动物营养学报 2019,31(3):1020-1030
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2019.03.006

益生菌的功能及其在生猪养殖产业中的应用

田志梅　蒋宗勇　王　丽　马现永*

(广东省农业科学院动物科学研究所,畜禽育种国家重点实验室,农业部华南动物营养与饲料重点实验室,
广东省畜禽育种与营养研究重点实验室,广东畜禽肉品质量安全控制与
评定工程技术研究中心,广州 510640)

摘　要: 益生菌是一类微生物制剂,其代替抗生素作为新型饲料添加剂广泛应用于农业领域。本文结合国内外最新研究进展,综述了益生菌对猪肠道健康、营养利用、应激的影响以及在生猪养猪业的应用,旨在为益生菌在生猪养殖中的深度发掘及推广提供理论参考。

关键词: 益生菌;饲料添加剂;生猪;养殖;应用

中图分类号:S816　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2019)03-1020-11

我国是生猪养殖大国,也是抗生素生产及使用大国,每年用于动物养殖产业的抗生素多达9.7 t,因此养殖业是抗生素滥用的重灾区。抗生素在养殖业的使用不仅影响其在肉产品中的残留,也造成人类对抗生素耐药性,因此抗生素的滥用影响动物生产及人类健康。为提升消费者对畜牧产品的信赖,农业部拟计划全面禁止抗生素作为饲料添加剂在动物生产中应用。

根据国内外减少或禁用抗生素使用的发展趋势,抗生素替代的研究越来越多,其中益生菌作为抗生素替代物已在多国使用。美国食品与药品管理局以及饲料管理协会已公布可直接饲喂且安全的益生菌已有40余种,欧盟市面已有50余种益生菌,我国农业部第105号公告允许使用干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei*)、植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、粪链球菌(*Streptococcus faecalis*)、屎链球菌(*Streptococcus faecium*)、乳酸片球菌(*Pediococcus acidilactici*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、纳豆芽孢杆菌(*Bacillus natto*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)、乳链球菌(*Streptococcus lactis*)、啤酒酵母(*Saccharomyces cerevisia*)、产朊假丝酵母(*Candida utilis*)和沼泽红假单胞菌(*Rhodopseudomonas palustris*)等12种饲料级微生物菌种,其中乳酸杆菌、双歧杆菌及酵母菌等在饲料中的应用较为广泛。

1　益生菌的定义及其在饲料应用中的调制方式

自1899年法国科学家Henry Tissier首次从婴儿的粪便中分离出第1株益生菌"双歧杆菌"至今,人类对益生菌的研究已有100多年的历史。随着益生菌研究的发展,不仅活微生物对宿主健康有益,热灭活的微生物如乳酸杆菌、双歧杆菌等菌株也有利于宿主健康。因此,凡是对宿主健康有益的活的微生物及有活力的微生物细胞都称为益生菌。

随着动物饲料中抗生素使用的限制,益生菌替代抗生素的应用日益广泛。迄今为止,已发现的益生菌种类繁多,根据益生菌的生物学特性,主要分为乳酸菌科如保加利亚乳杆菌(*Lactobsccillus*

收稿日期:2018-08-27

基金项目:广州市科技计划重点项目(201607020035);广东省现代农业产业技术体系创新团队项目(2017LM1080,2018LM1080);十三五国家重点研发专项(2018YFD0501101);广东省畜禽育种与营养研究重点实验室开放运行(2017B030314044);省级现代农业产业技术推广体系建设项目(2017LM4164)

作者简介:田志梅(1985—),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 382874346@qq.com

* **通信作者:**马现永,研究员,硕士生导师,E-mail: 407986619@qq.com

bulgaricus)、植物乳杆菌、罗伊氏乳酸杆菌(*Lactobacillus reuterii*)、发酵乳酸杆菌(*Lactobacillus fermentum*)等;芽孢杆菌科如地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)、短小芽孢杆菌(*Bacillus pumilus*)、枯草芽孢杆菌等;链球菌科如乳酸链球菌、嗜热链球菌(*Streptococcus theromophilus*)等;放线菌科如动物双歧杆菌(*Bifidobacterium animaiis*)、嗜热双歧杆菌(*Bifidobacterium thermophilum*)、短双歧杆菌(*Bifidobacterium breve*)、两歧双歧杆菌(*Bifldobacterium bifldium*)等;以及乳酸片球菌、肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)、粪肠球菌(*Enterococcus faecium*)等其他科细菌[1]。

随着益生菌应用的推广,根据益生菌的生物学特性及饲料加工工艺,益生菌作为饲料添加剂的调制方式也出现多元化。目前主要采用活性及灭活益生菌干粉直接添加,益生菌发酵饲料(固体和液体发酵)、益生菌微胶囊化等作为饲料添加剂使用。

2　益生菌改善动物健康

益生菌调节宿主肠道健康、营养利用及抗应激等生理机能的作用机制主要包括 3 个方面:一是通过调节先天免疫及获得性免疫提高宿主免疫功能;二是直接作用于共生或病原微生物,防御及治疗感染肠道疾病并恢复肠道微生物稳态;三是对微生物毒素脱毒以及宿主代谢产物、食物等成分的解毒作用。

2.1　益生菌调节肠道健康

益生菌主要通过抑制病原菌群的生长,促进有益菌群生长来调节肠道稳态并促进肠道健康[2],一方面通过清除肠道代谢产物、细菌素,促进肠道抗菌肽及黏蛋白的生成等间接方式调节肠道的屏障功能、免疫功能、脱毒、解毒作用;另一方面通过与肠道病原菌群黏附位点的时空竞争、营养竞争作用,限制肠道中病原菌的定植、生存及繁殖,并通过控制有益菌群与有害菌群的比例来调节肠道菌群稳态,从而调节宿主肠道健康(表 1)。

表 1　益生菌对猪肠道健康的影响

Table 1　Effects of probiotics on intestinal health in pigs

名称 Names	编号 Number	功能 Function	生长阶段 Growth stage	文献 References
猪源乳酸杆菌 *Lactobacillus sobrius*	DSM 16698	减少病原菌在回肠的定植,增加有益菌群增殖及定植	仔猪	Konstantinov 等[1]
	ATCC 55544	促进共生有益菌群定植,减少病原菌定植,降低腹泻风险	早产新生仔猪	Siggers 等[3]
发酵乳杆菌 *Lactobacillus fermentum*	I5007	促进肠道发育,降低粪便中梭状芽胞杆菌和大肠杆菌数量	仔猪	Liu 等[4]
植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum*	DSM 13367	促进共生有益菌群定植,减少病原菌定植,降低腹泻风险	早产新生仔猪	Siggers 等[3]
	PC-81-11-02	促进母猪产仔后肠上皮细胞增殖,降低母猪粪便中大肠杆菌数量	母猪	Demecková 等[5]
	P-81-01-06	缓解绒毛萎缩,降低腹泻风险	肥育猪	Moran 等[6]
鼠乳杆菌 *Lactobacillus murinus*	DPC 6002 DPC 6003	降低腹泻发生率、程度及持续时间	早产新生仔猪	Casey 等[7]
	DPC 6004	降低腹泻发生率、程度及持续时间	早产新生仔猪	Casey 等[7]
戊糖乳杆菌 *Lactobacillus pentosu*	DSM 14025	促进共生有益菌群定植,减少病原菌定植,降低腹泻风险	早产新生仔猪	Siggers 等[3]
	SHCM-02	提高饲料转化率,提高肉品质,降低绒毛萎缩风险	肥育猪	Moran 等[6]

续表 1

名称 Names	编号 Number	功能 Function	生长阶段 Growth stage	文献 References
嗜酸性乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus*	DSM13241	促进共生有益菌群定植,减少病原菌定植,降低腹泻风险	早产新生仔猪	Siggers 等[3]
	—	改善仔猪肠道屏障,提高肠道益生菌数量及免疫功能,抵御毒素引起的炎症反应	断奶仔猪	Qiao 等[8]
唾液乳杆菌 *Lactobacillus salivarius*	DPC 6005	降低腹泻发生率、程度及持续时间	早产新生仔猪	Casey 等[7]
动物双歧杆菌 *Bifidobacterium animalis*	DSM 15954	促进共生有益菌群定植,减少病原菌定植,降低腹泻风险	早产新生仔猪	Siggers 等[3]
肠球菌 *Enterococcus faecium*	NCIMB 11181	抑制有害菌群数量,增加有益菌群与有害菌群比	仔猪	Pajarillo 等[9]
	DSM 7134	改善肠道菌群,缓解便秘	妊娠母猪	Böhmer 等[10]
	NCIMB 10415	缓解绒毛萎缩,降低断奶仔猪腹泻率,肠道有害菌群数量及毒素水平	断奶仔猪	Taras 等[11]
	NCIMB 10415	改善肠道健康,提高初乳、乳汁品质及总量	哺乳母猪	Taras 等[11]
小球菌 *Pediococcus pentosaceous*	DPC 6006	降低腹泻发生率、程度及持续时间	早产新生仔猪	Casey 等[7]
蜡样芽胞杆菌 *Bacillus cereus* var. toyoi	CNCM I-1012/ NCIMB 40112	缓解绒毛萎缩和腹泻,改善肠道健康	仔猪	Casey 等[7]、Taras 等[12]
酿酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae*	CNCM I-4407	调高仔猪平均日增重,缓解腹泻,改善肠道通透性及先天免疫	仔猪	Che 等[13]
	SS2/JI1	降低肠道及粪便中有害菌群,提高肠道中有益菌群与有害菌群比	断奶仔猪	张丽等[14]
乳酸片球菌 *Pediococcus acidilactici*	—	提高仔猪生长性能,增加绒毛高度并促进黏膜细胞增殖,抵御感染及炎症的发生,缓解腹泻	断奶仔猪	Di Giancamillo 等[15]

—表示未注明。下表同。—not indicated. The same as below.

2.1.1 益生菌改善肠道免疫功能

肠道是体内与外界环境接触的主要场所,也是病原体入侵和定植的主要场所。肠道黏液层是联系肠道上皮细胞与肠道微生物的中间凝胶网状结构,其隔离肠腔内物质包括营养物质、分泌物、代谢产物及肠道微生物等与肠上皮细胞的接触。黏液层是肠道黏膜屏障抵御病原微生物侵扰的第1道防线,通过降低抗原在免疫系统中的暴露以及保护机体免于自我消化行使其防御功能。肠道黏液层主要由杯状细胞分泌的黏蛋白组成,益生菌可缓解大肠杆菌引起的杯状细胞的减少以及黏液层厚度的降低来提高机体免疫功能;影响断奶仔猪小肠黏蛋白中糖蛋白组分,黏蛋白的聚糖通过结合具有聚糖结构特异性黏附素的细菌,影响对肠道细菌的黏附作用,调节有益菌群在肠道中的定植。有研究表明,益生菌通过增加肠道黏膜层的定植影响黏液层的厚度[16],其影响黏膜层的定植、膜层杯状细胞黏蛋白的分泌、黏液层的厚度,进而影响黏液层的防御功能。益生菌不仅通过调节黏液层中黏蛋白诱导肠上皮细胞表面蛋白的合成来影响肠上皮细胞的黏附作用,以及编码微生物与宿主黏附作用的黏附素影响其与宿主肠道细胞的黏附与定植,还通过调节肠上皮细胞之间紧密连接蛋白(*ZO*-1)、闭合蛋白(occludin)、密封蛋白(claudin)等表达,降低病原微生物的入侵,改善

肠道健康[17-18]。

肠上皮细胞与病原微生物的互作常引起动物肠道的免疫失调,益生菌通过调节肠上皮细胞免疫功能,预防或治疗肠道功能的紊乱。益生菌通过增加肠道中吞噬细胞数量清除肠道病原菌,调节肠道免疫;也可通过调节肠道免疫球蛋白、细胞因子及抗菌肽等表达提高机体免疫功能。Cazorla等[18]研究表明干酪乳杆菌及副乾酪乳杆菌(*Lactobacillus paracasei*)增加肠道潘氏细胞数量及肠道抗菌肽活性。研究发现益生菌有效改善大肠杆菌或沙门氏菌感染引起的仔猪腹泻及肠道损伤,降低血清中白细胞介素-6(IL-6)含量,增加血清中免疫球蛋白 M(IgM)及免疫球蛋白 A(IgA)含量,增强仔猪免疫力,促进仔猪生长[19]。

益生菌通过介导肠上皮细胞的模式识别受体(PRR)直接应答微生物、代谢产物,或介导 PRR 与微生物相关分子模式(MAMP)结合,通过调节多个信号通路来调控受体的表达,并激发机体自身非特异性免疫应答,维持肠道内环境稳定及炎症抑制等一系列免疫保护反应。研究发现益生菌通过丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)信号通路及信号转导与转录激活因子(STAT3)信号通路,调节细胞因子信号传导的抑制因子(*SOC*3)的表达,抑制核因子-κB(NF-κB)的活性及 IL-6 的分泌,缓解炎症的发生[20]。酵母菌通过激活过氧化物酶体增殖物激活受体-γ(PPAR-γ)和抑制细胞外信号调节激酶 1/2(ERK1/2)和 p38 丝裂原活化蛋白激酶(p38 MAPK)的磷酸化来抑制促炎因子 *IL*-6、白细胞介素-8(*IL*-8)、趋化因子配体 20(*CCL*20)、趋化因子配体 2(*CXCL*2)及趋化因子配体 10(*CXCL*10)的转录表达,进而调节肠道免疫[21]。

2.1.2　益生菌影响肠道微生物菌群结构

益生菌通过争夺营养、代谢产物以及时空的占位效应等产生生物拮抗功能,调节肠道菌群结构及稳态,调控肠道微生物的毒素的产生量及活力,控制肠道潜在病原菌的毒力及活性。

研究表明枯草芽孢杆菌通过调节盲肠内容物中拟杆菌门(Bacteroidetes)及增加厚壁菌门(Firmicutes)比例改善肠道菌群结构及稳态,促进动物生长[22]。双歧杆菌及乳酸杆菌的复合益生菌可降低肠道内潜在致病菌产气荚膜梭状芽胞杆菌(*Clostridium perfringens*)的定植密度。出生后立即使用该复合益生菌可提高乳酸菌等有益菌群的定植,同时降低致病菌群的定植,缓解早产仔猪腹泻、功能障碍,降低病原菌入侵及早产新生仔猪的坏死性小肠结肠炎的发生率及程度[3]。鼠李糖乳酸杆菌有效改善大肠杆菌感染后仔猪肠道微生物菌群结构,降低粪便中大肠杆菌数量,增加双歧杆菌等有益菌群数量[23]。

肠腔内细菌毒素通过分解细胞间紧密连接蛋白并破坏肠道屏障后,经细胞旁运输进入循环,诱发肠道炎症及腹泻。植物乳杆菌有效降低肠道中半乳糖与甘露醇比例及肠道通透性,减少细菌内毒素(LPS)进入肠道黏膜层及基底层的数量,进而起到脱毒的效果。添加植物乳杆菌(22F、25F 和 31F)、乳酸片球菌(72N)及戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus* 77F)等复合益生菌,显著抑制大肠杆菌(*Escherichia coli*)、猪霍乱沙门氏菌(*Salmonella choleraesuis*)及猪链球菌(*Streptococcus suis*)等猪肠道病原菌的生长及活性,调节肠道菌群稳态,促进动物生长[24]。研究发现饲粮中添加芽孢杆菌可显著提高断奶仔猪粪便中乳酸杆菌数量,降低大肠杆菌数量,调节肠道微生物菌群[25]。而屎肠球菌不仅提高沙门氏菌感染后仔猪粪便以及肠道中沙门氏菌数量,同时提高肠道免疫力,抵御肠道病原菌及毒素的入侵[19],但也有研究指出屎肠球菌对沙门氏菌感染后仔猪的粪便中沙门氏菌的数量无影响,对感染沙门氏菌的仔猪生长、免疫等也无改善效果[26],对母猪肠道微生物菌群也无显著改善效果,不影响母猪肠道乳酸杆菌、革兰氏阳性及阴性厌氧菌、大肠杆菌及肠球菌等增殖[10]。因此,益生菌的菌株菌种、质量差异以及受试动物差异等直接影响其有效性评价。

2.2　益生菌调节营养物质利用

益生菌通过调控肠道营养物质利用,促进动物生长。益生菌调控肠道蔗糖酶、乳糖酶、三肽酶、淀粉酶、脂肪酶、植酸酶、蛋白酶等消化酶活性,改善猪肠道对饲粮中营养成分的消化吸收,进而影响断奶仔猪的生长[27]。饲粮中添加枯草芽孢杆菌增加猪肠道内容物中厚壁菌群数量,降低拟杆菌群数量,改善肠道消化吸收功能;枯草芽孢杆菌通过降低血清中甘油三酯、葡萄糖含量,以及肝脏中脂肪酸合酶(*FAS*)和乙酰辅酶 A 羧化酶 α(*ACCα*)表达,调节机体脂肪等营养物质的代谢[22]。此外,益生菌也可能通过改善肠道绒毛高度,增加肠道营养物质的吸收面积,进而提高营养

物质吸收效率。

益生菌影响动物对饲料转化率及饲料中营养成分的利用率,调控动物的生长。饲粮中添加复合芽孢杆菌不仅显著提高断奶仔猪干物质、氮及总能的全消化道表观消化率及蛋白质利用率进而提高营养利用率[25]。而芽孢杆菌与酿酒酵母复合使用显著提高生长猪干物质、氮及总能的全消化道表观消化率,同时提高回肠中氮及部分氨基酸(异亮氨酸、色氨酸、缬氨酸、丝氨酸及酪氨酸)消化率[28]。屎肠球菌与酿酒酵母混合菌提高肥育猪粗脂肪、粗蛋白质、干物质、钙、磷等消化率[29]。研究表明加氏乳杆菌(*Lactobacillus gasseri*)、罗伊氏乳杆菌(*Lactobacillus reuteri*)、嗜酸性乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)及发酵乳酸杆菌等复合型乳酸菌提高断奶仔猪肠道有机物、粗蛋白质、粗纤维全消化道表观消化率[30]。枯草芽孢杆菌、酿酒酵母菌及植物乳杆菌复合使用,可有效提高氮、磷表观消化率,提高饲料利用率[31]。因此,益生菌可有效改善饲料转化率及利用率,促进动物生长,其在生猪产业中推广使用具有良好的发展前景。

2.3 益生菌促进生猪养殖的节能减排

益生菌可通过提高营养物质消化吸收功能来提高饲料转化率,还可通过调节肠道微生物菌群结构影响微生物代谢产物,进而减少废弃物的排放。益生菌发酵饲料改善仔猪肠道黏膜形态、肠道内发酵及营养物质消化[6],促进生猪养殖业的节能减排、绿色生态的健康发展。研究表明饲粮中添加复合芽孢杆菌可还降低血液尿素氮含量,减少生猪粪污中氨气及硫化氢的排放[25],而酿酒酵与母芽孢杆菌或与屎肠球菌复合使用减少生长肥育猪氨气、硫化氢及硫醇类等臭味物质排放[28-29]。短乳酸菌或与酵母菌复合使用可降低钙、磷的排放,而复合型乳酸菌降低猪粪污中氮、磷排放[30]。枯草芽孢杆菌、酿酒酵母菌及植物乳杆菌复合菌可减少粪便中氮和磷排放,降低畜禽粪便对环境的污染[31]。因此,益生菌通过调控猪生理功能,对减少粪污氮磷及臭气等排放具有显著的效果,其作为绿色、环保、生态的饲料添加剂在生猪产业中推广使用具有良好的发展前景。

2.4 益生菌影响猪生长及应激状况

随着益生菌的应用开发,益生菌作为替代抗生素的促生长剂,被广泛应用于动物饲料中。益生菌除了改善动物肠道菌群、免疫力,调节动物营养消化率及饲料转化效率,对养殖中动物应激也有一定的缓解效果。双歧杆菌、嗜酸性乳酸杆菌、干酪乳杆菌、戊糖乳杆菌及植物乳杆菌的复合益生菌有利于缓解早产应激,提高早产仔猪生长性能[3]。乳酸片球菌、肠球菌、酵母菌(酿酒酵母及布拉迪酵母)、嗜酸性乳杆菌等益生菌也可改善仔猪肠道健康,减少仔猪断奶后腹泻的发生率、严重程度及仔猪死亡率,缓解仔猪断奶应激综合征[11,13,15-16,32]。嗜酸性乳酸杆菌及酿酒酵母通过下调组织中热休克蛋白 70(*Hsp*70)和热休克蛋白 27(*Hsp*27)的表达,提高组织中谷胱甘肽过氧化物酶(*GPx*1)的表达,缓解高温引起的仔猪热应激及氧化应激[33-34]。研究发现地衣芽孢杆菌及枯草芽孢杆菌可有效缓解母猪产仔后乳房炎、子宫炎引起的无乳综合征,提高母猪生育力及后代仔猪存活率[35]。应激是生猪养殖业中常见的问题之一,目前,益生菌在动物应激方面的相关研究较少,因此,益生菌对缓解动物应激的研发具有良好的发展前景及推广价值,对提高生猪生产力及生猪养殖业中经济效益具有重要意义(表 2)。

2.5 益生菌改善猪肉品质

益生菌不但提高猪生长速度,还可提高猪肉营养价值,改善猪肉品质。饲粮中添加益生菌通过提高猪肉中超氧化物歧化酶及谷胱甘肽过氧化物酶等酶类活性,提高猪肉抗氧化能力及肉品质[39]。研究表明饲喂复合益生菌(枯草芽孢杆菌与丁酸梭菌)可显著改善肥育猪背最长肌肉色、大理石纹评分、系水力、pH,提高眼肌面积及瘦肉率等胴体品质[37]。饲粮中添加乳酸菌片球菌可改善猪肉 pH、嫩度、系水力、多汁性、风味、颜色与外形等品质[40],植物乳酸杆菌可有效改善猪肉 pH、剪切力、咀嚼嫩度、油腻性、系水力、黏性等肉品质[41],因此,益生菌作为饲料添加剂可提高猪肉营养价值及品质,具有良好的市场应用前景。

3 益生菌在生猪养殖业中的推广应用

3.1 益生菌在仔猪生产中的应用

益生菌具有改善肠道菌群结构、肠道免疫及消化等功能,其常用于仔猪生产,尤其是断奶仔猪。研究表明从出生到断奶期口服屎肠球菌显著降低仔猪腹泻率及腹泻程度,同时提高仔猪平均日增重[42]。Lv 等[33]利用富硒益生菌显著提高仔猪粪便中乳酸杆菌与大肠杆菌比例,改善肠道菌

群结构;提高仔猪血清中硒含量及谷胱甘肽过氧化物酶活性,缓解断奶应激及高温应激;提高断奶仔猪体重、平均日增重,降低料重比,促进仔猪生长。何佳等[43]通过在玉米-豆粕型基础饲粮中添加复合益生菌调节仔猪肠道微生物菌群,提高粪便中乳酸杆菌和双歧杆菌等有益菌群数量,降低大肠杆菌数量,降低仔猪腹泻率并提高仔猪生长性能。吴宁等[44]利用益生菌与中草药及酸化剂进行复合使用,降低仔猪腹泻率,提高仔猪生长性能,且达到替代抗生素的效果,即提高仔猪免疫力及促生长功能。目前出现大量的益生菌与其他物质复合使用(如纤维寡糖、非淀粉多糖复合酶类、木瓜蛋白酶等),改善肠道菌群结构及干物质、粗蛋白质、粗纤维等肠道消化率,促进仔猪生长,进而达到替代抗生素的目的。益生菌发酵料在仔猪生产中用于改善仔猪肠道健康及免疫功能,促进仔猪生长[45]。

表 2　益生菌对猪营养利用及应激的影响

Table 2　Effects of probiotics on nutrient utilization and stress in pigs

名称 Name	编号 Number	功能 Function	生长阶段 Growth stages	文献 References
动物双歧杆菌 *Bifidobacterium animalis*	DSM 15954	促进营养物质吸收及干物质、氮源总能的营养消化力;降低氨气的排放;缓解早产应激	新生仔猪	Siggers 等[3]、Qiao 等[8]
嗜酸性乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus*	DSM 13241			
干酪乳杆菌 *Lactobacillus casei*	ATCC 55544			
戊糖乳杆菌 *Lactobacillus pentosus*	DSM 14025			
植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum*	DSM 13367			
肠球菌 *Enterococcus faecium*	NCIMB 10415			Taras 等[11]
布拉迪酵母 *Saccharomyces cerevisiae* subsp.*boulardii*	CNCM I-1079			Le Bon 等[32]
酿酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae*	CNCM I-4407	提高干物质及总能的表观消化率,提高断奶仔猪生长性能,提高机体抗氧化能力,缓解断奶应激及热应激		Che 等[13]、张丽[15]、Gan 等[34]
嗜酸性乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus*	AS1.1878			
大肠杆菌 *Escherichia coli*	UM-2;UM-7	缓解由致病菌大肠杆菌引起的仔猪腹泻;缓解拥挤应激		Khafipour 等[36]
戊糖乳杆菌 *Lactobacillus pentosu*	SHCM-02	提高饲料转化率及肉品质,降低绒毛萎缩风险		Moran 等[6]
枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*	—	提高氮及能量消化率及生长性能,改善肉色及大理石纹评分	生长肥育猪	Meng 等[37]
丁酸梭菌 *Clostridium butyricum*	—			
地衣芽孢杆菌 *Bacillus licheniformis*	—	降低死亡率,提高氮消化率及平均日增重		Davis 等[38]

续表 2

名称 Name	编号 Number	功能 Function	生长阶段 Growth stages	文献 References
屎肠球菌 *Enterococcus faecium*	DSM 7134	提高食物摄入量和饲粮消化率,缓解应激		Böhmer 等[10]
蜡样芽胞杆菌 *Bacillus cereus* var. toyoi	CNCM I-1012/ NCIMB 40112	提高初乳品质、乳汁品质及数量	母猪	Casey 等[7]、Taras 等[12]
肠球菌 *Enterococcus faecium*	NCIMB 10415			
枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis spores*	DSM 5750	缓解乳房炎-子宫炎-无乳综合征,缩短发情间隔,提高生育力		Alexopoulos 等[35]
地衣芽孢杆菌 *Bacillus licheniformis*	DSM 5749			

3.2 益生菌在生长肥育猪生产中的应用

益生菌不仅用于仔猪生产,也应用于生长肥育猪生产。添加益生菌提高生长猪平均日增重、眼肌面积、瘦肉率、肌肉系水力,降低背膘厚;同时通过增加血清和肌肉中超氧化物歧化酶及谷胱甘肽过氧化物酶活性及降低丙二醛含量,提高机体抗氧化能力;同时降低成本,提高生猪养殖利润[39]。饲粮中添加乳酸菌可改善猪肉 pH、嫩度、系水力、多汁性、风味、颜色与外形等品质[40],而添加枯草芽孢杆菌与丁酸梭菌可改善猪肉肉色、大理石纹评分、系水力、pH 及眼肌面积等品质[37]。研究表明益生菌与中草药复合使用显著提高血清免疫球蛋白 IgM 含量,白细胞介素-4(*IL*-4)、*IL*-6 及干扰素-β(*IFN-β*)等免疫因子的表达,并调高葡萄糖等营养物质的转化,促进生长猪的生长[46]。Jeong 等[47]在饲粮中添加益生菌发酵的中草药,提高生长猪干物质、总能的消化率,降低有毒气体如氨气、硫化氢的排放,增加饲料转化率,促进动物生长。研究表明该益生菌复合配方可作为抗生素替代物的生长促进剂应用于生长猪生产。益生菌可改善氮、氨基酸的回肠消化率及营养物质的全消化道表观消化率、肠道菌群及稳态,提高生长猪平均日增重,降低养猪成本。饲粮中添加芽孢杆菌可提高生长肥育猪平均日增重,降低料重比及死亡率,增加养殖效益[38]。益生菌不仅可改善生长肥育猪毛色,提高平均日增重及有机磷消化率,降低料重比,还可通过调节肠道 pH 及肠道微生物菌群改善肥育猪的健康状况,调节饲料转化率及新陈代谢促进肥育猪生长。

3.3 益生菌在母猪生产中的应用

在母猪生产养殖中,益生菌常用来改善母猪健康状况,缓解应激,提高其生长性能。Inatomi 等[48]研究发现饲粮中添加肠系膜芽孢杆菌(*Bacillus mesentericus*)、丁酸梭菌和粪球菌复合菌不仅提高妊娠期母猪体重,还显著提高产后母猪的体重及其乳汁产量,并提高初乳中 IgA 和 IgG 含量及抗体滴度,缩短断奶到发情的时间间隔;同时也发现该复合菌显著提高后代哺乳期仔猪体重并降低哺乳期仔猪死亡率。屎肠球菌可提高初产母猪妊娠期及泌乳期采食量及体重,但不影响初产母猪及后代仔猪粪便微生物乳酸杆菌、革兰氏厌氧菌、大肠杆菌及肠球菌的菌群数量[10],而 Taras 等[11]指出屎肠球菌不影响母猪哺乳期及后代体重、采食量及饲料转化率,但降低后代仔猪断奶后腹泻率。母猪饲粮中长期添加蜡状芽孢杆菌显著提高母猪护理仔猪的数量及天数,并提高后代仔猪平均日增重及饲料转化率,缓解仔猪断奶后腹泻,促进后代仔猪生长[12]。而饲粮中添加地衣芽孢杆菌及枯草芽孢杆菌增加母猪产后采食量,减少哺乳期母猪体重损失;提高其血清胆固醇及总脂肪含量及乳汁中总脂肪和总蛋白含量;缓解乳房炎-子宫炎-无乳综合征,缩短发情间隔,提高生育力;同时还降低后代仔猪腹泻率、死亡率,增加后代仔猪体重[35]。

4 结 论

益生菌作为替代抗生素的微生物制剂,不仅促进动物生长,还利于改善猪肠道健康,提高营养

利用,缓解动物应激,其作为新型微生物促生长剂及保健剂的研发具有广阔的发展前景。然而益生菌的调控机理尚未完善、优良菌种缺乏且质量参差不齐、安全性尚无明确定论、微生物添加剂相关标准尚未完善等问题至今未能解决,限制了微生物饲料添加剂的推广与发展。因此,需要进一步深入探索益生菌调控机理、筛选良种、评价其有效性和安全性、配套相应标准及技术,不仅对畜禽养殖生产应用具有指导意义,而且对畜牧业的健康养殖及生态农业的发展也具有重大的推动作用。

参考文献:

[1] KONSTANTINOV S R, SMIDT H, AKKERMANS A D, et al. Feeding of *Lactobacillus sobrius* reduces *Escherichia coli* F4 levels in the gut and promotes growth of infected piglets[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2008, 66(3): 599-607.

[2] HU S L, WANG L, JIANG Z Y. Dietary additive probiotics modulation of the intestinal microbiota[J]. Protein & Peptide Letters, 2017, 24(5): 382-387.

[3] SIGGERS R H, SIGGERS J, BOYE M, et al. Early administration of probiotics alters bacterial colonization and limits diet-induced gut dysfunction and severity of necrotizing enterocolitis in preterm pigs[J]. The Journal of Nutrition, 2008, 138(8): 1437-1444.

[4] LIU H, ZHANG J, ZHANG S H, et al. Oral administration of *Lactobacillus fermentum* I5007 favors intestinal development and alters the intestinal microbiota in formula-fed piglets[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(4): 860-866.

[5] DEMECKOVÁ V, KELLY D, COUTTS A G P, et al. The effect of fermented liquid feeding on the faecal microbiology and colostrum quality of farrowing sows [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 79(1/2): 85-97.

[6] MORAN C A, SCHOLTEN R H, TRICARICO J M, et al. Fermentation of wheat: effects of backslopping different proportions of pre-fermented wheat on the microbial and chemical composition[J]. Archives of Animal Nutrition, 2006, 60(2): 158-169.

[7] CASEY P G, GARDINER G E, CASEY G, et al. A five-strain probiotic combination reduces pathogen shedding and alleviates disease signs in pigs challenged with *salmonella enterica* serovar Typhimurium [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 73(6): 1858-1863.

[8] QIAO J Y, LI H H, WANG Z X, et al. Effects of *Lactobacillus acidophilus* dietary supplementation on the performance, intestinal barrier function, rectal microflora and serum immune function in weaned piglets challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide [J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 2015, 107(4): 883-891.

[9] PAJARILLO E A B, CHAE J P, BALOLONG M P, et al. Characterization of the fecal microbial communities of duroc pigs using 16S rRNA gene pyrosequencing [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2015, 28(4): 584-591.

[10] BÖHMER B M, KRAMER W, ROTH-MAIER D A. Dietary probiotic supplementation and resulting effects on performance, health status, and microbial characteristics of primiparous sows[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2006, 90(7/8): 309-315.

[11] TARAS D, VAHJEN W, MACHA M, et al. Performance, diarrhea incidence, and occurrence of *Escherichia coli* virulence genes during long-term administration of a probiotic *Enterococcus faecium* strain to sows and piglets[J]. Journal of Animal Science, 2006, 84(3): 608-617.

[12] TARAS D, VAHJEN W, MACHA M, et al. Response of performance characteristics and fecal consistency to long-lasting dietary supplementation with the probiotic strain *Bacillus cereus* var. toyoi to sows and piglets [J]. Archives of Animal Nutrition, 2005, 59(6): 405-417.

[13] CHE L Q, XU Q, WU C, et al. Effects of dietary live yeast supplementation on growth performance, diarrhoea severity, intestinal permeability and immunological parameters of weaned piglets challenged with enterotoxigenic *Escherichia coli* K88[J]. British Journal of Nutrition, 2017, 118(11): 949-958.

[14] 张丽.新型酵母培养物的制备及其对断奶仔猪生长性能、表观消化率和粪便微生物的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2016.

[15] DI GIANCAMILLO A, VITARI F, SAVOINI G, et al. Effects of orally administered probiotic *Pediococcus acidilactici* on the small and large intestine of weaning piglets. A qualitative and quantitative micro-anatomical study [J]. Histology and Histopathology, 2008, 23(6): 651-664.

[16] REUNANEN J, KAINULAINEN V, HUUSKONEN L, et al. *Akkermansia muciniphila* adheres to entero-

cytes and strengthens the integrity of the epithelial cell layer[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2015,81(11):3655-3662.

[17] CHAFFANEL F, CHARRON-BOURGOIN F, SOLIGOT C, et al. Surface proteins involved in the adhesion of *Streptococcus salivarius* to human intestinal epithelial cells[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018,102(6):2851-2865.

[18] CAZORLA S I, MALDONADO-GALDEANO C, WEILL R, et al. Oral administration of probiotics increases Paneth cells and intestinal antimicrobial activity[J]. Frontiers in Microbiology, 2018,9:736.

[19] SZABÓ I, WIELER L H, TEDIN K, et al. Influence of a probiotic strain of *Enterococcus faecium* on *Salmonella enterica* serovar typhimurium DT104 infection in a porcine animal infection model[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2009,75(9):2621-2628.

[20] RUIZ P A, HOFFMANN M, SZCESNY S, et al. Innate mechanisms for *Bifidobacterium lactis* to activate transient pro-inflammatory host responses in intestinal epithelial cells after the colonization of germ-free rats[J]. Immunology, 2005,115(4):441-450.

[21] ZANELLO G, BERRI M, DUPONT J, et al. *Saccharomyces cerevisiae* modulates immune gene expressions and inhibits ETEC-mediated ERK1/2 and p38 signaling pathways in intestinal epithelial cells[J]. PLoS One, 2011,6(4):e18573.

[22] LEVINE B, KLIONSKY D J. Development by self-digestion: molecular mechanisms and biological functions of autophagy[J]. Developmental Cell, 2004,6(4):463-477.

[23] ZHANG L, XU Y Q, LIU H Y, et al. Evaluation of *Lactobacillus rhamnosus* GG using an *Escherichia coli* K88 model of piglet diarrhoea: effects on diarrhoea incidence, faecal microflora and immune responses[J]. Veterinary Microbiology, 2010,141(1/2):142-148.

[24] SIRICHOKCHATCHAWAN W, PUPA P, PRAECHANSRI P, et al. Autochthonous lactic acid bacteria isolated from pig faeces in Thailand show probiotic properties and antibacterial activity against enteric pathogenic bacteria[J]. Microbial Pathogenesis, 2018,119:208-215.

[25] LAN R X, LEE S I, KIM I H. Effects of multistrain probiotics on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, faecal microbial shedding, faecal score and noxious gas emission in weaning pigs[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2016,100(6):1130-1138.

[26] KREUZER S, JANCZYK P, ABMUS J, et al. No beneficial effects evident for *Enterococcus faecium* NCIMB 10415 in weaned pigs infected with *Salmonella enterica* serovar Typhimurium DT104[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2012, 78(14): 4816-4825.

[27] KIM E Y, KIM Y H, RHEE M H, et al. Selection of *Lactobacillus* sp. PSC101 that produces active dietary enzymes such as amylase, lipase, phytase and protease in pigs[J]. The Journal of General and Applied Microbiology, 2007,53(2):111-117.

[28] LIU W C, DEVI S, PARK J, et al. Effects of complex probiotic supplementation in growing pig diets with and without palm kernel expellers on growth performance, nutrient digestibility, blood parameters, fecal microbial shedding and noxious gas emission[J]. Animal Science Journal, 2018,89(3):552-560.

[29] 李方方,张慧,朱宇旌,等.微胶囊益生菌对肥育猪生长性能、血清生化指标及营养物质表观消化率的影响[J].养猪,2016(5):9-12.

[30] HUANG C H, QIAO S Y, LI D F, et al. Effects of *Lactobacilli* on the performance, diarrhea incidence, VFA concentration and gastrointestinal microbial flora of weaning pigs[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2004,17(3):401-409.

[31] 史慧玲,杨福,郝晓鸣,等.不同的益生菌组合对保育猪粪污氮磷减排的影响[J].饲料研究,2015(10):24-27.

[32] LE BON M, DAVIES H E, GLYNN C, et al. Influence of probiotics on gut health in the weaned pig[J]. Livestock Science, 2010,133(1/2/3):179-181.

[33] LV C H, WANG T, REGMI N, et al. Effects of dietary supplementation of selenium-enriched probiotics on production performance and intestinal microbiota of weanling piglets raised under high ambient temperature[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2015,99(6):1161-1171.

[34] GAN F, REN F, CHEN X X, et al. Effects of selenium-enriched probiotics on heat shock protein mRNA levels in piglet under heat stress conditions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013,61(10):2385-2391.

[35] ALEXOPOULOS C, GEORGOULAKIS I E, TZIVARA A, et al. Field evaluation of the efficacy of a probiotic containing *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis* spores, on the health status and perform-

ance of sows and their litters[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2004,88(11/12):381-392.

[36] KHAFIPOUR E, MUNYAKA P M, NYACHOTI C M,et al.Effect of crowding stress and *Escherichia coli* K88$^+$ challenge in nursery pigs supplemented with anti-*Escherichia coli* K88$^+$ probiotics[J].Journal of Animal Science,2014,92(5):2017-2029.

[37] MENG Q W,YAN L,AO X,et al.Influence of probiotics in different energy and nutrient density diets on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,and blood characteristics in growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2010,88(10):3320-3326.

[38] DAVIS M E, PARROTT T, BROWN D C, et al. Effect of a *Bacillus*-based direct-fed microbial feed supplement on growth performance and pen cleaning characteristics of growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,2008,86(6):1459-1467.

[39] 呼红梅,林松,武英,等.饲粮添加益生菌对猪生长性能和肉品质的影响[J].养猪,2017(2):50-53.

[40] DOWARAH R,VERMA A K,AGARWAL N,et al. Efficacy of species-specific probiotic *Pediococcus acidilactici* FT28 on blood biochemical profile,carcass traits and physicochemical properties of meat in fattening pigs[J].Research in Veterinary Science,2018,117:60-64.

[41] SUO C,YIN Y S,WANG X N,et al.Effects of *Lactobacillus plantarum* ZJ316 on pig growth and pork quality[J].BMC Veterinary Research,2012,8:89.

[42] ZEYNER A,BOLDT E.Effects of a probiotic *Enterococcus faecium* strain supplemented from birth to weaning on diarrhoea patterns and performance of piglets[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2006,90(1/2):25-31.

[43] 何佳,李慧,曾新福,等.复合益生菌对断奶仔猪生长性能、粪便微生物菌群和免疫功能的影响[J].饲料研究,2017(18):21-24.

[44] 吴宁,杨加梅,张旭,等.中草药、益生菌、酸化剂联合添加替代抗生素在保育猪阶段的研究[J].饲料工业,2013(16):13-15.

[45] 王艳,皮斌,张三军.益生菌发酵饲料对仔猪生长和免疫功能的影响[J].兽医导刊,2018(3):18-19.

[46] 段明房,胡红伟,闫凌鹏,等.中草药益生菌复合制剂对生长猪血液常规、血清生化和血清免疫指标的影响[J].中国饲料,2018(3):54-59.

[47] JEONG J S,KIM I H.Effect of probiotic bacteria-fermented medicinal plants (*Gynura procumbens*, *Rehmannia glutinosa*, *Scutellaria baicalensis*) as performance enhancers in growing pigs[J].Animal Science Journal,2015,86(6):603-609.

[48] INATOMI T, AMATATSU M, ROMERO-PÉREZ G A,et al.Dietary probiotic compound improves reproductive performance of porcine epidemic diarrhea virus-infected sows reared in a Japanese commercial swine farm under vaccine control condition[J].Front Immunol,2017,8:1877.

Function and Application of Probiotics in Pig Breeding

TIAN Zhimei JIANG Zongyong WANG Li MA Xianyong*

(*Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, State Key Laboratory of Livestock and Poultry Breeding, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangdong Engineering Technology Research Center of Animal Meat quality and Safety Control and Evaluation, Guangzhou* 510640, *China*)

Abstract: Probiotics is one kind of microbiological preparations, which is widely used a feed additive and alternative to antibiotics in the field of agriculture. Combined with the latest domestic and abroad research, this article reviews several aspects including the effects of probiotics on intestinal health, nutrient utilization and stress, and its application in pig breeding. The aim of this article is to provide theoretical reference for the deep excavation and application of probiotics a feed additive in pig breeding. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(3):1020-1030**]

Key words: probiotics; feed additive; pigs; breeding; application

* Corresponding author, professor, E-mail: 407986619@qq.com

(责任编辑 陈 鑫)