

烟酸和烟酰胺在反刍动物机体代谢及生产研究中的异同性

魏筱诗^{1,2} 姚军虎² 王 翀^{1*}

(1.浙江农林大学动物科技学院/动物医学院,浙江省畜禽绿色生态健康养殖应用技术研究重点实验室,动物健康互联网检测技术浙江省工程实验室,杭州 311300;2.西北农林科技大学动物科技学院,杨凌 712100)

摘要: 烟酸(NA)和烟酰胺(NAM)是水溶性B族维生素B₃的2种形式,又称维生素PP,参与机体合成和分解代谢,对动物碳水化合物、脂质和蛋白质代谢均有重要影响,并调控反刍动物的能量代谢和氧化应激等。本文主要总结了烟酸和烟酰胺在反刍动物机体代谢中的作用效果及调控机理,分析其异同,旨在为烟酸和烟酰胺的相关研究以及在生产中的应用提供参考。

关键词: 烟酸;烟酰胺;脂质调控;氧化应激;异同

中图分类号: S811.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)12-5509-07

烟酸(nicotinic acid, NA)和烟酰胺(nicotinamide, NAM)是水溶性B族维生素B₃的2种形式,又称维生素PP,其化学结构式如图1。NA和NAM作为烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(nicotinamide adenine dinucleotide, NAD, 辅酶I)和烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(nicotinamide adenine dinucleotide phosphate, NADP, 辅酶II)的组成部分,参与机体能量代谢、糖脂代谢、氧化应激和炎症调控等^[1-2]。

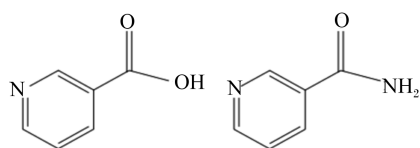


图1 烟酸和烟酰胺的化学结构式

Fig.1 Chemical structural formula of NA and NAM

目前,反刍动物上相关的研究主要使用的是NA,而针对NAM的研究极少,NAM主要集中在人医上的机理探究。NA和NAM的分子基团不同,因此,两者对动物的营养调控作用不完全相

同。本文就NA和NAM在反刍动物机体代谢上的应用现状,结合部分人医上的机制研究对两者营养调控作用的异同进行归纳总结和分析,以期在反刍动物生产中更好的应用提供科学的理论依据。

1 NA和NAM在动物体内的代谢异同

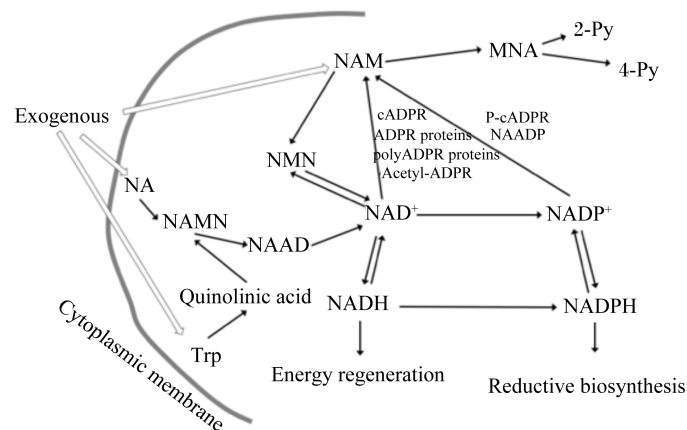
NA和NAM自然存在于动物副产品和植物源饲料原料中。Chen等^[3]总结并比较了10多种饲料中维生素B₃的含量,发现牧草中维生素B₃(未特别区分NA或NAM)的含量较高,谷物中维生素B₃含量较低。NA和NAM主要通过胃肠道黏膜吸收进入体内代谢。除了从饲料原料中获取,几乎所有的动物都可通过体内色氨酸和喹啉酸在肝脏或肾脏中转化合成(图2),但合成效率很低,维生素B₂(核黄素)、维生素B₆(吡啶)和铁是色氨酸转化为NA的辅助因子,有研究检测发现60mg的色氨酸大约可转化产生1mg的NA,转化的能力因个体而异,且色氨酸优先用于蛋白质的合成^[4-5]。

收稿日期:2020-05-15

基金项目:浙江省农业重大技术协同推广计划(2019XTTGXM02-3);浙江省畜禽绿色生态健康养殖应用技术研究重点实验室科研项目(KLGEH001);浙江省“三农六方”科技协作项目(2019SNLF019)

作者简介:魏筱诗(1991—),女,四川绵阳人,讲师,博士,从事反刍动物营养研究。E-mail: deardoris163@163.com

*通信作者:王 翀,教授。E-mail: wangcong992@163.com



NA: 烟酸 nicotinic acid; NAM: 烟酰胺 nicotinamide; NAAD: 腺嘌呤二核苷酸 nicotinic acid adenine dinucleotide; NAMN: 烟酸单核苷酸 nicotinic acid mononucleotide; NMN: 烟酰胺单核苷酸 nicotinamide mononucleotide; MNA: N-甲基烟酰胺 N-methylnicotinamide; NAD: 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸 nicotinamide adenine dinucleotide; NADP: 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸 nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; NADH: 还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸 reduced nicotinamide adenine dinucleotide; NADPH: 还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸 reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate; Trp: 色氨酸 tryptophan; 2-Py: N-甲基-2-吡啶酮-5-羧酰胺 N-methyl-2-pyridone-5-carboxamide; 4-Py: N-甲基-4-吡啶酮-5-羧酰胺 N-methyl-4-pyridone-5-carboxamide; cADPR: 环腺苷二磷酸核糖 cyclic adenosine diphosphate ribose; P-cADPR: 磷酸化环腺苷二磷酸核糖 phosphorylation cyclic adenosine diphosphate ribose; ADPR proteins: 腺苷二磷酸核糖蛋白 adenosine diphosphate ribose proteins; polyADPR proteins: 多聚腺苷二磷酸核糖蛋白 poly adenosine diphosphate ribose proteins; Acetyl-ADPR: 乙酰胺腺苷二磷酸核糖 acetyl adenosine diphosphate ribose; NAADP: 烟酸腺嘌呤二核苷酸磷酸 nicotinic acid adenine dinucleotide phosphate; Exogenous: 外源性; Quinolinic acid: 喹啉酸; Cytoplasmic membrane: 细胞质膜; Energy regeneration: 能量再生; Reductive biosynthesis: 还原生物合成。

图2 烟酸和烟酰胺在动物体内的代谢途径

Fig.2 Metabolism pathway of NA and NAM in animals

此外,反刍动物还可通过瘤胃微生物合成途径获得 NA 和 NAM,其合成量受饲料精粗比或非纤维碳水化合物含量影响^[6],高精料饲料可显著增加瘤胃中 NA 和 NAM 的合成量,其合成量与瘤胃可降解淀粉和十二指肠内微生物蛋白含量呈正相关,进而使更多的 NA 和 NAM 到达小肠,提高奶牛血液和牛奶中 NAM 的含量^[7-8]。奶牛外源添加 NA 和 NAM 会立即被瘤胃微生物降解,分别为 88%~94% 和约 98.5%,大大降低了其利用效率^[9],使得直接饲喂 NA 和 NAM 对奶牛的生产性能无显著影响^[10]。此外,直接补充 NA 和 NAM 或饲喂富含 NA 和 NAM 的饲料反而会降低瘤胃内微生物的合成量^[3]。因此,过瘤胃保护^[3]、皱胃灌注^[11]和高剂量^[12-13]等手段成为反刍动物研究 NA 和 NAM 功能的主要手段。Morey 等^[14]发现补充过瘤胃 NA 后,血浆中 NAM 浓度显著增加,约为血浆中 NA 浓度的 20 多倍。笔者前期试验发现,给围产期奶牛添加 NAM(45 g/d)可显著提高

血浆 NAM 浓度,而 NA 因低于检出限无法检测^[13]。因此,NA 和 NAM 进入体内后,血液中主要以 NAM 形式存在,NAM 进一步代谢以 N-甲基-2-吡啶酮-5-羧酰胺(N-methyl-2-pyridone-5-carboxamide, 2-Py)或 N-甲基-4-吡啶酮-5-羧酰胺(N-methyl-4-pyridone-5-carboxamide, 4-Py)等形式随尿排出。目前市场上的过瘤胃产品主要为过瘤胃 NA,暂未有过瘤胃 NAM 的研究发表和生产应用。在生产中,NA 或 NAM 在反刍动物的预混料中广泛添加,由于 NAM 较 NA 物理性质更稳定,NAM 在预混料中的使用更多。

2 NA 和 NAM 在脂质调控中的异同

NA 具有抗脂解作用,在围产期奶牛和育肥肉牛上的研究和生产应用逐渐增多^[15-16]。有关 NA 抗脂解原理的总结和综述较多^[3,15],主要是 2 个方面:1) NA 进入体内可立即结合 G 蛋白偶联受体 109A(GPR109A),通过抑制腺苷酸环化酶活性降

低环磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)的水平,进而抑制脂类分解;2)甘油二酯酰基转移酶2(diacylglycerol acyltransferase, DGAT2)是甘油三酯(triglyceride, TG)合成中的关键限速酶,NA可通过非竞争性抑制其活性发挥,减少TG合成的作用。

NAM在早期研究中被认为不具有调控脂质代谢的作用^[17]。随着研究的不断深入,发现NAM在脂质代谢中也发挥重要的调控作用。泌乳奶牛适量补充NAM可提高泌乳早期和中期乳脂含量,以及血液中总氨基酸的含量^[18]。笔者前期研究发现,围产期奶牛补饲45 g/d NAM可有效降低血液中TG、非脂化脂肪酸(nonesterified fatty acids, NEFA)和 β 羟基丁酸(β -hydroxybutyric acid, BHBA)的浓度,进一步运用代谢组学技术分析发现NAM还降低了血清多种脂肪酸的浓度,包括硬脂酸、油酸、和棕榈酸等,改变了机体不饱和脂肪酸的生物合成,但对乳脂含量无显著影响^[13,19]。围产期添加NAM还可参与调控子代的脂质代谢,赵会会^[20]研究发现,围产期奶山羊补饲NAM上调了羔羊腹脂中生脂基因脂肪酸合成酶(fatty acid synthase, FAS)、线粒体甘油磷酸酰基转移酶(GPAM)和酰基甘油-3-磷酸酰基转移酶6(AGPAT6)的表达,还促进了羔羊腹脂的合成代谢,增加了腹脂沉积,进而影响了羔羊的生长发育。在肉牛脂肪细胞试验中,随着NAM浓度的提高,细胞的增殖加快,并促进了脂质的合成,减少了脂质的分解^[21],类似的结果在猪脂肪细胞和人脐带间充质干细胞中均得到验证^[22-23]。

与NA不同,NAM对GPR109A的敏感性很低,不会通过与GPR109A结合发挥抗脂解作用。沉默信息调节因子2相关酶(SIRT)1为沉默信息调节因子(Sirtuins)家族成员之一,是NAD⁺依赖的脱乙酰化酶,通过脱乙酰化作用修饰蛋白质的赖氨酸残基调控生理过程。SIRT1在反刍动物不同动物或相同动物不同组织的表达量不完全相同。Li等^[21]比较了奶公犊和肉牛不同组织中SIRT1的基因表达量,发现与肉牛相比较,奶公犊各组织中SIRT1的基因表达量相对较高,特别是在脂肪、肌肉、肝脏和肺脏组织等,而在同一动物中,SIRT1在肝脏和肺脏组织中表达量较高。SIRT1可通过与过氧化物酶体增殖剂激活受体 γ (peroxisome proliferators-activated receptor γ ,

PPAR γ)、过氧化物酶体增植物激活受体 γ 辅激活因子-1 α (peroxisome proliferator-activated receptor coactivator-1 α , PGC-1 α)和叉头框蛋白(forkhead box protein, Fox)O1等相互作用调控脂肪代谢。SIRT1过表达可引起脂肪分解,抑制脂肪生成,而沉默SIRT1可导致胰岛素分化的3T3-L1(小鼠胚胎成纤维细胞)的脂肪原生成显著增加^[24]。NAM主要通过抑制SIRT1去乙酰酶的活性发挥作用,对脂肪的形成不仅通过调节脂肪形成的转录因子的表达,还可通过调节脂肪酸氧化过程中的基因表达来实现^[21]。有趣的是,近些年有的研究显示,NAM在某些情况下可以成为SIRT1的激活剂^[25]。有研究发现,NAM作为NAD⁺的前体物,可通过激活NAD-Sirtuins通路提高肝脏SIRT1、SIRT2、SIRT3和SIRT6基因的表达量,且相同条件下NAM比NA更有效率^[26]。因此,NAM可能以一种复杂的方式调节Sirtuins系统,其作用条件和作用机理有待进一步研究。

总的来说,奶牛补充NA和NAM均可显著降低血液中的脂肪酸含量,但两者的调控原理不同。NA进入动物体内主要通过抑制脂肪组织脂质的分解,而NAM主要通过促进脂质的合成来实现。因此,在动物的不同生理时期,应根据调控目的合理使用NA和NAM。

3 NA和NAM在应激和炎症调控中的异同

反刍动物在生长过程中可能会经历不同类型或不同程度的应激,如热应激、氧化应激等。NA和NAM均被报道有缓解应激的作用。在热应激条件下,NA可通过增加泌乳奶牛表皮血流量减缓呼吸速率和直肠温度,缓解热应激^[27]。热应激奶牛补饲NA可提高消化率,改善红细胞适应血氧攻击,并减少炎症反应^[28]。而热应激条件下尚未见补充NAM的报道。研究显示,NA可通过增加人主动脉内皮细胞的氧化还原电位来降低血管氧化应激^[29],也可减少人肝细胞活性氧(reactive oxygen species, ROS)含量和降低促炎因子白细胞介素(interleukin, IL)-8含量,进而缓解氧化应激^[30]。围产期奶牛补饲NAM可通过减少血清中ROS含量,提高谷胱甘肽含量和促进谷胱甘肽代谢等缓解奶牛氧化应激^[19],说明NA和NAM可通过不依赖其对脂质的调节进而影响应激的调控。因

此,奶牛补充 NA 和 NAM 均可在一定程度上缓解应激状态,作为 NAD⁺的前体物,补充 NA 和 NAM 可增加 NAD⁺/还原型烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(reduced nicotinamide adenine dinucleotide, NADH)的比例,通过调节细胞的氧化还原状态进而调控细胞的应激状态。

此外,NA 和 NAM 均具有一定的抗炎作用。围产期奶山羊补饲 NAM 不仅可改变母羊的氧化应激状态,减少促炎因子的含量,还可增强子代羔羊的总抗氧化能力和免疫能力^[31]。脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)刺激将诱导细胞产生炎症反应,在 LPS 诱导的小鼠肺泡炎症细胞中,NA 可减少促炎细胞因子肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、IL-6 和趋化因子 IL-8 的释放,抑制核因子- κ B(nuclear factor kappa-B, NF- κ B)信号通路,当 GPR109A 蛋白被沉默后,NA 的抗炎作用受到影响^[32]。而在 LPS 诱导的人胎盘炎症模型中,NAM 可减少多个促炎因子的表达,增加多种抗氧化酶的活性,主要是通过激活人胎盘中转录因子 FoxO3 进而发挥作用^[33]。不仅如此,NAM 还可通过抑制 NF- κ B 信号通路影响机体炎症因子的表达,在抗炎和抗氧化方面发挥重要作用^[34]。也就是说,NA 和 NAM 均可通过 NF- κ B 信号通路减少细胞的炎症反应,但在核心转录调控位点上具有差异。

4 其他

当动物采食多余的 NA 和 NAM 时,NAM 会转化生成 N-甲基烟酰胺以及 2-Py 和 4-Py 等代谢物,这些代谢物会随尿液排出。然而,在小鼠和人上的研究显示,健康动物长期过量的补充 NAM 会有副作用。研究表明,过量补充 NAM 或可诱导胰岛素抵抗,增加肥胖和 2 型糖尿病的患病率^[35]。NAM 通过 N-甲基转移酶催化的依赖于 S-腺苷蛋氨酸的甲基化作用进行降解^[36],过量摄入的 NAM 将增加甲基的消耗,可影响其他依赖于 S-腺苷蛋氨酸的甲基化反应。Li 等^[37]研究发现,发育中的大鼠长期补充 NAM 降低了肝脏 DNA 甲基化和基因组 DNA 尿嘧啶含量,这可能是 NAM 干扰了一碳代谢和尿嘧啶与 DNA 的结合,还将进一步引起胎儿的表观遗传修饰和 DNA 碱基组成的改变,对下一代的生长发育具有潜在影响^[38]。据报道,过量的 NAM 及其代谢产物还原型烟酰胺腺嘌呤二

核苷酸磷酸(reduced nicotinamide adenine dinucleotide phosphate, NADPH)可以作为 NADPH 氧化酶同工型的底物,产生过氧化物和 ROS 等^[39]。高剂量的 NAM 导致 2-Py 和 4-Py 的积累,两者具有一定的尿毒症毒性,可解释肾毒性的产生^[40],还将诱导细胞发生炎症反应,干扰细胞功能,造成肝脏损伤等^[41]。因此,在健康状态下长期过量的使用 NA 和 NAM 不利于动物健康。反刍动物上还未有长期过量补充 NA 和 NAM 产生负作用的报道,可能是瘤胃微生物会降解大部分补充的 NA 和 NAM,到达后肠道的剂量不足以引发额外的副作用,但以上研究提醒我们在应用时应考虑剂量和使用时间。

5 小结

NA 和 NAM 是水溶性 B 族维生素维生素 B₃ 的 2 种形式,常用于反刍动物的预混料或作为添加剂,参与动物能量代谢、脂质代谢以及应激和炎症调控等,但两者的分子机团不同,在代谢和营养调控机理上不完全相同,仍需进一步研究。反刍动物在不同生理时期、不同生理状态下的营养需求不同,营养调控目的也不同。因此,充分了解营养物质的调控机理、有效调控剂量、添加方式和作用时期等,将有助于我们更加合理地利用营养调控手段,以期做到精准营养调控。

参考文献:

- [1] BELENKY P, BOGAN K L, BRENNER C. NAD⁺ metabolism in health and disease [J]. Trends in Biochemical Science, 2007, 32: 12-19.
- [2] ROMANI M, HOFER D C, KATSYUBA E, et al. Niacin: an old lipid drug in a new NAD⁺ dress [J]. Journal of Lipid Research, 2019, 60: 741-746.
- [3] CHEN J, YANG Z, DONG G. Niacin nutrition and rumen-protected niacin supplementation in dairy cows: an updated review [J]. British Journal of Nutrition, 2019, 122: 1103-1112.
- [4] FRYE T, WILLIAMS S N, GRAHAM T W. Vitamin deficiencies in cattle [J]. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 1991, 7: 217-275.
- [5] BENAVENTE C A, JACOBSON M K, JACOBSON E L, et al. NAD in skin: therapeutic approaches for niacin [J]. Current Pharmaceutical Design, 2009, 15 (1): 29-38.

- [6] NIEHOFF I D, HÜTHER L, LEBZIEN P. Niacin for dairy cattle: a review [J]. *British Journal of Nutrition*, 2008, 101: 5-19.
- [7] SECK M, LINTON J V, ALLEN M, et al. Apparent ruminal synthesis of B vitamins in lactating dairy cows fed diets with different forage-to-concentrate ratios [J]. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100: 1914-1922.
- [8] NIEHOFF I D, HUTHE L, LEBZIEN P, et al. Investigations on the effect of a niacin supplementation to three diets differing in forage-to-concentrate ratio on several blood and milk variables of dairy cows [J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2009, 63(3): 203-218.
- [9] SANTSCHI D E, BERTHIAUME R, MATTE J J, et al. Fate of supplementary B-vitamins in the gastrointestinal tract of dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(6): 2043-2054.
- [10] SCHWAB E C, CARAVIELLO D Z, SHAVER R D. Review: a Meta-analysis of lactation responses to supplemental dietary niacin in dairy cows [J]. *The Professional Animal Scientist*, 2005, 21(4): 239-247.
- [11] PIRES J A A, STUMPF L F, SOUTULLO I D, et al. Effects of abomasal infusion of nicotinic acid on responses to glucose and β -agonist challenges in underfed lactating cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99: 2297-2307.
- [12] TIENKEN R, KERSTEN S, FRAHM J, et al. Effects of prepartum dietary energy level and nicotinic acid supplementation on immunological, hematological and biochemical parameters of periparturient dairy cows differing in parity [J]. *Animals*, 2015, 5(3): 910-933.
- [13] WEI X S, CAI C J, HE J J, et al. Effects of biotin and nicotinamide supplementation on glucose and lipid metabolism and milk production of transition dairy cows [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 237: 106-117.
- [14] MOREY S D, MAMEDOVA L K, ANDERSON D E, et al. Effects of encapsulated niacin on metabolism and production of periparturient dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2011, 94(10): 5090-5104.
- [15] 魏筱诗. 烟酰胺对围产期奶畜糖脂代谢及其子代肠道发育的影响和机制 [D]. 博士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [16] 高雨飞. 高精料日粮条件下烟酸对牛瘤胃微生物区系的影响 [D]. 硕士学位论文. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- [17] GILLE A, BODOR E T, AHMED K, et al. Nicotinic acid: pharmacological effects and mechanisms of action [J]. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 2008, 48: 79-106.
- [18] 颜研. 泌乳奶牛日粮烟酰胺适宜补饲量研究 [D]. 硕士学位论文. 山东: 山东农业大学, 2011.
- [19] WEI X S, YIN Q Y, ZHAO H H, et al. Metabolomics for the effect of biotin and nicotinamide on transition dairy cows [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66: 5723-5732.
- [20] 赵会会. 围产期奶山羊添加烟酰胺对羔羊糖脂代谢的影响及其机制 [D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [21] LI M, SUN X, ZHOU Y, et al. Nicotinamide and resveratrol regulate bovine adipogenesis through a SIRT1-dependent mechanism [J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 18: 492-500.
- [22] BAI L, PANG W J, YANG Y J, et al. Modulation of Sirt1 by resveratrol and nicotinamide alters proliferation and differentiation of pig preadipocytes [J]. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2008, 307(1/2): 129-140.
- [23] SHAPIRO A L B, BOYLE K E, DABELEA D, et al. Nicotinamide promotes adipogenesis in umbilical cord-derived mesenchymal stem cells and is associated with neonatal adiposity: the healthy start baby BUMP project [J]. *Plos One*, 2016, 11(7): e0159575.
- [24] WANG H, QIANG L, FARMER S R. Identification of a domain within peroxisome proliferator-activated receptor γ regulating expression of a group of genes containing fibroblast growth factor 21 that are selectively repressed by SIRT1 in adipocytes [J]. *Molecular and Cellular Biology*, 2008, 28(1): 188-200.
- [25] HWANG E S, SONG S B. Nicotinamide is an inhibitor of SIRT1 *in vitro*, but can be a stimulator in cells [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2017, 74(1): 3347.
- [26] YANG S J, CHOI J M, KIM L, et al. Nicotinamide improves glucose metabolism and affects the hepatic NAD-sirtuin pathway in a rodent model of obesity and type 2 diabetes [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2014, 25(1): 66-72.
- [27] ZIMBELMAN R B, COLLIER R J, BILBY T R. Effects of utilizing rumen protected niacin on core body temperature as well as milk production and composition in lactating dairy cows during heat stress [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 180(1): 26-33.
- [28] 王雪莹, 王之盛, 薛白, 等. 烟酸对热应激奶牛生长性

- 能、营养物质表观消化率和血液指标的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2228-2240.
- [29] GANJI S H, QIN S, ZHANG L, et al. Niacin inhibits vascular oxidative stress, redox-sensitive genes, and monocyte adhesion to human aortic endothelial cells [J]. *Atherosclerosis*, 2009, 202: 68-75.
- [30] GANJI S H, KASHYAP M L, KAMANNA V S. Niacin inhibits fat accumulation, oxidative stress, and inflammatory cytokine IL-8 in cultured hepatocytes: impact on non-alcoholic fatty liver disease [J]. *Metabolism*, 2015, 64(9): 982-990.
- [31] WEI X S, ZHAO H H, HE J J, et al. Maternal nicotinamide supplementation during the perinatal period modifies the small intestine morphology and antioxidative status of offspring kids [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2019, 252: 41-50.
- [32] ERSHUN Z, YIMENG L, MINJUN Y, et al. Niacin attenuates the production of pro-inflammatory cytokines in LPS-induced mouse alveolar macrophages by HCA2 dependent mechanisms [J]. *International Immunopharmacology*, 2014, 23: 121-126.
- [33] LAPPAS M, PERMEZEL M. The anti-inflammatory and antioxidative effects of nicotinamide, a vitamin B₃ derivative, are elicited by FoxO3 in human gestational tissues: implications for preterm birth [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2011, 22(12): 1195-1201.
- [34] GRANGE P A, RAINGEAUD J, CALVEZ V, et al. Nicotinamide inhibits propionibacterium acnes-induced IL-8 production in keratinocytes through the NF-kappa B and MAPK pathways [J]. *Journal of Dermatological Science*, 2009, 56: 106-112.
- [35] LI D, SUN W P, ZHOU Y M, et al. Chronic niacin overload may be involved in the increased prevalence of obesity in US children [J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2010, 16: 2378-2387.
- [36] MROCHEK J E, JOLLEY R L, YOUNG D S, et al. Metabolic response of humans to ingestion of nicotinic acid and nicotinamide [J]. *Clinical Chemistry*, 1976, 22: 1821-1827.
- [37] LI D, TIAN Y J, GUO J, et al. Nicotinamide supplementation induces detrimental metabolic and epigenetic changes in developing rats [J]. *British Journal of Nutrition*, 2013, 110: 2156-2164.
- [38] TIAN Y J, LUO N, CHEN N N, et al. Maternal nicotinamide supplementation causes global DNA hypomethylation, uracil hypo-incorporation and gene expression changes in fetal rats [J]. *British Journal of Nutrition*, 2014, 111: 1594-1601.
- [39] BEDARD K, KRAUSE K H. The NOX family of ROS-generating NADPH oxidases: physiology and pathophysiology [J]. *Physiological Reviews*, 2007, 87: 245-313.
- [40] RUTKOWSKI B, SLOMINSKA E, SZOLKIEWICZ M, et al. N-methyl-2-pyridone-5-carboxamide: a novel uremic toxin [J]. *Kidney International*, 2003, 63: S19-S21.
- [41] RUTKOWSKI B, RUTKOWSKI P, SLOMINSKA E, et al. Cellular toxicity of nicotinamide metabolites [J]. *Journal of Renal Nutrition*, 2012, 22: 95-97.

Similarities and Differences of Niacin and Niacinamide in Study on Metabolism and Production of Ruminant

WEI Xiaoshi^{1,2} YAO Junhu² WANG Chong^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology/College of Veterinary Medicine, Zhejiang Agricultural and Forestry University, Key Laboratory of Applied Technology on Green-Eco-Healthy Animal Husbandry of Zhejiang Province, Zhejiang Provincial Engineering Laboratory for Animal Health Inspection and Internet Technology, Hangzhou 311300, China; 2. College of Animal Science and Technology, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: The nicotinic acid (NA) and nicotinamide (NAM) are two forms of water-soluble B vitamins, also known as vitamin PP. They are involved in the body's synthesis and catabolism and the metabolisms of carbohydrate, lipid and protein. As an important vitamin, they play important regulatory roles in energy metabolism and oxidative stress of ruminant. In this review, we summarized the effect and regulation mechanism of NA and NAM in ruminant, and compared their similarities and differences, aiming to provide reference for the related research of NA and NAM and their application in production. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(12):5509-5515]

Key words: nicotinic acid; nicotinamide; lipid regulation; oxidative stress; similarities and differences