

母猪饲料添加甜菜碱对巴马香猪哺乳仔猪血液指标的影响

高乾坤^{1,2} 马翠¹ 宋明彤¹ 王占彬² 尹富贵¹ 韩强³ 孔祥峰^{1*}

(1.中国科学院亚热带农业生态研究所,亚热带农业生态过程重点实验室,动物营养生理与代谢过程

湖南省重点实验室,长沙 410125;2.河南科技大学动物科技学院,洛阳 471000;

3.山东祥维斯生物科技股份有限公司,潍坊 261000)

摘要: 本试验旨在研究母猪饲料添加甜菜碱对巴马香猪哺乳仔猪血液指标的影响。选取3~7胎次妊娠巴马香猪40头,随机分为2组,每组20头,单栏饲养。对照组饲喂基础饲料,试验组在基础饲料中添加3.5 kg/t甜菜碱。试验期为母猪配种后第3天至分娩后第21天。试验结束时,从每组随机选取10窝仔猪,每窝选取1头仔猪采血,测定血浆激素含量、抗氧化指标和游离氨基酸含量。结果表明:与对照组相比,甜菜碱组哺乳仔猪血浆胆囊收缩素(CCK)、酪酪肽(PYY)、瘦素(LEP)、丙二醛(MDA)、过氧化氢(H₂O₂)和丙氨酸(Ala)含量显著降低($P < 0.05$),血浆鹅肌肽(Ans)、1-甲基组氨酸(1-MeHis)和3-甲基组氨酸(3-MeHis)含量显著升高($P < 0.05$),血浆苏氨酸(Thr) ($P = 0.069$)、谷氨酸(Glu) ($P = 0.055$)和肌肽(Car) ($P = 0.055$)含量呈下降趋势,血浆亮氨酸(Leu)含量呈升高趋势($P = 0.069$)。综上所述,母猪饲料添加甜菜碱可降低哺乳仔猪血浆摄食相关因子水平,减弱机体的氧化水平,改变血浆游离氨基酸含量,有利于仔猪的生长发育与机体健康。

关键词: 甜菜碱;哺乳仔猪;激素;抗氧化;游离氨基酸

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2020)02-0925-07

妊娠期和泌乳期母猪主要通过脐带血和母乳分别为胎猪和哺乳仔猪提供营养和生物活性物质^[1]。母体的营养水平与其子代的生长发育、营养代谢、环境适应能力和机体健康状况等密切相关^[2],同时母乳成分的变化也会影响子代的血液指标。因此,提高仔猪的生长发育需要从母猪营养水平和健康状况抓起^[3]。研究者经常通过测定血浆激素含量、抗氧化指标、游离氨基酸含量以及生化参数等反映动物机体的代谢和健康状况。例如,血浆摄食相关因子水平在调节机体摄食过程中发挥着重要作用^[4],抗氧化指标的改变可反映机体抗氧化防御系统的强弱^[5],血浆游离氨基酸

含量可反映机体对含氮营养物质的消化利用状况^[6]。

甜菜碱是甘氨酸三甲基衍生物,可作为高效甲基供体和渗透压调节剂等发挥生理功能,已被广泛应用于畜牧生产^[7]。董冠等^[8]研究发现,甜菜碱可提高仔猪生长性能,促进蛋白质沉积和脂肪代谢;Huang等^[9]报道,甜菜碱可增强育肥猪的生长激素(GH)分泌,从而促进其生长。笔者前期研究发现,在妊娠期和泌乳期母猪饲料中添加甜菜碱进行“母子一体化”营养干预,可改善巴马香猪的初乳成分和血浆代谢物含量,降低血浆繁殖激素含量,进而增加断奶仔猪1.2头^[10]。但是,通

收稿日期:2019-08-20

基金项目:中国科学院 STS 区域重点项目(KFJ-STQY-ZD-052);湖湘高层次人才聚集工程——创新人才项目(2018RS3111);山东祥维斯生物科技股份有限公司横向课题(20190101-ISA-XWS);广西科技基地和人才专项(桂科 AD17195043)

作者简介:高乾坤(1993—),男,河南永城人,硕士研究生,从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: gaoqiankun19@163.com

*通信作者:孔祥峰,研究员,博士生导师,E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

过母体营养干预影响巴马香猪哺乳仔猪生长发育的机制还有待进一步研究。因此,本文进一步研究了母猪饲料添加甜菜碱对巴马香猪哺乳仔猪血浆激素含量、抗氧化指标和游离氨基酸含量的影响,探讨其作用机制,为甜菜碱在巴马香猪养殖生产中“母子一体化”营养干预的应用提供依据。

1 材料与方

1.1 试验动物、分组与饲养管理

动物饲养试验于2018年8月至2019年2月在中国科学院亚热带农业生态研究所石门巴马香猪实验基地开展。试验选取3~7胎次健康、刚配种的巴马香猪40头,随机分为2组,每组20头。

对照组饲喂基础饲料,试验组在基础饲料中添加3.5 kg/t甜菜碱(添加形式为甜菜碱盐酸盐,纯度95%,由山东祥维斯生物科技股份有限公司提供),其添加剂量根据生产厂家建议确定。母猪配种后第3天开始饲喂妊娠母猪饲料,妊娠第105天至母猪断奶饲喂泌乳母猪饲料。基础饲料营养水平参照我国《猪饲养标准》(NY/T 65—2004),预混料参考NRC(2012)母猪营养需求配制,基础饲料组成及营养水平见表1。试验各组哺乳仔猪从第8天开始补饲同一教槽料。试验期为母猪配种后第3天至分娩后第21天。试验期间,对照组母猪返情4头,试验组母猪返情4头、流产1头。其他饲养管理均按商业养猪场规范进行操作。

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

项目 Items	妊娠母猪饲料 Pregnant sows' diet	泌乳母猪饲料 Lactating sows' diet
原料 Ingredients		
玉米 Corn	37.50	66.00
豆粕 Soybean meal	9.50	25.00
麦麸 Wheat bran	14.00	5.00
大麦 Barley	25.00	
大豆皮 Soybean hull	10.00	
妊娠母猪预混料 Pregnant sows' premix ¹⁾	4.00	
泌乳母猪预混料 Lactating sows' premix ²⁾		4.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾		
消化能 DE/(MJ/kg)	12.55	13.87
粗蛋白质 CP	12.82	16.30
标准回肠可消化赖氨酸 SID Lys	0.48	0.75
标准回肠可消化蛋氨酸+半胱氨酸 SID Met+Cys	0.43	0.51
标准回肠可消化苏氨酸 SID Thr	0.37	0.53
标准回肠可消化色氨酸 SID Trp	0.13	0.17
钙 Ca	0.62	0.65
磷 P	0.47	0.50

1)妊娠母猪预混料为每千克饲料提供 Pregnant sows' premix provided the following per kg of the diet:CaHPO₄·2H₂O 10 g,NaCl 4 g,CuSO₄·5H₂O 80 mg,FeSO₄·H₂O 360 mg,ZnSO₄·H₂O 240 mg,MnSO₄·H₂O 100 mg,MgSO₄·7H₂O 1 g,ICl 50 mg,Na₂SeO₃ 36 mg,CoCl₂ 16 mg,NaHCO₃ 1.4 g,VA 10 000 IU,VD₃ 1 800 IU,VE 20 mg,VK₃ 2.4 mg,VB₁ 1.6 mg,VB₂ 6 mg,VB₆ 1.6 mg,VB₁₂ 0.024 mg,叶酸 folic acid 1.2 mg,烟酰胺 nicotinamide 20 mg,泛酸 pantothenic acid 12 mg,生物素 biotin 0.12 mg,甘氨酸亚铁 ferrous glycinate 100 mg,氯化胆碱 choline chloride 1 g,植酸酶 phytase 200 mg,香味剂 fruity 80 mg,石粉 limestone 12 g。

2)泌乳母猪预混料为每千克饲料提供 Lactating sows' premix provided the following per kg of the diet:CaHPO₄·2H₂O 10 g,NaCl 4 g,CuSO₄·5H₂O 80 mg,FeSO₄·H₂O 360 mg,ZnSO₄·H₂O 240 mg,MnSO₄·H₂O 100 mg,ICl 50 mg,Na₂SeO₃ 36 mg,CoCl₂ 16 mg,NaHCO₃ 1.4 g,VA 10 000 IU,VD₃ 1 800 IU,VE 20 mg,VK₃ 2.4 mg,VB₁ 1.6 mg,VB₂ 6 mg,VB₆ 1.6 mg,VB₁₂ 0.024 mg,叶酸 folic acid 1.2 mg,烟酰胺 nicotinamide 20 mg,泛酸 pantothenic acid 12 mg,生物素 biotin 0.12 mg,赖氨酸 Lysine 1.5 g,甘氨酸亚铁 ferrous glycinate 100 mg,氯化胆碱 choline chloride 1 g,植酸酶 phytase 200 mg,香味剂 fruity 80 mg,石粉 limestone 12 g。

3)营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2 血浆样品采集与处理

于试验结束时,每组随机选取 10 窝仔猪,每窝选取 1 头接近平均体重的仔猪采血,肝素抗凝,3 000 r/min 离心 10 min,分离血浆,-20 ℃ 保存,用于测定血浆激素含量、抗氧化指标和游离氨基酸含量。

1.3 仔猪血浆指标测定

每组选取 8 头仔猪的血浆,使用猪的酶联免疫吸附测定(ELISA)试剂盒(购自江苏雨桐生物科技有限公司)测定其中胃泌素(Gas)、胃饥饿素(Ghrelin)、胆囊收缩素(CCK)、酪酪肽(PYY)、瘦素(LEP)、生长激素(GH)、生长抑素(SS)、胰岛素(INS)和胰高血糖素(GC)含量。

每组选取 10 头仔猪的血浆,使用抗氧化试剂盒(购自苏州科铭生物技术有限公司)测定丙二醛(MDA)和过氧化氢(H₂O₂)含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性以及总抗氧化能力(T-AOC)和

羟自由基清除能力(HRSA)。

每组选取 10 头仔猪的血浆,3 000 r/min 离心 5 min,准确取 600 μL 置于 2 mL 离心管中,加入 8% 磺基水杨酸 600 μL,混匀后 4 ℃ 沉淀过夜,10 000 r/min 离心 10 min,取上清过 0.22 μm 滤膜后转至上样瓶,用日立 L-8900 型氨基酸分析仪测定游离氨基酸含量。

1.4 数据统计与分析

数据用 Excel 2010 初步整理后,采用 SPSS 22.0 软件进行独立样本 *t* 检验,数据以“平均值±标准误”表示, $P < 0.05$ 表示差异显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 表示有变化趋势。

2 结 果

2.1 甜菜碱对哺乳仔猪血浆激素含量的影响

由表 2 可知,与对照组相比,甜菜碱组哺乳仔猪的血浆 CCK、PYY 和 LEP 含量均显著下降($P < 0.05$)。

表 2 甜菜碱对哺乳仔猪血浆激素含量的影响

Table 2 Effects of betaine on plasma hormone contents of suckling piglets ($n=8$)

项目 Items	对照组 Control group	甜菜碱组 Betaine group	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
胃泌素 Gas/(pg/mL)	1 638.90±165.66	1 351.60±133.18	0.214
胃饥饿素 Ghrelin/(ng/mL)	11.64±1.33	9.40±1.21	0.245
胆囊收缩素 CCK/(pg/mL)	524.41±51.03	342.16±24.80*	0.011
酪酪肽 PYY/(pmol/L)	20.36±1.99	14.55±1.15*	0.034
瘦素 LEP/(ng/mL)	25.77±2.56	17.94±1.43*	0.025
生长激素 GH/(ng/mL)	27.35±3.35	21.68±1.79	0.170
生长抑素 SS/(pg/mL)	111.55±7.04	100.11±7.64	0.297
胰岛素 INS/(mIU/L)	410.14±44.72	381.80±39.73	0.650
胰高血糖素 GC/(pg/mL)	470.45±45.69	382.49±20.60	0.116

* 表示与对照组比较差异显著($P < 0.05$)。下表同。

* indicates significant difference compared with the control group ($P < 0.05$). The same as below.

2.2 甜菜碱对哺乳仔猪血浆抗氧化指标的影响

由表 3 可知,与对照组相比,甜菜碱组哺乳仔猪的血浆 MDA 和 H₂O₂ 含量显著下降($P < 0.05$)。

2.3 甜菜碱对哺乳仔猪血浆游离氨基酸含量的影响

由表 4 可知,与对照组相比,甜菜碱组哺乳仔猪的血浆丙氨酸(Ala)含量显著下降($P < 0.05$),血浆苏氨酸(Thr)($P = 0.069$)、谷氨酸(Glu)($P = 0.055$)和肌肽(Car)($P = 0.055$)含量呈下降趋势;

血浆鹅肌肽(Ans)、1-甲基组氨酸(1-MeHis)和 3-甲基组氨酸(3-MeHis)含量显著升高($P < 0.05$),血浆亮氨酸(Leu)含量呈升高趋势($P = 0.069$)。

3 讨 论

3.1 甜菜碱对哺乳仔猪血浆激素含量的影响

提高动物采食量是发挥其生长性能的重要途径。下丘脑是调节摄食和能量平衡的中枢,其中促进摄食相关因子、抑制摄食相关因子及其受体

系统可有效调控动物的摄食行为^[4]。CCK 是具有广泛生物活性的脑-肠轴调节肽,能够调节胃肠活动,促进胆囊收缩和胰腺分泌,作为一种饱感因子可抑制胃排空和动物摄食^[11]。LEP 是脂肪组织分泌的蛋白质类激素,主要作用于动物下丘脑减少摄食、增加代谢率和调节能量平衡^[12]。机体 CCK 含量与 LEP 含量呈正相关。PYY 作为食欲调控因

子,是一类胃肠道衍生类激素,与胃肠道的发育有一定的关系,能够使动物产生饱感,抑制动物采食^[13]。本试验中,母猪饲料添加甜菜碱可显著降低哺乳仔猪的血浆 CCK、PYY 和 LEP 含量,有利于哺乳仔猪的生长发育,这可能与其诱食、调节渗透压等生物学功能有关^[7]。

表 3 甜菜碱对哺乳仔猪血浆抗氧化指标的影响

Table 3 Effects of betaine on plasma antioxidant indexes of suckling piglets ($n=10$)

项目 Items	对照组 Control group	甜菜碱组 Betaine group	P 值 P-value
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	4.06±0.60	4.32±0.53	0.744
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	3.80±0.70	1.90±0.30*	0.026
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	36.70±3.13	33.70±3.22	0.520
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	1.72±0.44	1.55±1.02	0.869
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	7.35±1.36	8.73±0.44	0.359
还原型谷胱甘肽 GSH/(μmol/mL)	0.18±0.01	0.15±0.01	0.212
过氧化氢 H ₂ O ₂ /(μmol/mL)	6.90±0.25	5.86±0.25*	0.010
羟自由基清除能力 HRSA/%	5.27±0.78	4.42±0.40	0.348

表 4 甜菜碱对哺乳仔猪血浆游离氨基酸含量的影响

Table 4 Effects of betaine on plasma free amino acid contents of suckling piglets ($n=10$)

项目 Items	对照组 Control group	甜菜碱组 Betaine group	P 值 P-value	μg/mL
牛磺酸 Tau	9.97±0.36	8.93±0.54	0.152	
天冬氨酸 Asp	2.45±0.54	1.61±0.27	0.178	
苏氨酸 Thr	17.31±1.10	14.61±0.87	0.069	
丝氨酸 Ser	11.91±1.02	10.08±0.60	0.139	
谷氨酸 Glu	39.12±9.02	19.20±0.72	0.055	
肌氨酸 Sar	0.97±0.22	0.53±0.09	0.106	
α-氨基己二酸 α-AAA	6.86±0.84	7.62±1.00	0.568	
甘氨酸 Gly	31.35±1.92	31.67±2.40	0.917	
丙氨酸 Ala	29.58±2.90	19.26±3.18*	0.028	
瓜氨酸 Cit	9.28±0.58	9.97±0.44	0.385	
α-氨基正丁酸 α-ABA	3.54±0.39	4.65±0.39	0.061	
缬氨酸 Val	32.45±4.11	36.69±4.21	0.480	
胱氨酸 Cys	1.16±0.26	1.42±0.32	0.554	
蛋氨酸 Met	3.90±0.46	3.81±0.32	0.867	
胱硫醚 Cysthi	3.43±0.33	4.30±0.53	0.178	
异亮氨酸 Ile	15.73±0.98	19.95±2.27	0.179	
亮氨酸 Leu	19.66±1.79	26.78±3.15	0.069	
酪氨酸 Tyr	11.31±1.38	9.49±0.90	0.285	
苯丙氨酸 Phe	13.88±0.93	14.61±0.39	0.482	
β-丙氨酸 β-Ala	0.99±0.12	0.88±0.13	0.539	
β-氨基异丁酸 β-AiBA	0.31±0.05	0.21±0.02	0.120	

续表 4

项目 Items	对照组 Control group	甜菜碱组 Betaine group	P 值 P-value
乙醇胺 EOHNH ₂	0.90±0.45	1.49±0.57	0.431
鸟氨酸 Orn	7.30±0.77	7.22±0.64	0.940
赖氨酸 Lys	20.25±1.69	22.47±1.71	0.368
组氨酸 His	10.27±0.52	11.12±0.73	0.355
肌肽 Car	7.17±0.36	5.70±0.59	0.055
鹅肌肽 Ans	0.87±0.17	1.95±0.56*	0.049
1-甲基组氨酸 1-MeHis	0.75±0.25	1.97±0.14*	0.002
3-甲基组氨酸 3-MeHis	2.29±0.12	3.29±0.30*	0.011
精氨酸 Arg	18.44±1.55	16.93±1.19	0.448
羟脯氨酸 Hypo	10.52±0.85	10.00±1.44	0.758
脯氨酸 Pro	16.35±1.14	16.92±0.98	0.713

3.2 甜菜碱对哺乳仔猪血浆抗氧化指标的影响

动物机体自身具有完善的抗氧化防御系统,能够中和机体内的活性氧,保护机体组织免受损伤^[5]。血浆 MDA 含量是反映机体氧化水平的重要参数,其含量越高说明机体组织过氧化损伤程度较大^[14]。本研究中,母猪饲粮添加甜菜碱后哺乳仔猪的血浆 MDA 含量显著下降,这与苏斌朝等^[13]的报道一致,即在玉米干酒糟及其可溶物(DDGS)饲粮中添加 0.1% 甜菜碱可改善机体的抗氧化功能,说明甜菜碱可增加动物机体的抗氧化能力。 H_2O_2 是动物机体内的活性氧分子,SOD 可催化机体内超氧自由基阴离子产生 H_2O_2 ,后由 CAT 降解^[15]。本试验中,甜菜碱组哺乳仔猪的血浆 H_2O_2 显著下降,提示甜菜碱可降低机体组织氧化损伤,这有利于机体健康。

3.3 甜菜碱对哺乳仔猪血浆游离氨基酸含量的影响

血浆中游离氨基酸的含量与营养、疾病和环境等因素有关,可反映机体氨基酸代谢和蛋白质沉积情况^[6]。组氨酸(His)是猪的必需氨基酸,在肌肽合成酶催化下可合成 Car,具有很强的抗氧化功能^[16]。同样,Car 也可清除机体内的活性氧自由基。Ans 是甲基化形式的 Car,也具有较强的抗氧化活性^[17]。本试验中,母猪饲粮添加甜菜碱可显著增加哺乳仔猪的血浆 Ans 含量,降低血浆 Car 含量,提示甜菜碱作为甲基供体可将 Car 甲基化成 Ans,从而增强机体的抗氧化能力。1-MeHis 和 3-MeHis 是 His 的甲基化衍生物。机体中的酶水解 Ans 可形成 1-MeHis;3-MeHis 多在肌动蛋白分解

时释放,可作为评价蛋白质营养状况和肌肉蛋白质降解的指标^[18-19]。本研究中,甜菜碱组哺乳仔猪的血浆 1-MeHis 和 3-MeHis 含量显著升高,提示甜菜碱可促进 His 的甲基化,增强仔猪的蛋白质代谢。动物机体内的 Glu 可与血氨结合形成谷氨酰胺,消除代谢过程中氨的毒害作用,从而保护肝脏;Ala 能与谷氨酰胺作用,可起到生糖和增强机体免疫的功能^[20]。甜菜碱组哺乳仔猪的血浆 Ala 和 Glu 含量下降,这可能与甜菜碱的肝脏保护和免疫增强功能有关。Thr 具有调节机体氨基酸平衡和促进蛋白质合成的功能,动物组织可利用血液 Thr 合成蛋白质使其含量下降^[21]。Leu 是动物的必需支链氨基酸,可有效调节机体蛋白质代谢、免疫反应和抗氧化功能^[22]。本试验中,母猪饲粮添加甜菜碱后仔猪血浆 Thr 含量下降,血浆 Leu 含量增加,提示甜菜碱一定程度上能增强机体蛋白质合成代谢,进而促进仔猪的生长发育。

4 结 论

母猪饲粮添加甜菜碱可降低哺乳仔猪血浆摄食相关因子水平,减弱机体的氧化水平,改变血浆游离氨基酸含量,有利于仔猪的生长发育与机体健康。

参考文献:

- [1] REN P, YANG X J, RAILTON R, et al. Effects of different levels of feed intake during four short periods of gestation and housing systems on sows and litter performance [J]. *Animal Reproduction Science*, 2018,

- 188:21-34.
- [2] WU Y, ZHAO J F, XU C C, et al. Progress towards pig nutrition in the last 27 years [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, doi: 10.1002/js-fa.9095.
- [3] 苏国旗, 王军, 曹猛, 等. 母猪妊娠期营养水平对后代仔猪肌肉生长和发育的影响 [J]. *动物营养学报*, 2016, 28(4): 1050-1059.
- [4] LIN J, BARB C R, MATTERI R L, et al. Long form leptin receptor mRNA expression in the brain, pituitary, and other tissues in the pig [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2000, 19(1): 53-61.
- [5] 杨硕, 徐元庆, 邢媛媛, 等. 植物源黄酮类化合物对动物免疫和抗氧化功能影响的研究进展 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(7): 2958-2964.
- [6] MORALES A, COTA S E M, IBARRA N O, et al. Effect of heat stress on the serum concentrations of free amino acids and some of their metabolites in growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2016, 94(7): 2835-2842.
- [7] EKLUND M, BAUER E, WAMATU J, et al. Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock [J]. *Nutrition Research Reviews*, 2005, 18(1): 31-48.
- [8] 董冠, 杨维仁, 杨在宾, 等. 饲料中添加甜菜碱对断奶仔猪生长性能和血清生化指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(6): 1085-1091.
- [9] HUANG Q C, XU Z R, HAN X Y, et al. Effect of betaine on growth hormone pulsatile secretion and serum metabolites in finishing pigs [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2007, 91(3/4): 85-90.
- [10] 高乾坤, 马翠, 孔祥峰, 等. 饲料添加甜菜碱对巴马香猪繁殖性能、初乳成分及血浆代谢物和繁殖激素含量的影响 [J/OL]. *动物营养学报*, 2019 [2019-10-15]. <https://www.cnki.net/KCMS/detail/11.5461.s.20191011.0917.026.html>.
- [11] YI Z H, LI X, LUO W, et al. Feed conversion ratio, residual feed intake and cholecystokinin type A receptor gene polymorphisms are associated with feed intake and average daily gain in a Chinese local chicken population [J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2018, 9(1): 50-58.
- [12] BARB C R, HAUSMAN G J, HOUSEKNECHT K L. Biology of leptin in the pig [J]. *Domestic Animal Endocrinology*, 2001, 21(4): 297-317.
- [13] PERSAUD S J, BEWICK G A. Peptide YY: more than just an appetite regulator [J]. *Diabetologia*, 2014, 57(9): 1762-1769.
- [14] 苏斌朝, 王连生, 王红, 等. 玉米干酒糟及其可溶物饲料中添加共轭亚油酸或甜菜碱对肥育猪生长性能、血清生化指标及抗氧化功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(9): 1737-1744.
- [15] 丁鹏, 丁亚南, 曾青华, 等. 发酵饲料桑粉对宁乡花猪抗氧化性能和肠道功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(9): 4303-4313.
- [16] 张春勇, 陈克麟, 黄金昌, 等. 谷氧还蛋白 1 和硫氧还蛋白 1 基因在云南乌金猪不同组织中的表达特点及 L-组氨酸对其在氧化应激细胞中表达的影响 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(12): 2415-2423.
- [17] PARK S W, KIM C H, KIM J W, et al. Effect of dietary supplementation of blood meal and additional magnesium on carnosine and anserine concentrations of pig muscles [J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2014, 34(2): 252-256.
- [18] HOUWELING M, VAN DER DRIFT S G A, JORITSMA R, et al. Technical note: quantification of plasma 1- and 3-methylhistidine in dairy cows by high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(6): 3125-3130.
- [19] ZINELLU A, SOTGIA S, PISANU E, et al. Quantification of histidine, 1-methylhistidine and 3-methylhistidine in plasma and urine by capillary electrophoresis UV-detection [J]. *Journal of Separation Science*, 2010, 33(23/24): 3781-3785.
- [20] LI P, YIN Y L, LI D F, et al. Amino acids and immune function [J]. *British Journal of Nutrition*, 2007, 98(2): 237-252.
- [21] 毕晔, 潘晓花, 辛海瑞, 等. 苏氨酸在家禽营养中的研究进展 [J]. *中国畜牧兽医*, 2017, 44(8): 2326-2332.
- [22] DUAN Y H, LI F N, LI Y H, et al. The role of leucine and its metabolites in protein and energy metabolism [J]. *Amino Acids*, 2016, 48(1): 41-51.

Effects of Betaine Supplementation in Sow Diets on Blood Indexes of Suckling *Bama* Mini-Pigs

GAO Qiankun^{1,2} MA Cui¹ SONG Mingtong¹ WANG Zhanbin² YIN Fugui¹
HAN Qiang³ KONG Xiangfeng^{1*}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition Physiology and Metabolism Process, Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China; 3. Shandong Xiangweisi Biotechnology Co., Ltd., Weifang 261000, China)

Abstract: This study was conducted to determine the effect of betaine supplementation in sow diets on blood indexes of suckling *Bama* mini-pigs. Forty pregnant *Bama* mini-pigs with 3 to 7 parities were randomly divided into two groups with 20 sows per group, and fed individually. Pigs in the control group were fed a basal diet, while others in the experimental group were fed the basal diet supplemented with 3.5 kg/t betaine hydrochloride. The trial period was from day 3 after mating to postpartum day 21. At the end of experiment, ten litters of piglets were randomly selected from each group, and 1 pig in each litter was selected for blood collection, the plasma hormone contents, antioxidant indexes and free amino acid contents were determined. The results showed that compared with the control group, the contents of cholecystokinin (CCK), peptide YY (PYY), leptin (LEP), malondialdehyde (MDA), hydrogen peroxide (H₂O₂) and alanine (Ala) in plasma of suckling piglets of betaine group were significantly decreased ($P < 0.05$), the contents of anserine (Ans), 1-methyl histidine (1-MeHis) and 3-methyl histidine (3-MeHis) in plasma were significantly increased ($P < 0.05$), the contents of threonine (Thr) ($P = 0.069$), glutamate (Glu) ($P = 0.055$) and carnosine (Car) ($P = 0.055$) in plasma were presented a decreased tendency, and the plasma leucine (Leu) content was presented an increased tendency ($P = 0.069$). In conclusion, the betaine supplementation in sow diets can decrease the plasma ingestion related factor level of suckling piglets, reduce the body's oxidant level, and alter the plasma free amino acid contents, which is beneficial to the growth, development and health of piglets. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(2):925-931]

Key words: betaine; suckling piglets; hormones; antioxidant; free amino acids