

奶山羊不同锌源的消化吸收规律及适宜添加量

王林枫¹ 杨改青² 朱河水¹ 杨国宇¹ 张震¹ 严平³ 冯亚强⁴

(1. 河南农业大学 农业部动物生化与营养重点实验室, 郑州 450002; 2. 河南农业大学 生命研究中心, 郑州 450002;
3. 商丘市畜禽改良站, 河南 商丘, 476000; 4. 河南省郑县畜牧局, 河南 郑县, 467100)

摘要 明确奶山羊日粮中不同锌源的适宜添加量及消化吸收率, 为配制饲料选择合适的锌源提供指导。本研究以安装消化道三位点瘘管的关中奶山羊为试验对象, 采用连续灌注的方法, 从瘤胃分别灌注不同梯度的硫酸锌($ZnSO_4$)溶液和复合氨基酸螯合锌($Zn-AA$)溶液, 分别采集十二指肠食糜、回肠食糜、粪和血清样品, 检测锌含量, 计算奶山羊肠道的消化率, 确定不同锌源的适宜添加水平。结果表明: 1) 奶山羊对 2 种锌源的消化率表现为先升高后降低的变化趋势, $Zn-AA$ 的全肠道消化率高于 $ZnSO_4$, 分别为 $(70.01 \pm 1.8)\%$ 和 $(65.41 \pm 8.2)\%$; 2) 奶山羊对锌的主要吸收部位在小肠, 大肠也有一定的吸收能力, 血清锌与食糜锌水平的消化率变化同步, 而与不同锌源的消化率呈负相关; 3) $ZnSO_4$ 的适宜添加水平为 40 mg/kg(RM) (瘤胃内容物), 选择添加范围为 $40 \sim 60 \text{ mg/kg(RM)}$; $Zn-AA$ 的适宜添加水平为 60 mg/kg(RM) , 选择添加范围为 $40 \sim 80 \text{ mg/kg(RM)}$ 。奶山羊小肠和大肠对 2 种锌源均可消化吸收, 相同水平下奶山羊对 $Zn-AA$ 的消化率高于 $ZnSO_4$, 血清锌水平与添加的锌水平和锌源有关, 消化道对 $Zn-AA$ 有更高的耐受量。

关键词 奶山羊; $ZnSO_4$; $Zn-AA$; 添加量; 消化吸收

中图分类号 S 816.72; S 827.9

文章编号 1007-4333(2011)06-0124-08

文献标志码 A

Appropriate additive level of different zinc sources and its digestion in dairy goats

WANG Lin-feng¹, YANG Gai-qing², ZHU He-shui¹, YANG Guo-yu¹,
ZHANG Zhen¹, YAN Ping³, FENG Ya-qiang⁴

(1. Key Laboratory of Animal Biochemistry and Nutrition, Ministry of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Life Science Research Center of Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
3. Shangqiu Livestock and Poultry Breeding and Improving Station of Henan Province, Shangqiu 476000, China;
4. Jiaxian Animal Husbandry Bureau, Jiaxian 467100, China)

Abstract In order to determine the appropriate additive level of different zinc sources, help feeders make correct choice between zinc sulfate ($ZnSO_4$) and zinc amino acid chelate ($Zn-AA$). Twelve 2.5 - 3.0 year old, 40 - 45 kg body weight *Guanzhong* dairy goats, with three site permanent fistulas in rumen, duodenum and ileum were selected and randomly assigned to two groups. The goats were feeding with non zinc additive dietary, zinc level were provided by infusion two form of zinc solution, $ZnSO_4$ and $Zn-AA$ at zinc levels of 0, 20, 40, 60, 80, 100 and 200 mg/kg of RM (rumen mass), respectively. Samples of duodenum chyme, ileum chyme, dung and serum were collected discontinuously to detect zinc content, and small intestinal and whole intestinal zinc digestive rate were calculated. The results showed that, 1) $Zn-AA$ had a higher digestion rate than $ZnSO_4$ overall, small intestine is the main absorption part in dairy goats, but large intestine were manifested also had strong absorbency to the two zinc source. 2) Serum zinc level was not rise with the high digestion rate of $Zn-AA$, but follow zinc levels of $ZnSO_4$ and $Zn-AA$ respectively. 3) Optimum $ZnSO_4$ level in dairy goat was 40 mg/kg RM, it's optional concentration range was 40 - 60 mg/kg of RM. Optimum $Zn-AA$ level in dairy goat dietary was 60 mg/kg of RM, it's optional concentration range was and 40 - 80 mg/kg of RM. It can be concluded that $ZnSO_4$ and $Zn-AA$ could be absorbed in small intestine as well as in large intestine, $Zn-AA$ in general had

收稿日期: 2011-04-18

基金项目: 国家“973”计划项目(2011CB100802)

第一作者: 王林枫, 副教授, 博士, 主要从事动物营养生理研究, E-mail: wanglf1968@126.com

a higher digestion rate and stronger tolerant than $ZnSO_4$. Serum zinc level depends on the zinc source and levels due to different absorptive mechanism of two zinc forms.

Key words dairy goat; zinc sulfate; zinc amino acid chelate; additive level; digestive

锌(Zn)是动物机体必需的微量元素,广泛分布在神经、免疫、血液、骨骼和消化系统中,在机体生命活动中,参与近 300 种酶的合成与激活,在物质和能量代谢过程中起重要作用,有促进动物的生长发育,提高食欲及消化功能,具有抗感染、增强机体免疫力及维持正常的生育繁殖等功能^[1]。传统的动物日粮中常以添加无机锌($ZnSO_4$)作为锌源,现有饲养标准 NRC(2001)^[2]对山羊锌需要量的推荐量为 30~50 mg/kg(DM),最低量为 10 mg/kg(DM),中毒剂量为 500~1 000 mg/kg(DM),但对于不同品种和生理阶段奶山羊,还没有明确的标准。无机锌生物学效价较低,饲料中经常以增加添加量来满足动物个别生理阶段对锌的需求,同时也带来了成本增加,环境污染,资源浪费等弊端;如何提高锌的利用率,减少污染和资源浪费是人们关注的话题。近年来,氨基酸螯合锌(Zn-AA)作为一种新型的锌源而受到关注,但其在动物肠道内消化利用率如何,动物日粮中的适宜添加水平,对动物的生理功能有何影响等方面的问题还缺乏研究。通常情况下,日粮中锌水平受饮水量稀释的影响,无法研究锌在消化道内实际的消化吸收规律。本试验以奶山羊为对象,选择

$ZnSO_4$ 和 Zn-AA 2 种锌源,通过灌注使不同锌源在瘤胃内达到稳定均一的水平,以研究其在不同部位肠道内的消化吸收规律,确定奶山羊日粮中 Zn-AA 的适宜添加量,旨在为在动物饲料选择合适的锌源,提高锌的利用效率提供理论依据,并为研究动物矿物元素的需要量提供一种新的参考方法。

1 材料与方 法

1.1 试验动物

选取体况健康的 2.5~3.0 岁、体重 35~40 kg、经产 2 胎的关中奶山羊 12 只,处于干奶期非妊娠期状态,在瘤胃、十二指肠和回肠做永久性三位瘻管,随机分成 2 组,每组 6 只。

1.2 试验日粮及饲养管理

试验羊饲养于代谢笼内,单笼饲养于自制的粪尿自分离代谢笼(专利号:2009203148043),饲料和饮水分别从料槽和水槽供给,定量饲喂,自由饮水。根据 NRC(2001)山羊饲养标准制定基础日粮配方^[2],除锌不添加外,其他均按正常需要量添加(表 1)。日粮由精料和粗粮组成,精粗体积比为 30:70(DM),按山羊体重的 3%确定饲喂量,预试期 14 d,

表 1 日粮组成和营养水平(风干基础)

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

| 日粮组成 | 质量分数/% | 营养水平 | 含量 |
|------------------|--------|--------------------------------|-------|
| 青干草 | 60.00 | 代谢能/(MJ/kg) | 9.25 |
| 苜蓿干草 | 10.00 | w (干物质)/% | 90.06 |
| 玉米 | 13.50 | w (粗蛋白)/% | 11.46 |
| 豆粕 | 2.20 | w (Zn) ^② /(mg/kg) | 16.30 |
| 棉粕 | 4.80 | w (Ca)/% | 0.38 |
| 次粉 | 1.00 | w (P)/% | 0.25 |
| 玉米酒糟蛋白 | 4.80 | w (Ca)/ w (P) | 1.52 |
| 棕榈粕 | 1.80 | w (Na)/ w (K) | 1.60 |
| 磷酸氢钙 | 0.60 | | |
| 食盐 | 0.30 | | |
| 预混料 ^① | 0.50 | | |
| 石粉 | 0.03 | | |
| 碳酸氢钠 | 0.54 | | |

注:①每 kg 预混料可提供 VA 1 620 000 IU;VD₃ 324 000 IU;VE 540 IU;VK₃ 150 mg;FeSO₄·7H₂O 170 g;CuSO₄·5H₂O 70 g;MnSO₄·5H₂O 290 g;CoCl₂·6H₂O 510 mg;KI 220 mg;Na₂SeO₃ 130 mg。②基础日粮中 Zn 含量为实测值。

正试期7 d。预试期间每日记录采食量和饮水量,正试期间采取等量饲喂的方法,即将精粗饲料混合均匀,分12等份,每隔2 h喂1次。预试期间从水槽供给所需水量,正试期间每天所需水分通过瘤胃灌注获得,不再提供饮水。

1.3 肠道食糜流通量测定

食糜流通量采用Co-EDTA标记法测定,Co-EDTA的配制参照Uden等的方法^[3]。具体方法为向瘤胃连续灌注20~50 mg/L的Co-EDTA溶液(以实测为准,本试验中Co的实测值为31 mg/L),灌注时间为7 d。灌注前,将100 mL的Co-EDTA启动溶液用钝头穿刺针(30 cm)外套16#吸痰管由瘤胃瘘管多点注射于瘤胃内,搅动均匀,使瘤胃内Co-EDTA浓度与即将灌注的Co-EDTA浓度相近,启动液的浓度根据估测瘤胃食糜容积和将要灌注的Co-EDTA的浓度来确定(本试验中估测奶山羊瘤胃容积为9.5 L,启动液质量浓度为327 mg/L),然后启动正常灌注,正常灌注用蠕动泵(型号BT-100K,12通道,保定兰格恒流泵有限公司)将Co-EDTA调至一定流速进行连续灌注(灌注速度根据每天的灌注量而定,灌注量由此前纪录的羊每天的水需要量而定,本试验中羊每天灌注量为2 000 mL,流速1.42 mL/min)。

当连续灌注启动时开始计时,连续灌注7 d,前4 d不采样,第5天开始采集十二指肠食糜和回肠食糜样品。为保证样品的均匀性和避免采样过度对动物造成影响,采样分3 d进行,每天采样4次,时间间隔相等,从第1次开始采样的时间算起,每隔6 h采集1次,第2天采样起始时间比第1天推迟2 h,仍然间隔6 h采集1次,第3天比第2天推迟2 h,间隔时间相同,将3 d各采样时间点进行合并即相当于每隔2 h采集1次^[4]。每次采样时打开十二指肠和回肠末端瘘管盖,将自制塑料样品收集管挂在十二指肠和回肠末端瘘管上,使食糜自动流出,十二指肠食糜每次采集20 mL,回肠食糜采15 mL,分别将每次采集的样品转移于相应的广口塑料瓶内。采样结束后,将3 d内采集到的十二指肠和回肠食糜样品根据试验羊个体进行等量混合,搅拌均匀,-20℃冻存,待分析用。

在进行食糜采样的同时采集粪样,通过收粪盘收集每天全部粪样,混合均匀,称重,按10%取小样,再将3 d内的小样按不同试验羊个体混合制成混合粪样,每次采集完后将样品保存于-20℃冰柜

中,待分析用。

将所采食糜样及粪样取小样于65℃烘箱中烘干,于非金属容器中研碎成末,称取0.2 g(精确到0.000 1)。样品中的Co浓度用原子吸收光谱仪(日立Z-2000型原子吸收光谱仪)的火焰法测定,Co的原子吸收波长为240.7 nm,空气-乙炔为燃烧气。

十二指肠和回肠食糜流通量(Q_d 和 Q_i)用Co-EDTA中Co的每天灌注剂量(Q_t)分别除以测出的十二指肠和回肠食糜样混合物中的Co浓度(C_d 和 C_i)即可计算得出。

$$Q_d = Q_t / C_d$$

$$Q_i = Q_t / C_i$$

1.4 日粮锌源及不同水平控制方法

本试验日粮中的锌有2种不同形式,一种是ZnSO₄(市售,某化工公司生产,纯度为分析纯99.8%,含锌≥22.5%),另一种为复合氨基酸螯合锌(Zn-AA,总锌质量分数为10%,总氨基酸质量分数25%,螯合率为92%,由成都整合生物技术有限公司提供。其中:苏氨酸0.87%、天冬氨酸2.51%、酪氨酸0.59%、苯丙氨酸1.57%、丝氨酸0.92%、赖氨酸2.80%、谷氨酸2.78%、脯氨酸0.98%、甘氨酸1.41%、精氨酸0.96%、丙氨酸1.90%、组氨酸1.10%、胱氨酸0.51%、异亮氨酸0.22%、缬氨酸1.49%、亮氨酸2.68%和蛋氨酸1.45%,以上均为质量分数)。

为避免饮水量对锌水平的影响,在饲喂不同水平含锌日粮时,在饮用水中同时给予一定量相同水平的锌溶液,以保持瘤胃中锌水平的稳定均一。锌溶液通过瘤胃灌注供给,灌注液中锌的浓度根据日粮锌水平、灌注溶液量和试剂中锌的纯度计算得出,根据计算量称取一定量的ZnSO₄或Zn-AA,用去离子水分别配置成不同浓度溶液,分别使瘤胃食糜中(固相和液相)锌达到20、40、60、80、100和200 mg/kg,根据上述测定的食糜流通量的确定锌溶液的灌注量(定量为2 000 mL),不同水平的锌溶液通过蠕动泵均匀灌注奶山羊瘤胃内(同上)。在灌注启动前,根据估测奶山羊瘤胃内容物容积(本试验中为8~10 L),用100 mL的溶液作为启动液(10倍于目的水平)多点均匀注入瘤胃(同上),使瘤胃内锌的浓度均匀,并接近于即将灌注的锌水平。然后启动灌注相应水平的ZnSO₄和Zn-AA溶液,调整灌注速度(1.42 mL/min),使2 000 mL的锌溶液均匀地灌注于奶山羊的瘤胃内,连续灌注7 d,前4 d不采样,

后 3 d 采样,采样及样品处理方法同食糜流通量测定。一个水平试验结束后,奶山羊喂不加锌日粮,间隔 2 周,再进行下一水平的灌注。

1.5 血样采集及血清制备

在采集食糜样期间,早上饲喂前颈静脉采血,用真空采血管从颈静脉处采集血液 5 mL,静置 30 min,2 500 r/min 离心 15 min,用于测定锌含量,−20 °C 保存,待测。

1.6 样品测定及指标计算

1.6.1 样品处理

将上述冻存的十二指肠、回肠食糜样品和粪样品解冻,准确称取 100 g 于瓷盘中,置 65 °C 烘箱中烘干 48 h,称重。在非金属研钵中研碎成末(细度过 40 目筛)。

准确称取十二指肠、回肠食糜或粪粉末样 0.2 g (精确到 0.000 1),置于消解管中,加硝酸 7 mL(优级纯)、双氧水 1 mL(分析纯),在微波消解仪中(CEM Mars,美国培安公司)消解 2 h,待样品完全消解(澄清)后,取上清液于 25 mL 容量瓶中,然后用 5%(体积分数)的 HNO₃(分析纯)定容,摇匀后用于测定锌含量。

血清样的处理方法是血清解冻后,取 0.5 mL 血清于消解管中进行消解,方法同上。

1.6.2 锌含量测定及有关指标的计算

锌含量用原子吸收火焰光谱法进行测定(本研

究用日立 Z-2000 型原子吸收光谱仪),Zn 的原子吸收波长为 213.9 nm,燃烧气体为空气-乙炔混合气体。

十二指肠、回肠中锌流量及粪中锌排出量的计算:

$$\text{十二指肠锌流量} = (\text{十二指肠锌质量分数} \times \text{十二指肠食糜流通量}) / 1\ 000$$

$$\text{回肠锌流量} = (\text{回肠锌质量分数} \times \text{回肠食糜流通量}) / 1\ 000$$

$$\text{粪中锌含量} = (\text{粪中锌质量分数} \times \text{粪总量}) / 1\ 000$$

小肠及全肠道锌消化率的计算:

$$\text{小肠消化率} / \% = [(\text{十二指肠锌流量} - \text{回肠锌流量}) / \text{十二指肠锌流量}] \times 100$$

$$\text{肠道消化率} / \% = [(\text{十二指肠锌流量} - \text{粪中锌含量}) / \text{十二指肠锌流量}] \times 100$$

1.7 数据处理及统计分析

试验数据先用 Excel 2003 进行汇总处理,再用 SPSS 11.5 统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),同时进行 Duncan 氏多重比较,所有数据均以 $\bar{x} \pm \text{SD}$ 表示。

2 结果与分析

2.1 奶山羊不同肠段的食糜流通量及锌流通量

用 Co-EDTA 标记法测定奶山羊十二指肠、回肠食糜流通量,不同锌源各灌注水平的十二指肠、回肠食糜锌流通量及粪中的锌排出量见表 2。

表 2 十二指肠、回肠食糜流通量及 2 种锌源各灌注水平在不同肠段的锌流通量和排出量
Table 2 Duodenum and Ileum chyme flux and zinc weight in different segments for each dietary level of two zinc source in dairy goats

| 处 理 | 瘤胃锌质量 分数/(mg/kg) | 十二指肠食糜 流通量/(g/d) | 回肠食糜 流通量/(g/d) | 十二指肠锌 流通量/(mg/d) | 回肠锌流通量/ (mg/d) | 粪中锌含量/ (mg/d) |
|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 对照组 | 0 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 21.95±5.2 | 13.95±2.2 | 9.62±2.2 |
| ZnSO ₄ 组 | 20 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 67.92±8.4 | 48.65±7.7 | 24.05±2.8 |
| | 40 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 116.79±6.3 | 58.92±1.7 | 40.29±9.1 |
| | 60 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 139.81±8.4 | 79.33±3.9 | 57.52±9.0 |
| | 80 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 188.84±7.3 | 94.58±5.9 | 85.36±3.9 |
| | 100 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 194.50±20.1 | 107.62±16.4 | 98.87±10.6 |
| | 200 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 341.99±44.3 | 260.61±39.9 | 237.48±11.5 |
| Zn-AA 组 | 20 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 80.17±2.2 | 40.40±1.9 | 25.70±3.3 |
| | 40 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 102.13±11.7 | 57.36±3.3 | 41.07±5.0 |
| | 60 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 128.03±15.6 | 69.42±13.1 | 38.47±6.0 |
| | 80 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 188.31±24.0 | 84.53±13.1 | 69.88±4.0 |
| | 100 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 158.35±28.4 | 98.74±13.0 | 77.88±6.8 |
| | 200 | 810.38±75.8 | 511.03±50.0 | 331.84±33.9 | 206.16±17.8 | 160.07±10.3 |

奶山羊在灌注不同水平锌时,与测定食糜流通量时的采食量和灌注溶液的容积均保持一致,因此,认为十二指肠和回肠的食糜流通量均保持不变,在此流量基础上,计算各灌注水平的十二指肠和回肠锌流通量。从表2中可以看出,随着锌灌注水平的升高,十二指肠、回肠的锌流通量和粪中锌的排出量逐渐增加,表明肠道对锌的消化吸收存在一定范围。从不同部位锌的流量来看,从十二指肠、回肠到粪

中,锌的流量和排出量在逐渐降低,表明胃、十二指肠、小肠和大肠对锌均有一定的吸收能力,不同锌源的吸收能力有一定差异,表现为 Zn-AA 高于 ZnSO₄。

2.2 不同锌源和水平在奶山羊肠道的消化率

不同灌注水平条件下, ZnSO₄ 和 Zn-AA 在小肠和全肠道的消化率见表3。

从表3可以看出,奶山羊对锌的消化率与锌源

表3 不同水平的 ZnSO₄ 和 Zn-AA 在奶山羊不同肠段的消化率

Table 3 Digestibility of different source and level of zinc in intestinal and whole digestive tract in dairy goats

| 瘤胃锌质量分数/ (mg/kg) | 小肠消化率/% | | 全肠消化率/% | |
|---------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | ZnSO ₄ 组 | Zn-AA 组 | ZnSO ₄ 组 | Zn-AA 组 |
| 0 | 36.02±3.5 bA | 36.02±3.5 aA | 55.81±5.7 bcB | 55.81±5.7 abB |
| 20 | 42.55±3.3 cA | 49.60±2.1 bcB | 64.14±6.5 cdC | 67.99±3.5 cdCD |
| 40 | 49.42±3.9 cA | 43.51±5.0 abcA | 65.41±8.2 dC | 59.09±9.2 abcBC |
| 60 | 43.08±5.1 cA | 46.06±3.5 bcA | 58.53±8.5 bcdB | 70.01±1.8 dC |
| 80 | 49.95±1.3 cA | 55.05±4.1 cAB | 51.63±4.9 bcA | 62.24±7.5 bcdB |
| 100 | 44.64±6.7 cA | 37.22±3.7 aA | 45.84±5.3 bA | 50.17±5.6 aA |
| 200 | 23.89±3.8 aA | 37.59±6.6 aB | 30.03±6.1 aA | 51.55±4.3 aC |

注:同一列标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),有相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$);同一行中,有相同大写字母的表示差异不显著($P>0.05$),有不同大写字母的表示差异显著($P<0.05$),下表同。

和含量有关,肠道对 ZnSO₄ 和 Zn-AA 的吸收表现出较大的差异,主要吸收部位是小肠,小肠后对 ZnSO₄ 和 Zn-AA 也有一定的吸收,吸收率与不同锌源和水平有密切关系。

小肠 ZnSO₄ 的消化率随着日粮锌水平的升高表现为先升高后降低的趋势,当锌质量分数低于 80 mg/kg 时,消化率波动式上升,锌质量分数为 80 mg/kg 时达到峰值,高于 80 mg/kg 时,快速下降,200 mg/kg 时消化率最低,显著低于其他各水平($P<0.05$)。Zn-AA 的小肠消化率与 ZnSO₄ 类似,当质量分数低于 80 mg/kg 时,消化率波动式上升,为 80 mg/kg 时达到峰值,高于 80 mg/kg 时,快速下降,高于 100 mg/kg 时,逐步趋于稳定;100 和 200 mg/kg 时消化率显著低于 80 mg/kg ($P<0.05$)。除个别水平外,在相同锌水平下,Zn-AA 组的消化率高于 ZnSO₄ 组。

从全肠道来看,ZnSO₄ 和 Zn-AA 的消化率同样表现为先升高后降低的特点,升高的幅度和到达峰值的浓度均比小肠前移,不同锌源之间又各有特

点。ZnSO₄ 在 40 mg/kg 时消化率达到最大值;当质量分数低于 40 mg/kg 时呈上升趋势;当高于 40 mg/kg 时呈下降趋势,在 40~60 mg/kg 基本稳定;当质量分数高于 80 mg/kg 时,消化率快速降低;在 200 mg/kg 时,显著低于其他各水平($P<0.05$)。Zn-AA 组与 ZnSO₄ 组变化相似,但各水平消化率升高、峰值后移。在 60 mg/kg 时达到峰值,峰值后的下降速度缓慢,大于 100 mg/kg 时基本稳定,总体表现为先低、后高、再降低的变化趋势,相同浓度的 Zn-AA 组高于 ZnSO₄ 组。

从全肠道消化率大于小肠消化率的结果可以看出,大肠对锌也有一定的消化吸收能力,消化率因不同锌源和水平而异。对 Zn-AA 消化能吸收力高于 ZnSO₄,说明 ZnSO₄ 对肠道的刺激较强,肠道细胞对 ZnSO₄ 耐受性较弱,而表现出一定的防御机能,而肠道对 Zn-AA 的耐受性则较强。

2.3 不同锌源和水平奶山羊的血清锌水平

从表4可以看出,血清锌水平的变化与肠道中锌的消化率变化相似,也表现为先升高后降低的趋

势,ZnSO₄组和Zn-AA组血清锌均在60 mg/kg时达到峰值,与Zn-AA组的消化率同步,而比ZnSO₄组消化率的峰值后移;进一步分析发现,同一添加水平下,Zn-AA组血清锌水平低于ZnSO₄组,与消化率的变化不一致。当日粮锌水平到达200 mg/kg时,血清锌水平再次升高,出现新的峰值,Zn-AA组略高于ZnSO₄组。

表4 不同锌源和日粮水平条件下的血清锌水平

Table 4 Serum zinc concentration for different zinc source and levels

| 瘤胃锌质量 分数/(mg/kg) | 血清锌质量浓度/(mg/L) | |
|---------------------|---------------------|---------------|
| | ZnSO ₄ 组 | Zn-AA组 |
| 0 | 0.19±0.06 aA | 0.17±0.06 aA |
| 20 | 0.31±0.09 abA | 0.26±0.04 aA |
| 40 | 0.50±0.19 bA | 0.44±0.04 abA |
| 60 | 0.70±0.14 cA | 0.60±0.08 bA |
| 80 | 0.43±0.15 bA | 0.37±0.05 abA |
| 100 | 0.34±0.12 abA | 0.28±0.03 aA |
| 200 | 0.93±0.24 dA | 0.98±0.44 cA |

3 讨论

3.1 研究方法及其最佳添加量

以往对锌的研究大多是通过日粮添加的方式进行,由于饲料的适口性和动物的采食习惯等原因使锌的实际采食量不能实现精准化控制,在试验设计时需要加大锌水平的间隔,不能实现精准。本研究通过瘤胃灌注的方法可避免以上问题,实现锌采食量的精准控制,研究结果更接近实际需要。

关于奶山羊日粮锌的适宜添加量目前还没有明确的标准,实际应用时一般参考其他山羊的推荐量,不同的研究推荐量也不相同。NRC(2001)推荐山羊锌的需要量为30~50 mg/kg(DM),最低量为10 mg/kg(DM),中毒剂量为500~1 000 mg/kg(DM)^[2],但对于不同品种和生理阶段的需要量则缺乏研究。ARC(1980)认为,饲料中锌水平达到30 mg/kg(DM)时可满足山羊对锌的需要^[5]。AFRC(1997)认为,山羊饲料中锌水平至少应达到50 mg/kg(DM)^[6],当饲料中存在抑制锌吸收利用的因素时,饲料中锌水平应提高到80 mg/kg(DM)。Lamand的研究表明,在正常情况下45 mg/kg(DM)的饲料中锌可以满足山羊的需要,当考虑到饲料中锌与其他

元素互作时,饲料中锌水平应达到75 mg/kg(DM)^[7]。上述研究中锌推荐量均是ZnSO₄的推荐量,对氨基酸螯合锌(Zn-AA)的推荐量还未见报道。

从本试验对奶山羊ZnSO₄和Zn-AA的需要量研究可以看出,奶山羊肠道对锌的最大消化率和血清中锌的最高水平是不同步的,全肠道对锌均可吸收,确定奶山羊对锌的需要量应以全肠道为基础进行考虑。奶山羊小肠和全肠道对ZnSO₄的消化率均在40 mg/kg时达到最大,血清锌含量在60 mg/kg达到最高,从ZnSO₄消化率方面考虑,ZnSO₄的最佳添加量为40 mg/kg(RM);从血液中锌的水平考虑,60 mg/kg时血清中锌水平最高,综合考虑两方面的因素,ZnSO₄的推荐量为40~60 mg/kg(RM),可根据实际需要进行调整。奶山羊Zn-AA的小肠消化率、全肠道的消化率和血清锌水平也表现出不同步性,小肠对Zn-AA的消化率在80 mg/kg时最高,而全肠道的消化率和血清锌水平均在60 mg/kg时达到最高;40 mg/kg时Zn-AA的全肠道消化率和血清锌水平与80 mg/kg无显著差异,综合考虑各方面的因素,Zn-AA的推荐范围为40~80 mg/kg(RM),最佳添加量为60 mg/kg(RM)。以上结果是针对成年经产非妊娠关中奶山羊母羊进行的研究,其他年龄和不同生理阶段的奶山羊锌需要量还有待进一步的研究。

3.2 不同锌源的消化吸收

关于锌的消化吸收部位,多数研究认为锌的主要消化吸收部位在小肠,大肠对锌的吸收率很低,把研究的重点大多集中在小肠。Van Campen等采用原位结扎技术,对麻醉状态下大鼠不同肠段锌的吸收情况进行了研究,结果表明,以十二指肠的吸收最大,其次是回肠、空肠中段及胃^[8]。Yehezkel研究发现狗各肠段锌的吸收率与大鼠相似,吸收率大小为:十二指肠>回肠>空肠^[9]。Antonson等用体内肠灌注技术研究大鼠不同肠段对锌的净吸收时发现,锌的吸收率为十二指肠19.1%、空肠20.2%、回肠60.0%^[10],与上述研究结果不完全一致。Kowavski等采用外翻肠囊技术研究表明,大鼠的空肠和回肠吸收率大于十二指肠远端,金仓鼠的十二指肠吸收量最大,而鸡在回肠吸收最大^[11]。于昱等对肉仔鸡不同肠段灌注硫酸锌发现,肉仔鸡锌的主要吸收部位也是回肠,十二指肠和空肠吸收较小^[12]。从以上结果可以看出,肠道对锌的消化吸收率与动物的种类、品种有密切关系,单胃动物锌的主

要吸收部位在小肠,小肠不同部位对锌的吸收也有较大差异,而锌在单胃动物大肠的吸收能力如何,还未见报道。

本研究证明奶山羊大肠对锌有一定的吸收能力,与 Neathery 等对肉牛的研究结果类似^[13]。本研究进一步发现,大肠对锌的吸收率与锌源和水平有关,Zn-AA 的吸收率高于 ZnSO₄,低水平时大肠对 2 种锌源的吸收率大于高水平时的吸收率。

3.3 不同锌源的吸收机制

关于锌在肠道的吸收机制目前还不十分清楚。普遍被人们接受的机制是 Evans 等提出的锌吸收模式,包括以下几个过程:1)胰脏向小肠腔中分泌锌结合配体;2)在肠腔中锌同配体结合;3)锌-配体复合物穿过微绒毛进入上皮细胞;4)上皮细胞内的锌被转运到基膜的结合位点上;5)门静脉系统中有金属白蛋白同上皮细胞的基膜作用,在受体位点上结合锌,进入门静脉循环系统,肠细胞是调节锌吸收的主要位点^[14]。但该模式还存在一些缺陷。

随着研究的深入,对锌吸收机制的认识逐渐完善^[12],发现锌的吸收和转运与几种蛋白有关:一是肠细胞刷状缘侧的锌转运蛋白(ZiP),参与锌的转入肠细胞;二是肠细胞基底部有 ZnT1 蛋白,参与锌的转出;三是锌结合的蛋白,参与锌的转运和运输,如金属硫蛋白(MT)、富半胱氨酸肠蛋白(CRIP)等。其中,MT 是由锌诱导的锌结合蛋白,与进入细胞内的锌结合生成 MT-Zn,与锌的吸收存在着密切的关系。肠黏膜细胞内锌浓度升高激发 MT 基因的表达,锌也可与相关转录因子结合直接调控 MT 的表达,同时 MT 也可调节体内锌的吸收与代谢。当血锌浓度升高到一定水平后,MT 可促进锌从浆膜到肠腔的逆向转运,调节血锌浓度。因此,MT 可作为肠上皮细胞中一种暂时性的储蓄调节剂,协调细胞内游离 Zn²⁺的水平。CRIP 也参与锌的转运,锌从肠腔进入肠细胞与 CRIP 结合,CRIP 将锌转移到基膜上的结合位点,然后由血浆蛋白将其带走,进入血液循环。CRIP 与锌的结合活性受 MT 的影响,当日粮富含锌时,MT 浓度升高,锌与 CRIP 结合减弱。缺锌时,体细胞膜内 MT 浓度降低,锌与 CRIP 结合增加,提高锌的吸收率。以上机制可以解释 ZnSO₄ 的吸收规律,但还不能完全解释 Zn-AA 的吸收机制。

Zn-AA 的消化率高于 ZnSO₄,是因为 Zn-AA 的吸收形式与 ZnSO₄ 不同。Ashmead 等认为锌和

氨基酸形成螯合物后,使分子内电荷趋于零,易于通过富含阴离子的小肠上皮细胞膜,可以完整的形式被细胞吸收,或通过氨基酸转运系统转运氨基酸螯合锌^[15]。因此,Zn-AA 吸收率高于 ZnSO₄。至于 Zn-AA 组血清中锌低于 ZnSO₄ 组,目前的研究还不能作出合理解释。作者推测可能是由于 Zn-AA 的吸收、转运和利用方式机制不同引起的。当 Zn-AA 以完整的形式被细胞吸收后,由于其对肠细胞刺激性小,一部分贮留在肠壁细胞内,未完全转运进入血液,另一方面,机体细胞对 Zn-AA 和 ZnSO₄ 的利用方式不同,Zn-AA 可以大量地进入机体组织细胞利用并贮存,因而,血清中锌的水平相对较低;而 ZnSO₄ 以离子形式吸收,对肠壁细胞刺激大,肠壁细胞转运快,胞内贮留少,同时机体组织细胞对其利用和贮存也较少,因而血清中的锌水平高,这种转运机制可在一定范围内达到平衡。当日粮中锌水平过高时,打破了原有的转运平衡,高浓度锌对肠道细胞的刺激诱导了锌转运蛋白的表达,使血清中锌水平继续升高。当细胞内 Zn-AA 的量超过细胞的贮存能力时,过多的 Zn-AA 就进入血液,Zn-AA 组血清锌的水平高于 ZnSO₄ 组,这种推测尚待进一步的研究证明。

以上机理可以解释 2 种锌源消化吸收率的变化。锌的消化吸收受肠道食糜中其他物质和结合配体两方面因素的影响,当日粮锌水平较低时,由于食糜中钙、磷、铜、植酸及纤维素等因素的影响^[12],锌与配体的结合机率较少,消化吸收率低;当日粮锌水平升高时,食糜内其他物质影响相对较弱,锌与配体结合的机率增多,消化吸收率升高;当日粮锌升高到一定水平时,锌与配体的结合机率达到饱和,消化吸收达到峰值;当日粮锌水平继续升高时,高锌刺激肠道出现防御作用,MT 的逆向转运增强,锌的消化吸收率再降低。Zn-AA 受消化道内因素影响小,因而消化吸收率较高。

4 结 论

1)奶山羊对锌的的消化率与锌源有关,在相同添加水平下,Zn-AA 的消化率高于 ZnSO₄,锌的主要吸收部位在小肠,大肠也有一定的消化吸收能力;

2)血清锌水平与锌源和添加水平有关,在添加锌低于 200 mg/kg(RM)时,Zn-AA 组血清锌水平低于 ZnSO₄ 组;

3)奶山羊日粮中 ZnSO₄ 的适宜添加量为 40

mg/kg (RM), 适宜添加范围为 40~60 mg/kg (RM); Zn-AA 的适宜添加量为 60 mg/kg (RM), 适宜添加范围为 40~80 mg/kg (RM), 消化道对 Zn-AA 有较大耐受性。

参 考 文 献

- [1] 杨自军, 张玲, 陈洪科, 等. 不同态锌在动物体内代谢的比较 [J]. 微量元素与健康研究, 1996, 13(4): 7-8
- [2] 孟庆翔, 主译. 山羊营养需要 (NRC, 2001) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 151-197
- [3] Uden P, Colucci P E, Van Soest P J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1980, 31(7): 625-632
- [4] 甄玉国. 内蒙古白绒山羊氨基酸利用和蛋白质周转规律的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2002
- [5] ARC (Agricultural Research Council). The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock [M]. Great Britain: Farnham Royal Gresham Press, 1980
- [6] AFRC (Agriculture and Food Research Council). The Nutrition of Goat [M]. Wallingford: CAB International, 1998
- [7] Lamand M. Métabolisme et besoins en oligo-éléments [C] // Morand-Fehr P, Bourbouze A, de Simiane M, eds. Nutrition and Systems of Goat Feeding, Paris: INRA-ITOVIC, 1981: 210-217
- [8] Van Campen D R, Mitchell E A. Absorption of Cu, Zn, Mo and Fe from ligated segments of the rat gastrointestinal tract [J]. Journal of Nutrition, 1965, 86(2): 120-124
- [9] Yehezkel N. Site of zinc absorption in dog small intestine [J]. Journal of Nutrition, 1988, 118(1): 61-64
- [10] Antonson D L, Barak A J, Vanderhoof J A. Determination of the site of zinc absorption in rat small intestine [J]. Journal of Nutrition, 1979, 109(1): 142-147
- [11] Kowavskis, Blair-stanek C S, Schachter D. Active transport of zinc and identification of zinc-binding protein in rat jejunum mucosa [J]. American Journal of Physiology, 1974, 226(2): 401-407
- [12] 于昱, 吕林, 张亿一, 等. 影响动物肠道锌吸收因素的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2007, 19(增刊): 459-464
- [13] Neathery N W, Rachmat S, Miller W J, et al. Effect of chemical form of orally administered⁶⁵ Zn on absorption and metabolism in cattle [J]. Proc Soc Exp Biol Med, 1972, 139: 953-956
- [14] Evans G W, Grace C I, Votava H J. A proposed mechanism for zinc absorption in the rat [J]. American Journal of Physiology, 1975, 228(2): 501-505
- [15] Ashmead H D. Comparative intestinal absorption and subsequent metabolism of metal amino acid chelates and inorganic metal salts [M] // The Roles of Amino Acid Chelates in Animal Nutrition. New Jersey: American Academic Press, 1993: 32-57

(责任编辑: 苏燕)