

丁酸钠在畜牧生产中的应用研究

唐明红

丁酸作为短链脂肪酸最主要的代表，是结肠腔主要的阴离子和结肠细胞的营养物质，是大肠细胞的主要能量底物，能够快速地被结肠细胞吸收和氧化，为结肠细胞供能。在调节胃肠机能、肠道pH值、胃肠道微生态平衡、电解质平衡以及诱食方面发挥重要的作用。

丁酸钠是丁酸的钠盐，分子式为 $C_4H_7O_2Na$ ，分子量为110.09，白色粉末，易吸潮，对光和热稳定。由于丁酸易挥发，具有流动性，所以制成钠盐具有更好的稳定性，为运输和使用方面提供很多便利。自2006年农业部将丁酸钠列为新型饲料添加剂时，丁酸钠便在畜牧生产中快速而广泛地使用起来。

1 丁酸钠的生物学作用

1.1 提供肠道细胞能量营养，诱导细胞分化，促进细胞增殖和成熟

丁酸钠的有效成分是丁酸，丁酸是短链脂肪酸典型代表。短链脂肪酸在肠腔极易被肠上皮细胞吸收，并能迅速氧化供能，为动物提供高达30%的维持能。结肠上皮细胞屏障依靠短链脂肪酸，主要是丁酸来维护。诸多研究表明，短链脂肪酸与溃疡性结肠炎的病因联系紧密，尤其是丁酸的代谢。丁酸钠对肠道细胞的营养作用，包括调节钠离子的吸收，增加脏器的血流量和短链脂肪酸的有氧代谢，诱导表皮细胞增生和成熟，增加黏膜血流量，促进黏液分泌，改善肠黏膜的形态、DNA和蛋白质，刺激未成熟的基底部肠上皮细胞的增殖，等等。

1.2 选择性抑制有害菌增殖，调节胃肠道微生态平衡

添加丁酸钠能对肠道内环境产生影响，能够选择性地抑制大肠杆菌等有害菌的增殖，增加乳酸菌等有益菌的数量。Gal fi等（1990）研究证明，丁酸钠可以显著降低猪肠道内沙门氏杆菌的繁殖和经粪排放，降低十二指肠（特别是盲肠）内大肠杆菌的数量。

1.3 抑制肠道细胞肿瘤病变，诱导肠道癌细胞凋亡

丁酸钠主要通过两个途径抑制人大肠癌细胞的生长，其一是通过组蛋白的超乙酰化，其二是通过表皮生长因子（EGF）反应途径。丁酸钠通过引起内质网功能失调，促使线粒体膜通透性增高，改变线粒体功能等方式促使癌细胞凋亡。刘薇等在用丁酸钠诱导3A0细胞凋亡的过程中，线粒体膜电位（ $\Delta\Psi_m$ ）下降，促凋亡物质释放。

张孝卫等（2007）通过对丁酸钠对结肠癌细胞（HT-29、Lovo）凋亡活性影响的研究得知，2.5mM、5mM和10mM各浓度丁酸钠组在试验24h、48h、72h显示出明显的促凋亡效果，并显示出促凋亡效果对浓度和时间的依赖性，得出的结论与Col lard的研究结果相同。Young等报道，丁酸钠在抑制结肠肿瘤细胞增生、诱导死亡的同时，未发现对正常结肠细胞有毒性。

1.4 促进肠黏膜修复，抑制肠道炎症反应

丁酸钠能抑制NF-kB的活性，减少TN- α 等炎症性细胞因子的产生和释放，抑制肠黏膜的炎症反应，抑制肠道受损细胞的凋亡，促进干扰素的产生，提高肠道细胞的免疫功能。胡卫等（2000）通过丁酸钠对醋酸诱导的大鼠结肠炎的治疗作用的研究发现，丁酸钠可明显

改善结肠炎大鼠的临床表现和组织损伤。

丁酸钠促进肠道细胞基底部的增殖，但当这种增殖达到一定程度时，即损伤上皮得到修复时，丁酸钠又反过来抑制其进一步增殖，影响肠道功能。

1.5 影响细胞转运蛋白基因表达

丁酸钠通过影响细胞膜上mRNA的数量，从而影响mRNA的有效翻译，达到对转运蛋白基因表达的控制。Takano等（1988）研究表明，在猪肾脏细胞的培养液中添加丁酸钠，能显著增加肾脏细胞葡萄糖转运载体mRNA的表达。

1.6 协同抗生素对肠道癌细胞增殖、分化和凋亡产生影响

丁酸钠同抗生素搭配使用，对肠道癌细胞的抑制与促凋亡效果明显增强，呈现叠加效应。罗和生等（2002）研究发现，丁酸钠（Bu）及阿司匹林（As）对大肠癌细胞系（SW480）都有明显的抑制作用，且随剂量加大及作用时间延长效果更加明显。

2 丁酸钠在养猪生产中的应用

2.1 提高采食量和日增重，改善饲料报酬

丁酸钠具有特殊的脂臭味，与母乳的气味相近，对断奶仔猪具有良好的诱食性。同时，丁酸钠能够促进仔猪胃肠道细胞的增殖和成熟，促进小肠黏膜的发育，促进消化液的分泌，提高饲料的消化率，提高仔猪的日增重。农业部饲料工业中心郭小华等（2005）在断奶仔猪日粮中添加0.1%的丁酸钠，结果发现，日粮中添加丁酸钠可以提高营养物质的表观消化率。罗海洋（2006）试验发现，在断奶仔猪饲料中添加0.1%的丁酸钠，在第2、3周可显著提高断奶仔猪平均日增重（ $p < 0.05$ ），分别提高15.17%、15.65%；在试验前2周对仔猪采食量没显著影响，在第3周显著高于对照组6.56%（ $p < 0.05$ ）；在降低料比方面，丁酸钠组在每个阶段均比对照组低13.11%、9.34%、8.53%，但差异不显著。Pi va等（2002）在断奶仔猪日粮中添加丁酸钠0.8g/kg，仔猪的平均日增重和采食量分别提高20%和16%（ $p < 0.05$ ）；随后的2周内，日采食量提高10%，料肉比降低14%（ $p < 0.05$ ）。Gal fi P等（1990）在断奶仔猪饲料中添加丁酸钠，结果表明，猪的体增重提高23.5%，日采食量增加了8.9%，饲料消耗降低11.8%（ $p < 0.05$ ）。

2.2 维持小肠形态，促进仔猪健康

小肠黏膜上皮是执行消化吸收功能的最主要细胞。小肠黏膜结构的完整性是实现消化吸收的基本保证和前提，同时构筑肠道的免疫屏障，提高机体的抗病能力。王继凤等（2005）通过对丁酸钠对断奶仔猪小肠黏膜形态结构影响的研究发现，饲喂1g/kg丁酸钠能促进小肠杯状细胞的增殖，维持肠道黏膜上皮细胞的正常形态，维护肠黏膜的正常的机械屏障。同时采用组织学和扫描电镜技术对仔猪小肠黏膜上皮和杯状细胞的显微和超微结构进行了观察，结果显示，空肠和回肠黏膜结构完整，层次清晰，肠绒毛排列整齐，杯状细胞结构清晰。罗海洋（2006）在断奶仔猪日粮中添加0.1%的丁酸钠，断奶后7d屠宰观察，结果显示，丁酸钠可显著降低十二指肠的隐窝深度，比对照组降低42.12%（ $p < 0.05$ ）；对绒毛高度影响不显著（ $p > 0.05$ ），显著降低十二指肠绒毛宽度，降低20.42%（ $p < 0.05$ ）；对空肠绒毛高度和隐窝深度的影响不显著，但显著降低其比值；显著降低回肠的隐窝深度和绒毛宽度（ $p < 0.05$ ），分别比对照组降低了36.12%和16.06%。Kotuni a等（2004）在3日龄仔猪人工乳中加入丁酸钠，饲喂1周后发现，十二指肠绒毛高度和黏膜厚度降低，空肠和回肠隐窝深度、绒毛长度和黏膜厚度增加。

2.3 调节断奶仔猪脂肪、葡萄糖和蛋白质代谢

血清中甘油三酯、脂肪酸和胆固醇浓度变化可反映机体脂类代谢状况，血糖浓度变化反映机体糖代谢状况，血清中总蛋白、白蛋白、球蛋白、尿素氮的浓度变化反映机体蛋白

质的代谢状况。安东亚等（2007）在酵母 β -1, 3-, 1, 6-葡萄糖与丁酸钠合用对断奶仔猪生长性能和生理代谢的影响的研究中发现，丁酸钠能显著提高56日龄仔猪血清甘油三酯和脂肪酸浓度（ $p < 0.05$ ），说明丁酸钠可以促进短链脂肪酸的吸收，加快脂肪的合成，从而提高血清甘油三酯的含量；丁酸钠对血清葡萄糖浓度的影响是先升高后降低，仔猪生产性能得到显著提高（ $p < 0.05$ ）；丁酸钠有降低血清尿素氮的趋势，说明丁酸钠可影响机体蛋白质代谢，有利于蛋白质的合成与沉积。

2.4 降低仔猪腹泻率

丁酸钠可以增加肠道有益菌的数量，调节肠道微生物区系的平衡，调节肠道pH值，维持小肠黏膜的正常形态，促进胃肠细胞的增殖和成熟，增强胃肠消化功能，降低仔猪腹泻的发生。

安东亚等（2007）的研究发现，丁酸钠可显著降低试验全期的仔猪腹泻率（ $p < 0.05$ ），比对照组3.75%降低了49.4%。罗海洋（2006）研究表明，添加0.1%的丁酸钠可以显著改善仔猪断奶后7d内的腹泻率（ $p < 0.05$ ），比对照组减少了40.99%，在14d后也同样降低了仔猪的腹泻发生率，但差异不显著。

2.5 对抗生素的替代性

王继凤等（2005）设置丁酸钠组（1g/kg）、抗生素组和复合组（抗生素+丁酸钠1g/kg）研究对断奶仔猪小肠形态结构的影响，利用扫描电镜观察，丁酸钠组和复合组肠绒毛粗壮，而抗生素组肠绒毛顶端偶见肠上皮脱落，肠绒毛相对较细；杯状细胞数量复合组最多，丁酸钠组次之，抗生素组最少。丁酸钠组仔猪肠黏膜每100个柱状细胞中含杯状细胞数为 6.7 ± 2.4 个（空肠）、 9.2 ± 4.1 个（回肠），明显高于抗生素组 3.9 ± 2.3 个（空肠）、 6.5 ± 2.6 个（回肠），比抗生素组增多1.4~1.7倍，而复合组为 8.3 ± 3.0 个（空肠）、 10.5 ± 2.7 个（回肠）；复合组的细胞衣均匀，丁酸组次之，抗生素最薄。结果表明，丁酸钠在促进杯状细胞增殖，改善小肠黏膜上皮细胞的形态结构，进而促进仔猪的消化吸收，提高生产性能等方面的作用均优于抗生素。

3 丁酸钠在养鸡生产中的应用

Nollet等（2005）研究了不同浓度的丁酸钠（0、50、100、250和500mg/kg）对蛋鸡生产性能的影响，结果发现，随着丁酸钠用量的增加，蛋鸡产蛋率不断提高，料蛋比逐渐降低，对蛋重无影响。

巨大细胞是肉鸡肠道黏膜内的免疫细胞，是天然免疫的效应细胞之一，不仅在天然免疫中发挥重大作用，也是机体抗感染免疫的第1线细胞，而且能通过所分泌的细胞因子参与获得性免疫。在肉鸡饲料中添加丁酸钠能够增加肠道巨大细胞的数量，提高肠道、机体的免疫功能。李芙燕等（2006）在肉鸡日粮中添加500mg/kg丁酸钠，结果发现，虽然巨大细胞的形态没有变化，但数量显著增加（ $p < 0.05$ ），在十二指肠、空肠和回肠，巨大细胞分别比对照组增加了19.72%、27.74%和30.66%。

前已述及丁酸钠在控制猪肠道疾病方面具有抗生素同样甚至不可比拟的功效，有研究表明，丁酸钠在控制鸡肠道疾病方面也有类似作用。李芙燕等（2006）分别添加丁酸钠（500mg/kg）、抗敌素（100mg/kg）、幼畜康（500mg/kg）（主要成分黄芩提取物）在肉鸡中试验，观察对肉鸡小肠巨大细胞数量分布的影响。试验结果发现，丁酸钠组可显著增加十二指肠、空肠以及回肠的巨大细胞数量，分别比对照组增加了19.7%、27.2%和30.7%，分别比抗敌素组增加了5.75%、22.105%和8.32%，分别比幼畜康组增加了16.18%、27.65%和27.39%。

4 展望

自2006年农业部将丁酸钠列入饲料添加剂目录以来，丁酸钠在畜牧生产中广泛被人接受并运用。丁酸钠在畜牧生产中的应用虽有部分研究和报道，但不深入、全面。丁酸钠对防治动物腹泻和肠道疾病方面的作用优于抗生素，但丁酸钠替代抗生素的研究开展较少。寻找最佳的替代方案，必将为丁酸钠在畜牧生产中的应用开辟更加广阔的前景。

（参考文献略）