过瘤胃氨基酸在奶牛中的应用研究进展

初莉莉

诸城市枳沟畜牧兽医站，山东潍坊 262200

摘　要：蛋白质营养的实质是氨基酸营养。大量研究证实，氨基酸能提高奶牛生产性能、改善机体健康，维持奶牛高效生产性能。然而，由于反刍动物独特的消化结构，通常需对氨基酸进行过瘤胃保护以提高小肠吸收率。在当前奶业行业低迷情况下，亟需科学利用过瘤胃产品节本增效，促进奶业可持续发展。本文综述过瘤胃氨基酸的特点及其在奶牛中的研究进展，并对其应用进行总结，为其合理使用提供理论依据和技术指导。

关键词：过瘤胃赖氨酸；过瘤胃蛋氨酸；β–羟丁酸；奶牛；奶品质

文章编号：1671–4393（2025）05–0025–06　　DOI:10.12377/1671–4393.25.05.05

中国乳业线上阅读

0 引言

蛋白质是所有生命的组成物质，也是动物机体不可或缺的营养素之一，对于动物生长、生产、健康和繁殖等发挥重要作用。但我国蛋白质饲料缺乏，每年缺口约为8 000 万吨，严重制约畜牧业发展[1]。而反刍家畜独特消化结构，即拥有一个天然的发酵罐——瘤胃，其中栖息数以万计细菌、真菌和原虫等，能够为宿主提供优质菌体蛋白。菌体蛋白的质量与苜蓿、豆粕等常用蛋白饲料相当，占机体后肠道氨基酸吸收总量的60%～85%[2，3]。但瘤胃会降低高质量氨基酸使用效率，从而降低奶牛生产性能、影响健康[4，5]。在当前奶业低迷情况下，亟需科学使用过瘤胃氨基酸，通过科技赋能奶牛产业，缓解我国蛋白质饲料资源不足以及践行“大食物观”。本文旨在综述过瘤胃氨基酸在奶牛中的应用研究进展，以期为奶牛产业提质增效提供理论依据和技术指导。

1 过瘤胃氨基酸简介

我国在蛋白饲料资源不足的情况下，日粮氨基酸平衡对开发畜禽低蛋白日粮有重要作用。但反刍家畜瘤胃会降低日粮中高质量营养素，如氨基酸的使用效率，从而降低它们的原始价值，因此在通常情况下，需要用物理、化学或生物等过瘤胃技术进行保护，以减缓其在瘤胃的降解速度，最终提高它们在小肠的利用率[6]。过瘤胃氨基酸，尤其是过瘤胃赖氨酸、过瘤胃蛋氨酸和过瘤胃组氨酸等限制性氨基酸[7]，对于提高产品质量、维持畜禽机体健康发挥重要作用（表1）[4，8～12]。

作者简介：初莉莉（1978–），女，山东潍坊人，本科，高级兽医师，研究方向为基层动物防疫与检疫。

表 1 过瘤胃氨基酸类型及其在奶牛中的作用

类型	在奶牛中的作用	参考文献
过瘤胃赖氨酸	通过改善瘤胃微生物区系显著提高产奶量（P<0.05），并影响采食量与养分利用效率	[4]
过瘤胃蛋氨酸	改善瘤胃微生物区系及机体抗氧化能力，显著提高产奶量（P<0.05）	[8]
过瘤胃组氨酸	提高产奶量、相关机制不明	[11]
过瘤胃亮氨酸	通过改善瘤胃微生物区系提高产奶量（P<0.05）	[12]

2 过瘤胃赖氨酸在奶牛中的应用研究进展

赖氨酸作为第一限制性氨基酸，在奶牛中的研究较多，且研究结果之间存在一定的差异，这主要与试验动物、日粮蛋白质水平、不可降解蛋白质的消化率和氨基酸的互作等多种因素有关[13]。

2.1 过瘤胃赖氨酸对奶牛乳品质和生产性能的影响

赖氨酸对乳品质的影响受多重因素的调控，如氨基酸平衡状态、过瘤胃技术的稳定性、日粮蛋白水平、能量与碳水化合物组成等日粮背景因素，以及试验周期与阶段、样本量与生理阶段、检测指标局限性、环境与饲养管理干扰等试验设计差异等。

Robinson等[14]研究不同泌乳阶段（早期和中期）奶牛日粮中添加41.00 g/d过瘤胃赖氨酸，泌乳早期奶牛的产奶量和乳蛋白率均提高，而泌乳中期乳脂率提高。这表明奶牛不同阶段赖氨酸需要量存在差异：一方面，与日粮中粗蛋白水平和赖氨酸含量有关；另一方面，由于泌乳中期赖氨酸添加量超过营养需要量，导致过多赖氨酸通过糖异生反应将多余氨基酸转化至乳脂[15]。Bernard等[16]研究表明，泌乳高峰期奶牛（产奶量＞36.00 kg/d）日粮添加37.00 g/d过瘤胃赖氨酸，可提高乳脂和乳蛋白含量以及能量校正产奶量，但对产量＜36.00 kg/d奶牛产奶量和乳品质无显著影响。Fagundes等[17]研究表明，过瘤胃赖氨酸能降低奶牛干物质采食量，提高产奶效率，但对乳品质无影响。赖氨酸对乳品质和生产性能影响直接决定奶牛生产效益，而当前赖氨酸对奶牛乳品和生产性能影响研究存在不同结论，这主要与日粮中蛋白质水平、氨基酸含量、奶牛生长阶段等相关。

2.2 过瘤胃赖氨酸对奶牛养分利用及其胃肠道微生物区系的影响

养分利用效率决定机体对营养物质的消化情况，这主要与胃肠道微生物区系有关。虽然赖氨酸通过技术手段被保护，从而提高过瘤胃率，但仍有部分被降解。研究报道，奶牛日粮中分别添加0.85%和1.21%过瘤胃赖氨酸，瘤胃微生物对赖氨酸不敏感，仅有几种产乙酸菌和产丁酸菌的丰度发生变化[18]。Dinn等[19]在奶牛低蛋白日粮中添加过瘤胃赖氨酸，能降低蛋白质表观消化率，而对干物质表观消化率和乳尿素氮含量、粪氮排出量、氮沉积和能量代谢没有显著影响。日粮中添加过瘤胃氨基酸可提高奶牛蛋白质转化效率，降低氮排泄量，这可能与瘤胃内氨气浓度降低，从而降低门静脉对氨的吸收以及肝脏中尿素生成有关[10]。Wei等[20]报道，日粮中添加40.00 g/d过瘤胃赖氨酸能提高后肠道中有益微生物如克里斯滕森氏菌属（*Christensenellaceae* R-7 group）和不动杆菌属（*Acinetobacter*）丰度、降低有害微生物如狭义梭菌属1群（*Clostridium sensu stricto* 1）和图里奇杆菌属（*Turicibacter*）丰度，最终提高奶牛干物质采食量、乳蛋白产量和能量校正产奶量。

2.3 过瘤胃赖氨酸对奶牛血液生理生化指标的影响

血液生理生化指标是反映奶牛机体健康状态的重要依据。研究证实，氨基酸在免疫调节中发挥重要作用，如赖氨酸缺乏会限制细胞因子合成和淋巴细胞增殖[21]。高能量饲粮添加40.00 g/d过瘤胃赖氨酸能降低过渡期奶牛血清β-羟丁酸和游离脂肪酸浓

中国乳业线上阅读

度，提高干物质采食量和葡萄糖利用率，从而改善机体免疫机能，降低代谢疾病发生率，提高产犊前后血清抗氧化能力，降低丙二醛含量[22]。β-羟丁酸是评价机体能量平衡的重要血清指标。研究表明，奶牛断奶前后日粮分别补充0.33%或0.24%过瘤胃赖氨酸能缓解机体能量负平衡状态[23]。

3 过瘤胃蛋氨酸在奶牛中的应用研究进展

3.1 过瘤胃蛋氨酸对奶牛乳品质和生产性能的影响

蛋氨酸是第二限制性氨基酸。Ardalan等[24]报道，日粮蛋白质、可代谢蛋氨酸、可代谢赖氨酸分别为16.10% 代谢蛋白质（MP）、1.85% MP和6.80% MP时，添加15.00 g/d过瘤胃蛋氨酸能提高奶牛乳蛋白率和乳蛋白产量，增加血浆蛋氨酸浓度。此外，日粮蛋白质为17.20%时，补饲7.60 g/d过瘤胃蛋氨酸也被证实能提高乳蛋白率和乳蛋白产量，增加瘤胃微生物蛋白产量。Han等[25]报道，围产期奶牛日粮添加0.10%过瘤胃蛋氨酸，并保持赖氨酸与蛋氨酸比例为2.8∶1，能增加奶牛的干物质采食量、产奶量和乳蛋白率。Zhao等[26]表明，舍饲牦牛补饲过瘤胃蛋氨酸，改善瘤胃微生物区系，能显著提高牦牛产奶量和蛋白产量。蛋氨酸作为机体合成谷胱甘肽和牛磺酸的前体物质，对机体抗氧化功能发挥重要作用[27，28]。奶牛在热应激状态下，添加0.11%过瘤胃蛋氨酸能显著缓解乳蛋白率、乳脂肪率下降趋势，但对干物质、产奶量等无显著影响[29]。热应激高产奶牛日粮添加过瘤胃蛋氨酸，MP中的赖氨酸与蛋氨酸比例为2.97∶1时，产奶量、乳蛋白产量、乳蛋白含量和乳脂产量显著增加4.00%、10.70%、5.70%和10.10%[30]。

3.2 过瘤胃蛋氨酸对奶牛养分利用及其胃肠道微生物区系的影响

Gu等[31]结合代谢组学分析乳代谢物，16S rRNA基因测序分析瘤胃微生物组成，发现奶牛日粮添加20.00 g/d过瘤胃蛋氨酸，乳脂含量、乳脂产量显著提高，并鉴定出乳中15 类443 个化合物，其中15 个代谢产物发生显著变化。添加过瘤胃蛋氨酸会增加乳中α-酮戊二酸含量等功能性营养素，并发现瘤胃中有48 个显著不同的细菌属，其中醋酸菌属（*Acetobacter*），毛螺菌科未分类菌属（*unclassified f Lachnospiraceae*）和糖发酵菌属（*Saccharofermentan*）与乳脂有紧密关系，乳中α-酮戊二酸含量与瘤胃液中高温放线菌属（*Thermoactinomyces*），星状支原体属（*Asteroleplasma*）和*Saccharofermentan*丰度正相关。该研究揭示奶牛添加瘤胃保护蛋氨酸（RPM）后乳中的代谢组学指纹图谱和关键功能代谢物，以及与之相关的关键瘤胃细菌。这些发现为开发富含功能性营养素α-酮戊二酸或高乳脂的功能性乳制品提供新见解。

3.3 过瘤胃蛋氨酸对奶牛血液生理生化指标的影响

围产期奶牛易遭受能量负平衡，导致机体活性氧代谢物显著增加，从而引起氧化应激反应。蛋氨酸作为重要的含硫氨基酸，其代谢循环中产生的高半胱氨酸是血清抗氧化物酶——谷胱甘肽的重要前体物质[32]。因此，奶牛围产期添加过瘤胃蛋氨酸能提高机体抗氧化能力[33]。泌乳高峰期奶牛日粮添加15.00 g/d过瘤胃蛋氨酸能提高血浆尿素氮、总二氧化碳水平，血浆中白蛋白、球蛋白、总蛋白、甘油三酯与胆固醇含量升高，葡萄糖和胰岛素含量无明显差异，谷丙转氨酶和天冬氨酸转氨酶两种肝脏损伤指标与对照组无差异[34]。

4 其他过瘤胃氨基酸在奶牛中的研究进展

目前关于过瘤胃组氨酸在奶牛中的研究报道相对较少。日粮添加32.00 g/d过瘤胃组氨酸能提高产

中国乳业线上阅读

奶量、降低牛奶中尿素氮浓度，但对养分利用、能量转化效率、氮转化效率无显著影响，且与过瘤胃赖氨酸同时添加无协同作用[21]。过瘤胃组氨酸能有效提高血浆和肌肉中组氨酸浓度和乳蛋白合成。牛奶中尿素氮升高、尿中尿素氮排泄表明血浆中尿素氮可能超过需要量，过量的氮在肝脏中转化为尿素。未来需进一步研究过瘤胃组氨酸的生物利用度，以提高氨基酸精准营养[35]。

研究发现，与高蛋白（17.13%）相比，奶牛低蛋白（14.10%）豆粕型日粮添加过瘤胃亮氨酸（36.00 g/d）对产奶量和乳蛋白率没有影响，也不影响血液氨基酸、血液激素和mTOR蛋白、eEF2蛋白的磷酸化水平[36]。

5 多元化过瘤胃氨基酸对奶牛生产性能的影响

虽然单一过瘤胃氨基酸在奶牛中的应用报道众多，但考虑氨基酸平衡理论。在实际生产、研究过程中多元化过瘤胃氨基酸的使用也较多，且大多数研究均证实日粮尤其是低蛋白日粮中，复合过瘤胃氨基酸的协同效果优于单一添加，产奶量提高0.10 kg/d[37]。在以玉米青贮和苜蓿草料为基础的饲粮、代谢蛋白缺乏的高产奶牛日粮中，补饲蛋氨酸和赖氨酸能提高产奶量，提高乳氮效率，减少尿氮损失[38，39]。Liu等[4]研究报道，放牧泌乳牦牛同时补饲5.00 g/d过瘤胃蛋氨酸、15.00 g/d过瘤胃赖氨酸对产奶量无显著影响，但可降低体细胞数、改善乳中氨基酸含量，并提高瘤胃中纤维素分解菌数量。

6 总结

过瘤胃氨基酸对奶牛生长和生产有重要作用，日粮添加适宜过瘤胃氨基酸能科学改善氨基酸平衡，提高奶牛生产性能等。今后研究，需结合氨基酸平衡理论、日粮氨基酸营养水平和奶牛不同生产阶段氨基酸需要量等背景，为过瘤胃氨基酸在奶牛中的科学使用提供参考。

参考文献

[1] 薛俊敬，李四元，方热军.畜禽饲粮豆粕减量营养调控技术研究进展[J].动物营养学报，2019，31（8）：3438-3447.

[2] Xue M Y，Sun H Z，Wu X H，et al.Multi-omics reveals that the rumen microbiome and its metabolome together with the host metabolome contribute to individualized dairy cow performance[J].Microbiome，2020，8（1）：64.

[3] Zang X W，Sun H Z，Xue M Y，et al.Heritable and nonheritable rumen bacteria are associated with different characters of lactation performance of dairy cows[J].mSystems，2022，7（5）：e0042222.

[4] Liu H，Hao L Z，Cao X L，et al.Effects of supplementary concentrate and/or rumen-protected lysine plus methionine on productive performance，milk composition，rumen fermentation，and bacterial population in Grazing，Lactating Yaks[J].Animal Feed Science and Technology，2023，297：115591.

[5] Pereira G，Simões P，Bexiga R，et al.Effects of feeding rumen-protected linseed fat to postpartum dairy cows on plasma n-3 polyunsaturated fatty acid concentrations and metabolic and reproductive parameters[J].Journal of Dairy Science，2022，105（1）：361-374.

[6] 王国艮，葛旭升.过瘤胃蛋白质保护技术在反刍动物饲料中的应用[J].北京：中国乳业，2019（6）：41-43.

[7] National Research Council（NRC）.Nutrient Requirement of Dairy Cows[M].National Academies Press，Washington，DC，2001.

[8] 刘德强.过瘤胃蛋氨酸对奶牛泌乳期生产性能、养分消化率、血清生化指标的影响[D].邯郸：河北工程大学，2022.

[9] Tan P，Liu H，Zhao J，et al.Amino acids metabolism by rumen microorganisms：Nutrition and ecology strategies to reduce nitrogen emissions from the inside to the outside[J].Science of The Total Environment，2021，800：149596.

[10] Haque M N，Guinard-Flament J，Lamberton P，et al.Changes in mammary metabolism in response to the provision of an ideal amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows：Consequences on efficiency[J].Journal of Dairy Science，2015，98（6）：3951-3968.

[11] 刘玉，郑爱华，林萌萌，等.过瘤胃氨基酸在反刍动物中的应用进展[J].北京：饲料研究，2024，47（12）：158-162.

[12] 陈捷.亮氨酸对泌乳奶山羊生产性能和小肠淀粉消化的影响及机制[D].咸阳：西北农林科技大学，2022.

[13] 高昌鹏，桂瑞麒，赵海霞，等.过瘤胃赖氨酸在反刍动物生

中国乳业线上阅读

产中的应用及影响其饲用效果的因素[J].北京：动物营养学报，2021，33（10）：5424-5434.

[14] Robinson P H，Swanepoel N，Shinzato I，et al.Productive responses of lactating dairy cattle to supplementing high levels of ruminally protected lysine using a rumen protection technology[J].Animal Feed Science and Technology，2011，168（1/2）：30-41.

[15] Apelo S I A，Bell A L，Estes K，et al.Effects of reduced dietary protein and supplemental rumen-protected essential amino acids on the nitrogen efficiency of dairy cows[J].Journal of Dairy Science，2014，97（9）：5688-5699.

[16] Bernard J K，Chandler P T，Sniffen C J，et al.Response of cows to rumen-protected lysine after peak lactation[J].The Professional Animal Scientist，2014，30（4）：407-412.

[17] Fagundes M A，Hall J O，Eun J S.Effects of feeding different forms of lysine supplements on lactational performance and nitrogen utilization by mid-to late-lactation dairy cows[J].Applied Animal Science，2022，38（1）：1-12.

[18] Kong F，Gao Y，Fu T，et al.Effects of dietary rumen-protected Lys levels on rumen fermentation and bacterial community composition in Holstein heifers[J].Applied Microbiology & Biotechnology，2020，104（814）：6623-6634.

[19] Dinn N E，Shelford J A，Fisher L J.Use of the Cornell net carbohydrate and protein system and rumen-protected lysine and methionine to reduce nitrogen excretion from lactating dairy cows[J].Journal of Dairy Science，1998，81（1）：229-237.

[20] Wei X S，Wu H，Wang Z X，et al.Rumen-protected lysine supplementation improved amino acid balance，nitrogen utilization and altered hindgut microbiota of dairy cows[J].Animal Nutrition，2023，15：320-331.

[21] Delelesse G D.能量水平和瘤胃保护赖氨酸对围产期奶牛肝脏功能、抗氧化能力及生产性能的影响[D].北京：中国农业科学院，2019.

[22] Elsaadawy S A，Wu Z，Wang H，et al.Supplementing ruminally protected lysine，methionine，or combination improved milk production in transition dairy cows[J].Frontiers in Veterinary Science，2022，9：780637.

[23] Pereira M N，J ú nior N N M，Oliveira R C，et al.Methionine precursor effects on lactation performance of dairy cows fed raw or heated soybeans[J].Journal of Dairy Science，2021，104（3）：2996-3007.

[24] Ardalan M，Vargas Rodriguez C F，Zanton G I，et al.Relative availability of metabolizable methionine from 2 ruminally protected sources of methionine fed to lactating dairy cattle[J].Journal of Dairy Science，2021，104（2）：1811-1822.

[25] Han L，Batistel F，Ma Y，et al.Methionine supply alters mammary gland antioxidant gene networks via phosphorylation of nuclear factor erythroid 2-like 2（NFE2L2）protein in dairy cows during the periparturient period[J].Journal of Dairy Science，2018，101（9）：8505-8512.

[26] Zhao Z W，Ma Z Y，Wang H Cet al.Effects of rumen-protected methionine and lysine supplementation on milk yields and components，rumen fermentation，and the rumen microbiome in lactating yaks（Bos grunniens）[J].Animal Feed Science and Technology，2021，277，114972.

[27] 曹旭亮，刘虎，杨果，等.夏季补饲对放牧条件下泌乳牦牛生产性能及血液生理、生化、抗氧化指标的影响[J].北京：动物营养学报，2021，33（4）：2116-2125.

[28] 刘德强，王凤红，许瑞，等.过瘤胃蛋氨酸在反刍动物生产中的应用研究进展[J].北京：动物营养学报，2022，34（12）：7564-7573.

[29] Pate R T，Luchini D，Murphy M R，et al.Effects of rumen-protected methionine on lactation performance and physiological variables during a heat stress challenge in lactating Holstein cows[J].Journal of Dairy Science，2020，103（3）：2800-2813.

[30] Junior V C，Lopes F，Schwab C G，et al.Effects of rumen-protected methionine supplementation on the performance of high production dairy cows in the tropics[J].PLoS One，2021，16（4）：e0243953.

[31] Gu F，Liang S，Zhu S，et al.Multi-omics revealed the effects of rumen-protected methionine on the nutrient profile of milk in dairy cows[J].Food Research International，2021，149：110682.

[32] Brosnan J T，Brosnan M E.The sulfur-containing amino acids：An overview[J].The Journal of Nutrition，2006，136（Suppl.6）：1636S-1640S.

[33] Batistel F，Arroyo J M，Garces C I M，et al.Ethyl-cellulose rumen- protected methionine alleviates inflammation and oxidative stress and improves neutrophil function during the periparturient period and early lactation in Holstein dairy cows[J].Journal of Dairy Science，2018，101：480-490.

[34] 周琳琳.过瘤胃蛋氨酸对泌乳高峰期奶牛生产性能、血液生化和氨基酸代谢的影响[D].咸阳：西北农林科技大学，2023.

[35] Zang Y，Silva L H P，Ghelichkhan M，et al.Incremental amounts of rumen-protected histidine increase plasma and muscle histidine concentrations and milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet[J].Journal of Dairy Science，2019，102（5）：4138-4154.

[36] 黄盈利.低蛋白饲粮添加过瘤胃蛋氨酸和过瘤胃亮氨酸对泌乳荷斯坦奶牛生产性能的影响[D].泰安：山东农业大学，

中国乳业线上讲堂

2019.

[37] Van den Bossche T，Goossens K，Ampe B，et al.Effect of supplementing rumen-protected methionine，lysine，and histidine to low-protein diets on the performance and nitrogen balance of dairy cows[J].Journal of Dairy Science，2023，106（3）：1790-1802.

[38] 王诚，郭慧君，张桂国，等.过瘤胃氨基酸对反刍动物生产性能及氮排放的影响[J].中国乳业，2024（6）：49-53.

[39] Lee C，Hristov A N，Cassidy T W，et al.Rumen-protected lysine，methionine，and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet[J].Journal of Dairy Science，2012，95（10）：6042-6056.

Research Progress on the Application of Rumen-protected Amino Acids in Dairy Cows

CHU Lili

Zhucheng Zhigou Animal Husbandry and Veterinary Workstation，Weifang Shandong 262200

Abstract：The essence of protein nutrition is amino acid nutrition. Numerous studies confirm that amino acids improve production performance，enhance body health，and maintain high production efficiency in dairy cows. However，due to the unique digestive structure of ruminants，amino acids often require rumen-protected technology to increase intestinal absorption. Under the current downturn in the dairy industry, scientific utilization of rumen-protected products is essential to reduce costs and improve efficiency，thereby promoting dairy industry development. This paper reviewed the characteristics of rumen-protected amino acids，their research progress in dairy cows，and summarized its applications，providing a theoretical basis and technical guidance for their rational use.

Keywords：rumen-protected lysine；rumen-protected methionine；β-hydroxybutyrate；dairy cows；milk quality

中国乳业线上阅读