

瘤胃调节剂在反刍动物生产中的应用研究进展

谢宇强, 万发春*, 沈维军, 王 祚
(湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙, 410128)

摘 要:随着反刍动物规模化养殖的发展, 高精料饲喂是促进反刍动物快速生长的常用策略, 但这通常会导致动物瘤胃代谢紊乱等问题。瘤胃调节剂作为一类高效、安全、价格低廉的营养代谢调控剂在反刍动物饲养中得到广泛应用, 但其使用的效果和作用机制目前还存在着不同的观点。本文综述了瘤胃调节剂在反刍动物中应用的国内外研究进展, 以期为今后开展瘤胃代谢调控研究提供参考。

关键词:瘤胃调节剂; 反刍动物; 代谢调控

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1001-9111(2021)03-0059-04

瘤胃调节剂主要用于饲喂高精料日粮和高青贮日粮的反刍动物, 具有维持反刍动物瘤胃生理稳态, 缓解瘤胃变化对动物采食、营养物质消化及代谢的影响, 减少瘤胃酸中毒的发生等作用^[1]。生产中使用的瘤胃调节剂种类较多, 如碳酸氢钠、倍半碳酸钠^[2]、氧化镁、氧化钙、氢氧化钙、白云石类、膨润土及微生物制剂等^[3]。其中, 以碳酸氢钠及氧化镁最常用。本文就针对瘤胃调节剂对反刍动物生产性能的影响及调控机制进行综述, 以期对瘤胃调节剂的开发和合理利用提供参考。

1 瘤胃调节剂对反刍动物生产性能的影响

由于反刍动物育肥过程中高精料饲料和青贮饲料使用的增加, 通常会导致动物瘤胃代谢紊乱。因此, 人们通常在饲料中使用瘤胃调节剂来缓解瘤胃代谢紊乱的问题^[4]。目前普遍通过在饲喂青贮饲料时添加瘤胃调节剂来补充唾液中天然缓冲液的不足, 但在实际生产中使用的调节效果和调节机理存在较多争议。一些研究评估了缓冲剂或碱化剂如碳酸氢钠、氧化镁、活酵母、酵母培养物的使用效果。Throne 等^[5]研究发现添加活性干酵母对荷斯坦奶牛的干物质采食量、瘤胃氨氮浓度没有显著影响, 但是提高了奶牛瘤胃的平均、最低和最高 pH 值, 缩短了奶牛低于亚急性瘤胃酸阈值的时间, 并有降低瘤胃总 VFA 浓度的趋势, 这可能与添加酵母提高了瘤胃的 pH 值有关。研究者通过在荷斯坦泌乳奶牛添

加活酵母改变奶牛的饲养行为, 在添加酵母的情况下, 缩短了饲喂时间间隔, 这意味着增加了奶牛的采食量, 发现乳脂率和产奶量有提高的趋势, 没有观察到奶牛脂肪酸组成的差异。添加活酵母奶牛的瘤胃平均温度较低, 且缩短了瘤胃温度高于 39.0 min/d 的时间, 表明瘤胃 pH 条件有所改善^[6]。Poppy 等^[7]评估发现, 在泌乳奶牛饲料中添加酵母培养物对产奶量、能量校正乳、3.5% 脂肪校正乳、乳脂量和乳蛋白含量等重要的生产指标都有显著的改善。

一些研究表明碳酸氢钠作为瘤胃调节剂可显著提高反刍动物的采食量和饲料利用率^[8]。Kawas 等^[9]研究了在育肥羊日粮中添加酵母培养物和碳酸氢钠对采食量、营养物质消化率、瘤胃参数和氮保存率的影响, 发现碳酸氢钠显著增加了育肥羊的干物质采食量, 而酵母培养物对干物质采食量无影响。在西杂牛日粮中使用混合发酵酒糟时添加不同比例的碳酸氢钠, 日增重分别提高了 32.73% 和 29.09%^[10]。McLeod 等^[11]观察到, 日粮中添加碳酸氢钠可提高绵羊的采食量和饲料利用率。采食量的增加可能是由于碳酸氢钠中和了部分青贮饲料中游离酸含量, 且碳酸氢钠对饲料的适口性有一定的改善作用。但也有大量研究发现在反刍动物日粮中添加碳酸氢钠等瘤胃调节剂不能对动物的采食量发挥正向作用。研究表明日粮中添加碳酸氢钠虽然能增加非纤维碳水化合物(NFC)的摄入量, 但增加干物质摄入量仅是一种短期效应^[12]。Bach 等^[13]以大麦作为高

收稿日期: 2021-04-20 修回日期: 2021-04-30

基金项目: 国家肉牛牦牛产业技术体系(CARS-37)、国家自然科学基金面上项目(31772633)、湖南省自然科学基金青年基金项目(2019JJ50279)

作者简介: 谢宇强(1999—), 男, 湖南长沙人, 在读硕士研究生, 从事反刍动物营养调控研究。

* 通讯作者: 万发春(1974—), 男, 教授, 博士生导师。

蛋白日粮,发现随着大麦的添加量增加,添加碳酸氢钠的奶牛干物质采食量反而会出现下降,并且添加 0.8% 的碳酸氢钠比添加 0.4% 的镁基产品的处理组下降更明显。

氧化镁在改善瘤胃 pH 值、提高产奶量和乳脂率等方面的有效性受其来源影响很大。氧化镁制备过程中的温度和颗粒大小都会对其使用效果产生影响,较低的煅烧温度($< 500\text{ }^{\circ}\text{C}$)产生的具有多孔结构的氧化镁通常有更大的比表面积和更高的反应性^[14]。Leno 等^[15]研究发现在饲喂荷斯坦奶牛不同钙、镁添加源及产后饲料不同镁水平对转型期奶牛血浆矿物质状况、生产性能、能量代谢和饲喂率对血浆钙状态的影响很小;对于干物质采食量和血浆能量代谢物的分析表明,在过渡时期战略性地使用矿物资源,可以促进奶牛代谢健康。研究发现,在不同时间和剂量下添加氧化镁可对放牧奶牛瘤胃酸碱度和镁代谢平衡产生影响,在早上以 60 g 单剂量或在早上和晚上各以 30 g 剂量提供氧化镁,改善了牛的瘤胃酸碱度(pH 值),但增加了镁血症^[16]。酵母培养物同时具有促进反刍动物生长、提高饲料报酬、降低疫病发生率的作用。惠文^[17]在肉羊饲料中添加 5.0% 复合酵母菌培养物提高了肉羊的生产性能、免疫功能及抗氧化能力。荷斯坦奶牛补喂酵母培养物可提高饲料消化率和产奶量^[18]。但 Kawas 等^[19]研究发现添加酵母菌培养物不能提高 NFC 的摄入量,对于干物质、中性洗涤纤维和 NFC 的消化率也无显著影响。

2 瘤胃调节剂调控机制

2.1 调控瘤胃 pH 值

反刍动物借助复杂的酸碱平衡系统维持瘤胃 pH 的相对稳定,瘤胃 pH 平衡是反刍动物机体保持正常新陈代谢活动的基础。程萌等^[20]研究表明,持续较低的 pH 环境容易导致瘤胃上皮角质化不全、侵蚀和溃疡,低 pH 还会导致瘤胃中革兰氏阴性菌崩解死亡,释放细菌内毒素(LPS)、组胺(HA)等致炎性物质,引发脱水和瘤胃炎、肝脓肿、乳房炎及导致蹄部缺血,蹄叶炎等疾病。亚急性瘤胃酸中毒则是由于瘤胃 pH 值长时间低于 5.6 造成^[21],患有亚急性瘤胃酸中毒的奶牛通常没有表现出典型的临床症状^[22]。日粮是影响瘤胃酸中毒的决定性因素,而饲料结构是影响瘤胃 pH 的主要因素^[23]。随着反刍动物生产指数的逐渐增加,人们必须提高日粮能量密度,以满足反刍动物的营养需求。能量密度的增加主要是通过增加日粮中 NFC 的数量、添加脂肪等,但其也会降低瘤胃 pH 值^[24-25]。

目前,瘤胃缓冲剂在调控瘤胃 pH 值上的功能和作用还存在争议^[26]。研究发现,在半连续瘤胃系统中添加不同浓度的碳酸氢钠瘤胃缓冲剂能显著抑制乳酸浓度^[27]。Rafferty^[28]发现钙化海藻和海洋氧化镁的混合物能显著降低瘤胃 pH。Bach 等^[29]研究发现,添加碳酸氢钠可以促进泌乳奶牛瘤胃 pH 值和产奶量,但使用效果均不如添加镁基产品。高峰等^[30]在瘤胃酸中毒山羊上应用碳酸氢钠都能明显地促进瘤胃 pH 恢复到正常水平,而且丙酮酸钠中和 VFA 的能力优于碳酸氢钠。而 Razzaghi 等^[31]研究发现,饲喂 NaHCO_3 、 MgO 和 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 对奶牛的瘤胃 pH 值没有影响,但瘤胃 pH 值低于 5.8 的持续时间比对照组短,且 NaHCO_3 的效果优于镁基日粮。综上所述,瘤胃缓冲剂对调节瘤胃 pH 值的作用存在差异,对于不同瘤胃缓冲剂调节瘤胃 pH 的机制还有待开展更多的研究。

2.2 调控瘤胃微生物区系

瘤胃微生物群是一个复杂的生态系统,包括古菌、细菌、原生动物和真菌^[32],瘤胃微生物与宿主之间、微生物与微生物之间存在一种协同而又相互制约的关系。瘤胃的微生态系统是动态的,会随着饲喂的日粮成分而改变。通过在反刍动物饲料中添加瘤胃调节剂可以给瘤胃内的微生物提供适宜的环境。Liu 等^[33]用 1% 的盐酸对高精料中的颗粒进行温和酸处理,然后用碳酸氢钠中和,发现可以改变动物的瘤胃发酵模式和微生物区系,从而减轻饲料高精料的负面影响。补充瘤胃发酵菌群如芽孢杆菌、乳酸菌复合微生态制剂等,则可以改善瘤胃菌群平衡,促进饲料的分解与吸收,改善反刍动物生产性能^[34]。小肽与酵母培养物单独或同时添加都促进了瘤胃有益菌群生长,使瘤胃发酵从乙酸型向丙酸型转变,且两者具有叠加效应^[35]。饲料中添加不同水平灭活酵母培养物能改变育肥羔羊瘤胃微生物群落结构,促进瘤胃发酵,提高育肥羔羊的抗氧化性能和免疫功能,且存在剂量依赖性^[36]。

2.3 调节日粮阴阳离子平衡(DCAB)

日粮阴阳离子平衡对动物机体的酸碱平衡、生产性能、瘤胃消化代谢、采食量及矿物质代谢等都有不同程度的影响^[37]。日粮 Na^+ 、 K^+ 与 pH 值成正相关, Cl^- 与 pH 值成负相关。许多瘤胃调节剂属于弱酸盐或弱碱盐,能调节日粮的阴阳离子平衡^[38]。瘤胃调节剂对日粮阴阳离子的调节应用广泛,碳酸氢钠、氧化镁等可通过离子平衡反应相互转化调节机体的酸碱度,从而有助于保证体液在内分泌系统受到强烈应激时有较强的缓冲能力^[39]。在生长或育肥牛饲料中添加碳酸氢钠可使 DCAB 提高约 15

mmol/kg 干物质,但对肉牛的生产性能没有影响^[40]。

3 结语

瘤胃调节剂在维持反刍动物瘤胃 pH 和机体稳态、提高生产性能、抗炎、以及调节阴阳离子平衡等方面起着重要的作用,这使得瘤胃调节剂在动物生产中具有较高的应用价值。然而,其在反刍动物生产上的应用仍存在很多问题。首先,瘤胃调节剂种类范围广泛,在生产中的使用普遍缺乏科学合理的指导,特别是在添加量方面随意性很大,导致在生产中发挥的效果不佳。其次,关于瘤胃调节剂发挥各种生理功能的具体作用机制仍不明确。因此,需要进一步研究不同反刍动物在不同生理阶段瘤胃调节剂的适宜添加水平,探索瘤胃调节剂发挥作用的机制,这将对反刍动物高效健康养殖具有重要意义。

参考文献:

- [1] KOENIG K M, BEAUCHEMIN K A. Effect of feeding condensed tannins in high protein finishing diets containing corn distillers grains on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and route of nitrogen excretion in beef cattle. [J]. Journal of animal science, 2018, 96(10): 4398-4413.
- [2] Stefńska B, Pruszyńska-Oszmańska E, Szczepankiewicz D. et al. Relationship between pH of ruminal fluid during subacute ruminal acidosis and physiological response of the Polish Holstein-Friesian dairy cows. [J]. Polish journal of veterinary sciences, 2017, 20(3): 551-558.
- [3] IWANIUK M E, ERDMAN R A. Intake, milk production, ruminal, and feed efficiency responses to dietary cation-anion difference by lactating dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(12): 8973-8985.
- [4] JONES M L, CLARK J D, MICHAEL N A. et al. Effects of supplementing lactating dairy cow ration with sodium sesquicarbonate on reticulorumen pH, rumination, and dry matter intake [J]. Journal of Animal Science, 2016(94): 667.
- [5] LANCASTER N A, SCHOONMAKER J P. Effects of ruminal alkalizing and/or buffering agents fed to feedlot steers on performance and carcass characteristics [J]. Journal of Animal Science, 2016(94): 171.
- [6] MUHAMMAD AZIZ UR RAHMAN. 日粮精料水平, 精粗比及粗饲料颗粒长度对荷斯坦奶牛犊生长性能和行为的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [7] THRUNE M, BACH A, RUIZ M M. et al. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* on ruminal pH and microbial fermentation in dairy cows[J]. Livestock Science, 2009, 124(1): 261-265.
- [8] DEVRIES T J, CHEVAUX E. Modification of the feeding behavior of dairy cows through live yeast supplementation[J]. Journal of Dairy Science, 2014, 97(10): 6499-6510.
- [9] POPPY G D, RABIEE A R, LEAN I J. et al. Morley. A meta-analysis of the effects of feeding yeast culture produced by anaerobic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* on milk production of lactating dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(10): 6027-6041.
- [10] 吴敏. 贵州黄牛杂交肉牛饲养研究 [J]. 现代农业科技, 2013(12): 225-227.
- [11] KAWAS J R, GARCÍA C R, FIMBRES D H. et al. Effects of sodium bicarbonate and yeast on nutrient intake, digestibility, and ruminal fermentation of light-weight lambs fed finishing diets [J]. Small Ruminant Research, 2005, 67(2): 149-156.
- [12] 达赖, 支庆祥, 张建忠. 日粮中混合发酵酒糟、添加小苏打对西杂牛饲养效益的影响 [J]. 畜牧与饲料科学, 2014, 35(4): 26-27.
- [13] MCLEOD D S, WILKINS R. J. The effect of intra-ruminal feeding on the intake of silage [J]. The Journal of Agricultural Science, 1970, 75(3): 559.
- [14] ALEX B, ISABEL G, GUILLERMO E. et al. Modulation of rumen pH by sodium bicarbonate and a blend of different sources of magnesium oxide in lactating dairy cows submitted to a concentrate challenge [J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(11): 9777-9788.
- [15] TEBBE A W, WYATT D J, Weiss W P. Effects of magnesium source and monensin on nutrient digestibility and mineral balance in lactating dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(2): 1152-1163.
- [16] LENO B M, LACOUNT S E, RYAN C M. et al. The effect of source of supplemental dietary calcium and magnesium in the peripartum period, and level of dietary magnesium postpartum, on mineral status, performance, and energy metabolites in multiparous Holstein cows. [J]. Journal of dairy science, 2017, 100(9): 7183-7197.
- [17] SEPÚLVEDA P, Wittwer F, Böhmerwald H. et al. Ruminal pH and magnesium metabolic balance in dairy cattle on grazing and supplemented with magnesium oxide [J]. Archivos de Medicina Veterinaria, 2011, 43(3): 241-258.
- [18] 惠文. 复合酵母菌培养物对肉羊生长性能、免疫机能及抗氧化能力指标的影响 [J]. 中国饲料, 2020(13): 60-63.
- [19] 谢景龙, 胡轶雄, 吴川川, 等. 日粮补喂不同酵母培养物对荷斯坦奶牛泌乳性能及饲料消化率的影响 [J]. 饲料研究, 2020, 43(6): 12-14.
- [20] 程萌. 亚急性瘤胃酸中毒对奶山羊瘤胃上皮通透性及细胞连接蛋白表达的影响 [D]. 内蒙古农业大学, 2016.
- [21] KLEEN J L, HOOIJER G A, REHAGE J. et al. Subacute ruminal acidosis (SARA): a review. [J]. Journal of veterinary medicine. A, Physiology, pathology, clinical medicine, 2003, 50(8): 406-414.
- [22] STEFAŃSKA B, PRUSZYŃSKA-OSZMA E, SZCZEPANKIEWICZ D. et al. Relationship between pH of ruminal fluid during subacute ruminal acidosis and physiological response of the Polish Holstein-Friesian dairy cows. [J]. Polish journal of veterinary sciences, 2017, 20(3): 551-558.
- [23] DEVRIES T J, BEAUCHEMIN K A, DOHME F. et al. Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior [J]. Journal of Dairy Science, 2009, 92(10): 5067-5078.
- [24] AGLE M, HRISTOV A. N, Zaman S. et al. Effect of dietary con-

- centrate on rumen fermentation, digestibility, and nitrogen losses in dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93(9): 4211-4222
- [25] MARTA B, SERGIO C, MARIA D. et al. Effects of acarbose on ruminal fermentation, blood metabolites and microbial profile involved in ruminal acidosis in lactating cows fed a high-carbohydrate ration[J]. *Journal of Dairy Research*, 2010, 77(1): 123-128.
- [26] PÉREZ-RUCHEL A, REPETTO J L, CAJARVILLE C. Use of NaHCO₃ and MgO as additives for sheep fed only pasture for a restricted period of time per day: effects on intake, digestion and the rumen environment. [J]. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 2014, 98(6): 1068-1074.
- [27] THERESA O, KARL R, GERHARD B, et al. Alterations in fermentation parameters during and after induction of a subacute rumen acidosis in the rumen Simulation technique [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020, 104(6): 1678-1689.
- [28] 钟焰, 王冲. 碳酸氢钠与现代畜禽离子代谢、生产[J]. *中国牛业科学*, 2014, 40(4): 53-54.
- [29] RAFFERTY D M, Fahey A G, Grace C. et al. Feeding a Marine-based Rumen Buffer Increases Milk Production and Decreases Time of Low Reticulo-rumen Ph In Grazing Dairy Cows Offered Perennial Ryegrass-based Pasture[J]. *Agriculture Week*, 2020: 388.
- [30] ALEX B, ISABEL G, GUILLERMO E. et al. Modulation of Rumen Ph By Sodium Bicarbonate and a Blend of Different Sources of Magnesium Oxide In Lactating Dairy Cows Submitted To a Concentrate Challenge[J]. *Chemicals & Chemistry*, 2018, 101(11): 9777-9788
- [31] 高峰, 杨艳斌, 王志文, 等. 丙酮酸钠对瘤胃酸中毒山羊瘤胃酸度和血液指标的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57(1): 158-161.
- [32] RAZZAGHI A, MALEKKHAHI M, VALIZADEH R. et al. Modulation of ruminal pH, milk fat secretion, and biohydrogenation intermediates by alkalizing agents in dairy cows fed starch-rich diets [J]. *Livestock Science*, 2021(248): 104485.
- [33] 吴家劲, 朱森林, 周密, 等. 奶牛瘤胃微生物研究进展和趋势[J]. *生物技术通报*, 2020, 36(2): 27-38.
- [34] LIU J, TIAN K, SUN Y. et al. Effects of the acid-base treatment of corn on rumen fermentation and microbiota, inflammatory response and growth performance in beef cattle fed high-concentrate diet. [J]. *Animal : an international journal of animal bioscience*, 2020, 14(11): 1.
- [35] RIYANTI L, SURYAHADI, EVVYERNIE D. In Vitro Fermentation Characteristics and Rumen Microbial Population of Diet Supplemented with *Saccharomyces cerevisiae* and Rumen Microbe Probiotics[J]. *Media Peternakan*, 2016, 39(1): 40-45.
- [36] 黎凌铄, 彭忠利, 陈仕勇, 等. 小肽与酵母培养物对舍饲牦牛瘤胃微生物多样性和发酵参数的影响[J]. *中国饲料*, 2021(5): 16-23.
- [37] 曹文新, 李艳琴, 纪守坤, 等. 灭活酵母培养物对育肥羔羊瘤胃发酵和细菌群落及免疫指标的影响[J/OL]. *中国畜牧杂志*: 1-13 [2021-03-30 <https://kns.net/kns8/defaultresult/index>].
- [38] 朱伦琴. 低日粮阴阳离子差协同镁与 V_D 防治动物低血钙的研究[D]. 贵州大学, 2016.
- [39] 刘培剑, 林英庭. 碳酸氢钠在反刍动物生产中的应用和研究[J]. *中国饲料*, 2016(14): 10-14.
- [40] KAYLA P. NEIDERFER A M. BARNARD K Z. et al. Effects of calcium carbonate, magnesium oxide and encapsulated sodium bicarbonate on measures of post - ruminal fermentation [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2020, 104(3): 802-811.
- [41] SPEARS J W, LLOYD K E, FRY R S. Tolerance of cattle to increased dietary sulfur and effect of dietary cation-anion balance. [J]. *Journal of animal science*, 2011, 89(8): 2502-2509.

Research Progress and Application of Rumen modulator in Ruminant Production

XIE Yu-qiang¹, WAN Fa-chun^{1*}, SHEN Wei-jun¹, WANG Zuo¹

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, 410128)

Abstract: With the development of large - scale ruminant husbandry system, high concentrate feeding is a common strategy to promote the rapid growth of ruminants, but it usually leads to rumen metabolic disorders and other problems. Rumen modulators have been widely used in ruminant feeding as a kind of efficient, safe and inexpensive nutrient metabolism regulator. However, there are still different opinions on the effect and mechanism of rumen modulators. This review summarized the research progress on the application of rumen modulators in ruminants at home and abroad, in order to provide references for future research on rumen metabolism regulation.

Key words: rumen regulator; ruminants; metabolic regulation