文章编号:1008-1542(2016)05-0503-06 doi:10.7535/hbkd.2016yx05012

枯草芽孢杆菌微生态制剂在禽畜养殖中的作用

周晓辉[1],李 威[1],刘 浩[2]

(1.河北科技大学生物科学与工程学院,河北石家庄 050018;2.河北科技大学继续教育学院,河北石家庄 050018)

摘 要:枯草芽孢杆菌作为一种绿色健康的微生态制剂,具有调节动物肠道平衡、促进营养吸收、提高免疫能力等功能。微生态制剂是抗生素的理想替代品之一,因其可有效防治动物疾病,并且无毒副作用,无残留污染,不产生抗药性,还能促进动物生长发育而在禽畜养殖中广泛应用。通过综述枯草芽孢杆菌的特性、作用机理以及枯草芽孢杆菌微生态制剂在禽畜养殖中的效果,分析了目前微生态制剂存在的问题及解决措施,并展望了其未来发展方向,为后续禽畜养殖提供借鉴和参考。

关键词:动物营养学;枯草芽孢杆菌;微生态制剂;禽畜养殖;作用

中图分类号:Q819 **文献标志码:**A

Effect of *Bacillus subtilis* microecological probiotics on livestock breeding

ZHOU Xiaohui[1], LI Wei[1], LIU Hao[2]

(1. School of Bioscience and Bioengineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China; 2. School of Continuing Education, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: As a kind of green and healthy microecologics, *Bacillus subtilis* could balance the intestinal flora, promote the nutrient absorption and enhance immunity. Microecologics is one of the ideal antibiotics alternative, which are effective in preventing and treating animal disease and promoting the growth and development of the animal. Because of its advantages, such as no toxin side effect and no residual or drug-resistant, microecologics has been used in livestock breeding widely. Here, we concluded the characteristics and mechanism of *Bacillus subtilis*, elaborated application of microecologics on livestock breeding, discussed its problems and suggested its solved methods. In the end, the future of microecologics was expected in order to provide a reference for subsequent livestock breeding.

Keywords: animal nutrition; *Bacillus subtilis*; microecologics; livestock breeding; effect

饲用抗生素在禽畜养殖上发挥着巨大的作用,但是随着研究的深入,饲用抗生素在禽畜养殖上的种种弊端逐渐暴露,诸如:禽畜自身免疫能力下降,使生物体产生耐药性以及药物残留影响人类健康等。2015 年第一季度家禽疾病监测报告显示,国内检出的疫病主要以禽流感、新城疫、鸡传染性支气管炎、法氏囊病毒、沙门氏菌、大肠杆菌、葡萄球菌为主。食源性疾病对人类的危害不容忽视,全球 70% 的儿童腹泻是由食用了感染致病微生物的食品引起的,2011—2012 年陈炯等[1]对上海食品中食源性致病菌的检测显示,阳性总检出

收稿日期:2016-03-14;修回日期:2016-04-08;责任编辑:王海云

基金项目:国家自然科学基金(31270077,31100044);教育部留学回国人员科研启动基金(4720131792)

作者简介:周晓辉(1975—),女,黑龙江齐齐哈尔人,教授,博士,主要从事微生物工程方面的研究。

E-mail:zhouxh2003@aliyun.com

周晓辉,李 威,刘 浩.枯草芽孢杆菌微生态制剂在禽畜养殖中的作用[J].河北科技大学学报,2016,37(5):503-508.

ZHOU Xiaohui, LI Wei, LIU Hao. Effect of *Bacillus subtilis* microecological probiotics on livestock breeding[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2016, 37(5): 503-508.

率是 15.8%，禽畜肉类以沙门氏菌感染最为严重。2010—2013 年贺连华等[2]分析了深圳食品中沙门氏菌对 21 种抗生素的耐药性，结果显示沙门氏菌对链霉素等 15 种抗生素表现出不同程度的耐药性，且出现多重耐药现象，仅对头孢吡肟、美洛培南 100%敏感。此外，抗生素残留已成为严重制约动物源性食品发展的因素，既影响动物性食品质量，又威胁人类健康[3]。中国出产的一些动物源性食品（如鱼虾、禽肉、奶制品等）均曾被检测出抗生素类药物残留，残留率高低不等，尤其在禽肉类和牛奶中残留较为严重[4]。

2012 年，《抗菌药物临床应用管理办法》开始实施，抗生素的使用受到限制，某些抗生素被禁用，由此各种可替代药物应运而生，主要包括：生物体诱导产生的抗菌肽、利用益生菌研制的微生态制剂、短支链分支的寡糖、具有天然生物活性的糖萜素、具有生物催化性质的酶制剂、饲用酸化剂以及中草药饲料添加剂等[5]。在诸多饲用抗生素替代品中，微生态制剂无毒副作用，且具有防治疾病等功效[6]。由于益生菌自发现、研究到后来的开发及应用，其种类特性、作用机制逐渐清晰，微生态制剂的临床应用研究较为广泛，在预防和治疗疾病方面凸显出优越性。如今常用的微生态制剂有乳酸杆菌制剂、酵母菌制剂、芽孢杆菌制剂等[7]。枯草芽孢杆菌本身无毒无害，广泛存在于自然界中，并且它产芽孢容易存活、繁殖，具有调节动物肠道、抵御疾病、促进生长等功能，是目前生产微生态制剂常用的模式菌株，具有广阔的发展前景。

1 枯草芽孢杆菌的特性

早在 1872 年，COHN 命名了枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*），发展到现在已成为芽孢菌科重要的模式菌株之一。从其菌落特征上讲，它的菌落粗糙不透明、扩张、呈污白色或微黄色[8]；从其生物学特性上看，它具有嗜温、好氧、产芽孢的特性，具有极强的耐受力，能产生多种酶[9]。李雅丽等[10]比较了枯草芽孢杆菌 B_1、枯草芽孢杆菌 B_2、凝结芽孢杆菌 B_3、纳豆芽孢杆菌 B_4、蜡样芽孢杆菌 B_5 和地衣芽孢杆菌 B_6 这 6 株芽孢杆菌的生物学特性，其中枯草芽孢杆菌 B_1 中蛋白酶的活性远高于其他的芽孢杆菌，且枯草芽孢杆菌 B_1，B_2 也有较高的淀粉酶活性。巨向红等[11]研究了枯草芽孢杆菌的饲料学特性，将枯草芽孢杆菌在 37～100 ℃不同温度梯度的水浴中处理 10 min 后培养，其存活率会随处理温度的升高而降低，但经 100 ℃高温处理的枯草芽孢杆菌其存活率依然在 85%以上，原因是产生了抗逆性很强的内生芽孢；在 pH 值为 2 的强酸性环境中培养 60 min，存活率仍在 50%以上；在 1%～5%（质量分数）的胆盐中生长存活率随胆盐浓度升高而降低，但均大于 100%。张日俊[12]在理想益生菌菌株选择规程中阐述了多项标准，如无毒性、无病原性、能准确分类鉴定、在肠道定植并产生抗菌物质、能与病原菌拮抗、起到免疫作用等。枯草芽孢杆菌作为批准使用的益生菌具有诸多优良的特性，因此常作为微生物饲料添加剂的优良菌种[13]。

2 枯草芽孢杆菌的作用机制

2.1 调节肠道菌群

禽畜肠道内的菌群分为好氧菌和厌氧菌，正常情况下有益菌绝大多数为厌氧菌，若动物肠道内厌氧菌数量下降，好氧菌数量增多，便会使得禽畜肠道失衡，而影响身体机能。枯草芽孢杆菌是需氧菌，进入动物肠道后，可以消耗肠道内的氧，抑制有害好氧菌的生长，为有益厌氧菌提供良好的生长环境，避免肠道疾病的发生[14]。马春阳等[15]的研究表明，枯草芽孢杆菌 PB6 活性菌株能分泌细菌素，直接消灭魏氏梭菌，并且消耗肠道内的氧，抑制大肠杆菌、沙门氏菌的生长，促进乳酸杆菌、双歧杆菌这些有益厌氧菌的繁殖。此外，枯草芽孢杆菌能产生多种抗菌物质，可抑制真菌、细菌、病毒等的生长，这些抗菌物质包括脂肽类、肽类、磷脂类、多烯类、氨基酸类、核酸类等[16]，其中脂肽类是枯草芽孢杆菌产生的最重要的抗菌物质[17]。

2.2 促进营养吸收

机体可利用的营养物质非常丰富，但要靠其自身的产酶系统进行分解是远远不够的，有研究表明枯草芽孢杆菌在机体中能发挥营养素的作用，被禽畜摄入后，它能分泌多种消化酶，如蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶、纤维素酶等，这些酶可以补充生物体内酶的不足，使饲料中较复杂的碳水化合物、蛋白质、脂肪等营养物质被分解，从而促进吸收，使得摄入饲料的消化率和利用率得到提高[18]。此外，枯草芽孢杆菌还可以代谢产生维生素、蛋白质、氨基酸等，这些物质在机体内能够起到很好的营养调控作用[19]。

2.3 提高机体免疫力

枯草芽孢杆菌能够改善肠道上皮细胞的免疫功能，进而增强机体免疫。首先，作为益生菌能够促进杯状

细胞分泌黏液，保护肠道上皮细胞黏膜抵御病原微生物的破坏。其次，加强肠道上皮细胞之间紧密连接程度，阻止细菌等的入侵，GU 等[20]研究证明，枯草芽孢杆菌能改善猪肠道上皮屏障功能，通过 ZO-1 蛋白表达使猪肠上皮细胞紧密连接，从而保护肠道免受毒素损伤。此外，由双歧杆菌和乳酸杆菌等益生菌组成的肠腔深层菌膜群竞争性黏附在肠道上皮细胞上，阻止病原微生物侵附黏膜[12]。最后，枯草芽孢杆菌通过激活免疫反应增强机体免疫功能，能够激活 B 细胞产生免疫球蛋白，激发体液免疫；通过激活 T 细胞产生细胞因子，激发细胞免疫；促进巨噬细胞、树突状细胞发挥吞噬作用（见图 1）[21]。

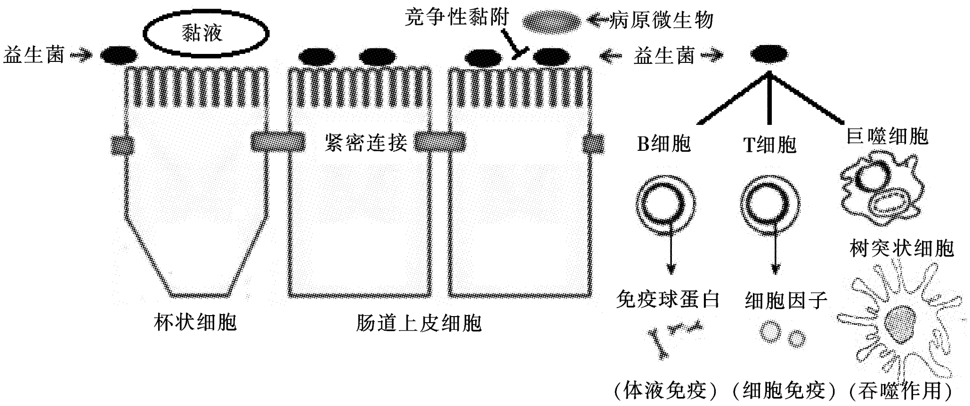

图 1　肠道免疫示意图

Fig. 1　Schematic diagram of intestinal immune

3　枯草芽孢杆菌微生态制剂在禽畜养殖中的作用

3.1　对鸡的作用

枯草芽孢杆菌能够促进鸡的生长，提高产蛋率、蛋质量、蛋壳品质，调节肠道菌群，改善肠道结构，增强免疫功能，并且对黄曲霉毒素有一定的降解作用。马春阳等[15]通过研究饲料中添加不同浓度的枯草芽孢杆菌 PB6（全程不添加抗生素）对蛋鸡生产性能、肠道菌群以及抗体效价的影响发现，实验组鸡比对照组鸡的产蛋率、蛋重、料蛋比明显要高（$P<0.05$），盲肠中乳酸杆菌、双歧杆菌的数量有所增加，盲肠与粪便中的大肠杆菌数量降低，肠道黏膜结构更完整、绒毛高度提高（$P<0.05$），十二指肠和空肠的隐窝深度、肠基层厚度明显改善（$P<0.05$）；同时发现添加量不是越大越好，100 g/t 时各项指标较好；研究表明添加了枯草芽孢杆菌后机体内新城疫抗体和禽流感 H5，H9 抗体均明显增加。SEN 等[22]阐明枯草芽孢杆菌作为家禽生产上的益生菌，能产生抵抗高温以及恶劣环境的芽孢，并且枯草芽孢杆菌 LS1-2 以 0.3%（质量分数）的添加量加入肉鸡日粮中，能够起到生长促进剂的作用。RIBEIRO 等[23]研究发现在鸡日常饮食中添加枯草芽孢杆菌，能提高蛋的质量。ABDELQADER 等[24]研究显示添加枯草芽孢杆菌能提高蛋壳品质，对照组的蛋壳厚度和密度是最小的，而添加枯草芽孢杆菌后蛋壳厚度及密度均有所提高，避免了蛋壳破碎、软壳或无壳等原因造成的市场滞销。刘明超等[25]在对肉鸡的研究中，对照组饲喂基础日粮，实验一组在基础日粮中添加 100 g/t 阿维拉霉素，实验二组在基础日粮中添加 300 g/t 枯草芽孢杆菌 HB1，结果表明实验二组肉鸡比对照组和实验一组的平均日增重有所提高，料肉比有所降低；对肉鸡血液中 IgG 含量分析表明，实验二组比对照组提高了 2.26 倍，比实验一组提高了 1.75 倍（$P<0.05$）；对免疫器官指数的研究表明，3 组肉鸡的法氏囊指数、脾脏指数差异不大，而实验二组胸腺指数比其他 2 组都高。另外实验二组十二指肠的绒毛长度与隐窝深度比值（V/C）比对照组提高了 80.53%，比实验一组提高了 33.72%；空肠和回肠的 V/C 比对照组分别提高了 74.29%和 177.60%。JAYARAMAN 等[26]研究表明，枯草芽孢杆菌 PB6 能抑制产气荚膜梭菌的生长，改善鸡肠道健康，避免肉鸡感染坏死性肠炎。FAN 等[27]研究表明饲料中含有 70 μg/kg 的黄曲霉毒素就会影响肉鸡的生长水平以及肉质，而日粮中添加枯草芽孢杆菌 ANSB060 后就能大大抵消黄曲霉毒素对肉鸡的不良影响、改善肉质、减少黄曲霉毒素在肝脏中的残留。

3.2　对仔猪的作用

枯草芽孢杆菌微生态制剂有助于提高仔猪的生长性能，降低腹泻率，增强免疫功能，改善健康状况。熊

小文等[28]通过研究添加不同水平的枯草芽孢杆菌制剂，证实了其对断奶仔猪生长性能的影响，并探索出枯草芽孢杆菌的最佳添加量；参照仔猪日粮饲喂标准设定0，0.03%，0.05%，0.07%(质量分数)4组添加水平，进行了28 d的试验，结果表明，第二、三、四试验组相比对照组仔猪平均日增重、平均日采食量均有提高，料重比均降低，其中第三、四组效果更显著，且差异不大；同时，对照组仔猪腹泻率最大，其他3个试验组腹泻率分别降低了1.33%，4.91%，5.35%；另外，试验组仔猪精神状态明显优于对照组，没有出现耳朵耷拉、食欲不振等萎靡状态。祝天龙等[29]通过研究枯草芽孢杆菌对仔猪免疫性能的影响，测定了血清中IgG，IgA，IgM含量及补体C3，C4的水平，结果表明添加了枯草芽孢杆菌制剂的试验组仔猪血清IgG，IgA，补体C3，C4均有提高，IgM虽然没有明显提高，但是有增长趋势($P<0.05$)。ZHAO等[30]设置对照组、抗生素组、微生物菌剂组，对仔猪生长性能、营养消化率、粪便菌群及有害气体排放等进行研究，结果表明饲喂微生物菌剂能提高生长性能、减少粪便中大肠杆菌数量、提高养分消化率、降低NH_3和H_2S等有害气体的排放，并且表明益生菌菌剂是抗生素的良好替代品。TSUKAHARA等[31]研究表明，口服枯草芽孢杆菌DB9011能够抑制大肠杆菌的活性，减少仔猪回肠中大肠杆菌的数量，从而使仔猪水肿病得到改善。

3.3　对牛羊的作用

枯草芽孢杆菌制剂可以促进犊牛生长，提高犊牛免疫力，提高奶牛产奶量，并且对牛羊细菌性腹泻有很好的治疗和预防作用。SUN等[32]通过添加纳豆枯草芽孢杆菌对断奶犊牛生长性能及免疫功能进行了研究，结果表明纳豆枯草芽孢杆菌提高了断奶犊牛的日增重量和饲料利用率，血浆中IgE，IgA和IgM的含量没有明显变化，但是IgG的含量明显增大，并且能够分泌更多的IFN-γ。随着小牛年龄的增长，直接饲喂微生物能促进瘤胃的发育，使断奶年龄提前。SUN等[33]研究表明，纳豆枯草芽孢杆菌能够促进小牛瘤胃发育，使得瘤胃壁发育良好，表面覆盖更柔软、灵活的舌型乳头状突起，通过补充纳豆枯草芽孢杆菌Na和N1可增加乳头状突起的密度，提高短链脂肪酸的吸收率。胡红莲等[34]研究了枯草芽孢杆菌微生态制剂在奶牛日粮中的应用效果，结果显示添加枯草芽孢杆菌菌剂后提高了奶牛的产奶量，高剂量菌剂能降低体细胞数，使牛奶卫生指标得到改善，经济收益率也得到提高。梁晋琼等[35]对腹泻的中国荷斯坦犊牛和生产奶牛进行了治疗，结果显示灌服枯草芽孢杆菌TP7210制剂对腹泻犊牛和生产奶牛均有很好的止泻效果，起到了治疗作用。此外，试验表明该菌剂对用大肠杆菌攻毒的羔羊也起到治疗作用，并且能够预防保护，预防保护率达70%。刘国仕[36]研究表明，芽孢杆菌微生态制剂具有提高羔羊育肥效果和屠宰性能的作用，并且测定了羊肉、羊粪中的有害物质，结果表明其有害物质的含量低于国家无公害食品含量标准。范利霞[37]研究表明，枯草芽孢杆菌对胆盐的耐受力较强，并且对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌具有一定的抑制作用，与其他益生菌无拮抗作用，制成复合菌剂时，能提高羊吞噬细胞的功能，使绵羊口蹄疫抗体效价提高，进而增强绵羊的免疫功能。

4　问题与展望

当前，以枯草芽孢杆菌为代表的微生态制剂被认为是禽畜养殖中无污染、无残留、无毒副作用的绿色健康添加剂，然而制剂使用过程中存在着一定的问题与不足。首先，枯草芽孢杆菌微生态制剂种类繁多，作用效果在宏观上具有一致性，但是不同菌剂的具体作用机制并非完全一样，而不同禽畜本身的机体性能也不一样，因此需要结合禽畜机体特点有针对性地进行用药。其次，禽畜养殖者对市场上所售菌剂的功效及对禽畜的作用关系没有清楚的了解，可能会因销售人员的推广而盲目选择，所以需要技术人员提供关于用法、用量等的明确的指导。第三，具有良好的生防效果、安全性、稳定性的菌剂产品价格较贵，制剂化过程困难，产品稳定性差，因此为实现大规模产业化生产枯草芽孢杆菌菌剂，需重点研究如何优化生产工艺，降低菌剂产品成本，提高经济效益。另外，微生态制剂产品在推广应用上还存在着一定的难度[38]。最后，菌剂的质量监管也应得到重视，市场上不乏劣质的菌剂，出台相应的法律法规来保障绿色健康菌剂的发展是十分必要的[39]。枯草芽孢杆菌微生态制剂从研发到生产再到应用，各个环节都不可松懈，以其自身的优越性以及它所带来的经济效益，必将越来越受到人们的重视。微生态制剂未来的研究方向主要在提高菌株定植力和抗逆性，以及与中草药、酸化剂及寡糖联用等方面。另外，注重基因工程技术的应用、对枯草代谢产物进行深入研究、复合微生态制剂的研发也将成为未来的发展方向[40]。

参考文献/References：

[1] 陈炯，顾其芳，刘诚，等. 2011—2012 年上海市食品中食源性致病菌的监测结果分析[J]. 上海预防医学，2014，26(4)：169-172.
CHEN Jiong，GU Qifang，LIU Cheng，et al. Monitoring results on food-borne pathogens in food in Shanghai from 2011 to 2012[J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine，2014，26(4)：169-172.

[2] 贺连华，吴平芳，陈妙玲，等. 2010 年—2013 年深圳市食品中沙门菌血清分型及耐药分析[J]. 中国卫生检验杂志，2015，25(2)：289-291.
HE Lianhua，WU Pingfang，CHEN Miaoling，et al. Serotyping and drug resistance analysis of *Salmonella* in food in Shenzhen from 2010 to 2013[J]. Chin J Health Lab Tec，2015，25(2)：289-291.

[3] 张亚莉，哈婧，赵静，等. 动物组织中抗生素残留研究进展[J]. 河北科技大学学报，2013，34(6)：517-525.
ZHANG Yali，HA Jing，ZHAO Jing，et al. Research development of antibiotics residue in animal tissues[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology，2013，34(6)：517-525.

[4] 郑冰，苏淑娴. 抗生素类药物残留的现状、危害及对策[J]. 分析试验室，2010，29(sup)：285-288.

[5] 许英民. 可替代抗生素药物的种类及其在养禽上的应用[J]. 家禽科学，2015(10)：44-46.

[6] 韩春. 微生态制剂的制备与效果研究[D]. 济南：山东农业大学，2013.
HAN Chun. The Study on Preparation and Effect of Microecologics[D]. Jinan：Shandong Agricultural University，2013.

[7] 田木. 益生菌复合微生态制剂的制备工艺及免疫功能研究[D]. 长春：吉林大学，2015.
TIAN Mu. The Research on Processing Technology and Immunity Function of Composite Probiotics[D]. Changchun：Jilin University，2015.

[8] 王苇，秦瑶，李爽，等. 枯草芽孢杆菌微生态制剂的研究进展[J]. 中国畜牧兽医，2013，40(11)：217-220.
WANG Wei，QIN Yao，LI Shuang，et al. Research progress on microecological preparation of *Bacillus subtilis*[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine，2013，40(11)：217-220.

[9] 李佳. 枯草杆菌特征和应用现状[J]. 肉类研究，2009(11)：18-21.
LI Jia. Applied characters and status of *Bacillus subtilis*[J]. Meat Research，2009(11)：18-21.

[10] 李雅丽，秦艳，周绪霞，等. 6 株芽孢杆菌的生物学特性比较研究[J]. 中国畜牧兽医，2011，38(4)：62-66.
LI Yali，QIN Yan，ZHOU Xuxia，et al. Comparative study on biological characteristics of six *Bacillus* strains[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine，2011，38(4)：62-66.

[11] 巨向红，叶小妹，张金燕，等. 一株枯草芽孢杆菌的饲料学特性研究[J]. 中国草食动物科学，2015(4)：32-35.
JU Xianghong，YE Xiaomei，ZHANG Jinyan，et al. Study on the feed performance of a strain of *Bacillus subtilis*[J]. China Herbivore Science，2015(4)：32-35.

[12] 张日俊. 动物微生态制剂(益生菌)的标准、评价规程、功能和发展趋势[J]. 饲料工业，2015，36(4)：1-7.
ZHANG Rijun. Standards，assessment procedures，biological functions and development trends of animal probiotics[J]. Feed Industry，2015，36(4)：1-7.

[13] 王玉丽. 腐熟用枯草芽孢杆菌菌剂的研制[D]. 石家庄：河北科技大学，2015.
WANG Yuli. Study on Microbial Agent of *Bacillus Subtilis* for Animal Manure Composting[D]. Shijiazhuang：Hebei University of Science and Technology，2015.

[14] 侯玉洁，侯小辉，张建刚. 枯草芽孢杆菌微生态制剂在动物生产中的应用[J]. 饲料博览，2012(3)：37-40.
HOU Yujie，HOU Xiaohui，ZHANG Jiangang. Research progress of probiotics *Bacillus* feed additives and their application in animals[J]. Feed Review，2012(3)：37-40.

[15] 马春阳，罗正，李鸿博，等. 微生态制剂对蛋鸡生长性能和肠道菌群及抗体效价的影响[J]. 中国畜牧杂志，2015，51(5)：60-64.
MA Chunyang，LUO Zheng，LI Hongbo，et al. Effect of microbial ecological agents on growth performance，intestinal microorganism and antibody level of laying hens[J]. Chinese Journal of Animal Science，2015，51(5)：60-64.

[16] 王帅，高圣风，高学文，等. 枯草芽孢杆菌脂肽类抗生素发酵和提取条件[J]. 中国生物防治，2007，23(4)：342-347.
WANG Shuai，GAO Shengfeng，GAO Xuewen，et al. Fermentation optimization in lipopeptide productivity of *Bacillus subtilis* G1[J]. Chinese Journal of Biological Control，2007，23(4)：342-347.

[17] 王宗伟，李法增，杨志平，等. 枯草芽孢杆菌在畜禽营养上的研究进展[J]. 中国畜牧杂志，2015，51(1)：80-83.
WANG Zongwei，LI Fazeng，YANG Zhiping，et al. Research progress on *Bacillus subtilis* in animal nutrition[J]. Chinese Journal of Animal Science，2015，51(1)：80-83.

[18] 惠明，窦丽娜，田青，等. 枯草芽孢杆菌的应用研究进展[J]. 安徽农业科学，2008，36(27)：11623-11624.
HUI Ming，DOU Lina，TIAN Qing，et al. Advances in application research of *Bacillus subtilis*[J]. Journal of Anhui Agricultural Science，2008，36(27)：11623-11624.

[19] 张爱武，薛军. 枯草芽孢杆菌在动物生产中的应用效果[J]. 中国畜牧兽医，2011，38(4)：234-238.
ZHANG Aiwu，XUE Jun. Effect of *Bacillus subtilis* in animal production[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine，2011，38(4)：234-238.

[20] GU M J，SONG S K，PARK S M，et al. *Bacillus subtilis* protects porcine intestinal barrier from deoxynivalenol via improved Zonula Occludens-1 epression[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences，2014，27(4)：580-586.

[21] 王利宾,孙利娜.枯草芽孢杆菌作用机制及其在养殖业中的应用研究进展[J].饲料博览,2015(1):35-38.
WANG Libin, SUN Lina. Research progress of *Bacillus subtilis* action mechanism and application in breeding industry[J]. Feed Review, 2015(1): 35-38.

[22] SEN S, INGALE S L, KIM Y W, et al. Effect of supplementation of *Bacillus subtilis* LS 1-2 to broiler diets on growth performance, nutrient retention, caecal microbiology and small intestinal morphology[J]. Research in Veterinary Science, 2012, 93(1): 264-268.

[23] RIBEIRO V, ALBINO L F T, ROSTAGNO H S, et al. Effects of the dietary supplementation of *Bacillus subtilis* levels on performance, egg quality and excreta moisture of layers[J]. Animal Feed Science and Technology, 2014, 195(9): 142-146.

[24] ABDELQADER A, AL-FATAFTAH A, DAS G. Effects of dietary *Bacillus subtilis* and inulin supplementation on performance, egg-shell quality, intestinal morphology and microflora composition of laying hens in the late phase of production[J]. Animal Feed Science and Technology, 2013, 179(1/2/3/4): 103-111.

[25] 刘明超,金融,徐雪梅,等.芽孢杆菌对肉鸡生产性能、免疫功能及肠道发育的影响[J].中国饲料,2015(23):18-20.

[26] JAYARAMAN S, THANGAVEL G, KURIAN H, et al. *Bacillus subtilis* PB6 improves intestinal health of broiler chickens challenged with *Clostridium perfringens*-induced necrotic enteritis[J]. Poultry Science, 2013, 92(2): 370-374.

[27] FAN Y, ZHAO L H, MA Q G, et al. Effects of *Bacillus subtilis* ANSB060 on growth performance, meat quality and aflatoxin residues in broilers fed moldy peanut meal naturally contaminated with aflatoxins[J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 59(9): 748-753.

[28] 熊小文,黄爱民.枯草芽孢杆菌制剂对断奶仔猪生长性能的影响试验[J].江西畜牧兽医杂志,2015(5):10-11.

[29] 祝天龙,李奎,邵强,等.枯草芽孢杆菌制剂对仔猪生长及免疫的影响[J].饲料研究,2015(3):26-31.

[30] ZHAO P Y, KIM I H. Effect of direct-fed microbial on growth performance, nutrient digestibility, fecal noxious gas emission, fecal microbial flora and diarrhea score in weanling pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 20(1):86-92.

[31] TSUKAHARA T, TSURUTA T, NAKANISHI N, et al. The preventive effect of *Bacillus subtilus* strain DB9011 against experimental infection with enterotoxcemic *Escherichia coli* in weaning piglets[J]. Animal Science Journal, 2013, 84(4): 316-321.

[32] SUN P, WANG J Q, ZHANG H T. Effects of *Bacillus subtilis* natto on performance and immune function of preweaning calves[J]. Journal of Dairy Science, 2010, 93(12): 5851-5855.

[33] SUN P, WANG J Q, ZHANG H T. Effects of supplementation of *Bacillus subtilis* natto Na and N1 strains on rumen development in dairy calves[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 164(3): 154-160.

[34] 胡红莲,张博,高民.枯草芽孢杆菌型微生态制剂在奶牛日粮中应用效果试验[J].饲料工业,2011, 32(18):52-55.

[35] 梁晋琼,柴桂珍,石晋虎.枯草芽孢杆菌活菌制剂对牛羊细菌性腹泻预防和治疗效果的研究[J].中国畜牧兽医,2007, 34(8):98-100.

[36] 刘国仕.微生态制剂对羔羊育肥和屠宰性能的影响及羊肉和羊粪中某些有害物含量的测定[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2008.
LIU Guoshi. Effects of Microecological Preparations on Lamb Fattening and Slaughter Performance[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2008.

[37] 范利霞.复合微生态制剂的研制及其对反刍动物免疫机能的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
FAN Lixia. The Development of Composite Probiotics on Ruminant Animals and Immunity Function[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.

[38] 王星云,宋卡魏,张荣意.枯草芽孢杆菌菌剂的开发应用[J].广西热带农业,2007(2):32-35.

[39] 王红,解庆柱,郇秀荣,等.微生态制剂在蛋鸡生产应用中的利与弊[J].家禽科学,2015(1):51-54.

[40] 毕英佐,谢青梅.动物肠道微生物及微生态制剂发展动态[J].中国家禽,2015, 37(4):1-4.