动物营养学报 2012,24(6):1007-1012
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2012.06.003

柠檬酸的营养作用及其在断奶仔猪饲养中的应用

王　浩　王文梅　许　丽*　王晓翠
(东北农业大学动物科学技术学院,哈尔滨 150030)

摘　要: 柠檬酸作为酸化剂,具有诱食、抗应激、无残留等特点,其在减少断奶仔猪应激和提高生产性能方面取得了良好的效果。随着研究的深入,学者们发现柠檬酸还具有抗氧化和降低胆固醇的功能,可改善仔猪的肉品质。本文就柠檬酸的营养作用及其相关机理和在断奶仔猪饲养中的应用进展作一综述。

关键词: 柠檬酸;营养作用;作用机理;断奶仔猪
中图分类号:S828　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2012)06-1007-06

断奶对仔猪来说是一个关键的时期,这段时期内仔猪面临着营养、群体和生存环境的综合压力。断奶后,其食物由高度易消化的液体母乳转变为难于消化的、成分复杂的固体饲料,因此会出现短暂的厌食症,导致采食量降低,消化道发育不良,并诱发消化系统疾病,影响仔猪的生产性能。饲料抗生素曾被视为治疗肠道病原菌的有效药物,但2006年1月欧盟禁止了饲料抗生素的使用后,学者们便开始寻找并提出各种替代抗生素的营养理念[1],如营养素(特定氨基酸)、有机酸、益生菌等[2]。研究显示,有机酸能提高断奶仔猪生长性能,降低腹泻率,同时无污染、无残留的性质更使其成为抗生素的可替代品之一[3]。

柠檬酸,又名枸橼酸、2-羟基丙三羧酸,因最初从柠檬中制取而得名。现在应用的柠檬酸,多是采用黑曲霉对薯干粉、玉米、小麦、糖等碳水化合物和糖蜜等物质进行深层发酵制得。柠檬酸参与体内糖、脂肪和蛋白质代谢,还可帮助仔猪减少断奶应激,提高仔猪的生产性能及肉品质,因此被认为是在断奶仔猪饲粮中可添加的理想有机酸之一。本文就柠檬酸的作用机理及在断奶仔猪生产中的应用效果作一综述,旨在为柠檬酸在断奶仔猪饲养中的合理应用提供科学依据。

1　柠檬酸的营养作用及其相关机理

1.1　改善饲粮适口性,提高采食量

纯净的柠檬酸具有温和的特性,有诱食性酸味,可以掩盖饲料中添加的维生素、矿物质、药物等的不良气味,起调味作用,改善饲粮适口性。饲喂动物后,酸味通过刺激口腔内的味蕾细胞,引发与消化相关的副交感神经兴奋,其末梢释放乙酰胆碱作用于唾液腺使唾液的分泌明显增多;同时胃部副交感神经节后纤维末梢释放的乙酰胆碱直接作用于壁细胞膜上的胆碱能受体,引起胃酸分泌增加,提高采食量[4]。

1.2　促进营养物质消化吸收

许多有机酸能促进肠上皮细胞的增殖,使得肠绒毛长度增加、绒毛/隐窝提高,进一步促进营养物质的吸收,提高消化率[5]。Partanen 等[6]在猪饲粮中加入0.84%混合酸,测定营养物质回肠表观消化率,结果显示粗蛋白质的表观消化率显著提高,其中丙氨酸、天冬氨酸、苏氨酸、赖氨酸、丝氨酸和甘氨酸提高的幅度最大。研究认为pH的升高导致胃中蛋白质水解度降低,使饲料中未水解的蛋白质进入小肠,致使蛋白质消化率降低。而柠檬酸能降低饲粮的pH,使胃内酸度下降,促进无活性的胃蛋白酶原转化为有活性的胃蛋白

收稿日期:2012-01-15
作者简介:王　浩(1986—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,研究方向为单胃动物营养。E-mail: kxkl3001@163.com
*通讯作者:许　丽,教授,博士生导师,E-mail: xuli_19621991@163.com

酶,或直接刺激消化酶的分泌;而且,酸性食糜进入小肠后,刺激小肠分泌肠抑胃素,使之反射性抑制胃蠕动,减慢胃排空速度,利于蛋白质在胃中的消化[7]。Piva 等[8]研究表明,有机酸能降低生长猪回肠微生物发酵产生的氨浓度,氨的产生量降低则增加小肠中氨基酸的吸收,从而改善蛋白质、氨基酸的消化率。

Radcliffe 等[9]在仔猪饲粮中添加 1.5% 和 3.0% 的柠檬酸后,钙的消化率分别提高了 8.18% 和7.14%。李成良等[10]在生长猪饲粮中添加 1.5% 柠檬酸后,钙、磷的消化率分别提高了 16.51% 和 13.13%,同时钙、磷的沉积率分别提高了 20.94% 和 12.61%。钙、磷等矿物质在碱性环境中易形成不溶性盐,造成吸收障碍,柠檬酸作为强螯合剂,与饲料中的钙、磷、铁、锌等矿物质形成螯合物,增加小肠中矿物元素的吸收,利于动物更好地吸收养分。

1.3 直接参与体内物质代谢

柠檬酸在机体三羧酸循环中由乙酰辅酶 A 和草酰乙酸羧合而成,1 分子柠檬酸经三羧酸循环过程可产生 3 分子 NADH、1 分子 $FADH_2$ 和 1 分子 GTP,进入电子传递链总共可以产生 12 分子 ATP,为生物体的生命活动提供能量;糖、脂肪和蛋白质在体内相互转化及彻底氧化供能也都要经过三羧酸循环。柠檬酸参与三羧酸循环后,产生的 α-酮戊二酸、延胡索酸、琥珀酰辅酶 A 和草酰乙酸经转氨酶的作用转变成组成蛋白质的非必需氨基酸;柠檬酸在细胞液中经柠檬酸裂解酶的作用分解生成乙酰辅酶 A,合成脂肪酸,为机体内脂肪沉积提供先决条件[11]。

1.4 调控胃肠道微生物菌群平衡

胃肠道内病原菌大多在偏碱性的环境中生长繁殖,如大肠杆菌生长繁殖 pH 为 6~8,葡萄球菌为 6.8~7.5 等,而乳酸菌等有益菌大多在 5.0 的 pH 以下生长繁殖[12]。柠檬酸可使胃肠道内 pH 下降,改善消化道内的微生物菌群结构,为乳酸菌等益生菌的增殖创造条件,而对大肠杆菌等病原菌则具有抑制作用;同时,有机酸还可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,使病原菌生长受到抑制[13],从而维持肠道内的微生物菌群平衡。

1.5 提高机体免疫功能和抗应激能力

适量的柠檬酸能提高机体的免疫功能,可能与柠檬酸促进微量元素的吸收、增强各免疫器官的功能、降低机体的紧张度有关。血清球蛋白(GLO)水平反映机体的免疫功能[14],研究显示,在饲粮中添加 1% 的柠檬酸,与对照组相比,可显著降低谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、碱性磷酸酶(ALP)活性,说明柠檬酸有维护仔猪组织器官正常发育与改善其功能状态的作用;且 GLO 水平显著高于对照组,这表明添加柠檬酸的饲粮可以增强机体免疫功能[15]。红细胞除了具有运输氧、二氧化碳,调节机体酸碱平衡等功能外,还具有免疫功能。张德成等[16]在哺乳仔猪饲粮中添加 0.5% 柠檬酸,结果显示红细胞上 C_{3b}(补体)受体数量显著增加,与成年猪相比无显著差异。肿瘤坏死因子(TNF)是参与炎症病变的一种重要的细胞因子,具有介导抗肿瘤、调节机体免疫的功能;白细胞介素-2(IL-2)由活化的 T 细胞产生,在机体免疫应答、免疫调节等方面具有重要作用。研究显示,添加 1.5% 柠檬酸对断奶仔猪血清中的 TNF、IL-2 含量有提高趋势[17],提高了机体免疫功能。

动物应激时呼吸加快,大量的 CO_2 呼出体外,使血液中 CO_2 和 HCO^{3-} 的水平下降,易发生呼吸性碱中毒。而柠檬酸供能的途径较短,可以紧急合成机体所需的 ATP,维持新陈代谢,或在体内代谢转化为 CO_2 和 HCO^{3-},维持体液的 pH 稳定,促进酸碱平衡,也可提高抗应激能力。李建平等[17]在断奶仔猪饲粮中添加 1.5% 柠檬酸,与对照组相比,可显著提高血清超氧化物歧化酶(SOD)活性,在 28~42 日龄显著提高血清和脾的总抗氧化能力;同年,又将 1% 的柠檬酸添加到 28 日龄断奶仔猪饲粮中,与对照组相比,可提高血清或组织中 SOD、谷胱甘肽还原酶(GR)等抗氧化酶活性,降低丙二醛(MDA)含量,提高机体的抗氧化功能,从而改善仔猪的抗应激能力[18]。究其原因可能是 SOD 是一类广泛存在于动植物体内的金属酶类,是重要的抗氧化酶,催化超氧离子(O_2^-)自由基的歧化反应:$O_2^- + O_2^- + H^+ \rightarrow H_2O + O_2$[11];铜、锌等是抗氧化酶的活性中心[19],柠檬酸与铜、锌等形成生物学效价较高的螯合物,促其吸收和保留,从而提高动物抗氧化酶的活性,增强抗应激能力。

1.6 提高抗氧化功能,改善肉品质

在生长肥育猪饲粮中添加 1% 柠檬酸,可显著降低血清、背最长肌、肝脏中的 MDA 含量,提高血

清与组织中 SOD 和 GR 等抗氧化酶活性,提高肥育猪机体的抗氧化功能;可显著降低背最长肌滴水损失,改善肉品质[20]。这可能是由于机体抗氧化功能的提高,降低了由于细胞膜脂质氧化损伤导致的液体流失,使肉质得以改善。

1.7　降低畜产品胆固醇含量

胆固醇是机体中最重要的一种固醇类化合物,以脂蛋白形式在血浆中转运。机体内共有 6 种脂蛋白颗粒,其中高密度脂蛋白(HDL)是唯一将胆固醇从外周组织运回肝脏清除,而发挥抗动脉硬化作用的脂蛋白[21],而低密度脂蛋白(LDL)将肝脏中合成的胆固醇向外周组织转运,一旦这种转运的胆固醇含量大于需要则会在畜产品中沉积,并同时增加血浆中胆固醇含量。低胆固醇畜产品是理想的营养来源,柠檬酸可提高血清中 HDL 含量,降低甘油三酯(TG)含量,进而降低胆固醇含量[22]。陈常秀等[23]的研究显示,饲粮中添加 150 ~300 mg/kg 柠檬酸铜,可使机体组织胆固醇含量降低,这与前人的研究结果[24]相一致。

1.8　防霉、防腐,延长饲料保质期

有机酸的抗菌效果主要依赖浓度及环境 pH,抗菌活性随浓度的增加而增强,随 pH 的升高而减弱[25-26]。在配合饲料中添加 0.5% ~1.0% 的柠檬酸,可以降低饲料的 pH,抑制有害微生物的增殖及毒素的产生,有明显的防霉作用,提高配合饲料的稳定性,延长贮存期。

2　柠檬酸在断奶仔猪饲养中的应用效果

仔猪断奶后由于应激会产生很多与之相关的问题,此时在饲粮中添加柠檬酸便可降低肠道 pH,提高采食量和饲料利用率[27];抑制有害菌定植且不影响益生菌生长,提高断奶仔猪的抗病能力。

2.1　提高断奶仔猪的采食量

猪的味觉比较发达,断奶时,受到应激的仔猪会出现短暂的厌食症,食欲欠佳,采食量下降,而饲粮酸化能提高应激阶段仔猪的采食量[28]。王杰[29]试验结果表明,仔猪饲粮中添加 0.2% 复合酸化剂能有效提高饲料的酸度,增加仔猪采食量。李宝贵等[30]在早期断奶仔猪饲粮中添加 1% ~2% 的柠檬酸,能显著提高仔猪的采食量。刘德周[31]的研究结果显示,在断奶仔猪饲粮中添加 1.6% ~3.2% 的柠檬酸,采食量与柠檬酸添加水平呈正相关。汪海峰等[32]的研究结果也发现酸化剂具有增加采食量的趋势。

2.2　提高仔猪的消化能力、生长性能,降低料重比

pH 是影响动物体内消化内环境的重要因素之一,消化道适宜的 pH:胃 2.0 ~3.5,小肠 5.0 ~7.0,但是很多因素都会使消化道内 pH 发生变化。断奶前仔猪主要依靠乳糖发酵生成乳酸来保持肠道较低的酸度;断奶后,乳糖来源终止,乳酸含量急剧下降,而此时胃内壁上皮细胞分泌盐酸的能力依然很弱,致使仔猪胃内 pH 升高,在断奶后第 2 天表现尤为显著[33]。其胃中 pH 多在 4.2 以上,而仔猪饲料 pH 为 5.8 ~6.5,仔猪采食饲料后,蛋白质、矿物质与酸结合,进一步加重胃酸分泌不足,酸度下降,高 pH 环境则导致胃蛋白酶活性降低,使饲料中的蛋白质消化率下降。若此时在仔猪补料中加入适量的柠檬酸,可降低胃肠道内的 pH,Risley 等[34]在仔猪饲粮中添加 1.5% 柠檬酸,饲粮 pH 由 6.42 降到 4.92,胃内容物 pH 由 4.07 降到 3.82,造成的酸性环境可使无活性的胃蛋白酶原转化为有活性的胃蛋白酶,使蛋白质更好地被消化。陈斌等[35]以柠檬酸为酸化剂,选择大约克夏和长白仔猪进行试验,结果表明添加 1% ~1.5% 的柠檬酸对 60 日龄以前的仔猪有较显著的促生长作用;且证实采食酸化饲粮后,仔猪血清胰岛素浓度提高,因此提出胰岛素浓度的提高进而使合成代谢加强,是酸化饲粮促进仔猪生长的生化基础。

有研究证实,在仔猪饲粮中添加柠檬酸可改善增重和饲料利用率,提高生产性能。断奶仔猪饲粮中添加 1% 柠檬酸,显著降低料重比,提高饲料利用率,改善生产性能[15,36]。Jia 等[37]的结果表明,封装的复合酸化剂显著降低胃肠道 pH,提高日增重和饲料转化率。冷向军等[38]的研究结果同样表明,在仔猪断奶后前 2 周内,添加 1.5% 柠檬酸可使仔猪日增重提高 10.5%。岳增华等[39]在 28 日龄断奶仔猪饲粮中添加 1.2% 的柠檬酸,与对照组相比,可显著提高日增重和饲料转化率。王晓青[40]在断奶仔猪饲粮中添加 2% 的柠檬酸,总体增重也高于对照组。在一定范围内随着饲粮中柠檬酸添加水平(1.6% ~3.2%)的提高,断奶仔猪增重和日增重均有不同程度的提高,改善了饲料转化率,降低料重比,提高了生长性能,但当

柠檬酸添加水平超过3.2%时,断奶仔猪的增重和日增重反而下降,料重比有所上升,饲料报酬下降,但与对照组相比仍有一定程度的改善[31]。仔猪饲料中添加柠檬酸可减少因糖原异生和脂类水解造成的损耗,在体内合成ATP时对电子传递链、异柠檬酸脱氢酶的活性有促进作用,对ATP的形成和生物总量的积累起重要作用,促进了仔猪的新陈代谢,增强对能量和氨基酸的利用率。

2.3 调节仔猪肠道微生物菌群,降低腹泻率

仔猪断奶后2 d内,回肠内容物中乳酸菌数量几乎减少至零,大肠杆菌数量显著增加,并与回肠内容物的pH增加呈正相关[41]。胃肠道内酸度下降,大肠杆菌等病原菌易生长,而乳酸菌等有益菌的生长受到抑制,易导致大肠杆菌病的发生,有机酸可降低胃肠道近端病原菌的数量,减少腹泻发生率。Piva等[42]研究表明,氢化植物油包被的有机酸复合物与对照组相比,断奶仔猪空肠末端和盲肠的大肠杆菌数量分别降低了21.51%和15.14%。仔猪断奶后,酸化剂可显著增加盲肠、结肠的乳酸菌数量,并减少大肠杆菌数量[37];另外,有机酸还可以进入细菌的细胞内,破坏其正常生理功能,进而影响它的生长繁殖,因此说柠檬酸能调节仔猪消化道内的微生态平衡[43];Rice等[44]报道,在猪饲粮中添加3.0%柠檬酸,胃内pH从3.71降到了3.07,被酸化的饲粮到达胃内后能降低pH,使蛋白酶活性升高,营养物质在消化道前段就能被充分的消化吸收,而到达消化道后段的营养物质所剩无几,致使消化道后段的病原菌得不到充足的营养而生长发育受阻,也有效地控制了仔猪腹泻并降低了死亡率。

孟宏社等[45]在28日龄断奶仔猪饲粮中添加1.2%的柠檬酸,与对照组相比,显著降低了腹泻率。黄生强等[46]在断奶仔猪饲粮中添加柠檬酸后,发现腹泻率由对照组的36.8%降至5.7%以下,表明柠檬酸对仔猪腹泻有显著的防治效果。断奶仔猪饲喂含不同水平柠檬酸的饲粮,结果显示,对照组的腹泻率最高,柠檬酸添加水平为1.6%、2.4%、3.2%、4.0%组的腹泻率分别比对照组降低了42.7%、57.3%、85.5%、85.5%[31]。张恩平等[47]的研究结果显示柠檬酸可显著降低仔猪腹泻率。冷向军等[48]的研究也表明添加柠檬酸可降低结肠的大肠杆菌数量,显著降低腹泻发生率。

3 小 结

柠檬酸作为重要的酸化剂,可以缓解仔猪断奶后出现的消化机能紊乱、生长缓慢、免疫力下降等问题,并在生产中取得了良好效果。但由于其抗氧化和降胆固醇功能的发现,则需要更多的动物饲养试验加以证实,为其在生产中使用提供更多的论证依据。此外,改善柠檬酸的添加技术(如微胶囊技术等)可使其具有更稳定的饲用效果;同时,柠檬酸与益生菌制剂、酶制剂等的配合使用也是重要的研究方向。

参考文献:

[1] LALLÈS J P, BOSI P, SMIDT H, et al. Nutritional management of gut health in pigs around weaning [J]. Proceedings of the Nutrition Society, 2007, 66: 260-268.

[2] LALLÈS J P, BOSI P, JANCZYK P, et al. Impact of bioactive substances on the gastrointestinal tract and performance of weaned piglets: a review[J]. Animal, 2009(3): 1625-1643.

[3] LAWLOR P G, LYNCH P B, CAFFREY P J. Effect of creep feeding, dietary fumaric acid and level of dairy product in the diet on post-weaning pig performance[J]. Irish Journal of Agricultural and Food Research, 2005, 44(1): 45-55.

[4] 陈杰. 家畜生理学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

[5] 肖冠军. 有机酸及其盐类在养猪生产中的应用[J]. 养殖技术顾问,2011(10):68.

[6] PARTANEN K, JALAVA T, VALAJA J. Effects of a dietary organic acid mixture and of dietary fibre levels on ileal and faecal nutrient apparent digestibility, bacterial nitrogen flow, microbial metabolite concentrations and rate of passage in the digestive tract of pigs [J]. Animal, 2007, 1(3): 389-401.

[7] 袁俊芳. 仔猪断奶期间的应激症状及其控制措施[J]. 河南畜牧兽医,2008,29(1):13-15.

[8] PIVA A, CASADEI G, BIAGI G. An organic acid blend can modulate swine intestinal fermentation and reduce microbial proteolysis[J]. Canadian Journal of Animal Science, 2002, 82(4): 527-532.

[9] RADCLIFFE J S, ZHANG Z, KOMEGAY E T. The effects of microbial phytase, citric acid, and their interaction in a corn-soybean meal-based diet for weanling pigs[J]. Journal of Animal Science, 1998, 76(7):

1880 - 1886.
[10] 李成良,周安国,王之盛. 酸梅粉和柠檬酸对植酸酶改善生长猪钙、磷消化率的影响[J]. 动物营养学报,2007,19(6):737 - 741.
[11] 周顺伍. 动物生物化学[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
[12] 田书音,李冰. 饲用酸化剂在断奶仔猪生产上的应用研究[J]. 饲料广角,2011(3):39 - 41.
[13] 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.
[14] MALMOLF K. Amino acid in farm animal nutrition metabolism, partition and consequences of imbalance [J]. Swedish Journal of Agriculture Research, 1988, 4:191 - 193.
[15] 朱孟玲,陈超,马国辅,等. 有机酸对长梅断奶仔猪生长性能和血清生化指标的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(33):18861 - 18862,18865.
[16] 张德成,吴润培,陈思义,等. 哺乳仔猪胃内酸度的变化对红细胞免疫功能的影响[J]. 饲料工业,1994(7):28 - 29.
[17] 李建平,单安山,徐奇友. 不同类型酸化剂对早期断奶仔猪胃酸分泌、免疫功能和抗氧化机能的影响[J]. 东北农业大学学报,2009,40(4):69 - 73.
[18] 李建平,单安山,陈志辉,等. 五味子、柠檬酸对断奶仔猪生长性能和抗氧化功能的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(2):91 - 95.
[19] 陈瑗. 自由基医学[M]. 北京:人民军医出版社,1991:55.
[20] 李建平,单安山,程宝晶. 五味子、柠檬酸对生长肥育猪抗氧化功能和肉品质的影响[J]. 中国畜牧杂志,2010,46(15):31 - 34.
[21] MILLER G J, MILLER N E. Plasma high density lipoprotein concentration and development of ischemic heat disease[J]. Lancet,1975(1):16 - 20.
[22] 李建平,单安山,程宝晶,等. 五味子与柠檬酸对生长肥育猪生长性能和血液生化指标的影响[J]. 东北农业大学学报,2010,41(5):82 - 87.
[23] 陈常秀,秦四海. 柠檬酸铜对肉鸡生产性能、血脂指标和组织胆固醇含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(11):43 - 46.
[24] 滑静,王晓霞,何欣,等. 两种铜盐与添加水平对蛋鸡血液某些生理生化指标的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2003(5):26 - 27.
[25] HISMIOGULLARI S E, HISMIOGULLARI A A, SAHIN F, et al. Investigation of antibacterial and cytotoxic effects of organic acids including ascorbic acid, lactic acid and acetic acids on mammalian cells[J]. Journal of Animal and Veterinary Advances,2008,7(6):681 - 684.
[26] CHAVEERACH P, KEUZENKAMP D A, URLINGS H A, et al. *In vitro* study on the effect of organic acids on *Campylobacter jejuni/coli* populations in mixtures of water and feed [J]. Poultry Science, 2002, 81:621 - 628.
[27] MROZ Z. Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs [J]. Advances in Pork Production,2005(16):169 - 182.
[28] BOLDUAN G, JUNG H, SCHNABLE E, et al. Recent advances in the nutrition of weaner piglets [J]. Pig News and Information, l988,9(4):381 - 385.
[29] 王杰. 复合酸化剂的筛选及其对断奶仔猪的应用研究[D]. 硕士学位论文. 杨凌:西北农林科技大学,2004.
[30] 李宝贵,王继芬,毕元国. 柠檬酸对早期断奶仔猪生长性能的影响[J]. 畜牧与饲料科学,2009,30(3):61 - 63.
[31] 刘德周. 断奶仔猪日粮中添加柠檬酸试验研究[D]. 硕士学位论文. 杨凌:西北农林科技大学,2002.
[32] 汪海峰,陈海霞,章文明,等. 复合酸化剂对断奶仔猪生产性能和肠道微生物区系的影响[J]. 中国畜牧杂志,2011,47(11):49 - 53.
[33] 张振斌,蒋宗勇,林映才,等. 超早期断奶应激对仔猪胃肠内容物 pH 值和微生物区系的影响[J]. 养猪,1998(3):14 - 15.
[34] RISLEY C R, KORNEGAY E T, LINDEMANN M D, et al. Effect of feed organic acids on selected intestinal content measurements at varying times post weaning in pigs[J]. Journal of Animal Science,1992,70:196 - 206.
[35] 陈斌,刘孝淳. 酸化饲粮对仔猪几种血液生化指标的影响[J]. 动物营养学报,1996,8(2):37 - 42.
[36] 王杰,陈玉林. 复合酸化剂在断奶仔猪上的应用研究[J]. 湖北农业科学,2010,49(5):1158 - 1161.
[37] JIA G, YAN J Y, CAI J Y, et al. Effects of encapsulated and non-encapsulated compound acidifiers on gastrointestinal pH and intestinal morphology and function in weaning piglets [J]. Journal of Animal and Feed Sciences,2010,19:82 - 93.
[38] 冷向军,王康宁,杨凤,等. 酸化剂对仔猪生长和体内酸碱平衡的影响[J]. 动物营养学报,2003,15(2):49 - 53.
[39] 岳增华,王永汉. 不同类型酸化剂对断奶仔猪生长性能影响的研究[J]. 饲料与畜牧,2011(4):30 -

32.
[40] 王晓青. 日粮中添加柠檬酸对断奶仔猪增重效果的影响[J]. 养殖与饲料,2011(8):42－43.
[41] MATHEW A G,SUTTO A L,SCHEIDT A B,et al. Effects of a propionic acid containing feed additive on performance and intestinal microbial fermentation of the weanling pig[C]//International symposium on digestive physiology in pigs. Wageningen:PUDOC,1991,464－469.
[42] PIVA A,PIZZAMIGLIO V,MORLACCHINI M,et al. Lipid microencapsulation allows slow release of organic acids and natural identical flavors along the swine intestine[J]. Journal of Animal Science,2007,85(2):486－493.
[43] LAMBERT R J,STRATFORD M. Weak-acid preservatives:modeling microbial inhibition and response[J]. Journal of Applied Microbiology,1999,86(1):157－164.
[44] RICE J P,PLEASANT R S,RADCLIFFE J S. The effect of citric acid,phytase,and their interaction on gastric pH,and Ca,P,and dry matter digestibilities[R]//Swine research reports. West Lafayette:Purdue University,2002.
[45] 孟宏社,朱天和,宋战胜,等. 复合酸化剂和益生素对仔猪腹泻防治研究[J]. 家畜生态学报,2010,31(1):95－97.
[46] 黄生强,符利辉,贺长青. 柠檬酸对仔猪生长影响的研究[J]. 动物科学与动物医学,2002,19(7):32－33.
[47] 张恩平,郑云峰,刘佳,等. 日粮中添加柠檬酸对断奶仔猪生产性能的影响[J]. 畜牧兽医杂志,2002,21(6):9－11.
[48] 冷向军,王康宁,杨凤,等. 酸化剂对早期断奶仔猪胃酸分泌、消化酶活性和肠道微生物的影响[J]. 动物营养学报,2002,14(4):44－48.

Citric Acid: Nutritional Functions and Its Application in Weaner Piglet Feeding

WANG Hao WANG Wenmei XU Li* WANG Xiaocui
(*Northeast Agricultural University*, *College of Animal Science and Technology*, *Harbin* 150030, *China*)

Abstract: Citric acid is an acidifier with characteristics of attractant, anti-stress and no residue. In order to prevent early weaning stress of piglets and improve performance, citric acid has been applied to weaner piglet feeding in recent years and achieved good effects. Recently, it was found that citric acid also had antioxidant and cholesterol-lowering effects, which could improve meat quality. In this paper, nutritional functions and its mechanisms of citric acid and application effects in weaner piglet feeding are summarized. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(6):1007-1012**]

Key words: citric acid; nutritional function; mechanism; weaner piglets

* Corresponding author, professor, E-mail: xuli_19621991@163.com

(编辑 陈 鑫)