和饲料采食量及利用率^[5,12]; 改善饲养环境, 减少疾病发生^[13,14]。但近年来有机酸作为酸化剂的主要成分对病原菌的抑制作用逐渐引起研究关注。

3 饲用酸化剂在饲养环节对家禽肠道微生物的影响

肠道中几种主要有害微生物生长环境的 pH 均为中性偏碱, 如弯曲菌、大肠杆菌、葡萄球菌、梭状芽孢杆菌的适宜生长环境的 pH 分别为: 6.5~7.5、6.0~8.0、6.8~7.5、6.0~7.5, 而有益菌如乳酸杆菌则适宜在酸性环境中生长繁殖, 酸化剂被动物摄入后可通过降低肠道 pH 抑制或杀

灭有害菌群^[15,16]。当 pH 降至 4.2 时, 上述有害微生物不宜存活, 而乳酸菌在肠道内 pH 为 3.5 时仍能生长^[17,18]。

有机酸作为酸化剂的主要活性成分, 在酸化剂应用中对细菌的抑制起主要作用。不同有机酸抑菌机制不尽相同且对不同细菌的作用机制也不尽相同^[18-20]。一类只能通过解离出的 H^+ 降低胃肠道环境的 pH 值来达到间接降低有害菌数量的作用, 如富马酸、柠檬酸、苹果酸、乳酸等大分子有机酸^[21,22]。另一类不但能降低环境中的 pH 值, 而且对革兰氏阴性菌有抑制作用, 这类有机酸有甲酸、乙酸、丙酸等小分子有机酸^[24]。迄今有机酸抑菌作用的分子机制涉及到能量竞争、透化细菌外膜、提高胞内渗透压、抑制生物大分子合成、诱导宿主产生抗菌肽等方面^[24]。未解离的有机酸分子进入病原菌细胞内通过以下几种方式产生抗菌作用:

3.1 能量竞争

未解离的酸分子自由扩散进入细胞内, 由于细菌胞内为中性至碱性环境, pH 大于有机酸的 pKa, 因此, 未解离的有机酸分子解离为 ROO^- 和 H^+ 。 ROO^- 和 H^+ 不能自由扩散出细胞膜, 因此 H^+ 在细胞内大量聚集, 导致胞内 pH 下降。细胞为维持胞内正常的 pH 环境使细菌通过 ATP 酶将 H^+ 泵到胞外, 而这一过程需要大量的 ATP。因此降低细菌产能效率, 从能抑制细菌正常生长, 甚至导致细菌衰竭而死^[25]。

3.2 改变细菌膜结构, 透化细胞外膜

未解离的有机酸分子具有不同程度的脂溶性, 可以与构成细菌细胞膜结构的脂多糖和磷脂分子互作^[26], 将脂多糖的羧基和磷酸集团质子化, 减弱各组间的相互连接, 破坏细胞膜的完整性, 导致胞内内容物外泄而实现抗菌作用^[5,27-29]。

3.3 提高胞内渗透压

随着细胞内酸根离子质量浓度的升高, 胞内渗透压升高, 细菌为了维持正常的生命活动必须向胞外释放带负电荷的离子来维持渗透压, 如释放细菌生长所必需的前体物质或辅助因子等, 细菌的生长代谢受到抑制, 产生抗菌作用^[18,28]。

3.4 抑制生物大分子合成

随着酸根阴离子在细胞内的聚集, 细胞内的微环境发生变化, 生物大分子的合成受到抑制, 通过细胞遗传信息传递干扰后续生理生化特性, 如通过抑制核糖核酸还原酶的活性干扰甚至阻断细胞核内 DNA 合成, 从而抑制细菌分裂增殖; 在有机酸压力下, 与细菌代谢相关基因的转录往往出现差异表现为差异性转录, 导致代谢途径改变, 降低葡萄糖利用率, 从而影响产能; 进入细胞内的酸根阴离子可以使细菌代谢途径中的一些关键酶如脱羧酶或过

氧化氢酶钝化或失活, 细胞的代谢活性受到抑制, 使得细菌不能生长^[18,30]。同时, 酸化剂还能抑制霉菌的无性繁殖和孢子形成^[28]。

3.5 有机酸抑菌与诱导抗菌肽表达

在病原菌细胞外, 有机酸通过激活宿主的免疫系统, 诱导宿主产生抗菌肽等具有杀菌作用的物质, 通过解聚外膜组分中脂多糖, 导致细胞外膜通透性增加, 抑制病原菌生长。在胞内有机酸解离出质子和酸根离子, 向胞外泵出质子的过程与细菌生长竞争能量; 酸根离子则在抑制病原菌遗传信息传递和破坏胞内渗透压平衡方面产生作用。有机酸以其解离及未解离状态下的多种形式通过特定方式在多个层面对病原菌生长产生抑制作用^[28,31]。

4 饲用酸化剂在饲养环节防治家禽弯曲菌病的应用

目前用于家禽弯曲菌病防治的酸化剂产品主要由有机酸和有机酸盐组成, 再辅以磷酸、醋酸等无机酸, 研究也多集中在有机酸对弯曲菌在鸡群中定植的防治效果上。不同有机酸的协同效应使得酸化剂表现出广谱、高效的抗微生物作用, 可以抑制弯曲菌通过饮用水或日粮在鸡群中传播, 且很少出现耐药性。有机酸以其独有的适口性可以提高采食量, 有的酸化剂还可以作为动物的能量来源, 参与机体营养物质代谢, 有利于提高家禽的免疫机能和应激力。虽然还没有针对有机酸化剂抑制弯曲菌作用机制的报道, 但可以肯定的是无论添加在饮用水中还是日粮中, 酸化剂对于弯曲菌的存活及传播均有一定的影响, 且各有各的优势。

4.1 通过处理饮用水防治

水是动物不可或缺的营养物质, 参与各种生理活动, 对动物的生长、生产至关重要。研究表明, 饮水中的酸不但能对饮水进行消毒从而防止通过饮水水平传播疾病, 而且通过饮水摄入动物体内的酸化剂可以避免有机酸被日粮中的碱性物质中和而失效, 会对动物产生很好的生物效能^[32]。如乳酸经血液运输到肝脏或肾脏, 经糖异生再形成葡萄糖, 参与机体的 Cori 循环。丙酸进入体内, 随血液运输到肝脏转化为葡萄糖参与机体的糖代谢^[33]。这些能量的补充有利于机体免疫性能及应激性的提高。此外, 饮水中添加酸化剂可以提高家禽的饮水量, 这或许会对于家禽热应激有帮助, 所以市场上应激型酸化剂多为饮水型, 可应用于蛋鸡。

Van Bunnik 等^[27]观察到应用商品酸化剂 Forticoat 来酸化饮用水至 pH4 对于鸡群内空肠弯曲菌的直接传播没有影响, 然而却显著抑制了其通过水源发生的间接传播。Hermans 等^[35]从治疗和预防弯曲菌定植两方面研究了罗氏肉鸡饮水中加入正己醛、辛酸、癸醛和月桂醛等中链饱和

脂肪酸混合物的乳化液(0.4%)对于弯曲菌存活状态、鸡群弯曲菌定植及传播的影响, 实验表明水中加入中链脂肪酸能降低鸡群对弯曲菌的敏感性并防止其在饮用水中存活, 进而阻断弯曲菌通过饮水的传播途径, 降低鸡群弯曲菌的携带率。

虽然大量实验结果表明, 长期使用酸化水对动物行为及福利都没有不利影响, 但不能完全抑制弯曲菌的定植和传播。Jansen 等^[36]通过对实验鸡胴体弯曲菌定量检测表明某商品化饮水型酸化剂(0.075%)在肉鸡饮水中虽然可以部分减少盲肠弯曲菌含量, 但不能减少胴体污染。由此看来饮水型酸化剂作为添加剂防治弯曲菌还需要进行深入研究以便加以优化。

4.2 通过日粮中添加防治

在饲料中添加酸化剂应对弯曲菌流行的研究较多, 可能由于饲料酸化剂能刺激口腔内的味蕾, 增加唾液分泌量, 并能掩盖饲料的不良气味, 提高动物的采食量, 且酸化剂的盐类是动物所需微量元素的一种来源, 可以增强饲料中营养物质的吸收效率, 更有利于提高家禽的生长性能。此外, 许多有机酸的溶解性不是很好, 而饲料酸化剂以固体形式应用, 不用考虑酸在饮水中的溶解度, 选用酸的品种受到的限制较少。有研究表明, 饲料中添加适量酸化剂可以预防弯曲菌定植并降低已定植弯曲菌的数量, 且不影响肠道有益菌群的生长, 故生产中常通过在日粮中添加酸化剂来防控弯曲菌, 有时与其他生物制剂配伍使用, 但起主要作用的仍是酸化剂。常用的酸化剂制品主要由中链脂肪酸组成, 其中辛酸的研究较多。

Santos 等^[1]在 0 d 肉鸡的日粮中添加不同浓度(0.35%~1.4%)辛酸, 并于 10 d 采集肠道内容物检测弯曲菌, 实验结果表明日粮中添加 0.7%的辛酸可以持续降低雏鸡盲肠内容物中弯曲菌含量, 而在辛酸浓度高达 0.7%~1.4%时, 虽然实验鸡采食量和体重有所减少, 但不影响饲料转化率; 添加剂量为 0.35%~0.7%时, 辛酸仍可显著减少 10 日龄幼鸡体内弯曲菌定植的可能性。de Los Santos 等^[37]还研究了辛酸对于屠宰日龄肉鸡盲肠弯曲菌携带量及肠道微生物区系的影响, 通过分析盲肠梯度变性凝胶电泳图谱分析比较实验鸡群的微生物区系发现 0.7%辛酸显著降低了屠宰日龄鸡群体内弯曲菌的携带量, 并且对肠道微生物区系无明显影响。Van Gerwe 等报道称^[16], 在饲料中补充中链脂肪酸混合物使肉鸡对弯曲菌定植的敏感性下降, 并且在饲料中补充中链脂肪酸混合物可减少肉鸡群中弯曲菌定植。

还有一些有机酸单独的作用效果不是很理想, 但与其他酸组合作用后可用于弯曲菌防治。Skanseng 等^[38]在饲料中单独添加甲酸时发现其对空肠弯曲菌在鸡体内定植几乎没有影响。1.5%甲酸和 0.1%山梨酸钾组合使用可显著降低空肠弯曲菌的定植, 而 2.0%甲酸和 0.1%山梨酸钾组合

则可预防空肠弯曲菌定植。

5 饲用酸化剂应用中的问题及发展前景

5.1 饲用酸化剂在应用过程中存在的问题

目前酸化剂品种大多为单一的有机酸化剂,为数不多的复合酸化剂配方不科学,无法发挥多种有机酸的协同抑菌作用,缺乏缓冲体系,导致日粮中蛋白质和矿物质等缓冲力较高的物质含量较多时效果较差;添加量大,不易溶解或混料且成本较高^[38,39]。

对于饲用酸化剂的研究还不够全面:用于仔畜禽的研究较多,而用于成年动物的研究较少;酸化剂如何刺激消化液分泌,其离子通过什么方式、与哪种介质结合发挥功效的研究几乎没有,关于酸化剂是否会直接或间接影响动物基因遗传性状等方面的研究则更少;有研究表明,饲料中添加过量酸会导致动物酸中毒,破坏动物体内酸碱平衡,这是否会诱发其他病变还尚未进行探讨^[40];以往对酸化剂的研究主要集中于对动物生产性能方面,然而肠道和内脏器官的发育状态是动物生长、生产的基础,酸化剂对动物肠道及内脏器官的影响却很少有人问津^[25];消化道不同部位对酸化剂刺激的作用效果如何,尚未见相关报道;每个实验动物的品种和年龄阶段也不同,具体哪种动物在哪个年龄段适合用什么比例什么种类组成的酸,仍待系统研究^[2]。

由于大部分酸化剂产品没有被包被而直接使用,添加的酸在胃中就被吸收,很少到达小肠和大肠中,不仅不能起到抑菌作用,还会反射性抑制胃酸分泌,影响胃的正常发育和功能的发挥。酸化剂对真菌的杀灭能力有限,长期添加酸化剂有可能成为真菌的培养基,导致真菌繁殖过多,堵塞水管,甚至影响鸡只健康。酸化剂具有腐蚀性,可能影响饲料和饮水的适口性,腐蚀养殖、储藏及运输设备。此外,虽然大量实验已证实酸化剂可以使鸡对弯曲菌定植的敏感性降低,但尚未有报道称已研发出完全抑制弯曲菌传播的酸化剂,因此目前还无法完全替代抗生素进行抑菌性治疗^[40,41]。

5.2 饲用酸化剂的应用前景

针对目前酸化剂出现的问题,未来酸化剂的研究应该着眼与其他生物制剂的配伍使用,以及开发包埋型产品的方向。已有报道称酸制剂与天然萃取类药物以及益生素的联用效果优于各成分单独施用,但机制有待进一步深入研究^[26,13]。优化加工工艺,应用新型分子技术研发微胶囊式制剂或脂质保护外膜酸化剂,保持酸化剂饲用效果的稳定性及持久性。加强对饲用酸化剂的系统研究,要从微观和分子的角度探究酸化剂抑菌作用的机制以及对动物各脏器及消化道的发育及功能发挥的影响,充分认识酸化剂的利与弊,明确对于各年龄段动物对于有机酸的需求特点

^[39-41]。此外,有必要建立一套酸化剂质量评定标准体系,针对酸化剂的原料选择、用量、搭配比例、适用范围等制定统一标准,划分酸度等级,严格控制酸的添加量,杜绝添加违禁品,保障正规生产厂家的经济效益和饲料酸化剂工业的健康发展。在关注食品安全、关注人类健康的今天,作为绿色环保型添加剂的饲用酸化剂,在家禽弯曲菌病防控上必将有广阔的前景。

参考文献

- [1] Santos FSDL, Donoghue AM, Venkitanarayanan K, *et al.* Caprylic acid supplemented in feed reduces enteric *Campylobacter jejuni* colonization in ten-day-old broiler chickens [J]. Poultry Sci, 2008, 87(4): 800-804.
- [2] 张秀芬, 杨琳. 饲用酸化剂在饲料应用的研究进展[J]. 广东饲料, 2014, 23(1): 31-33.
Zhang XF, Yang L. Advances study of acidification in-feed in forage application [J]. Guangdong Feed, 2014, 23(1): 31-33.
- [3] 田冬冬, 刘志强, 张颖, 等. 酸化剂在仔猪生产中的应用[J]. 饲料博览, 2015, (2): 32-36.
Tian DD, Liu ZQ, Zhang Y, *et al.* The application of acidifiers in the production performance of piglets [J]. Feed Rev, 2015, (2): 32-36.
- [4] 张玲, 李丽, 蒋月, 等. 饲用酸化剂的应用价值及存在问题[J]. 饲料研究, 2013, (8): 33-36.
Zhang L, Li L, Jiang Y, *et al.* The application value and existing problems of the forage acidulant [J]. Feed Res, 2013, (8): 33-36.
- [5] 刘虎, 方热军. 复合酸化剂的生理功能及其组合应用[J]. 饲料博览, 2015, (3): 39-43.
Liu H, Fang RJ. Physiological function and combined application of composite acidifiers [J]. Feed Rev, 2015, (3): 39-43.
- [6] 徐帅, 王珍. 酸化剂在养猪方面的应用[J]. 江西饲料, 2015, (3): 9-11.
Xu S, Wang ZW. Application of acidification in pig [J]. Jiangxi Feed, 2015, (3): 9-11.
- [7] 郭鹏, 卢建, 李军, 等. 复合酸化剂对肉仔鸡消化道 pH 值和消化酶活性的影响[J]. 饲料工业, 2011, 32(11): 32-35.
Guo P, Lu J, Li J, *et al.* Impact of compound acidifiers for gastrointestinal pH and digestive enzyme activities of broilers [J]. Feed Ind, 2011, 32(11): 32-35.
- [8] 朱宇旌, 吴芸彤, 季文彦, 等. 不同环境下包被酸化剂对肉仔鸡生长性能、消化道内环境及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(5): 886-896.
Zhu YS, Wu YS, Ji WY, *et al.* Impact of coated acidification on growth performance, digestive tract environment and serum biochemical indices of broilers [J]. Chin J Anim Nutr, 2012, 24(5): 886-896.
- [9] 李万军. 酸化剂对蛋鸡饲料利用率和血液指标的影响[J]. 饲料研究, 2012, (6): 56-58.
Li WJ. Impact of acidifier on dietary utilization and blood index of hen [J]. Feed Res, 2012, (6): 56-58.
- [10] 龚余亮, 高其双, 黄海军, 等. 日粮中添加延胡索酸对肉仔鸡增重, 屠宰性能和粗蛋白消化率的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(11): 2289-2291.
Gong YL, Gao QS, Huang HJ, *et al.* Effect of fumaric acid on live weight gain, slaughter performance and crude protein digestibility of broilers [J].

- Hubei Agric Sci, 2012, 51(11): 2289–2291.
- [11] 王盼盼, 李杰, 王晓翠, 等. 代谢有机酸对三黄鸡生长性能, 养分代谢率及肉品质的影响[J]. 中国饲料, 2013, (17): 18–21.
Wang PP, Li J, Wang XC, *et al.* Impact of metabolism of organic acids on growth performance, nutrient metabolic rate and meat quality of three yellow chicken [J]. China Feed, 2013, (17): 18–21.
- [12] Pirgozliev V, Murphy TC, Owens B, *et al.* Fumaric and sorbic acid as additives in broiler feed [J]. Res Vet Sci, 2008, (84): 387–394.
- [13] 曹要玲, 任平, 郑文才, 等. 益生菌与酸化剂联合使用对改善黄羽肉鸡生产性能的试验研究[J]. 饲料工业, 2011, 32(18): 58–59.
Cao YL, Ren P, Zheng WC, *et al.* Experimental study of impact of combined utilization of probiotics and acidifying agent on improvement of production performance of yellow feather broilers [J]. Feed Ind, 2011, 32(18): 58–59.
- [14] 石永峰, 张卓. 通过在饲料中添加酸化剂预防和抑制家禽腹水病[J]. 国外畜牧学: 猪与禽, 2011, 31(2): 90–91.
Shi YF, Zhang Z. Prevention and inhibition of poultry ascites disease by adding acidifying agent in feed [J]. Foreign Anim Husband: Pig Poultry, 2011, 31(2): 90–91.
- [15] My TL. Regulating *Campylobacter jejuni* flagellar gene expression: transcriptional and post-transcriptional mechanisms of control [D]. East Anglia: the University of East Anglia, 2013.
- [16] van Gerwe T, Bouma A, Klinkenberg D, *et al.* Medium chain fatty acid feed supplementation reduces the probability of *Campylobacter jejuni* colonization in broilers [J]. Vet Microbiol, 2010, 143(2): 314–318.
- [17] 孙喜伟, 骆先虎, 李晓东, 等. 酸化剂在畜禽生产上的应用[J]. 饲料博览, 2008, 11: 20–23.
Sun XW, Luo XH, Li XD, *et al.* The application of acidification agent in animal performance [J]. Feed Rev, 2008, 11: 20–23.
- [18] Sarjit A, Wang Y, Dykes GA. Antimicrobial activity of gallic acid against thermophilic *Campylobacter* is strain specific and associated with a loss of calcium ions [J]. Food Microbiol, 2015, 46: 227–233.
- [19] Wang CJ, Chang T, Yang H, *et al.* Antibacterial mechanism of lactic acid on physiological and morphological properties of *Salmonella Enteritidis*, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* [J]. Food Control, 2015, 47: 231–236.
- [20] Vera A, María DE, María R, *et al.* Assessment of the of acid shock effect on viability of *Bacillus cereus* and *Bacillus weihenstephanensis* using flow cytometry [J]. Food Res Int, 2014, 66: 306–312.
- [21] 张军, 田子罡, 王建华, 等. 有机酸抑菌分子机理研究进展[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 42(3): 323–328.
Zhang J, Tian ZG, Wang JH, *et al.* Research progress of molecular mechanism of inhibition of organic acid to bacteria [J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2011, 42(3): 323–328.
- [22] Heres L, Engel B, Van Knapen F, *et al.* Effect of fermented feed on the susceptibility for *Campylobacter jejuni* colonisation in broiler chickens with and without concurrent inoculation of *Salmonella enteritidis* [J]. Int J Food Microbiol, 2003, 87: 75–86.
- [23] Heres L, Engel B, Urlings HAP, *et al.* Effect of acidified feed on susceptibility of broiler chickens to intestinal infection by *Campylobacter* and *Salmonella* [J]. Vet Microbiol, 2004, 99: 259–267.
- [24] 褚龙. 酸化剂的种类及选择方法[J]. 养殖技术顾问, 2011, 7: 66.
Chu L. Variety and selection method of acidifying agent [J]. Tech Adv Anim Husband, 2011, 7: 66
- [25] 马鑫, 马秋刚, 计成, 等. 蛋氨酸羟基类似物和有机酸化剂对主要肠道病原菌体外抑菌效果的比较[J]. 动物营养学报, 2008, 20(2): 238–241.
Ma X, Ma QG, Ji C, *et al.* Comparison of the antibacterial effect of methionine hydroxy analogue and organic acid agent on main pathogenic bacteria in the gut [J]. Chin J Anim Nutr, 2008, 20(2): 238–241.
- [26] 张雅丽. 五倍子没食子酸的制备、抑菌作用及机理研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
Zhang YL. Preparation bacteriostatic action and mechanism research of gallic acid from Chinese gall [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2013.
- [27] 张春乐, 宋康康, 陈祥仁, 等. 肉桂酸及其衍生物的抑菌活性研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2006, 45: 16–18.
Zhang CL, Song KK, Chen XR, *et al.* Research of the bacteriostatic activity of cinnamic acid and its derivatives [J]. J Xiamen Univ (Nat Sci), 2006, 45: 16–18.
- [28] 耿飞, 王伟, 周涛, 等. 乌梅提取液对李斯特菌的抑菌机理[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 88–93.
Geng F, Wang W, Zhou T, *et al.* Antibacterial mechanisms of fructus mume extract against *Listeria innocua* [J]. Food Sci, 2011, 32(5): 88–93.
- [29] 李仲兴, 王秀华, 时东彦, 等. 五倍子提取物对表皮葡萄球菌的抗菌作用及其扫描和透射电镜观察[J]. 中国中医药信息杂志, 2004, 11(10): 867–869.
Li ZX, Wang XH, Shi DY, *et al.* Observation of in vitro antibacterial activity of galla Chinensis ethanol extractant against *Staphylococcus Epidermidis* and the examination under SEM and TEM [J]. Chin J Chin Med Inf, 2004, 11(10): 867–869.
- [30] 曾广翔. 山梨酸与苯甲酸氨基酸酯衍生物的合成及抑菌活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
Zeng GX. Study on the synthesis and antimicrobial activity of sorbic acid and benzoic acid amides of amino acid derivatives [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014.
- [31] Neal-McKinney JM, Lu X, Duong T, *et al.* Production of organic acids by probiotic lactobacilli can be used to reduce pathogen load in poultry [J]. PLoS One, 2012, 7(9): 1–11.
- [32] 丑有财, 蒋国政. 酸化剂在动物饮水中的应用价值[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2014, (6): 53–54.
Chou YC, Jiang GZ. Application value of acidifying agent in drinking water of animal [J]. Heilongjiang Anim Husband Vet, 2014, (6): 53–54.
- [33] 秦欢蕾, 马秋刚, 赵丽红, 等. 饮水中添加尿肠球菌及酸化剂对肉鸡饮水及采食的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2012, 48(17): 62–65.
Qin HL, Ma QG, Zhao LH, *et al.* Impact of *Enterococcus faecium* and acidifying agent added in drinking water of broilers on drinking and feeding [J]. Chin J Anim Sci, 2012, 48(17): 62–65.
- [34] Van Bunnik BAD, Katsma WEA, Wagenaar JA, *et al.* Acidification of drinking water inhibits indirect transmission, but not direct transmission of *Campylobacter* between broilers [J]. Pre Vet Med, 2012, 105(4): 315–319.
- [35] Hermans D, Martel A, Garmyn A, *et al.* Application of medium-chain fatty acids in drinking water increases *Campylobacter jejuni* colonization threshold in broiler chicks [J]. Poultry Sci, 2012, 91(7): 1733–1738.
- [36] Jansen W, Reich F, Klein G. Large-scale feasibility of organic acids as a permanent preharvest intervention in drinking water of broilers and their effect on foodborne *Campylobacter* spp. before processing [J]. J Appl

- Microbiol, 2014, 116(6): 1676–1687.
- [37] Santos FSDL, Hume M, Venkitanarayanan K, *et al.* Caprylic acid reduces enteric *Campylobacter* colonization in market-aged broiler chickens but does not appear to alter cecal microbial populations [J]. *J Food Protect*, 2010, 73(2): 251–257.
- [38] Skånseng B, Kaldhusdal M, Moen B, *et al.* Prevention of intestinal *Campylobacter jejuni* colonization in broilers by combinations of in-feed organic acids [J]. *J Appl Microbiol*, 2010, 109(4): 1265–1273.
- [39] 李建沅, 姜建阳. 酸化剂的生物学功能及其在断奶仔猪中的应用[J]. *饲料广角*, 2014, (3): 43–44.
Li JY, Jiang JY. Biological function and application in weanling pig of acidifying agent [J]. *Feed China*, 2014, (3): 43–44.
- [40] 张楠楠, 檀晓萌, 郝二英. 酸化剂在家禽生产中的应用效果[J]. *现代畜牧兽医*, 2014, (6): 21–25.
Zhang NN, Tan XM, Hao EY. The application effect of acidifiers in poultry production [J]. *Mod Anim Husband Vet Med*, 2014, (6): 21–25.
- [41] 王彤, 刘显军, 陈静, 等. 对饲料酸化剂发展的思考[J]. *粮食与饲料工*

业, 2014, (5): 54–56.

Wang T, Liu J, Chen J, *et al.* Thinking of development of feed acidifier [J]. *Cereal Feed Ind*, 2014, (5): 54–56.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



杨文彬, 硕士研究生, 主要研究方向为食品安全与疫病防治。

E-mail: yintian0129@163.com



黄金林, 教授, 主要研究方向为病原微生物检测及食品安全。

E-mail: jinlin@yzu.edu.cn