

仔猪断奶应激综合征的营养干预策略及分子机制

蒋红霞

澜沧县发展河乡农业农村发展服务中心

DOI:10.12238/as.v8i11.3446

[摘要] 仔猪断奶应激综合征(PWSS)是当前养殖业中一个极为突出的难题,它直接导致了断奶仔猪的生长速度显著减缓以及死亡率的大幅上升,成为制约养殖业发展的关键问题。其根本原因在于断奶过程中产生的应激反应,这种应激不仅引发了仔猪肠道屏障的严重损伤,还导致了免疫系统失衡以及代谢过程的紊乱。本文对PWSS的营养干预策略进行了全面而系统的综述,详细探讨了多种营养干预手段的应用机制。具体包括功能性氨基酸的应用,如谷氨酰胺和精氨酸在修复肠道屏障中的作用;益生菌与益生元的联合使用,如何通过调节肠道菌群来改善肠道健康;植物提取物的抗炎和抗氧化特性及其对仔猪免疫系统的调节作用;以及脂肪酸在维持肠道细胞结构和功能方面的关键作用。此外,文章还从分子层面深入解析了营养调控的具体作用机制,揭示了营养干预如何通过调控肠道紧密连接蛋白(如ZO-1、occludin)的表达,影响炎症信号通路(如NF- κ B、MAPK)的激活,以及调节肠道菌群与宿主之间的互作网络,从而有效缓解断奶应激带来的负面影响。研究表明,精准的营养干预策略能够显著增强仔猪的肠道屏障功能,调节其免疫应答,并改善肠道微生态的平衡状态,从而有效缓解PWSS的症状。这些发现为提高断奶仔猪的健康水平和生产性能提供了坚实的理论依据,对养殖业具有重要的指导意义。

[关键词] 仔猪断奶应激综合征; 营养干预; 肠道屏障; 免疫调节; 分子机制

中图分类号: R378.2 文献标识码: A

Nutritional intervention strategies and molecular mechanisms for piglet weaning stress syndrome

Hongxia Jiang

Lancang County River Town Agricultural and Rural Development Service Center

[Abstract] Post-weaning Stress Syndrome (PWSS) in piglets is a highly prominent problem in the current livestock industry. It directly leads to a significant slowdown in the growth rate of weaned piglets and a substantial increase in mortality rates, becoming a key issue that hinders the development of the livestock industry. The fundamental cause lies in the stress response generated during weaning, which not only causes severe damage to the intestinal barrier of piglets but also leads to immune system imbalance and metabolic disorders. This article provides a comprehensive and systematic review of the nutritional intervention strategies for PWSS, and thoroughly discusses the application mechanisms of various nutritional intervention methods. These include the application of functional amino acids, such as the role of glutamine and arginine in repairing the intestinal barrier; the combined use of probiotics and prebiotics, how to improve intestinal health by regulating the intestinal microbiota; the anti-inflammatory and antioxidant properties of plant extracts and their regulatory effects on the immune system of piglets; and the key role of fatty acids in maintaining the structure and function of intestinal cells. Additionally, the article delves into the specific mechanisms of nutritional regulation at the molecular level, revealing how nutritional intervention regulates the expression of tight junction proteins (such as ZO-1, occludin) to affect the activation of inflammatory signaling pathways (such as NF- κ B, MAPK), and regulates the interaction network between the intestinal microbiota and the host, thereby effectively alleviating the negative effects of weaning stress. The research results show that precise nutritional intervention strategies can significantly enhance the intestinal barrier function of piglets, regulate their immune response, and improve the balance of the intestinal microecology, thereby effectively alleviating the

symptoms of PWSS. These findings provide a solid theoretical basis for improving the health level and production performance of weaned piglets and have important guiding significance for the livestock industry.

[Key words] Piglet weaning stress syndrome; Nutritional intervention; Intestinal barrier; Immune regulation; Molecular mechanism

引言

仔猪断奶是养殖过程中的一个极为关键的节点,这一阶段通常伴随着饲料类型的转变、母子分离以及养殖环境的显著变化等多重应激因素。这些应激因素极易使仔猪出现以采食量明显下降、频繁腹泻、生长停滞为主要特征的断奶应激综合征(PWSS)。根据相关统计数据,PWSS的发生会导致仔猪的日增重降低15%至25%,同时死亡率升高5%至10%,这对养殖业的经济效益产生了极为严重的影响。近年来,营养调控因其具备安全高效、无耐药性风险等诸多优势,逐渐成为缓解PWSS问题的研究热点。本文将从营养干预策略和分子机制两个重要方面,系统综述当前关于PWSS防控研究的最新进展。

1 仔猪断奶应激综合征的生理机制

(1) 肠道屏障损伤: 断奶应激作为一种强烈的生理和心理刺激,会对动物机体产生深远影响。具体而言,这种应激会激活下丘脑-垂体-肾上腺轴(HPA轴),促使垂体分泌大量的促肾上腺皮质激素(ACTH)。在这一过程中,HPA轴的激活是关键生理反应,它引发了一系列激素水平的改变。最终,这一级联反应使肾上腺分泌大量的糖皮质激素,如皮质醇。糖皮质激素水平显著升高,会对肠道结构产生显著负面影响。具体表现为肠道绒毛的萎缩和变短,隐窝的加深和扩张,以及肠道上皮细胞间紧密连接结构的破坏。肠道绒毛萎缩、变短,减少了肠道的吸收面积,影响营养物质的吸收;隐窝加深、扩张,可能导致肠道分泌功能紊乱;紧密连接结构被破坏,直接削弱了肠道的屏障功能。这些结构改变会导致肠道通透性显著增加,使肠道内的细菌和内毒素更容易穿过肠道屏障,进入血液循环系统。这种细菌和内毒素的易位不仅会引发内毒素血症,还可能导致全身性炎症反应,严重威胁动物的健康和生长发育。因此,断奶应激引发的肠道屏障损伤是一个需要高度重视的生理问题。(2) 免疫功能紊乱: 在应激状态的影响下,仔猪的肠道黏膜免疫细胞,包括但不限于巨噬细胞和T细胞,其活性出现明显的紊乱现象。具体表现为,在应激因素的刺激下,仔猪肠道黏膜中的巨噬细胞和T细胞等免疫细胞的正常功能受到干扰,导致其活性发生显著的失衡。促炎因子,如肿瘤坏死因子- α (TNF- α) 和白细胞介素-6 (IL-6) 的分泌量显著增加,这些促炎因子的过量释放会加剧肠道炎症反应。与此同时,抗炎因子,如白细胞介素-10 (IL-10) 的水平则相应下降,抗炎因子的减少使得炎症反应得不到有效抑制。这种免疫细胞活性的失衡和细胞因子水平的改变,最终诱发仔猪肠道内慢性炎症反应,严重影响其肠道健康和整体免疫功能,进而影响仔猪的生长发育和抗病能力。(3) 肠道微生态失衡: 断奶后,仔猪的肠道微生态平衡面临着巨大的挑战。这是因为,断奶意味着仔猪从依赖母乳转向依赖固体饲料,这种饲料结构的变化对仔猪的肠道菌

群产生了深远的影响。原本在母乳喂养阶段,仔猪的肠道中存在着丰富多样的菌群,这些菌群相互制约,共同维护着肠道的健康。然而,断奶后,由于饲料结构的变化,肠道菌群的多样性开始降低,一些原本在母乳喂养阶段占据优势的有益菌,如乳酸杆菌、双歧杆菌等,开始减少。与此同时,一些致病菌,如大肠杆菌、沙门氏菌等,开始大量增殖。这些致病菌的增殖,进一步加剧了肠道功能的紊乱,使得仔猪更容易出现消化不良、腹泻等问题。因此,断奶后饲料结构的变化,是导致肠道微生态失衡的重要原因之一。

2 缓解PWSS的营养干预策略

(1) 功能性氨基酸: 功能性氨基酸在动物营养中扮演着至关重要的角色,其中谷氨酰胺(Gln)尤为突出。作为一种不可或缺的营养成分,谷氨酰胺(Gln)不仅是肠道上皮细胞的主要能量来源,还在维持肠道健康方面发挥着关键作用。具体而言,Gln能够显著促进肠黏膜细胞的增殖,增强肠道屏障功能。通过上调紧密连接蛋白如ZO-1和Occludin的表达水平,Gln有效降低了肠道通透性,减少了有害物质的渗入。科学研究已经明确显示,在日粮中添加1%的Gln,可以显著提升断奶仔猪肠道绒毛的高度,增幅达到20%,同时腹泻率也大幅降低,降幅高达30%,这一成果充分证明了Gln在改善肠道结构和功能方面的显著效果。此外,精氨酸(Arg)也是一种重要的功能性氨基酸,其生理作用同样不容忽视。精氨酸(Arg)通过促进一氧化氮(NO)的合成,能够有效改善肠道血液循环,确保肠道组织获得充足的氧气和营养供应。同时,Arg还能刺激生长激素的分泌,促进动物生长发育。更为重要的是,Arg在缓解应激损伤方面具有协同作用,能够帮助动物更好地应对各种应激挑战。实验数据表明,在日粮中添加0.8%的Arg,可以显著提高仔猪的日增重,增幅达到15%,并且还能增强抗氧化酶如超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性,从而提升仔猪的抗氧化能力,保障其健康生长。这些研究成果充分展示了精氨酸(Arg)在促进动物生长和增强抗应激能力方面的积极作用。(2) 益生菌与益生元: 益生菌,如乳酸菌、酵母菌等,通过竞争性黏附在肠道黏膜上,有效抑制致病菌的定植,并分泌出短链脂肪酸(SCFAs),这些脂肪酸能够降低肠道的pH值,从而调节免疫系统的平衡。例如,在日粮中添加枯草芽孢杆菌,可以显著增加断奶仔猪肠道内乳酸杆菌的数量,使其增加1.5倍,同时还能降低TNF- α 水平达40%,有效改善肠道健康。益生元,包括低聚果糖(FOS)、甘露寡糖(MOS)等,作为益生菌的“食物”,能够促进益生菌的增殖,与此同时,益生元还能与肠毒素结合,减少毒素在肠道内的吸收,进一步保障肠道环境的稳定与健康。(3) 植物提取物: 多酚类物质,例如绿茶中富含的绿茶多酚以及从姜黄中提取的姜黄素,这些成分不仅具

备显著的抗氧化特性,同时还展现出强大的抗炎活性。其作用机制主要在于能够有效抑制NF- κ B信号通路,进而减少体内促炎因子的释放,从而缓解炎症反应。科学研究表明,在饲料中添加0.2%的姜黄素,可以显著降低断奶仔猪血清中的皮质醇水平,降幅达到25%,这不仅有助于缓解仔猪的应激反应,还能有效改善其肠道菌群结构,促进健康生长。此外,植物精油如牛至油、肉桂醛等,也展现出广谱的抗菌效果,这些精油能够有效替代传统抗生素,抑制致病菌的生长繁殖,且在使用过程中不会产生残留,避免了抗生素残留带来的潜在风险,为动物健康养殖提供了更为安全、环保的选择。(4)脂肪酸:中链脂肪酸(MCFAs),如辛酸、癸酸等,这类MCFAs具有独特的抗菌特性,能够直接穿透并破坏细菌的细胞膜结构,从而有效抑制细菌的生长和繁殖。与此同时,MCFAs作为一种高效的能量物质,能够迅速被机体吸收并转化为能量,有效缓解仔猪在断奶后因营养摄入不足而导致的能量负平衡状态,保障其正常生长发育。此外, ω -3多不饱和脂肪酸,例如DHA(二十二碳六烯酸)和EPA(二十碳五烯酸),在仔猪的健康管理中扮演着重要角色。它们通过抑制MAPK(丝裂原活化蛋白激酶)信号通路,有效减轻肠道炎症反应,降低炎症对肠道的损伤,同时提升仔猪的抗应激能力,增强其对外界环境变化的适应力,从而促进仔猪的整体健康和生长性能。

3 营养干预的分子机制

(1) 调控肠道屏障相关信号通路:在调控肠道屏障的过程中,存在多种信号通路参与其中,它们各自发挥着至关重要的作用。首先,营养物质可以通过激活AMPK/mTOR信号通路,从而促进肠道细胞的增殖。这一过程不仅有助于肠道细胞的更新,还能增强肠道屏障的防御能力。此外,营养物质还可以通过Nrf2/HO-1信号通路增强抗氧化能力,减少氧化应激对紧密连接结构的损伤。氧化应激是导致肠道屏障功能受损的重要因素之一,因此,通过增强抗氧化能力来保护紧密连接结构,对于维持肠道屏障的完整性具有重要意义。举例来说,谷氨酰胺(Gln)是一种重要的营养物质,它可以通过PI3K/Akt信号通路,上调occludin的表达。Occludin是紧密连接结构的重要组成部分,对于维持肠道屏障的完整性具有关键作用。因此,通过上调occludin的表达,可以有效地维持肠道屏障的完整性,防止肠道屏障功能受损。综上所述,调控肠道屏障相关信号通路是维持肠道屏障功能的重要机制。通过激活AMPK/mTOR信号通路促进肠道细胞增殖,以及通过Nrf2/HO-1信号通路增强抗氧化能力,减少氧化应激对紧密连接结构的损伤,都是维持肠道屏障完整性的重要途径。同时,营养物质如Gln可以通过PI3K/Akt信号通路,上调occludin的表达,从而维持肠道屏障的完整性。这些信号通路和营养物质的相互作用,共同构成了维持肠道屏障功能的重要机制。(2) 调节免疫炎症信号:益生菌在调节免疫炎症信号方面的作用至关重要。首先,益生菌的代谢产物短链脂肪酸(SCFAs)能够激活GPR43受体,从而抑制NF- κ B核转位,减少促炎因子的分泌。这一过程有助于减轻肠道炎症反应,维护肠道健康。其次,益生菌中的

Arg(精氨酸)通过抑制TLR4/MyD88通路,降低肠道免疫细胞的过度活化。这有助于防止肠道炎症的进一步发展,维持肠道免疫系统的平衡。通过这两种机制,益生菌在调节免疫炎症信号方面发挥着关键作用,有助于维护肠道健康和免疫系统的稳定。(3) 重塑肠道菌群与宿主之间的互作关系:它们是通过营养干预手段来实现的。这种干预手段能够有效地改变肠道菌群的组成结构,促进有益菌种的生长和代谢活动。在这个过程中,肠道菌群会产生短链脂肪酸(SCFAs)、维生素等多种生物活性物质。这些活性物质不仅对肠道环境有直接的改善作用,还能进一步影响宿主的基因表达调控。例如,它们可以调控与炎症反应相关的基因,以及参与代谢过程的酶基因。通过这种多层次的相互作用,营养干预最终实现了“菌群-肠道-大脑轴”的跨器官调节机制。这种机制不仅优化了肠道健康,还对宿主的全身生理状态产生了积极的影响。因此,通过营养干预重塑肠道菌群与宿主之间的互作关系,是一种有效的改善人体健康的方法。

4 结论与展望

营养干预作为一种有效的手段,通过精准靶向肠道屏障的修复、免疫应答的调节以及肠道菌群平衡的维护,能够显著减轻仔猪在断奶过程中所面临的应激综合征,从而提升其健康水平和生长性能。未来的研究工作需要进一步聚焦于多营养素之间的协同作用机制,特别是深入探讨氨基酸与益生菌等不同营养素组合在一起时所产生的综合效应,以期找到更为高效的营养干预策略。此外,基于分子标记技术的精准营养调控研究也显得尤为重要,通过结合仔猪的基因型特征及其所承受的应激程度,制定出更为个性化和精细化的营养干预方案。同时,新型功能性饲料添加剂的研发与应用也应受到重视,例如重组蛋白和纳米载体营养素等创新产品的开发,有望为仔猪的营养供给带来新的突破。通过深入解析营养调控在分子层面的具体靶点,不仅能够为仔猪断奶应激综合征(PWSS)的绿色防控提供全新的思路和方法,还能有力推动养殖业的健康、可持续发展,为行业带来更为广阔的应用前景和发展空间。

[参考文献]

- [1]李树仁.断奶仔猪应激综合征的成因及综合防控措施[J].畜牧业环境,2025,(19):121-122.
- [2]史春蓉.仔猪断奶应激综合征的综合防控技术在规模化猪场的应用[J].中国动物保健,2025,27(09):146-147.
- [3]彭懿,王华.猪早期断奶技术及营养调控措施[J].今日畜牧兽医,2025,41(09):59-61.
- [4]汪海峰,苏晓彤,何茂龙.仔猪断奶肠道损伤机制及营养调控研究进展[J].饲料工业,2025,46(18):1-11.
- [5]蔡海艳.仔猪断奶应激综合征的发病机理分析[J].北方牧业,2025,(17):29.

作者简介:

蒋红霞(1990--),女,汉族,云南澜沧人,大学本科,兽医师,研究方向:动物疫病防控、检疫监督、技术推广及队伍建设。