

# 不同锌源对新生荷斯坦犊牛生长性能、血清免疫和抗氧化指标以及血浆微量元素含量的影响

金宇航<sup>1</sup> 麻柱<sup>2</sup> 高铎<sup>1</sup> 单强<sup>1</sup> 张亚静<sup>2</sup> 楚康康<sup>2</sup> 孙鹏<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 动物营养学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 北京奶牛中心, 奶牛遗传育种与繁殖北京市重点实验室, 北京 102101)

**摘要:** 本试验旨在研究不同锌源(蛋白锌和氧化锌)对新生荷斯坦犊牛生长性能、血清免疫和抗氧化指标以及血浆微量元素含量的影响。选取 60 头体重 $[41.35 \pm 0.63]$  kg 一致的健康新生荷斯坦犊牛, 随机分成 5 个组, 每组 12 头牛(公犊牛 3 头, 母犊牛 9 头)。对照组(CON 组)饲喂牛奶, 低剂量蛋白锌组(L-ZnP 组)、中剂量蛋白锌组(M-ZnP 组)和高剂量蛋白锌组(H-ZnP 组)在牛奶中分别添加 261.44、522.88、784.31 mg/d 蛋白锌(锌含量相当于 40、80、120 mg/d), 氧化锌组(ZnO 组)在牛奶中添加 232.11 mg/d 氧化锌(锌含量相当于 180 mg/d)。根据犊牛生长状况于 4~7 日龄开始饲喂开食料。试验期 14 d。结果表明: 1) 与 CON 组相比, M-ZnP 组、H-ZnP 组和 ZnO 组的平均日增重, 血清免疫球蛋白 G(IgG) 含量、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px) 活性以及血浆锌含量显著升高( $P < 0.05$ )。2) 随着蛋白锌添加量的增加, 粪便指数呈显著线性、二次下降( $P < 0.05$ ), 血清 IgG 含量、GSH-Px 活性及血浆锌含量呈显著线性升高( $P < 0.05$ ), 血清丙二醛(MDA) 含量呈显著线性下降( $P < 0.05$ )。综上所述, 蛋白锌可提高犊牛生长性能、抗氧化功能及免疫功能, 较少犊牛腹泻情况, 提高血浆锌含量。在本试验条件下, 犊牛牛奶中添加 522.88 mg/d 蛋白锌(锌含量相当于 80 mg/d) 为宜。

**关键词:** 犊牛; 蛋白锌; 氧化锌; 腹泻; 抗氧化; 免疫; 微量元素

中图分类号: S823

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2021)06-3334-09

犊牛的生长发育和健康状况对其成年后泌乳性能的发挥具有深远影响。因此, 增进犊牛健康、降低犊牛疾病发生率及提高犊牛生长性能对于提高奶牛养殖业经济效益具有重要意义。当前奶牛养殖中, 新生犊牛腹泻仍然是导致犊牛死亡的主要原因之一, 通常是由病毒、细菌或寄生虫引起的传染病<sup>[1-3]</sup>。在犊牛阶段, 特别是新生及断奶前后, 犊牛腹泻的流行性、发生率及病死率都极高, 对养殖业造成巨大经济损失<sup>[4]</sup>。

锌是动物机体必需的微量元素之一, 广泛分布于细胞质和大部分细胞器中, 机体内超过 300

种酶发挥作用均需要锌的参与<sup>[5]</sup>。此外, 机体许多生物进程都对锌具有依赖性, 如锌可维持细胞膜稳定、参与基因表达和作为细胞信号<sup>[6]</sup>。研究表明, 锌可以改善动物的生长性能, 提高免疫力, 有效缓解腹泻<sup>[7]</sup>。给断奶仔猪饲料中添加高剂量氧化锌可促进仔猪生长, 提高仔猪免疫力, 有效缓解断奶后腹泻<sup>[8]</sup>。然而, 动物饲喂过量的锌添加剂, 可能会随着动物排泄而进入环境中造成污染。因此, 我国目前已明令禁止使用高锌。最新修订的中华人民共和国农业农村部 2625 号公告《饲料添加剂安全使用规范》中明确规定, 犊牛代乳料中

收稿日期: 2020-11-21

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(Y2020GH11-2); 国家高层次人才特殊支持计划项目; 中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07)

作者简介: 金宇航(1995—), 男, 江苏泗阳人, 硕士研究生, 从事反刍动物营养研究。E-mail: 749964930@qq.com

\* 通信作者: 孙鹏, 研究员, 博士生导师, E-mail: sunpeng02@caas.cn

锌含量不得超过 180 mg/kg。前期研究发现,给新生至 2 周龄犊牛补充低剂量锌可有效缓解腹泻,提高平均日增重 (average daily gain, ADG)<sup>[9-10]</sup>;同时,补锌可以提高犊牛肠道内的锌转运能力,降低肠道通透性,保护肠道屏障功能<sup>[10-12]</sup>。另有研究表明,锌可以增加犊牛胸腺、脾脏等免疫器官重量,参与补体反应,提高 B 淋巴细胞产免疫球蛋白的能力,提高犊牛免疫功能<sup>[10,13]</sup>。此外,锌在机体内还有一定的抑菌作用<sup>[14-15]</sup>。

蛋白锌是以大豆分离蛋白和无机锌为反应原料制备的一种具有较强螯合强度的新型饲料添加剂。与传统无机或有机锌相比,蛋白锌具有适中的螯合强度和更高的生物学效价,从而可有效减少锌排放到环境造成污染<sup>[16]</sup>。以往关于锌对动物影响的研究多集中于传统无机锌和有机锌,有关蛋白锌对犊牛方面作用的报道较少。因此,本试验旨在研究蛋白锌和氧化锌对新生荷斯坦犊牛生

长性能、腹泻情况、抗氧化性能、免疫功能以及血浆中微量元素含量的影响,为蛋白锌在犊牛早期饲养中的科学应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

氧化锌,纯度为 96.64%。蛋白锌,纯度为 15.30%,以大豆分离蛋白和无机锌制备,螯合强度为 327。

### 1.2 试验动物与试验饲料

试验于 2019 年 12 月至 2020 年 3 月在北京奶牛中心延庆基地良种场进行。选取 60 头出生健康、体重相近的新生荷斯坦犊牛,犊牛采食的牛奶为北京奶牛中心延庆基地良种场自产牛奶,开食料为北京首农畜牧科技发展有限公司饲料分公司生产的颗粒状犊牛开食料。开食料及牛奶的营养水平见表 1。

表 1 开食料及牛奶的营养水平(干物质基础)

Table 1 Nutrient levels of starter and milk (DM basis)

%

项目 Items	开食料 Starter	项目 Items	牛奶 Milk
干物质 DM	89.04	乳蛋白 Milk protein	3.25
粗蛋白质 CP	24.45	乳脂肪 Milk fat	4.02
粗脂肪 EE	1.68	总固形物 TS	12.56
粗灰分 Ash	7.75	非脂乳固体 SNF	9.15
中性洗涤纤维 NDF	12.20	乳糖 Lactose	4.91
酸性洗涤纤维 ADF	4.85	密度 Density/(g/mL)	1.03
锌 Zinc/(mg/kg)	179.00	锌 Zinc/(mg/kg)	3.35

实测值 Measured values。

### 1.3 试验设计与饲养管理

选取出生日期、体重 $[(41.35 \pm 0.63) \text{ kg}]$ 一致的健康荷斯坦犊牛 60 头,随机分成 5 个组,每组 12 头牛,其中公犊牛 3 头,母犊牛 9 头。对照组(CON 组)饲喂牛奶,低剂量蛋白锌组(L-ZnP 组)、中剂量蛋白锌组(M-ZnP 组)和高剂量蛋白锌组(H-ZnP 组)在牛奶中分别添加 261.44、522.88、784.31 mg/d 蛋白锌(锌含量相当于 40、80、120 mg/d),氧化锌组(ZnO 组)在牛奶中添加 232.11 mg/d 氧化锌(锌含量相当于 180 mg/d)。根据犊牛生长状况,于 4~7 日龄从产房转入犊牛岛单独饲养,并开始饲喂开食料。饲喂开食料前每天喂奶 3 次(06:00、14:00、18:00),每次 1.5 L;饲喂开食料后每天喂奶 2 次(06:00、18:00),每次

4 L。犊牛自由饮水,自由采食开食料,每日记录采食情况。试验期 14 d。

### 1.4 样品采集与指标测定

#### 1.4.1 牛奶和开食料

每周采集牛奶和开食料样品,  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  保存。采用乳成分分析仪(MilkoScan<sup>TM</sup> FT6000)测定牛奶密度及乳蛋白、乳脂肪、乳糖、总固形物(total solids, TS)、非脂乳固体含量(solids non-fat, SNF)含量。采用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)测定牛奶和开食料中的锌含量(GB 5009.268—2016)。测定开食料中干物质[AOAC(2005),方法 930.15]、粗蛋白质[AOAC(2000),方法 976.05]、粗脂肪[AOAC(2003),方法 4.5.05]、粗灰分(GB/T 6438—1992)含量。开食

料中中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量参照 Van Soest 等<sup>[17]</sup>的方法进行测定。

#### 1.4.2 生长性能和粪便指数

犊牛出生及 14 日龄晨饲前空腹称重,计算平均日增重。记录每日牛奶和开食料采食量,计算平均日采食量(average daily intake, ADFI)和料重比(feed to gain ratio, F/G)。

试验过程中,每天早、晚 2 次观察犊牛腹泻情况,观察时对犊牛的粪便进行评分,并计算粪便指数。评分标准为:粪便正常、圆柱形记 0 分;轻微稀软、有形记,1 分;腹泻,粪便黏稠、不成形、水分含量高记,2 分;严重腹泻,粪便呈液态、不成形、水样稀粪记,3 分。粪便指数计算公式如下:

粪便指数 = 粪便评分之和 / 犊牛总头数。

#### 1.4.3 血液样品的采集与指标检测

在犊牛 14 日龄晨饲前进行颈静脉采血,每头犊牛分别用血清管和血浆管各采集血液样品约 10 mL,室温静置 10 min,3 000×g、4 °C 离心 15 min 后,制备血清和血浆,-20 °C 保存备用。

血清中免疫球蛋白 A (immunoglobulin A, IgA; 产品编号: JYM0099Bo)、免疫球蛋白 G (immunoglobulin G, IgG; 产品编号: JYM0009Bo) 和免疫球蛋白 M (immunoglobulin M, IgM; 产品编号: JYM0031Bo) 含量采用酶联免疫吸附测定 (enzyme-linked immunosorbent assay, ELISA) 法,试剂盒购于武汉基因美科技有限公司,并严格按照操作说明进行测定。血清中丙二醛 (malondialdehyde, MDA; 产品编号: A003-1) 含量及超氧化物

歧化酶 (superoxide dismutase, SOD; 产品编号: A001-3-2)、谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px; 产品编号: A005-1-2) 活性采用放射免疫法测定,试剂盒购于南京建成生物工程研究所,并严格按照操作说明进行测定。样品吸光度使用 Y040 多功能酶标仪 (Tecan infinite 200 Pro, Tecan 公司,奥地利) 测定。

血浆中铜、铁、锌、钙、镁、磷含量采用电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP-OES 9000, Shimadzu 公司,日本) 测定。

#### 1.5 数据统计分析

用 Excel 2010 软件对试验数据进行初步处理,试验数据采用 SAS 9.4 软件 MIXED 模块进行统计分析,统计模型中包含试验牛的随机因素和试验处理的固定因素。采用 Tukey's 法进行多重比较,分别比较处理效应、蛋白锌剂量效应以及锌源效应 (M-ZnP 组 vs. ZnO 组)。P<0.05 表示差异显著。

## 2 结果

### 2.1 不同锌源对新生荷斯坦犊牛生长性能及腹泻情况的影响

由表 2 可知,各组之间开食料平均日采食量、平均日采食量及料重比均无显著差异 (P>0.05)。与 CON 组相比,M-ZnP 组、H-ZnP 组和 ZnO 组的平均日增重显著升高 (P<0.05)。与 CON 组相比,L-ZnP 组、M-ZnP 组、H-ZnP 组和 ZnO 组的粪便指数显著降低 (P<0.05)。随着蛋白锌添加量的增加,粪便指数呈显著线性、二次下降 (P<0.05)。

表 2 不同锌源对新生荷斯坦犊牛生长性能和腹泻情况的影响

Table 2 Effects of different zinc sources on growth performance and diarrhea of newborn Holstein dairy calves

项目 Items	组别 Groups					SEM	P 值 P-value			
	CON	L-ZnP	M-ZnP	H-ZnP	ZnO		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic	锌源 Source
开食料平均日采食量 Starter ADFI/(g/d DM)	57.24	46.11	52.83	52.77	57.26	9.91	0.95	0.96	0.67	0.75
平均日采食量 ADFI/(g/d DM)	979	968	977	976	981	9.28	0.94	0.94	0.75	0.79
平均日增重 ADG/(g/d)	432 <sup>b</sup>	455 <sup>ab</sup>	493 <sup>a</sup>	490 <sup>a</sup>	495 <sup>a</sup>	16.02	0.02	<0.01	0.19	0.93
料重比 F/G	2.28	2.11	1.94	2.14	2.05	0.10	0.09	0.24	0.02	0.41
粪便指数 Feces index	1.37 <sup>a</sup>	1.07 <sup>b</sup>	1.12 <sup>b</sup>	1.07 <sup>b</sup>	1.08 <sup>b</sup>	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.43

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 (P<0.05), 相同或无字母表示差异不显著 (P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

## 2.2 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血清免疫指标的影响

由表3可知,各组之间血清IgA、IgM含量无显著差异( $P>0.05$ )。与CON组相比,M-ZnP组、

H-ZnP组和ZnO组的血清IgG含量显著升高( $P<0.05$ )。随着蛋白锌添加量的增加,血清IgG含量呈显著线性升高( $P<0.05$ )。

表3 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血清免疫指标的影响

Table 3 Effects of different zinc sources on serum immune indices of newborn Holstein dairy calves

项目 Items	组别 Groups					SEM	P值 P-value			
	CON	L-ZnP	M-ZnP	H-ZnP	ZnO		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic	锌源 Source
免疫球蛋白 A IgA/( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	54.33	52.93	55.83	56.37	56.75	6.91	0.99	0.75	0.96	0.93
免疫球蛋白 G IgG/( $\text{mg}/\text{mL}$ )	10.36 <sup>c</sup>	10.72 <sup>bc</sup>	11.17 <sup>ab</sup>	11.14 <sup>ab</sup>	11.44 <sup>a</sup>	0.24	0.02	0.02	0.24	0.43
免疫球蛋白 M IgM/( $\text{mg}/\text{mL}$ )	2.51	2.54	2.65	2.50	2.58	0.09	0.77	0.94	0.24	0.57

## 2.3 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血清抗氧化指标的影响

由表4可知,各组之间血清MDA含量、SOD活性无显著差异( $P>0.05$ )。与CON组相比,M-

ZnP组、H-ZnP组和ZnO组的血清GSH-Px活性显著升高( $P<0.05$ )。随着蛋白锌添加量的增加,血清GSH-Px活性呈显著线性升高( $P<0.05$ ),血清MDA含量呈显著线性下降( $P<0.05$ )。

表4 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of different zinc sources on serum antioxidant indices of newborn Holstein dairy calves

项目 Items	组别 Groups					SEM	P值 P-value			
	CON	L-ZnP	M-ZnP	H-ZnP	ZnO		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic	锌源 Source
丙二醛 MDA/( $\text{nmol}/\text{mL}$ )	5.71	5.59	5.18	4.90	5.26	0.28	0.25	0.02	0.96	0.85
超氧化物歧化酶 SOD/( $\text{U}/\text{mL}$ )	62.38	65.63	66.85	67.21	72.65	3.87	0.46	0.40	0.66	0.29
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/( $\text{U}/\text{mL}$ )	122.69 <sup>b</sup>	128.01 <sup>ab</sup>	133.02 <sup>a</sup>	134.01 <sup>a</sup>	131.73 <sup>a</sup>	2.89	<0.05	0.01	0.26	0.75

## 2.4 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血浆微量元素含量的影响

由表5可知,各组之间血浆钙、铜、铁、酶、磷含量无显著差异( $P>0.05$ )。与CON组相比,M-ZnP组、H-ZnP组和ZnO组的血浆锌含量显著升高( $P<0.05$ )。随着蛋白锌添加量的增加,血浆锌含量呈显著线性升高( $P<0.05$ )。此外,与ZnO组相比,M-ZnP组的血浆铜、磷含量均显著降低( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 不同锌源对新生荷斯坦犊牛生长性能的影响

犊牛平均日采食量、平均日增重是评价生长性能的重要指标。蛋白锌是接近于动物体内天然形态的微量元素补充剂,具有良好的化学稳定性和生化稳定性,生物利用率高,抗干扰性强,毒性小,具有良好的促生长作用<sup>[18]</sup>。以往研究表明,满1岁的肉牛每日补充饲喂1.0g蛋白锌可显著提高平均日增重<sup>[19]</sup>。与饲喂基础饲料的对照组相比,给断奶仔猪饲喂300或450mg/kg蛋白锌可显著

提高生长性能,且与饲喂饲料中含有 2 000 mg/kg 氧化锌的断奶仔猪的生长性能相似<sup>[20]</sup>。与无机锌相比,有机锌更有利于增加犊牛体重,其原因可能与有机锌具有更高的生物利用率有关<sup>[10-13,21]</sup>。在

本试验中,给新生犊牛饲喂中、高剂量蛋白锌和氧化锌均可显著提高犊牛平均日增重,且氧化锌与蛋白锌对犊牛生长性能的影响无显著差异。

表 5 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血浆微量元素含量的影响

Table 5 Effects of different zinc sources on plasma trace element contents of newborn Holstein dairy calves mg/kg

项目 Items	组别 Groups					SEM	P 值 P-value			
	CON	L-ZnP	M-ZnP	H-ZnP	ZnO		处理 Treatment	线性 Linear	二次 Quadratic	锌源 Source
锌 Zn	1.31 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	2.00 <sup>b</sup>	2.30 <sup>b</sup>	2.25 <sup>b</sup>	0.14	<0.01	<0.01	0.65	0.22
钙 Ca	113.84	118.58	126.67	116.03	119.76	4.80	0.41	0.50	0.12	0.32
铜 Cu	0.78	0.79	0.74	0.81	0.85	0.04	0.35	0.81	0.43	0.04
铁 Fe	1.79	1.23	1.48	1.48	1.29	0.28	0.68	0.59	0.34	0.64
镁 Mg	21.68	23.49	24.53	22.66	24.82	1.68	0.67	0.60	0.28	0.90
磷 P	152.90	142.71	136.39	138.79	160.96	6.43	0.06	0.10	0.34	0.01

### 3.2 不同锌源对新生荷斯坦犊牛腹泻的影响

腹泻是新生犊牛易发且高发的疾病,对犊牛的健康生长及成年后生产性能和繁殖性能都有长远的影响,关系着牧场的经济效益。预防犊牛腹泻是犊牛生产管理的中中之重。以往研究表明,与无机锌相比,饲喂有机锌可使犊牛腹泻的风险降低 14.7%<sup>[22]</sup>。本团队前期研究也表明,给新生犊牛饲喂相同含量的锌,有机锌源较无机锌源更能有效缓解腹泻<sup>[9-13]</sup>。鉴于 2017 年新修订的《饲料添加剂安全使用规范》中限定了以氧化锌形式添加入犊牛代乳料中的锌含量不得高于 180 mg/kg,本试验比较适宜剂量蛋白锌是否具备与上限剂量氧化锌相似或更优的作用效果。结果发现,与 CON 组相比,L-ZnP 组、M-ZnP 组、H-ZnP 组和 ZnO 组的粪便指数显著降低,说明不同剂量蛋白锌和氧化锌均能改善犊牛腹泻情况。蛋白锌可有效缓解犊牛腹泻,且在本试验条件下,达到相同效果所需要的蛋白锌剂量远低于氧化锌剂量。

### 3.3 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血清免疫指标的影响

IgG、IgM、IgA 是反映机体免疫功能的重要指标,其含量多少与犊牛的免疫力密切相关。其中,IgM 在机体免疫和感染中最先出现;IgA 由 B 淋巴细胞分泌产生,是外分泌液中的主要抗体<sup>[23]</sup>,也是动物机体含量最多的免疫球蛋白<sup>[24]</sup>。IgG 为体液免疫的主要抗体,主要存在于血清中,具有抗细菌、抗病毒及中和毒素等免疫作用<sup>[25]</sup>。前期研究

发现,氧化锌有利于提高犊牛血清 IgG 含量,提高犊牛免疫功能<sup>[10,13]</sup>。且给 1~14 日龄犊牛每日饲喂不同低剂量氧化锌后,血清中 IgG、IgA 及 IgM 含量呈线性增加<sup>[14]</sup>。通过补锌可以有效促进新生犊牛的免疫应答,进而缓解犊牛腹泻。本试验中,添加不同剂量蛋白锌和氧化锌均提高了犊牛血清 IgG 含量,说明蛋白锌亦有利于提高犊牛免疫功能。

### 3.4 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血清抗氧化指标的影响

动物机体自由基产生与清除通常处于动态平衡,当机体受到自身或外来因素刺激时,动态平衡被破坏,引发氧化应激,会产生大量的自由基,诱导生物膜上的多不饱和脂肪酸过氧化产生脂质过氧化产物 MDA。所以,MDA 含量直接反映机体内脂质过氧化的程度,间接反映细胞损伤的程度<sup>[26]</sup>。机体存在脂质过氧化自由基产物,同样存在着清除自由基的酶促系统,主要的抗氧化酶有 SOD 和 GSH-Px 等<sup>[27]</sup>。Wei 等<sup>[9]</sup>研究发现,随着饲料中氧化锌含量的增加,犊牛血清 SOD 活性线性升高,而血清 MDA 含量线性下降。同时,饲料添加有机锌可有效提高血清 SOD 和 GSH-Px 活性,且同等锌含量时添加有机锌效果优于无机锌<sup>[28-30]</sup>。本研究结果同样表明,与 CON 组相比,M-ZnP 组、H-ZnP 组和 ZnO 组的血清 GSH-Px 活性显著升高,且随着蛋白锌添加量的增加,犊牛血清 GSH-Px 活性呈显著线性升高,血清 MDA 含量

呈显著线性下降,说明蛋白锌可有效提高新生犊牛的抗氧化能力。

### 3.5 不同锌源对新生荷斯坦犊牛血浆微量元素含量的影响

饲料经肠道吸收,其中部分微量元素首先吸收进入血液,因此血浆微量元素的含量可反映饲料中锌的吸收情况。有机微量元素的吸收率是无机微量元素的1.8~4.0倍,无机微量元素在动物机体吸收过程中需要借助辅酶与氨基酸或其他物质形成螯合物或络合物,而有机微量元素可直接被肠道吸收,同时也可吸附到氨基酸、肽或其他化合物上后被吸收<sup>[31]</sup>。研究表明,血浆锌含量随饲料中锌含量的改变而波动<sup>[32]</sup>。奶牛饲料中添加90.15或130.15 mg/kg 锌较对照组(50.15 mg/kg 锌)相比,血浆锌含量显著增加<sup>[33]</sup>。与以往研究相似,本试验结果表明,M-ZnP组、H-ZnP组和ZnO组的血浆锌含量显著高于CON组和L-ZnP组,且随着蛋白锌添加量的增加,血浆锌含量呈显著线性升高。值得注意的是,H-ZnP组的血浆锌含量在数值上高于ZnO组,在一定程度上表明蛋白锌的利用率高于氧化锌,可能更适宜机体吸收。

微量元素在动物组织器官中含量很少,但对维持动物正常的生理功能、参与机体正常的新陈代谢、促进动物生长和健康有重要的作用。但单一微量元素添加量过高,可能与饲料或体内其他微量元素之间形成拮抗作用,造成营养吸收的不足<sup>[34-35]</sup>。目前,已知钙、磷、铜等与锌之间存在拮抗作用,其中1种微量元素含量的增加或减少会引起其余微量元素含量的波动<sup>[36]</sup>。研究表明,肠道中金属硫蛋白的合成随饲料锌含量的增加而增加,因此当动物采食锌含量较高的饲料时,肠道中金属硫蛋白含量增加,较多的金属硫蛋白与铜结合,并随肠道上皮细胞表皮的脱落而从粪中排出,可能引起机体对铜的吸收有所降低。然而只有当饲料中锌含量处于较高水平才会产生对铜吸收的抑制,在奶牛饲料中补锌2 000 mg/kg,血浆铜含量降低,而补锌1 000 mg/kg不会出现血浆铜含量下降的现象<sup>[37]</sup>。在本研究结果中,与ZnO组相比,M-ZnP组的血浆铜、磷含量均显著降低,说明锌与铜、磷在机体中的吸收可能存在竞争作用,但其波动均处于机体需要的正常范围<sup>[38]</sup>,具体的作用机制还有待于进一步研究。

## 4 结 论

① 蛋白锌可增加犊牛平均日增重,并有助于提高犊牛抗氧化功能及免疫功能,改善犊牛腹泻情况。

② 中剂量蛋白锌即可显著提高犊牛血浆锌含量,且其添加效果与氧化锌相当,说明蛋白锌具有较高的生物利用率。

③ 在本试验条件下,综合考虑试验结果与实际生产的情况,蛋白锌添加量以522.88 mg/d(锌含量相当于80 mg/d)为宜。

### 参考文献:

- [1] VEGA C G, BOK M, EBINGER M, et al. A new passive immune strategy based on IgY antibodies as a key element to control neonatal calf diarrhea in dairy farms [J]. BMC Veterinary Research, 2020, 16(1): 264.
- [2] TORSEIN M, LINDBERG A, SANDGREN C H, et al. Risk factors for calf mortality in large Swedish dairy herds [J]. Preventive Veterinary Medicine, 2011, 99(2/3/4): 136-147.
- [3] LEFKADITIS M, MPAIRAMOGLU R, SOSSIDOU A, et al. Importance of colostrum IgG antibodies level for prevention of infection with *Cryptosporidium parvum* in neonatal dairy calves [J]. Preventive Veterinary Medicine, 2020, 176: 104904.
- [4] ADAB M, MAHJoubi E, YAZDI M H, et al. Effect of supplemental dietary zinc and its time of inclusion on pre-weaning phase of Holstein heifer calves: growth performance and health status [J]. Livestock Science, 2020, 231: 103891.
- [5] SUNUWAR L, GILAD D, HERSHFINKEL M. The zinc sensing receptor, ZnR/GPR39, in health and disease [J]. Frontiers in Bioscience, 2017, 22: 1469-1492.
- [6] KOO O J, PARK S J, LEE C, et al. Production of mutated porcine embryos using zinc finger nucleases and a reporter-based cell enrichment system [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2014, 27(3): 324-329.
- [7] LIBERATO S C, SINGH G, MULHOLLAND K. Zinc supplementation in young children: a review of the literature focusing on diarrhoea prevention and treatment [J]. Clinical Nutrition, 2015, 34(1): 181-188.
- [8] WANG K K, CUI H W, SUN J Y, et al. Effects of zinc on growth performance and biochemical param-

- ters of piglets [J]. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2012, 36(5): 519–526.
- [9] WEI J Y, MA F T, HAO L Y, et al. Effect of differing amounts of zinc oxide supplementation on the antioxidant status and zinc metabolism in newborn dairy calves [J]. *Livestock Science*, 2019, 230: 103819.
- [10] CHANG M N, WEI J Y, HAO L Y, et al. Effects of different types of zinc supplement on the growth, incidence of diarrhea, immune function, and rectal microbiota of newborn dairy calves [J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 103(6): 6100–6113.
- [11] MA F T, WO Y Q L, SHAN Q, et al. Zinc-methionine acts as an anti-diarrheal agent by protecting the intestinal epithelial barrier in postnatal Holstein dairy calves [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2020, 270: 114686.
- [12] MA F T, WO Y Q L, LI H Y, et al. Effect of the source of zinc on the tissue accumulation of zinc and jejunal mucosal zinc transporter expression in Holstein dairy calves [J]. *Animals*, 2020, 10(8): 1246.
- [13] 郝丽媛, 马峰涛, 孙鹏. 饲料添加蛋氨酸锌或氧化锌对新生犊牛锌代谢的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(8): 3725–3731.  
HAO L Y, MA F T, SUN P. Effects of dietary supplementation of zinc methionine or zinc oxide on zinc metabolism of newborn calves [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(8): 3725–3731. (in Chinese)
- [14] 魏婧雅, 马峰涛, 单强, 等. 氧化锌对新生犊牛生长性能、免疫功能及直肠微生物菌群的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2693–2700.  
WEI J Y, MA F T, SHAN Q, et al. Effects of zinc oxide on growth performance, immune function and rectal microflora of neonatal dairy calves [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(6): 2693–2700. (in Chinese)
- [15] 贾日东. 低聚糖和微量元素对犊牛健康的影响 [J]. *中国畜禽种业*, 2020, 16(10): 116.  
JIA R D. Effects of oligosaccharides and trace elements on calves health [J]. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2020, 16(10): 116. (in Chinese)
- [16] 马莲香, 侯川川, 何俊娜, 等. 复合有机微量元素对肥育猪生长性能、血清指标及微量元素减排的影响 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2018, 44(2): 181–189.  
MA L X, HOU C C, HE J N, et al. Effect of compound organic trace minerals on growth performance, serum indexes and micromineral excretion in fattening pigs [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2018, 44(2): 181–189. (in Chinese)
- [17] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle: methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. *Journal of Dairy Science*, 1991, 74(10): 3583–3597.
- [18] VARUN A, KARTHIKEYAN N, MUTHUSAMY P, et al. Evaluation of Zn bioavailability and metallothionein expression by RT-PCR in zinc sulphate and zinc proteinate fed chickens [J]. *International Journal of Livestock Research*, 2017, 7(10): 184–189.
- [19] WELLMANN K B, BAGGERMAN J O, BURSON W C, et al. Effects of zinc propionate supplementation on growth performance, skeletal muscle fiber, and receptor characteristics in beef steers [J]. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(7): 210.
- [20] BUFF C E, BOLLINGER D W, ELLERSIECK M R, et al. Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide [J]. *Journal of Animal Science*, 2005, 83(10): 2380–2386.
- [21] LAPIERRE P L. Effects of hydroxy versus sulfate forms of trace minerals in milk replacer or starter on dairy calves through weaning [D]. Master's Thesis. Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign, 2016.
- [22] FELDMANN H R, WILLIAMS D R, CHAMPAGNE J D, et al. Effectiveness of zinc supplementation on diarrhea and average daily gain in pre-weaned dairy calves: a double-blind, block-randomized, placebo-controlled clinical trial [J]. *PLoS One*, 2019, 14(7): e0219321.
- [23] SATYANARAYANA M, NARASIMHA J, NAGALAKSHMIN D, et al. Effect of organic and inorganic zinc combinations on growth performance and nutrient digestibility in buffalo heifers [J]. *International Journal of Livestock Research*, 2017, 7(3): 135–141.
- [24] SINGH K, CHANG C, GERSHWIN M E. IgA deficiency and autoimmunity [J]. *Autoimmunity Reviews*, 2014, 13(2): 163–177.
- [25] 鲍玉林, 黎晓磊. 微生态制剂对犊牛瘤胃发酵和免疫力的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2017, 49(4): 51–53.  
BAO Y L, LI X L. Effects of probiotics on rumen fer-

- mentation and immunity in yak calves [J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2017, 49 (4): 51-53. (in Chinese)
- [26] 崔莹,李薛强,于春微,等.复合菌培养物对肉羊生长性能、免疫与抗氧化功能的影响[J].*动物营养学报*,2019,31(11):5066-5074.  
CUI Y,LI X Q,YU C W,et al.Effects of compound bacteria culture on growth performance,immunity and antioxidant function of meat sheep[J].*Chinese Journal of Animal Nutrition*,2019,31(11):5065-5073. (in Chinese)
- [27] 杨兴斌,杨会宣,蒋宁,等.补硒与锌对梭曼中毒大鼠乙酰胆碱酯酶活力和抗氧化力的影响[J].*中国药理学与毒理学杂志*,2003,17(2):117-120.  
YANG X B,YANG H X,JIANG N,et al.Effect of Se and Zn on acetylcholinesterase and antioxidative capacity in soman poisoned rats[J].*Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology*,2003,17(2):117-120. (in Chinese)
- [28] 刘凤霞,刘幸,齐茜,等.日粮有机锌水平对产蛋后期蛋鸡生产性能、免疫功能和抗氧化指标的影响[J].*中国家禽*,2017,39(24):28-34.  
LIU FX,LIU X,QI Q,et al.Effects of dietary organic zinc on production performance,immune function and anti-oxidative parameters of laying hens at the late of laying cycle[J].*China Poultry*,2017,39(24):28-34. (in Chinese)
- [29] HASSAN A A,EL ASHRY G M,SOLIMAN S M. Effect of supplementation of chelated zinc on milk production in ewes[J].*Food and Nutrition Sciences*,2011,2(7):706-713.
- [30] 侯鹏霞,李毓华,马吉锋,等.氨基酸锌对滩湖杂羊生长性能、血清激素、免疫及抗氧化指标的影响[J].*动物营养学报*,2020,32(9):4242-4250.  
HOU P X,LI S H,MA J F,et al.Effects of amino acid zinc on growth performance,serum hormone,immune and antioxidant indexes of *Tan*×*Hu* sheep[J].*Chinese Journal of Animal Nutrition*,2020,32(9):4242-4250. (in Chinese)
- [31] 昃于明.家禽营养[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2004.  
GUO Y M.*Poultry nutrition*[M].2nd ed.Beijing:China Agriculture University Press,2004. (in Chinese)
- [32] 李振,姜淑贞,杨在宾,等.锌的营养作用及其在反刍动物中的应用[J].*中国饲料*,2011,13(7):33-36.  
LI Z,JIANG S Z,YANG Z B,et al.Nutritional effects of zinc and its application in ruminants[J].*China Feed*,2011,13(7):33-36. (in Chinese)
- [33] 于宁先,张桂国,杨在宾.日粮中添加不同水平铜、铁、锌对奶牛血液生化指标影响的研究[J].*饲料博览*,2010(3):35-39.  
YU N X,ZHANG G G,YANG Z B.Effects of dietary supplementation with different levels of copper,iron and zinc on blood biochemical indexes of dairy cows[J].*Feed Review*,2010(3):35-39. (in Chinese)
- [34] 刘英丽,庞坤.饲料锌水平对雏鸡组织器官中铜、铁、锌含量的影响[J].*饲料博览*,2016(9):1-4.  
LIU Y L,PANG K.Effects of zinc level on contents of copper,zinc and iron in broilers tissues[J].*China Feed*,2016(9):1-4. (in Chinese)
- [35] MURPHY R A.Organic trace minerals:enhanced stability ensures efficacy[J].*Pig International*,2019,39(9):64-65.
- [36] MCCAUGHEY K M,DEPETERS E J,ROBINSON P H,et al.Impact of feeding whole upland cottonseed,with or without cracked pima cottonseed with increasing addition of iron sulfate,on milk and milk fat composition of lactating dairy cattle[J].*Animal Feed Science and Technology*,2005,123/124:667-685.
- [37] WIKING L,LARSEN T,SEHESTED J.Transfer of dietary zinc and fat to milk-evaluation of milk fat quality,milk fat precursors,and mastitis indicators[J].*Journal of Dairy Science*,2008,91(4):1544-1551.
- [38] NRC.Nutrient requirements of dairy cattle[S].7th ed.Washington,D.C.:National Academy Press,2001.



# Effects of Different Zinc Sources on Growth Performance, Serum Immune and Antioxidant Indices and Plasma Trace Element Contents of Newborn Holstein Dairy Calves

JIN Yuhang<sup>1</sup> MA Zhu<sup>2</sup> GAO Duo<sup>1</sup> SHAN Qiang<sup>1</sup> ZHANG Yajing<sup>2</sup> CHU Kangkang<sup>2</sup> SUN Peng<sup>1\*</sup>

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Beijing Key Laboratory of Dairy Cattle Genetic, Breeding and Reproduction, Beijing Dairy Cow Center, Beijing 102101, China)

**Abstract:** The purpose of this experiment was to investigate the effects of different zinc sources (zinc proteinate and zinc oxide) on growth performance, serum immune and antioxidant indices and plasma trace element contents of newborn Holstein dairy calves. Sixty healthy newborn Holstein dairy calves with similar body weight of (41.35±0.63) kg were randomly divided into 5 groups with 12 calves in each group (3 male calves and 9 female calves). Calves in the control group were fed the milk, calves in low-dose zinc proteinate group (L-ZnP group), middle-dose zinc proteinate group (M-ZnP group) and high-dose zinc proteinate group (H-ZnP group) were fed the milk supplemented with 261.44, 522.88 and 784.31 mg/d zinc proteinate (equivalent to 40, 80 and 120 mg/d zinc), respectively, and calves in zinc oxide group (ZnO group) were fed the milk supplemented with 232.11 mg/d zinc oxide (equivalent to 180 mg/d zinc). Calves were fed the starter at 4 to 7 days of age according to the growth status. The experiment lasted for 14 days. The results showed as follows: 1) compared with the CON group, the average daily gain, serum immunoglobulin G (IgG) content and glutathione peroxidase (GSH-Px) activity and plasma zinc content of M-ZnP group, H-ZnP group and ZnO group were significantly increased ( $P<0.05$ ). 2) With the zinc proteinate dose increased, the fecal index linearly and quadratically decreased ( $P<0.05$ ), the serum IgG content and GSH-Px activity and plasma zinc content linearly increased ( $P<0.05$ ), and the serum malondialdehyde (MDA) content linearly decreased ( $P<0.05$ ). To sum up, zinc proteinate can increase the average daily gain, antioxidant function and immune function of calves, reduce the diarrhea, and increase the plasma zinc content. Under the conditions of this experiment, the optimal dose of zinc proteinate in milk is 522.88 mg/d (equivalent to 80 mg/d zinc). [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(6):3334-3342]

**Key words:** calves; zinc proteinate; zinc oxide; diarrhea; antioxidant; immune; trace element