

N-氨甲酰谷氨酸对环江香猪生长性能、营养物质消化率及血浆游离氨基酸含量的影响

周笑犁^{1,2} 印遇龙^{1,2} 孔祥峰^{1,3*} 汤文杰¹ 何庆华¹

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 中国科学院亚热带农业生态过程重点实验室/湖南省畜禽健康养殖工程技术研究中心, 长沙 410125; 2. 南昌大学生命科学与食品工程学院, 食品科学与技术国家重点实验室, 南昌 330047; 3. 中国科学院环江喀斯特农业生态试验站, 环江 547100)

摘要: 为了探讨 N-氨甲酰谷氨酸(N-carbamylglutamate, NCG)对环江香猪生长性能、营养物质消化率及血浆游离氨基酸含量的影响, 试验选用平均体重为(12.6±1.7) kg 的环江香猪 10 头, 随机分为 2 组, 每组 5 个重复, 每个重复 1 头猪, 单笼饲养, 分别饲喂基础饲料和添加 0.1% NCG 的试验饲料, 试验期为 10 d。每日记录采食量, 分别在试验开始和结束时称取试猪空腹体重; 试验第 8~10 天收集粪样, 用外源指示剂(TiO₂)法测定常规营养物质的表观消化率; 试验第 10 天采集血样, 测定血浆中生化指标和氨基酸含量。结果表明, 与基础饲料组相比, 0.1% 的 NCG 添加组平均日增重显著升高($P<0.05$), 料重比显著降低($P<0.05$); 粗蛋白质、粗脂肪和干物质表观消化率均有所升高($P>0.05$); 血浆尿素氮、血氨和低密度脂蛋白含量均显著降低($P<0.05$), 碱性磷酸酶活性显著升高($P<0.05$); 血浆总氨基酸、必需氨基酸、芳香族氨基酸、苯丙氨酸和蛋氨酸含量均显著升高($P<0.05$)。上述结果提示, 饲料中添加 0.1% 的 NCG 可促进机体对营养物质的消化吸收, 改善机体氨基酸平衡, 从而提高环江香猪的生长性能。

关键词: N-氨甲酰谷氨酸; 环江香猪; 生长性能; 消化率; 氨基酸

中图分类号: S828

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)11-1970-06

L-精氨酸具有多种重要的生理生化功能, 不仅可以作为动物细胞合成蛋白质的重要原料, 也是机体内一氧化氮、多胺和肌酸等重要生物活性物质合成的前体^[1]。但是, 外源性精氨酸具有一定的副作用, 而且其在养猪生产中的应用一直受到价格因素的制约。因此, 通过调控内源性精氨酸的合成, 增加机体内精氨酸的供给是一种经济、有效的策略。N-氨甲酰谷氨酸(N-carbamylglutamate, NCG)作为尿素循环中鸟氨酸生成瓜氨酸的中间体 N-乙酰谷氨酸(N-acetylglutamate, NAG)的类似物, 可有效激活内源性精氨酸的合成。在 21 日龄断奶仔猪饲料中添加 0.8 g/kg 的 NCG 可有效提高仔猪血清精氨酸浓度, 增强机体免疫力,

促进其生长^[2]; 添加 0.05% 的 NCG 可增加断奶公猪内源性精氨酸的合成, 提高血浆中生长激素水平, 并促进断奶仔猪的生长^[3]。可见, 在饲料中添加适量 NCG 对提高动物机体的营养状况, 降低生产成本及提高养殖效益均具有重要的现实意义。

环江香猪是我国著名的地方品种猪, 具有体型矮小、基因纯合、抗逆性强及肉质优良等特点^[4]。但目前环江香猪的饲养管理仍较为粗放, 饲料中营养物质不够全面和均衡, 导致其生长发育缓慢。若要大力发展环江香猪生产, 提高营养物质的利用率和氨基酸平衡, 改善肉品质, 必须首先解决其营养需要和饲料配方问题。本研究测定了饲料中添加 0.1% NCG 对环江香猪生长性能、

收稿日期: 2011-06-20

基金项目: 国家星火计划项目(2007EA790004); 国家自然科学基金项目(30901040; 30928018)

作者简介: 周笑犁(1985—), 女, 贵州贵阳人, 博士研究生, 从事单胃动物营养研究。E-mail: Lizi008009@126.com

* 通讯作者: 孔祥峰, 副研究员, E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

营养物质消化代谢及血浆中游离氨基酸含量的影响,旨在为 NCG 在环江香猪生产中的应用提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物及试验设计

选用环江香猪 10 头,按体重相近、公母比例相同的原则随机分为 2 组,每组 5 个重复,每个重复 1 头猪,单笼饲养。本试验参照 NRC(1998) 营养需要量^[5],并结合陆川猪的饲料配方^[4] 配制基础饲粮。基础饲粮组成及营养水平见表 1。对照组饲喂基础饲粮,试验组饲喂在基础饲粮中添加 0.1% NCG(含量 50%)的试验饲粮,并在所有饲粮中添加 0.1% 的 TiO₂ 作为指示剂,1:2 加水调制 成粥状饲喂。每天饲喂 3 次,自由采食和饮水。试验期为 10 d。

表 1 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	47.00
小麦麸 Wheat bran	22.00
大米 Rice	15.00
豆粕 Soybean meal	10.00
进口鱼粉 Import fish meal	2.00
预混料 Premix ¹⁾	4.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
总能 TE/(MJ/kg)	18.24
粗蛋白质 CP	14.73
钙 Ca	0.90
总磷 TP	0.65

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of the diet: VA 7.5 mg, VD 8.8 mg, VE 0.02 mg, VK₃ 71 mg, VB₁ 30 mg, VB₂ 177 mg, VB₆ 32 mg, VB₁₂ 0.8 mg, 烟酸 nicotinic acid 1 073 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 540 mg, 叶酸 folic acid 22 mg, 生物素 biotin 3.0 mg, 胆碱 choline 8.0 g, Fe (FeSO₄ · 7H₂O) 2.0 g, Cu (CuSO₄ · 5H₂O) 1.0 g, Zn (ZnSO₄ · 7H₂O) 3.5 g, Mn (MnSO₄ · 5H₂O) 1.3 g, I 14 mg, Co 35 mg, Se 8.3 mg, Ca 200 mg, P 20 mg。

²⁾ 营养水平均为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.2 生长性能测定

试验开始时逐头称取试猪的空腹体重;试验期间,记录每头试猪的日采食量;在试验结束后,逐头称取试猪的空腹体重。计算平均日增重、平均日采食量和料重比。

1.3 营养物质表观消化率测定

试验第 8~10 天每天 08:00 和 15:00 收集粪样, -20 ℃ 冻存。测定前将每头试猪的粪样解冻后混合均匀,以混合粪样鲜重的 10% 取样,然后按取样量的 1/4 加入 10% 的酒石酸搅匀,65 ℃ 烘干,置室温下回潮 24 h,称重、记录、粉碎,分装于样品袋中备用。用 TiO₂ 指示剂法测定干物质、粗蛋白质和粗脂肪的表观消化率^[6]。

1.4 血浆生化参数测定

试验第 10 天每头试猪前腔静脉采血 10 mL,肝素抗凝,3 000 r/min 离心 15 min,分离血浆, -20 ℃ 冻存。用 CX4 型全自动生化分析仪(Beckman)测定其中总蛋白、白蛋白、尿素氮、血氨、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白、甘油三酯、胆固醇和葡萄糖的含量及碱性磷酸酶的活性^[7]。测定方法按照试剂盒(由北京利德曼公司提供)说明进行。

1.5 血浆游离氨基酸含量测定

将试验第 10 天采集分离的血浆样品于 4 ℃ 解冻,每毫升样品加入 7.5% 的三氯乙酸 2.5 mL,混匀后于 4 ℃ 下 15 000 r/min 离心 15 min,取上清液,用 L-8800 型全自动氨基酸分析仪(日立公司)测定其中游离氨基酸的含量,然后换算成血浆中游离氨基酸的含量^[8]。

1.6 数据处理与分析

数据以平均值 ± 标准差表示,SPSS 16.0 软件进行统计分析和 t 检验。P < 0.05 作为差异显著性判断标准。

2 结果

2.1 NCG 对环江香猪生长性能的影响

由表 2 可见,试验开始时,NCG 组和基础饲粮组环江香猪的初始平均体重相近;饲喂 10 d 后,0.1% 的 NCG 对平均日采食量无显著影响(P > 0.05),但平均日增重显著高于基础饲粮组(P < 0.05),料重比显著低于基础饲粮组(P < 0.05)。

表 2 NCG 对环江香猪生长性能的影响

Table 2 Effects of NCG on growth performance in *Huanjiang* mini-pigs ($n=5$)

项目 Items	基础饲料组 Basal diet group	NCG 组 NCG group
初重 Initial body weight/kg	12. 61 ± 1. 92	12. 66 ± 1. 66
末重 Final body weight/kg	18. 03 ± 2. 70	19. 50 ± 1. 81
平均日增重 Average daily gain/g	552. 80 ± 47. 40	683. 90 ± 66. 90 *
平均日采食量 Average daily feed intake/kg	3. 62 ± 0. 32	3. 66 ± 0. 29
料重比 Feed/gain	6. 99 ± 0. 70	5. 37 ± 0. 37 *

同行数据肩标 * 表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

Values in the same row with * mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 NCG 对环江香猪营养物质表观消化率的影响

NCG 增加了环江香猪对粗蛋白质、粗脂肪和干物质的表观消化率 ($P>0.05$)。

由表 3 可见,在基础饲料中添加 0.1% 的

表 3 NCG 对环江香猪营养物质表观消化率的影响

Table 3 Effects of NCG on apparent digestibility of nutrients in *Huanjiang* mini-pigs ($n=5$)

%

项目 Items	基础饲料组 Basal diet group	NCG 组 NCG group
粗蛋白质 CP	79. 41 ± 3. 97	81. 86 ± 2. 20
粗脂肪 EE	67. 08 ± 1. 39	69. 59 ± 3. 19
干物质 DM	80. 53 ± 1. 89	82. 04 ± 1. 06

2.3 NCG 对环江香猪血浆生化参数的影响

碱性磷酸酶的活性 ($P<0.05$);增加了血浆总蛋白的含量 ($P>0.05$),降低了血浆胆固醇和甘油三酯的含量 ($P>0.05$)。

由表 4 可见,与基础饲料组相比,0.1% 的 NCG 显著降低了环江香猪的血浆尿素氮、血氨和低密度脂蛋白的含量 ($P<0.05$),显著升高了血浆

表 4 NCG 对环江香猪血浆生化参数的影响

Table 4 Effects of NCG on plasma biochemical parameters in *Huanjiang* mini-pigs ($n=5$)

项目 Items	基础饲料组 Basal diet group	NCG 组 NCG group
总蛋白 TP/(g/L)	59. 04 ± 4. 88	62. 78 ± 2. 54
白蛋白 ALB/(g/L)	33. 83 ± 0. 73	33. 94 ± 1. 06
尿素氮 UN/(mmol/L)	2. 88 ± 0. 47	2. 39 ± 0. 38 *
血氨 AMM/(μmol/L)	87. 98 ± 0. 73	85. 20 ± 1. 07 *
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	0. 75 ± 0. 12	0. 60 ± 0. 14 *
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	1. 23 ± 0. 19	1. 17 ± 0. 16
胆固醇 CHOL/(mmol/L)	2. 38 ± 0. 37	2. 13 ± 0. 28
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0. 70 ± 0. 26	0. 60 ± 0. 12
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	6. 30 ± 0. 17	6. 38 ± 0. 19
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	237. 40 ± 34. 20	282. 80 ± 39. 40 *

2.4 NCG 对环江香猪血浆游离氨基酸含量的影响

0.05);就血浆游离氨基酸组成来看,0.1% 的 NCG 显著增加了血浆中的总氨基酸、必需氨基酸和芳香族氨基酸的含量 ($P<0.05$)。其他氨基酸的含量 2 组间均无显著差异 ($P>0.05$)。

由表 5 可见,NCG 组环江香猪血浆中苯丙氨酸和蛋氨酸的含量均显著高于基础饲料组 ($P<$

表 5 NCG 对环江香猪血浆游离氨基酸含量的影响

Table 5 Effects of NCG on plasma concentrations of free amino acids in *Huanjiang* mini-pigs (*n* = 5) nmol/ μ L

项目 Items		基础饲料组 Basal diet group	NCG 组 NCG group
芳香族 Aromatic series	苯丙氨酸 Phe	87.03 \pm 9.33	113.83 \pm 7.41 *
	酪氨酸 Tyr	142.00 \pm 20.90	155.80 \pm 9.40
支链 Branched chain	亮氨酸 Leu	228.00 \pm 26.70	238.00 \pm 22.70
	异亮氨酸 Ile	116.20 \pm 6.30	144.30 \pm 24.20
	缬氨酸 Val	280.00 \pm 25.30	303.30 \pm 39.70
直链 Straight chain	丙氨酸 Ala	653.30 \pm 124.50	703.30 \pm 47.00
	甘氨酸 Gly	1 435.30 \pm 166.60	1 561.00 \pm 94.60
酸性 Acidity	天冬氨酸 Asp	60.08 \pm 10.57	52.33 \pm 6.60
	谷氨酸 Glu	665.70 \pm 98.10	738.00 \pm 83.40
	半胱氨酸 Cys	48.48 \pm 5.45	50.64 \pm 9.19
碱性 Alkalescence	组氨酸 His	153.70 \pm 19.50	139.80 \pm 17.30
	赖氨酸 Lys	228.60 \pm 24.70	209.20 \pm 19.30
	精氨酸 Arg	179.60 \pm 34.70	202.70 \pm 49.70
羟基 Hydroxy	苏氨酸 Thr	155.10 \pm 22.40	164.00 \pm 6.50
巯基 Sulfhydryl	蛋氨酸 Met	36.56 \pm 5.96	55.41 \pm 10.36 *
支链氨基酸 BCAA		629.20 \pm 45.60	685.50 \pm 52.20
芳香族氨基酸 AAA		229.00 \pm 23.49	269.60 \pm 13.10 *
支链氨基酸/芳香族氨基酸 BCAA/AAA(摩尔比)		2.76 \pm 0.24	2.54 \pm 0.08
总氨基酸 TAA		4 484.50 \pm 290.10	4 811.30 \pm 104.80 *
必需氨基酸 EAA		1 142.60 \pm 58.70	1 228.00 \pm 52.50 *
非必需氨基酸 NEAA		3 341.90 \pm 222.60	3 583.30 \pm 80.06
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA		0.34 \pm 0.03	0.34 \pm 0.02

3 讨 论

关于 NCG 对动物生产性能的影响,国内外已有一些报道。例如,在仔猪饲料中添加 0.04% 或 0.08% 的 NCG 不影响采食量,但可显著提高平均日增重,降低料重比,并在一定程度上提高断奶仔猪对蛋白质和磷等营养物质的消化率^[9]。添加 0.08% 的 NCG 可促进断奶仔猪的生长速度,降低腹泻率^[2]。本研究结果表明,在饲料中添加 0.1% 的 NCG 饲喂 10 d 后,环江香猪的平均日增重显著提高,料重比显著降低;粗蛋白质、粗脂肪和干物质的表观消化率也有提高趋势,其原因可能是 NCG 可促进机体内源性精氨酸的合成,从而改善了机体内氨基酸的平衡。

碱性磷酸酶可增加机体对物质的吸收与转运,提高饲料转化率,并促进体内蛋白质的合成,其活性高低与动物的生长性能呈正相关^[10]。本研究发现,0.1% 的 NCG 可显著提高环江香猪血浆中碱性磷酸酶的活性,这与其对生长性能的影响一致。低密度脂蛋白是一组不均一的富含胆固醇

的脂蛋白颗粒,并可作为运输胆固醇的载体^[11]。饲喂添加 0.1% 的 NCG 饲料后,环江香猪血浆低密度脂蛋白含量显著降低,胆固醇和甘油三酯含量也有降低趋势,从而使血液及其他组织中的胆固醇含量下降。过量的氨基酸在体内进行脱氨基作用会增加血液尿素氮的含量,在氨基酸平衡良好时,尿素氮可以正常排出,其含量会下降。但饲料中的含氮物质升高,体内的氨基酸代谢旺盛,组织遭受破坏,核蛋白清除量增加或肾功能障碍时,血液中的尿素氮得不到正常排出,导致尿素氮含量升高^[12]。在本研究中,饲喂添加 0.1% 的 NCG 饲料后,环江香猪的血氨和尿素氮含量显著降低,总蛋白含量有所增加。因为在精氨酸合成代谢过程中,NAG 是氨甲酰磷酸合成酶 - I(CPS-I)的变构激活剂^[9,13],对氨甲酰磷酸的生成具有重要调控作用。NCG 作为 NAG 的类似物,通过激活 CPS-I 而促进体内多余的氨向尿素转化。

在 21 日龄断奶仔猪饲料中添加 0.09% 的 NCG,血浆精氨酸浓度提高了 36%^[14];更高水平的 NCG 会导致仔猪的高精氨酸血症,但赖氨酸浓

度却显著降低^[2,15]。本研究在环江香猪饲料中添加 0.1% 的 NCG 后,血浆精氨酸含量提高了 12.6%,赖氨酸和组氨酸含量无显著变化,可能是因为添加适宜剂量的 NCG 能够促进机体内源性精氨酸的合成,而不与其他氨基酸的吸收产生竞争,还可以避免直接口服精氨酸带来的负面影响。必需氨基酸/非必需氨基酸比值和支链氨基酸/芳香族氨基酸比值是反映动物营养状况的重要指数^[16]。添加 0.1% 的 NCG 组环江香猪血浆中总氨基酸和必需氨基酸含量均显著增加,表明苯丙氨酸和蛋氨酸等必需氨基酸的供给更充足,从而为机体蛋白质沉积和生长发育提供必需的物质来源,有利于机体氨基酸平衡及蛋白质的沉积;支链氨基酸的增加可促进蛋白质合成、抑制其降解。

4 结 论

在饲料中添加 0.1% 的 NCG 可促进肠道对营养物质的吸收,改善机体氨基酸平衡和蛋白质代谢,提高环江香猪的生长性能。

参考文献:

- [1] 孔祥峰,印遇龙,伍国耀,等. 猪功能性氨基酸营养研究进展[J]. 动物营养学报,2009,21(1):1-7.
- [2] 印遇龙,吴信,唐志如,等. 不同水平精氨酸衍生物对断奶仔猪生长性能及腹泻的影响[J]. 农业现代化研究,2008,29(6):723-725.
- [3] 岳隆耀,王春平,谯仕彦. 日粮中添加 N-氨甲酰谷氨酸(NCG)对断奶仔猪生长的影响[J]. 饲料与畜牧,2010,(1):15-17.
- [4] 刘俊峰,吴琛,孔祥峰,等. 精氨酸对妊娠环江香猪胎儿生长发育的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(5):1040-1045.
- [5] NRC. Nutrient requirements of swine[S]. 10th ed. Washington, D. C.: National Academy Press, 1998.
- [6] 汤文杰,孔祥峰,刘志强,等. 日粮不同蛋白质水平对肥育宁乡猪养分消化率和氮能代谢的影响[J]. 动物营养学报,2008,20(4):458-462.
- [7] 孔祥峰,印遇龙,黄瑞林,等. 中药超微粉饲料添加剂对断奶仔猪生长性能和血清生化参数的影响[J]. 中国兽医学报,2008,28(2):184-188.
- [8] 何庆华,印遇龙,孔祥峰,等. 中草药超微粉对断奶仔猪氨基酸消化吸收的影响[J]. 天然产物研究与开发,2008,20:307-311.
- [9] 王琤,瞿明仁,游金明,等. N-氨甲酰谷氨酸对断奶仔猪生长性能、养分消化率及血清游离氨基酸含量的影响[J]. 动物营养学报,2010,22(4):1012-1018.
- [10] 王凤来,张曼夫,陈清明,等. 日粮磷和钙磷比例对小型猪(香猪)血清、肠、骨碱性磷酸酶及血清钙磷的影响[J]. 动物营养学报,2008,13(1):36-42.
- [11] SHARMAN M J, FERNANDEZ M L, ZERN T L, et al. Replacing dietary carbohydrate with protein and fat decreases the concentrations of small LDL and the inflammatory response induced by atherogenic diets in the guinea pig[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2008, 19:732-738.
- [12] CHEN H Y, MILLER P S, LEWIS A J, et al. Changes in plasma urea concentration can be used to determine protein requirements of two populations of pigs with different protein accretion rates[J]. Journal of Animal Science, 1995, 73:2631-2639.
- [13] 周锡红,吴信,唐香山,等. 不同水平精氨酸生素对断奶仔猪生长性能和血液指标的影响[J]. 农业现代化研究,2010,31(2):237-240.
- [14] WU G, MORRIS S M, Jr. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond[J]. Biochemistry Journal, 1998, 336:1-17.
- [15] ZHAN Z F, OU D Y, PIAO X S. Dietary arginine supplementation affects microvascular development in the small intestine of early-weaned pigs[J]. The Journal of Nutrition, 2008, 138(7):1304-1309.
- [16] 胡琴,印遇龙,孔祥峰,等. 中药复方对早期断奶仔猪血清游离氨基酸含量的影响[J]. 广西农业生物科学,2008,27(1):55-59.

N-Carbamylglutamate Affects Growth Performance, Nutrient Digestibility and Plasma Concentrations of Free Amino Acids in *Huanjiang* Mini-Pigs

ZHOU Xiaoli^{1,2} YIN Yulong^{1,2} KONG Xiangfeng^{1,3*} TANG Wenjie¹ HE Qinghua¹

(1. Key Laboratory for Agro-Ecological Processes in Subtropical Region/Hunan Engineering and Research Center of Animal and Poultry Science, Institute of Subtropical Agriculture, the Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, College of Life Science and Food Engineering, Nanchang University, Nanchang 330047, China; 3. Huanjiang Observation and Research Station for Karst Ecosystems, the Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China)

Abstract: This study was conducted to determine effects of N-carbamylglutamate (NCG) on growth performance, nutrient digestibility and plasma free amino acid concentrations in growing pigs. Ten *Huanjiang* mini-pigs with an average body weight (BW) of (12.6 ± 1.7) kg were used and randomly assigned into two groups (five replicates with one pig per replicate), representing supplementation with 0 or 0.1% NCG in a basal diet for 10 days. Daily feed intake, initial and final BW were recorded, respectively; fecal samples were collected from day 8 to 10 for determining the digestibility of routine nutrients by TiO_2 indicator; blood samples were collected on day 10 for analyzing biochemical parameters and concentrations of free amino acids (AA), respectively. Results showed that compared with the basal diet group, 0.1% NCG supplementation significantly increased the average daily gain ($P < 0.05$), and decreased the ratio of gain to feed ($P < 0.05$). The apparent digestibility of crude protein, crude fat and dry matter were increased ($P > 0.05$). Plasma alkaline phosphatase activity was significantly increased ($P < 0.05$), while the plasma concentrations of urea nitrogen, ammonia and low-density lipoprotein were significantly decreased ($P < 0.05$). The plasma concentrations of total amino acid, essential amino acid, aromatic amino acid, phenylalanine and methionine of pigs fed the diet supplemented with 0.1% NCG were higher than those of pigs fed the basal diet ($P < 0.05$). These findings suggest that 0.1% NCG supplementation can promote the digestibility of nutrients, improve AA balance, and then increase the growth performance, which may provide some scientific information for the application of NCG in diets of *Huanjiang* mini-pigs. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(11):1970-1975]

Key words: N-carbamylglutamate; *Huanjiang* mini-pigs; growth performance; digestibility; amino acids

* Corresponding author, associate professor, E-mail: nnkxf@isa.ac.cn