

甜菜碱的生物学功能及在肉牛生产中的应用研究

岳萌萌¹, 卜也², 何丽华³, 刘利², 王鹏⁴, 赵晓川²,
许珊珊², 王春微⁵, 柴孟龙⁶, 孙芳^{1,2*}

(1.黑龙江八一农垦大学 黑龙江 大庆 163000; 2.黑龙江省农业科学院 畜牧研究所 哈尔滨 150086;
3.辽宁生态工程职业学院 农牧学院 沈阳 110122; 4.尚志市马延乡人民政府 黑龙江 尚志 150621;
5.黑龙江省畜牧总站 哈尔滨 150069; 6.黑龙江省动物疫病预防与控制中心 哈尔滨 150069)

中图分类号: S816.73; S823.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-7034(2021)11-0044-04

摘要: 甜菜碱是一种高活性甲基供体,可以促进蛋白质合成,改善胴体品质,在脂肪与氨基酸代谢中起着重要的营养调控作用。因此,甜菜碱在肉牛生产中作为一种新型饲料添加剂正在被开发利用。文章对甜菜碱的理化性质、生理功能及其在肉牛生产中的应用进行了综述,以期开展甜菜碱在肉牛育肥中作用的研究提供参考。

关键词: 甜菜碱; 生物学特性; 甲基供体; 热应激; 肉牛; 生长性能; 胴体品质

甜菜碱又称三甲基甘氨酸,在19世纪,因从甜菜中发现而得名,是一种稳定且无毒的天然物质,广泛分布于动植物和微生物中^[1]。在植物中,甜菜碱作为一种渗透压保护剂用于抵抗热应激。在动物机体中,甜菜碱一方面可通过饮食摄入,另一方面由胆碱氧化生成,是体内重要的甲基供体,对维持机体渗透压平衡和正常脂肪代谢起关键作用^[2]。甜菜碱作为饲料添加剂可以改善脂肪细胞分解,减少脂肪生成,促进脂肪代谢^[3]。另外,甜菜碱可增强反刍动物抗热应激的潜力。在肉牛日粮中添加甜菜碱能降低高温条件下肉牛对热应激的敏感性,降低直肠温度和呼

吸频率^[4]。但是甜菜碱的应用还存在很多问题: 1) 机体中甜菜碱参与脂肪代谢机理尚未完全明确; 2) 在饲料中添加甜菜碱能否代替其他甲基供体维持机体正常代谢有待考证; 3) 甜菜碱在肉牛各生长阶段添加量有待确定^[5]。鉴于此,笔者对甜菜碱的生理功能及其在肉牛中的应用进行综述,以期在肉牛生产中合理利用甜菜碱提供参考。

1 理化性质

甜菜碱化学名称为三甲胺乙内酯,英文名为 betaine,相对分子质量为 117.15,分子结构式为 $(\text{CH}_3)_3\text{N}^+\text{CH}_2\text{COO}^-$,见图1。

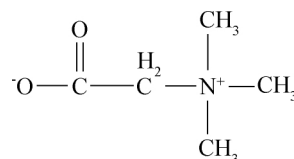


图1 甜菜碱的分子结构式

Fig.1 The molecular formula of betaine

甜菜碱是无色、透明、棱柱状或叶片状晶体;味甘

收稿日期: 2021-02-18; 修回日期: 2021-03-03

基金项目: 黑龙江省重点基金项目(ZD2017005); 黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(2019CX-16)

作者简介: 岳萌萌(1998—),女,硕士研究生,研究方向为反刍动物营养,2390948743@qq.com.

* 通信作者: 孙芳(1968—),女,研究员,硕士,研究方向为肉牛饲养管理及养殖工艺,hljxmsf@163.com.

Research progress on detection methods of bovine tuberculosis

ZHANG Jiarui¹, ZHANG Li², Reziwaguli · Yimiti¹, QU Yonggang^{1*},

LIAN Xiaochun², LI Jing¹, CHANG Junshuai¹, LI Yan^{2*}

(1.College of Animal Science and Technology Shihezi University Shihezi 832003, China;

2.Animal Husbandry and Veterinary General Station, The Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi 830063, China)

Abstract: Bovine tuberculosis is a zoonotic disease mainly caused by *Mycobacterium tuberculosis* variant bovis. Countries usually adopt "quarantine-culling" measures to reduce the economic losses caused by bovine tuberculosis and to ensure public health security. This article summarized some research results of bovine tuberculosis detection methods based on pathogen level, immune protein (and its derivatives) level and nucleic acid (molecular) level, in order to provide theoretical basis for bovine tuberculosis quarantine and clinical diagnosis.

Keywords: bovine tuberculosis; detection; method; etiology; immunology; molecular biology

(020)

甜;可溶于水、甲醇和乙醇,难溶于乙醚;耐高温;具有吸湿性;与浓氢氧化钾反应分解生成三甲胺^[6]。

2 甜菜碱的生物学功能

2.1 供甲基作用

甲基($-\text{CH}_3$)是机体内的一种一碳基团^[7],是动物体内各种物质代谢不可缺少的物质,参与肌酸、磷脂酰胆碱和肉碱合成,并通过胞嘧啶调控基因表达和组蛋白甲基化^[8]。动物本身不能合成甲基,必须由饲料供给,目前普遍使用的甲基供体是甜菜碱、胆碱和蛋氨酸^[9]。就供甲基而言,三者之间可以互相替代^[10]。甜菜碱是甲基的直接供体,它可将甲基转移给高半胱氨酸合成蛋氨酸;胆碱是甲基的间接供体,它必须氧化为甜菜碱才能发挥供甲基作用;蛋氨酸可与乙醇胺合成胆碱,然后进一步氧化提供甲基,而蛋氨酸本身又可转变为高半胱氨酸,但由于蛋氨酸是动物的必需氨基酸,除供甲基外,更重要的作用是合成蛋白质^[11]。若蛋氨酸参与供甲基反应过量,会抑制蛋白质合成。张凯等^[12]研究结果表明,甜菜碱 1.00 kg 相当于 50% 氯化胆碱 2.13 kg、60% 氯化胆碱 1.92 kg、70% 氯化胆碱 1.65 kg 或蛋氨酸 1.25 kg。因此,日粮中适当补充甜菜碱可部分替代蛋氨酸的供甲基作用,提高蛋白质转化效率。

2.2 抗热应激作用

甜菜碱可通过调节渗透压维持动物机体内环境稳态,以提高动物抗热应激的能力^[13]。当动物长时间处于湿热环境中会出现高渗应激,哺乳动物细胞的即时反应是细胞组织液外流,胞内无机溶质浓度增加以维持细胞内外渗透压平衡。但胞内无机溶质积累过量,会干扰电信号转导和蛋白质构象。因此,为了维持细胞功能,细胞将胞内有害的无机溶质与胞外兼容的有机渗透物(如甜菜碱)进行交换,来维持细胞正常的生理功能^[14]。甜菜碱缓解热应激的作用机理为:高半胱氨酸既是一种氨基酸,也是脑内 γ -氨基丁酸合成酶(GABA)、谷氨酸脱羧酶(GAD)的抑制剂,甜菜碱通过促进体内高半胱氨酸向蛋氨酸的转化,降低了体内高半胱氨酸含量,进而减轻其对 GAD 活性的抑制,有利于脑内 GABA 的合成,缓解中枢系统过度兴奋^[15]。

在生产中,热应激会导致公牛性欲减退、精液质量下降,并引起母牛发情和排卵异常,使繁殖能力下降,严重时引起急性死亡^[16]。Liu W. C. 等^[17]研究结果表明,当动物处于热应激状态,饲喂甜菜碱可促进多种肠道微生物抗渗透变异,提高微生物发酵活性。贾亚伟等^[18]研究结果表明,在高温条件下,在饲料中添加酵母铬 0.8 mg/kg 和甜菜碱 21.0 g/kg,西门塔尔牛的采食量和日增重分别提高了 17.22% 和 39.66%,料肉比降低了 16.04%。

2.3 调节脂肪和蛋白质代谢

饲喂甜菜碱可加速动物体内的脂肪酸分解,减少胴体脂肪沉积,在瘦肉型动物生产中发挥重要作用^[19]。甜菜碱主要从三个方面来调控畜禽脂肪代谢:1)甜菜碱为磷脂酰胆碱合成提供甲基,促进 RNA 和 DNA 等物质的合成;2)甜菜碱能提高机体肝脏和肌肉中肉碱含量,促进肝脏中脂类的迁移和脂肪酸的 β -氧化;3)甜菜碱能显著降低苹果酸脱氢酶的活性,加速脂肪分解和抑制部分脂肪合成以达到降低胴体脂肪含量的作用^[20]。

甜菜碱的蛋氨酸节省效应会改善牛对日粮中蛋白质的利用^[2]。甜菜碱通过提供甲基来降低蛋氨酸的供甲基消耗,并提高半胱氨酸-S-甲基转移酶活性以促进高半胱氨酸的转化,调节机体内蛋白质和氨基酸的代谢^[12]。Gao X. 等^[21]总结了甜菜碱的作用机制,甜菜碱干预上调了过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR α)和下游脂肪酸氧化酶如酰基辅酶 A 氧化酶 1 或 2(ACOX-1/2)的基因表达;同时,促进了肌肉肉碱的积累,加速了脂肪酸 β -氧化,加快了肉碱棕榈酰转移酶-I 介导的游离脂肪酸向线粒体的转运,并通过降低固醇调节元件结合蛋白 1c(SREBP-1c)、乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)、苹果酸酶(ME)和脂肪酸合酶(FAS)的活性来降低脂肪组织和肌肉中的脂肪酸和三酰甘油的合成能力。甜菜碱还可通过减少脂蛋白脂酶(LPL)的表达来减少脂肪细胞中循环脂蛋白对三酰甘油的吸收,并通过增加肝细胞和脂肪细胞中的线粒体含量和活性促进白色脂肪组织(WAT)褐变^[22]。补充甜菜碱可减少同型半胱氨酸(Hcy)甲基化为蛋氨酸,促进蛋白质合成,还可刺激生长激素(GH)和胰岛素样生长因子 1(IGF-1)的分泌,从而改善胰岛素受体底物/胰岛素信号通路(IRS/Akt-mTOR)蛋白的合成途径^[23]。另外,甜菜碱可通过减少高半胱氨酸代谢产生的有毒物质——硫代内酯(HTL)促进 IGF-1 分泌,维持蛋白质合成,增加肌肉质量^[24]。甜菜碱作用机制见图 2。

3 甜菜碱在肉牛生产中的应用

3.1 改善瘤胃发酵功能

瘤胃发酵产生的挥发性脂肪酸(VFA)是反刍动物的主要能量来源,其含量和组成是反映瘤胃功能的重要指标^[25]。张善芝等^[26]采用人工瘤胃体外发酵方法探讨甜菜碱盐酸盐对人工瘤胃发酵功能的影响,结果表明:添加甜菜碱盐酸盐组的总 VFA 含量、乙酸含量、丙酸含量和乙酸/丙酸值均高于未添加组,说明甜菜碱盐酸盐能增强培养液中微生物的整体活力从而促进瘤胃发酵;同时添加高剂量甜菜碱盐酸盐组(33.40 mg/L)的瘤胃发酵产气量有增加趋势,而添加低剂量甜菜碱盐酸盐组(16.70 mg/L)有下降趋势;各组间不同时间段的 pH 值呈先高后低趋势,但无

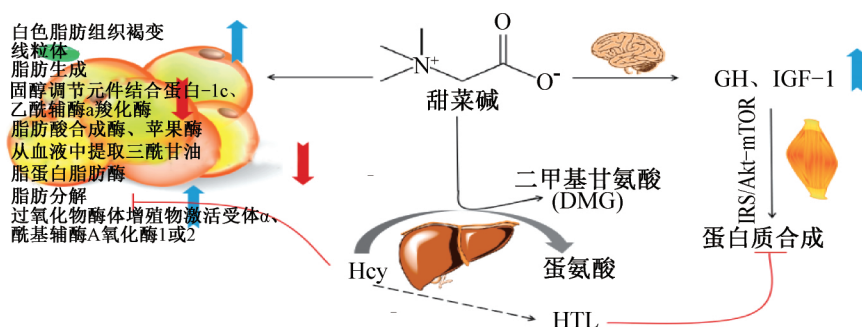


图 2 甜菜碱作用机制

Fig.2 Mechanism of action of betaine

显著差异。Wang C.等^[27]研究结果表明:与对照组(不添加)相比添加甜菜碱 0.6 g/kg 后瘤胃总 VFA 含量提高 12.6%,差异极显著;干物质表观消化率提高显著。说明甜菜碱能增强瘤胃液中微生物功能,促进瘤胃发酵,有利于饲料转化^[28]。

3.2 提高肉牛生长性能

在相同能量、蛋白质水平和粗饲料结构条件下,饲料中添加胆碱和甜菜碱对提高育肥肉牛的蛋白质与能量转化效率、日增重、粗料干物质采食量均有积极作用,同时添加维生素 E 可协同胆碱和甜菜碱作用,提高肉牛生产性能^[29]。L. Preeti 等^[30]研究了在热应激条件下不同甜菜碱添加水平对小母牛生长性能和血液生化指标的影响,结果甜菜碱组 1(每头 25.0 g/d)和甜菜碱组 2(每头 50.0 g/d)的干物质采食量、日增重和饲料转化效率均显著高于对照组(不添加),血浆中 GH 和 IGF-1 含量也显著高于对照组。说明适量添加甜菜碱可促进热应激条件下肉牛补偿生长。Wang C.等^[27]研究结果表明:与对照组(不添加)相比,甜菜碱组(每天 0.6 g/kg)公牛日增重提高 25.2%,差异极显著;饲料转化效率增加了 16.5%,差异极显著。综上所述,在饲料中添加甜菜碱可提高肉牛的采食量和消化率,在环境应激下还可促进补偿生长。

3.3 改善牛肉品质

牛肉蛋白质丰富、胆固醇低、富含人体多种必需营养物质,是具有较高经济价值的保健型肉食品^[31]。Dong L.等^[32]研究结果表明,随着过瘤胃甜菜碱剂量由不添加增加到 3.3 g/d,湖羊的眼肌面积呈线性增加,而且添加过瘤胃甜菜碱提高了瘦肉率,且减少宰后肌肉(或排酸肉)水分流失,提高了肌肉 pH 值。J. O. Matthews 等^[33]研究结果表明,添加甜菜碱使宰后肌肉(或排酸肉)的乳酸含量减少,减缓 pH 值下降和蛋白质变性的速率,提升了肌肉系水力。B. J. Bock 等^[16]分两个试验阶段对 80 头杂交安格斯公牛饲喂甜菜碱 20.00 g/d,第一阶段放牧补饲添加甜菜碱,结果对肉牛的整体增重、脂肪沉积和大理石花纹评分没有显著影响;但日增重提高到 0.72 kg/d,差异显著;

第二阶段舍饲添加甜菜碱,结果采食量、出栏重和胴体重量分别提高了 3.10%、1.50%和 2.20%,差异显著。说明添加甜菜碱能显著改善屠宰性能和肉质,从而更好地满足了消费者的需求^[34]。

4 总结和展望

综上所述,甜菜碱可作为甲基供体提高蛋氨酸的有效转化率,调节蛋白质和脂肪的代谢;还可维持机体渗透压平衡,抵抗热应激;在肉牛饲料中添加甜菜碱可改善瘤胃发酵功能,增加干物质采食量,提高饲料转化率和日增重水平,提高牛肉品质。目前甜菜碱主要应用于鸡、猪和羊,而在肉牛方面的研究和应用较少。因此,随着对牛肉消费需求的增强,甜菜碱在肉牛方面的应用将具有重要意义,在后续研究中应深入探究其参与肉牛哪些代谢途径,研究在肉牛各生长阶段的最优添加量,为甜菜碱在肉牛生产中合理应用提供依据。

参考文献:

- [1] ZHAO G F, HE F, WU C L, et al. Betaine in inflammation: mechanistic aspects and applications [J]. Front Immunol, 2018, 9: 1070.
- [2] EKLUND M, BAUER E, WAMATU J, et al. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock [J]. Nutr Res Rev, 2005, 18(1): 31-48.
- [3] GAO X, ZHANG H J, GUO X F, et al. Effect of betaine on reducing body fat-A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Nutrients, 2019, 11(10): 2480.
- [4] BONNER S. Betaine as a dietary additive for heat exposed beef cattle [D]. Brisbane: The University of Queensland, 2010.
- [5] 俞佳妃, 杨金勇, 周华林, 等. 甜菜碱在乳牛母子一体化饲养的应用进展[J]. 饲料博览, 2020(9): 51-54.
- [6] 孙学钊, 谢幼梅. 甜菜碱及其饲用价值[J]. 饲料与畜牧, 1996(5): 20-22.
- [7] 陈星平, 陈婷, 孙加节, 等. 甲基供体在畜禽养殖中的应用[J]. 广东饲料, 2018, 27(1): 30-32.
- [8] 王磊, 王良, 赵芹. 甲基代谢的生理功能[J]. 饲料博览, 2018(8): 11-15.
- [9] ESTEINNE M J, HARTER J M, BARB C R, et al. N-methyl-D, lyspartate induced growth hormone secretion in barrows: possible mechanisms of action [J]. J Anim Sci, 1996, 74(3): 597-602.
- [10] 王庭喜. 甜菜碱及其应用[J]. 饲料研究, 1998(7): 3-5.
- [11] BERTOLO R F, MCBREAIRTY L E. The nutritional burden of



- methylation reactions [J]. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 2013, 16(1): 102-108.
- [12] 张凯, 宋献艺. 甜菜碱的功能及其在动物生产中的应用[J]. *饲料研究*, 2018(6): 4-6.
- [13] RATRIYANTO A, MOSENTHIN R. Osmoregulatory function of betaine in alleviating heat stress in poultry [J]. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 2018, 102(6): 1634-1650.
- [14] BRANDON D W, TRISTAN J R, MICHAEL J O. Betaine supplementation may improve heat tolerance: potential mechanisms in humans [J]. *Nutrients*, 2020, 12(10): 2939.
- [15] 潘晓花, 付聪, 庞学燕, 等. 甜菜碱在反刍动物生产中的应用[J]. *中国奶牛*, 2012(23): 10-13.
- [16] BOCK B J, BRETHOUR J R, HARMONEY K R, et al. Influence of betaine on pasture, finishing, and carcass performance in steers [J]. *PAS*, 2004, 20(1): 53-57.
- [17] LIU W C, YUAN Y L, SUN C Y, et al. Effects of dietary betaine on growth performance, digestive function, carcass traits, and meat quality in indigenous yellow-feathered broilers under long-term heat stress [J]. *Animals*, 2019, 9(8): 506.
- [18] 贾亚伟, 董国忠, 王芳, 等. 甜菜碱和酵母铬对高温环境中肉牛生产性能的影响[J]. *中国饲料*, 2011(14): 26-28.
- [19] MUHAMMAD S, DARYOUSH B, MUHAMMAD N, et al. Reconsidering betaine as a natural anti-heat stress agent in poultry industry: a review [J]. *Trop Anim Health Prod*, 2017, 49(7): 1329-1338.
- [20] 李玉坤, 刘建华, 李华文, 等. 甜菜碱的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. *中国饲料*, 2013(3): 6-11.
- [21] GAO X, ZHANG H J, GUO X F, et al. Effect of betaine on reducing body fat-A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Nutrients*, 2019, 11(10): 2480.
- [22] DU J J, SHEN L Y, TAN Z D, et al. Betaine supplementation enhances lipid metabolism and improves insulin resistance in mice fed a high-fat diet [J]. *Nutrients*, 2018, 10(2): 131.
- [23] JENNA M A, ELAINE C L, BROOKE L B, et al. Betaine supplementation enhances anabolic endocrine and Akt signaling in response to acute bouts of exercise [J]. *Eur J Appl Physiol*, 2013, 113(3): 793-802.
- [24] NAJIB S, SÁNCHEZ-MARGALET V. Homocysteine thiolactone inhibits insulin-stimulated DNA and protein synthesis: possible role of mitogen-activated protein kinase (MAPK), glycogen synthase kinase-3 (GSK-3) and p70 S6K phosphorylation [J]. *J Mol Endocrinol*, 2005, 34(1): 119-126.
- [25] 王永梅, 韩正康, 王国杰. 大豆异黄酮对人工瘤胃代谢的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2009, 32(1): 168-170.
- [26] 张善芝, 韩兆玉. 甜菜碱盐酸盐对人工瘤胃发酵参数的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2012, 35(1): 139-142.
- [27] WANG C, LIU C, ZHANG G W, et al. Effects of rumen-protected folic acid and betaine supplementation on growth performance, nutrient digestion, rumen fermentation and blood metabolites in Angus bulls [J]. *Br J Nutr*, 2020, 123(10): 1109-1116.
- [28] MITCHELL A D, CHAPPELL A, KNOX K L. Metabolism of betaine in the ruminant [J]. *J Anim Sci*, 1979, 49(3): 764-774.
- [29] 程春梅. 胆碱与维生素E对肉牛生产性能影响的营养调控研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [30] PREETI L, PARVEEN K, MOHANNED A N, et al. Effect of betaine supplementation on growth performance, nutrient intake and expression of IGF-1 in Karan Fries heifers during thermal stress [J]. *Theriogenology*, 2020, 142: 433-440.
- [31] 王鑫, 李光鹏. 牛肉质性状及其影响因素[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(11): 4949-4958.
- [32] DONG L, ZHONG Z X, CUI H H, et al. Effects of rumen-protected betaine supplementation on meat quality and the composition of fatty and amino acids in growing lambs [J]. *Animal*, 2019, 14(2): 435-444.
- [33] MATTHEWS J O, SOUTHERN L L, BIDNER T D, et al. Effects of betaine, pen space, and slaughter handling method on growth performance, carcass traits, and pork quality of finishing barrows [J]. *J Anim Sci*, 2001, 79(4): 967-974.
- [34] 崔慧慧. 过瘤胃甜菜碱对湖羊生产性能和肉品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2015.

Study on biological function of betaine and its application in beef cattle production

YUE Mengmeng¹, BU Ye², HE Lihua³, LIU Li², WANG Peng⁴, ZHAO Xiaochuan²,

XU Shanshan², WANG Chunwei⁵, CHAI Menglong⁶, SUN Fang^{1,2*}

(1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163000, China; 2. Institute of Animal Husbandry, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. College of Agriculture and Animal Husbandry, Liaoning Ecological College of Engineering Vocational, Shenyang 110122, China; 4. Shangzhi City Mayan Township People's Government, Shangzhi 150621, China;

5. Heilongjiang Provincial Animal Husbandry Terminous, Harbin 150069, China;

6. Heilongjiang Animal Disease Prevention and Control Center, Harbin 150069, China)

Abstract: Betaine is a highly active methyl donor that promotes protein synthesis, improves carcass quality, and plays an important role in regulating fat and amino acid metabolism. Therefore, as a new type of feed additives, betaine is being developed and utilized in beef cattle production. In this paper, the physical and chemical properties, physiological functions of betaine and its application in beef cattle production were reviewed in order to provide reference for the research on the role of betaine in beef cattle fattening.

Keywords: betaine; biological characteristics; methyl donor; heat stress; beef cattle; growth performance; carcass quality