

# 乳酸锌对断奶肉兔生长性能、肠道发育和血清生化指标的影响

俞成浩<sup>1,2</sup> 郭志强<sup>1,3\*</sup> 雷 岷<sup>1,3</sup> 李丛艳<sup>1,3</sup> 任永军<sup>1,3</sup> 郑 洁<sup>1,3</sup>  
梅秀丽<sup>1,3</sup> 杨 锐<sup>1,3</sup> 谢晓红<sup>1,3</sup> 邝良德<sup>1,3\*\*</sup>

(1.四川省畜牧科学研究院,成都 610066;2.西南民族大学生命科学与技术学院,成都 610041;  
3.四川省动物遗传育种重点实验室,成都 610066)

**摘 要:** 本试验旨在研究饲料中添加乳酸锌对断奶肉兔生长性能、肠道发育和血清生化指标的影响。选择 28 日龄同期断奶新西兰兔 420 只,随机分为 5 组:对照组(饲喂基础饲料,饲料中添加硫酸锌形式的锌 0 mg/kg)、硫酸锌组(在基础饲料中添加硫酸锌形式的锌 80 mg/kg)以及 3 个乳酸锌组(在基础饲料中分别添加乳酸锌形式的锌 20、40、80 mg/kg),每组 14 个重复,每个重复 6 只(公母各占 1/2)。预试期 7 d,正试期 42 d。结果表明:1)与对照组相比,饲料中添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌可以显著提高断奶肉兔的试验末重和平均日增重( $P<0.05$ ),显著降低料重比、腹泻率和死亡率( $P<0.05$ ),但对平均日采食量无显著影响( $P>0.05$ );40 mg/kg 乳酸锌组肉兔的试验末重、平均日增重和料重比与硫酸锌组差异不显著( $P>0.05$ ),但腹泻率和死亡率较低。2)与对照组相比,饲料中添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌可以显著提高断奶肉兔小肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度( $P<0.05$ ),显著降低十二指肠隐窝深度( $P<0.05$ );80 mg/kg 乳酸锌组肉兔十二指肠绒毛高度显著高于同水平硫酸锌组( $P<0.05$ )。3)与对照组相比,饲料中添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌可以显著提高断奶肉兔血清抗氧化酶活性及生长激素和胰岛素样生长因子-I 含量( $P<0.05$ );40 mg/kg 乳酸锌组肉兔血清生化指标与硫酸锌组差异不显著( $P>0.05$ ),80 mg/kg 乳酸锌组在提高肉兔血清铜锌超氧化物歧化酶活性和生长激素含量方面优于同水平硫酸锌组。综上所述,饲料中添加乳酸锌可以促进肉兔生长、降低腹泻率和死亡率、改善血清生化指标和肠道发育;乳酸锌的添加效果显著优于相同水平的硫酸锌,养兔生产中乳酸锌适宜添加水平为 40 mg/kg。

**关键词:** 乳酸锌;断奶肉兔;肠道发育;血清生化指标

中图分类号:S829.1

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)02-1055-08

锌作为所有动物必需的微量元素,广泛参与包括生长发育、能量代谢和蛋白质合成等各种生物过程,是动物体内 300 多种酶的组成成分或激活剂。由于锌的重要作用,锌缺乏会影响细胞分

裂,抑制动物的生长发育,因此,在饲料中添加锌用以提高生长性能已成为畜牧业中的普遍做法<sup>[1]</sup>。随着中国兔养殖业的迅速发展,对家兔饲料营养需求的研究也日益深入。目前家兔饲料中

收稿日期:2020-07-27

基金项目:肉兔健康养殖关键技术集成示范与推广应用(2019JDZH002);国家兔产业技术体系项目(CARS-43-D-3);四川省重点研发项目(2018NZ0137);四川白兔优良种质资源扩繁与健康养殖技术示范推广(2020JDZH0029);肉兔配套系培育及配套技术研究示范(SASA2020CZYX004);优质肉兔配套系选育及配套技术研究示范(2016NYZ0046)

作者简介:俞成浩(1996—),男,安徽马鞍山人,硕士研究生,研究方向为家兔繁殖与饲养。E-mail: 879928402@qq.com

\* 同等贡献作者

\*\* 通信作者:邝良德,副研究员,硕士生导师,E-mail: happyboy5851258@163.com

应用较为广泛的锌源依旧是无机锌(如硫酸锌等),但无机锌吸收利用率低,对环境污染严重。有机锌源由于其消化率和生物利用度均优于无机锌源,并且提高家兔生长性能和减少向环境排泄的锌量,而被越来越多的使用<sup>[2]</sup>。尽管近年来众多国内外学者对于有机锌的研究报道很多,但由于研究中有机锌的种类、添加水平、试验饲料组成、动物生理阶段和品种等都不尽相同,从而得出的结论也有很大差异。杨翠军等<sup>[3]</sup>研究表明,饲料中添加 60 mg/kg 硫酸锌能提高生长期獭兔的生长性能、血清总蛋白含量及谷丙转氨酶、谷草转氨酶和碱性磷酸酶活性等。杨国雨等<sup>[4]</sup>研究表明,饲料添加 40~120 mg/kg 硫酸锌对生长獭兔的被毛长度、氮利用、皮张面积等有显著影响,但是对平均日增重、料重比和全净膛率等均无显著影响。任战军等<sup>[5]</sup>研究表明,饲料中添加 70~140 mg/kg 蛋氨酸锌能提高幼龄艾哥兔的生长性能与组织锌沉积。因此,关于有机锌的作用效果仍有待于进一步讨论。目前关于乳酸锌的研究多集中在猪、鸡和鱼等动物上,其在兔上的研究还鲜有报道。本试验旨在研究乳酸锌对断奶新西兰兔生长性能、肠道发育和血清生化指标的影响,以期为乳酸锌在肉兔生产实践中的合理使用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

试验于 2019 年 6 月—2019 年 7 月在四川省畜牧科学研究院肉兔科研基地进行。选用健康、体重相近的 28 日龄同期断奶新西兰兔。

### 1.2 试验设计及饲养管理

选择 28 日龄同期断奶新西兰兔 420 只,随机分为 5 组:对照组(饲喂基础饲料,饲料中添加硫酸锌形式的锌 0 mg/kg)、硫酸锌组(在基础饲料中添加硫酸锌形式的锌 80 mg/kg)以及 3 个乳酸锌组(在基础饲料中分别添加乳酸锌形式的锌 20、40、80 mg/kg),每组 14 个重复,每个重复 6 只(公母各占 1/2)。试验期共 49 d,其中预试期 7 d,正试期 42 d。试验采用 3 层阶梯式笼养方式,每笼 2 只兔(1 公 1 母),颗粒料投喂,早、晚各饲喂 1 次,自然光照、自由采食、自由饮水。

### 1.3 试验饲料

参照 NRC(1977)标准配制肉兔基础饲料,其

组成及营养水平见表 1。

表 1 基础饲料组成及营养水平(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                     |            |
| 苜蓿草粉 Alfalfa meal                  | 34.00      |
| 玉米 Corn                            | 16.50      |
| 豆粕 Soybean meal                    | 10.10      |
| 麸皮 Wheat bran                      | 20.30      |
| 全脂米糠 Full fat rice bran            | 10.00      |
| 菜籽粕 Rapeseed meal                  | 5.60       |
| L-赖氨酸盐酸盐<br>L-Lys · HCl (98%)      | 0.10       |
| 食盐 NaCl                            | 0.50       |
| 磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>            | 1.20       |
| 石粉 Limestone                       | 0.70       |
| 预混料 Premix <sup>1)</sup>           | 1.00       |
| 合计 Total                           | 100.00     |
| 营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup> |            |
| 消化能 DE/(MJ/kg)                     | 10.46      |
| 粗蛋白质 CP                            | 16.24      |
| 粗纤维 CF                             | 14.86      |
| 钙 Ca                               | 1.05       |
| 磷 P                                | 0.64       |

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: Fe 100 mg, Cu 20 mg, Zn 50 mg, Mn 30 mg, Mg 150 mg, VA 4 000 IU, VD<sub>3</sub> 1 000 IU, VE 50 mg, 胆碱 choline 1 mg。

2) 消化能为计算值,其余为实测值。DE was a calculated value, while other nutrient levels were measured values.

### 1.4 样品采集

在试验正试期结束,于屠宰前采集血液样品。每组选取 6 只(公母各占 1/2)接近平均体重的兔,进行耳缘静脉采血 5 mL。采血后静置 10 min,待血液凝固后,经 3 000 r/min 离心 20 min,然后分离血清并分装于 1.5 mL 的 EP 管中,放置在 -80 ℃ 冰箱中冷冻保存,用于各项血清生化指标的检测。将采完血的肉兔进行屠宰,各取十二指肠、空肠和回肠中段 3 cm 的组织样品,用生理盐水冲洗干净并迅速固定于 10% 福尔马林缓冲液中 24 h。

### 1.5 测定指标及方法

#### 1.5.1 生长性能指标

于正式试验开始和结束时空腹称重,计算平均日增重;准确记录试验兔的喂料量和余料量,计

算平均日采食量;根据试验兔平均日采食量和平均日增重,计算料重比;记录发生过腹泻兔数和死亡兔数,计算腹泻率和死亡率,计算公式如下:

$$\text{腹泻率}(\%) = (\text{腹泻兔数}/\text{试验兔数}) \times 100;$$

$$\text{死亡率}(\%) = (\text{死亡兔数}/\text{试验兔数}) \times 100。$$

### 1.5.2 肠道发育指标

固定的样品经洗涤、脱水、透明、浸蜡、包埋等处理后,切片(5  $\mu\text{m}$ )置于载玻片上,苏木精-伊红染色,封片。选择完整且走向良好的绒毛来测量绒毛高度和隐窝深度。绒毛高度是从绒毛顶端到绒毛隐窝交界处的距离,隐窝深度定义为相邻绒毛间的内陷深度,用 Nikon Eclipse TS100 显微镜和 NIS-ELEMENT F3.2 成像软件对组织进行组织学检查并拍照。使用 Imageproplus 5.1 图像分析软件分析每个样品的绒毛高度和隐窝深度,每个样品测量 10 次,获得每个指标的平均值,用于统计分析。

### 1.5.3 血清生化指标

血清铜锌超氧化物歧化酶、总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性及丙二醛、生长激素和胰岛素样生长因子-I 含量均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定,根据说明书要求进行操作。

## 1.6 数据分析

试验数据先由 Excel 2010 进行汇总,再利用 SPSS 19.0 软件进行方差和卡方分析,差异显著时采用 Duncan 氏法进行多重比较,数据结果用平均值 $\pm$ 标准差表示, $P < 0.05$  为差异显著。腹泻率和死亡率的显著性采用卡方检验。

## 2 结果

### 2.1 乳酸锌对断奶肉兔生长性能的影响

由表 2 可知,与对照组相比,饲料中添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌对断奶肉兔试验末重有显著影响( $P < 0.05$ );乳酸锌各添加水平可以显著提高断奶肉兔平均日增重( $P < 0.05$ ),显著降低料重比、腹泻率和死亡率( $P < 0.05$ )。随着乳酸锌添加水平的提高,断奶肉兔平均日增重更高,料重比更低,但对平均日采食量无显著影响( $P > 0.05$ );饲料添加 80 mg/kg 乳酸锌的效果表现优于添加同水平硫酸锌,但是除试验末重和腹泻率外,其他生长性能指标差异不显著( $P > 0.05$ );40 mg/kg 乳酸锌组与硫酸锌组在试验末重、平均日采食量、平均日增重和料重比等指标上差异均不显著( $P > 0.05$ ),但其腹泻率和死亡率显著低于硫酸锌组( $P < 0.05$ )。

表 2 饲料乳酸锌添加水平对断奶肉兔生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary zinc lactate supplemental level on growth performance of weaned rabbits

| 项目<br>Items          | 对照组<br>Control<br>group         | 硫酸锌组<br>Zinc sulfate<br>group   | 乳酸锌添加水平<br>Zinc lactate supplemental level/(mg/kg) |                                 |                                 |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
|                      |                                 |                                 | 20   | 40                              | 80                              |
|                      |                                 |                                 | 初重 IBW/g   | 732.3 $\pm$ 15.2                | 740.2 $\pm$ 14.0                |
| 末重 FBW/g             | 2 230.8 $\pm$ 82.2 <sup>c</sup> | 2 468.5 $\pm$ 85.4 <sup>b</sup> | 2 352.1 $\pm$ 92.1 <sup>bc</sup>                   | 2 463.1 $\pm$ 87.4 <sup>b</sup> | 2 524.7 $\pm$ 79.6 <sup>a</sup> |
| 平均日采食量 ADFI/(g/d)    | 132.37 $\pm$ 3.25               | 132.50 $\pm$ 4.12               | 131.11 $\pm$ 3.51                                  | 131.21 $\pm$ 3.26               | 133.31 $\pm$ 3.47               |
| 平均日增重 ADG/(g/d)      | 35.68 $\pm$ 1.54 <sup>c</sup>   | 41.15 $\pm$ 1.47 <sup>a</sup>   | 38.45 $\pm$ 1.62 <sup>b</sup>                      | 41.26 $\pm$ 1.39 <sup>a</sup>   | 42.59 $\pm$ 1.58 <sup>a</sup>   |
| 料重比 F/G              | 3.71 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>    | 3.22 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>   | 3.41 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>                       | 3.18 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>    | 3.13 $\pm$ 0.15 <sup>c</sup>    |
| 腹泻率 Diarrhea rate/%  | 20.24 <sup>a</sup>              | 11.90 <sup>b</sup>              | 9.52 <sup>bc</sup>                                 | 7.14 <sup>c</sup>               | 8.33 <sup>c</sup>               |
| 死亡率 Mortality rate/% | 14.29 <sup>a</sup>              | 7.14 <sup>b</sup>               | 5.95 <sup>bc</sup>                                 | 4.76 <sup>c</sup>               | 5.95 <sup>bc</sup>              |

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 乳酸锌对断奶肉兔肠道发育的影响

由表 3 可知,与对照组相比,饲料中添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌对断奶肉兔小肠各段绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度和十二指肠隐窝深度有显著

影响( $P < 0.05$ );乳酸锌各添加水平对空肠和回肠隐窝深度均无显著影响( $P > 0.05$ )。小肠各段绒毛高度随着乳酸锌添加水平的提高而增加( $P < 0.05$ ),饲料添加 80 mg/kg 乳酸锌效果显著优于添加同水平硫

酸锌 ( $P<0.05$ ); 饲料添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌可以显著降低十二指肠的隐窝深度, 提高十二指肠和空肠绒毛高度/隐窝深度 ( $P<0.05$ )。添加 40 mg/kg 乳酸

锌与添加 80 mg/kg 硫酸锌在提高肉兔小肠绒毛高度、隐窝深度及其比值方面差异不显著 ( $P>0.05$ ), 改善肠道发育效果接近。

表 3 饲料乳酸锌添加水平对断奶肉兔肠道发育的影响

Table 3 Effects of dietary zinc lactate supplemental level on intestine development of weaned rabbits

| 项目<br>Items                     | 对照组<br>Control<br>group         | 硫酸锌组<br>Zinc sulfate<br>group    | 乳酸锌添加水平<br>Zinc lactate supplemental level/(mg/kg) |                                  |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|---------------------------------|
|                                 |                                 |                                  | 20   | 40                               | 80                              |
|                                 |                                 |                                  | 绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$                  |                                  |                                 |
| 十二指肠 Duodenum                   | 622.35 $\pm$ 44.23 <sup>c</sup> | 665.32 $\pm$ 48.65 <sup>b</sup>  | 635.74 $\pm$ 50.21 <sup>bc</sup>                   | 672.14 $\pm$ 51.24 <sup>b</sup>  | 697.54 $\pm$ 49.21 <sup>a</sup> |
| 空肠 Jejunum                      | 436.87 $\pm$ 38.65 <sup>b</sup> | 501.23 $\pm$ 39.24 <sup>ab</sup> | 449.21 $\pm$ 35.21 <sup>b</sup>                    | 505.24 $\pm$ 37.21 <sup>ab</sup> | 523.65 $\pm$ 36.25 <sup>a</sup> |
| 回肠 Ileum                        | 430.24 $\pm$ 31.24 <sup>b</sup> | 486.35 $\pm$ 32.62 <sup>a</sup>  | 452.24 $\pm$ 34.12 <sup>ab</sup>                   | 476.35 $\pm$ 29.68 <sup>a</sup>  | 478.65 $\pm$ 35.21 <sup>a</sup> |
| 隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$ |                                 |                                  |  |                                  |                                 |
| 十二指肠 Duodenum                   | 212.24 $\pm$ 12.35 <sup>a</sup> | 175.68 $\pm$ 13.25 <sup>b</sup>  | 204.35 $\pm$ 10.25 <sup>ab</sup>                   | 178.95 $\pm$ 11.34 <sup>b</sup>  | 168.87 $\pm$ 13.26 <sup>b</sup> |
| 空肠 Jejunum                      | 128.98 $\pm$ 9.58               | 120.38 $\pm$ 10.21               | 126.68 $\pm$ 11.14                                 | 123.47 $\pm$ 10.36               | 124.35 $\pm$ 12.98              |
| 回肠 Ileum                        | 124.58 $\pm$ 8.96               | 118.36 $\pm$ 7.86                | 122.36 $\pm$ 7.89                                  | 119.24 $\pm$ 9.21                | 116.58 $\pm$ 10.14              |
| 绒毛高度/隐窝深度 V/C                   |                                 |                                  |  |                                  |                                 |
| 十二指肠 Duodenum                   | 2.93 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>    | 3.79 $\pm$ 0.27 <sup>a</sup>     | 3.11 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup>                       | 3.76 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>     | 4.13 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>    |
| 空肠 Jejunum                      | 3.39 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>    | 4.16 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup>     | 3.55 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>                       | 4.09 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>     | 4.21 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>    |
| 回肠 Ileum                        | 3.45 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup>    | 4.11 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>     | 3.70 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>                      | 3.99 $\pm$ 0.25 <sup>ab</sup>    | 4.11 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>    |

### 2.3 乳酸锌对断奶肉兔血清生化指标的影响

由表 4 可知, 乳酸锌各添加水平对断奶肉兔血清铜锌超氧化物歧化酶、总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶活性及生长激素和胰岛素样生长因子-I 含量等指标有显著影响 ( $P<0.05$ ), 且随着乳酸锌添加水平的增加, 血清铜锌超氧化物

歧化酶活性和生长激素含量有升高的趋势 ( $P>0.05$ )。40 mg/kg 乳酸锌组肉兔血清酶活性和激素含量与硫酸锌组差异不显著 ( $P>0.05$ ); 而饲料添加 80 mg/kg 乳酸锌在提高肉兔血清铜锌超氧化物歧化酶活性和生长激素含量方面显著高于添加同水平硫酸锌 ( $P<0.05$ )。

表 4 饲料乳酸锌添加水平对断奶肉兔血清生化指标的影响

Table 4 Effects of dietary zinc lactate supplemental level on serum biochemical indexes of weaned rabbits

| 项目<br>Items                 | 对照组<br>Control<br>group         | 硫酸锌组<br>Zinc sulfate<br>group   | 乳酸锌添加水平<br>Zinc lactate supplemental level/(mg/kg) |                                 |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
|                             |                                 |                                 | 20   | 40                              | 80                              |
|                             |                                 |                                 | 铜锌超氧化物歧化酶<br>Cu/Zn-SOD/(U/mL)                      | 115.75 $\pm$ 2.35 <sup>c</sup>  | 121.05 $\pm$ 2.65 <sup>b</sup>  |
| 丙二醛<br>MDA/(nmol/mL)        | 3.57 $\pm$ 0.47 <sup>a</sup>    | 2.55 $\pm$ 0.36 <sup>ab</sup>   | 3.42 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>                       | 2.67 $\pm$ 0.43 <sup>ab</sup>   | 2.36 $\pm$ 0.45 <sup>b</sup>    |
| 总超氧化物歧化酶<br>T-SOD/(U/mL)    | 253.65 $\pm$ 22.40 <sup>b</sup> | 278.53 $\pm$ 26.30 <sup>a</sup> | 262.35 $\pm$ 25.30 <sup>ab</sup>                   | 275.65 $\pm$ 21.30 <sup>a</sup> | 281.35 $\pm$ 19.50 <sup>a</sup> |
| 谷胱甘肽过氧化物酶<br>GSH-Px/(U/mL)  | 167.48 $\pm$ 16.30 <sup>b</sup> | 243.45 $\pm$ 26.50 <sup>a</sup> | 223.59 $\pm$ 23.30 <sup>a</sup>                    | 238.65 $\pm$ 24.50 <sup>a</sup> | 242.16 $\pm$ 20.60 <sup>a</sup> |
| 生长激素<br>GH/(ng/mL)          | 1.79 $\pm$ 0.33 <sup>c</sup>    | 1.97 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>    | 1.81 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>                       | 2.01 $\pm$ 0.40 <sup>b</sup>    | 2.19 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>    |
| 胰岛素样生长因子-I<br>IGF-I/(ng/mL) | 156.52 $\pm$ 7.34 <sup>b</sup>  | 166.35 $\pm$ 8.32 <sup>a</sup>  | 158.42 $\pm$ 7.69 <sup>b</sup>                     | 168.24 $\pm$ 8.74 <sup>a</sup>  | 169.39 $\pm$ 7.39 <sup>a</sup>  |

### 3 讨论

#### 3.1 乳酸锌对断奶肉兔生长性能的影响

锌对动物的生长性能有很大影响。现有的研究表明,补锌能促进动物的生长发育。Wang 等<sup>[6]</sup>研究发现,在 23 日龄断奶仔猪基础饲料中添加 3 000 mg/kg 氧化锌能显著提高仔猪的终末体重和平均日增重,降低料重比。Zhang 等<sup>[7]</sup>在 28 日龄断奶仔猪基础饲料中分别添加不同水平氧化锌,结果发现,随着氧化锌添加水平的增加,断奶仔猪的终末体重和平均日增重逐渐增加,料重比逐渐降低。通常来说,动物对锌的需要量受到年龄、生理阶段、饲料组成和气候环境等多方面影响。目前养兔生产中,肉兔饲料锌的添加水平为 70~140 mg/kg<sup>[8]</sup>。而在本试验中,饲料中添加 40 和 80 mg/kg 乳酸锌显著提高了断奶肉兔的试验末重、平均日增重,降低了料重比,随着乳酸锌添加水平的增加,平均日增重更高,料重比更低,这与上述研究结果基本一致。现代畜牧生产中,常在饲料中添加锌来控制幼龄动物的腹泻,提高动物生长性能。Wang 等<sup>[6]</sup>研究发现,断奶仔猪饲料中添加 3 000 mg/kg 氧化锌可以显著降低仔猪腹泻率。在本试验中,乳酸锌各添加水平均可以显著降低断奶肉兔腹泻率与死亡率,其中添加 40 mg/kg 乳酸锌组肉兔的腹泻率和死亡率最低。

已有研究表明,饲料中添加有机锌对动物生长性能的作用效果要优于无机锌。Cui 等<sup>[9]</sup>研究发现,在雌性水貂饲料中添加相同水平的甘氨酸锌和硫酸锌,甘氨酸锌组水貂的平均日增重和料重比显著优于硫酸锌组。任战军等<sup>[5]</sup>研究了蛋氨酸锌和硫酸锌对幼龄艾哥兔生长性能的影响,结果表明蛋氨酸锌对改善艾哥兔生长性能的效果优于硫酸锌。本试验中,80 mg/kg 乳酸锌组肉兔的试验末重显著高于同水平硫酸锌组,表明乳酸锌对肉兔生长性能的提高效果要好于相同添加水平的硫酸锌,这与上述研究结果一致。同时,本试验中 40 mg/kg 乳酸锌组与硫酸锌组在肉兔试验末重、平均日增重和料重比等指标方面差异不显著,表明饲料添加 40 mg/kg 乳酸锌的饲喂效果与添加 80 mg/kg 硫酸锌相当。

#### 3.2 乳酸锌对断奶肉兔肠道发育的影响

锌参与肠道结构和功能的维持,在肠道免疫功能中起着至关重要的作用。缺锌会导致空肠绒

毛萎缩和扁平化,这种形态上的变化会减少肠表面积的吸收,并且单位面积的绒毛数量会大大减少,而锌的补充会导致肠黏膜的加速再生和刷状边缘酶水平的增加<sup>[10]</sup>。动物体内锌的吸收主要部位是小肠,其中十二指肠远端和空肠近端起关键作用。锌吸收通过 2 种方式进行:主动和被动运输。主动运输是由特定转运蛋白进行的,其有效性随着食物中锌摄入量的增加而增加;被动运输是通过扩散机制进行的,其有效性与肠道腔内锌的浓度呈正比<sup>[11]</sup>。

小肠绒毛高度和隐窝深度是经常被用作监测肠黏膜形态的可靠指标,在肠道发育和营养吸收中起着关键作用<sup>[12]</sup>。Zhu 等<sup>[13]</sup>研究发现,饲料中添加锌显著增加了猪的小肠绒毛高度,降低了小肠隐窝深度。Wang 等<sup>[6]</sup>研究结果表明,饲料中添加氧化锌(3 000 mg/kg)可显著提高断奶仔猪的回肠绒毛高度、宽度和表面积。Hu 等<sup>[14]</sup>研究发现,饲料中添加 2 000 mg/kg 氧化锌可显著增加断奶仔猪空肠黏膜的绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度。Shao 等<sup>[15]</sup>在鸡上研究也表明,玉米豆粕饲料中添加锌能显著提高鸡小肠的绒毛高度。在本试验中,乳酸锌添加水平对肉兔小肠各段绒毛高度、绒毛高度/隐窝深度和十二指肠隐窝深度有显著影响,但对空肠和回肠隐窝深度无显著影响,这可能是由于与上述研究相比,本试验中锌的添加水平较低,不足以引起空肠和回肠隐窝深度指标的变化。40 mg/kg 乳酸锌组与硫酸锌组在提高小肠绒毛高度、隐窝深度及其两者比值方面差异不显著,这表明饲料添加低水平乳酸锌对于改善肠道发育的效果与高水平硫酸锌相当。

#### 3.3 乳酸锌对断奶肉兔血清生化指标的影响

锌作为动物体内不可缺少的微量元素,参与减少由于细胞中自由基的形成而引起的氧化损伤,在抗氧化防御系统中起着重要的作用,影响着多种抗氧化酶的活性<sup>[16-17]</sup>。Ma 等<sup>[18]</sup>研究发现,饲料中添加 90 mg/kg 锌能显著提高肉鸡肝脏中超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性,且甘氨酸锌的添加效果比硫酸锌更好。张彩英等<sup>[19]</sup>研究发现,饲料中添加高剂量氧化锌(3 000 mg/kg)能显著提高断奶仔猪血清铜锌超氧化物歧化酶活性。丙二醛是动物体内脂质氧化的最终产物,锌可以防止脂质过氧化,从而减少动物体内丙二醛含量<sup>[20]</sup>。Nagalakshmi 等<sup>[21]</sup>研究

发现,补锌显著降低了大鼠血清丙二醛含量。在本试验中,乳酸锌和硫酸锌均可以显著提高断奶肉兔血清抗氧化酶活性,随着乳酸锌添加水平的提高有提高血清抗氧化酶活性的趋势,40 mg/kg 乳酸锌组与硫酸锌组在血清铜锌超氧化物歧化酶、总超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物歧化酶活性和丙二醛含量上差异不显著,表明低水平乳酸锌与高水平硫酸锌的抗氧化作用相同。

研究发现,锌不仅影响动物体内多种酶的活性,而且还与许多激素的合成和分泌有关。锌是胰岛素样生长因子-I 诱导细胞增殖、激活胰岛素样生长因子-I 受体酪氨酸激酶和肝脏胰岛素样生长因子-I 基因表达的必要条件<sup>[22]</sup>。因此,锌缺乏会严重影响胰岛素样生长因子-I 的合成、分泌和功能。Macdonald<sup>[23]</sup>研究表明,在缺锌的情况下,动物体内的胰岛素样生长因子-I 水平持续降低。Cesur 等<sup>[24]</sup>研究发现,缺锌会降低动物血液中的胰岛素样生长因子-I 含量,但在口服补锌后会显著恢复。Ninh 等<sup>[25]</sup>对锌与动物体内胰岛素样生长因子-I 含量之间的关系研究表明,生长期严重缺锌动物的血液胰岛素样生长因子-I 含量显著降低。生长激素在动物体内起着多种生理作用,其分泌依赖于锌离子。朱宇旌等<sup>[26]</sup>研究发现,在断奶仔猪饲料中添加半胱胺螯合锌能显著提高仔猪血清生长激素含量。在本试验中,乳酸锌和硫酸锌均可以显著提高断奶肉兔血清生长激素和胰岛素样生长因子-I 含量,且随着乳酸锌添加水平的提高,血清生长激素和胰岛素样生长因子-I 含量有显著升高的趋势,这与上述研究结果一致。饲料添加 40 mg/kg 乳酸锌效果与添加 80 mg/kg 硫酸锌差异不显著,提示饲料中添加低水平的乳酸锌可代替高水平的硫酸锌。

## 4 结 论

综合分析表明,乳酸锌的添加效果显著优于相同水平的硫酸锌;添加 40 mg/kg 乳酸锌在肉兔促生长、降低腹泻死亡率、改善肠道发育、提高血清酶活性和激素含量等方面与 80 mg/kg 硫酸锌效果相当,从生态环保、资源有效利用、食品安全和国家法律法规的角度考虑,在养兔生产中建议使用 40 mg/kg 乳酸锌代替 80 mg/kg 硫酸锌。

## 参考文献:

[ 1 ] NAYERI A, UPAH N C, SUCU E, et al. Effect of the

ratio of zinc amino acid complex to zinc sulfate on the performance of Holstein cows [ J ]. *Journal of Dairy Science*, 2014, 97 ( 7 ) : 4392-4404.

[ 2 ] 白国勇. 乳酸锌的研究进展及在兔营养中的应用 [ J ]. *四川畜牧兽医*, 2007, 34 ( 8 ) : 34-35.

BAI G Y. Research progress of zinc lactate and its application in the nutrient of rabbits [ J ]. *Sichuan Animal Husbandry and veterinary*, 2007, 34 ( 8 ) : 34-35. ( in Chinese )

[ 3 ] 杨翠军, 葛剑, 吴淑琴. 日粮锌水平对生长期獭兔生长性能和血清生化指标的影响 [ J ]. *中国养兔*, 2019, 2 ( 1 ) : 4-7.

YANG C J, GE J, WU S Q. Effects of dietary zinc supplemental level on growth performance and serum biochemical indexes of growing Rex rabbits [ J ]. *Chinese Journal of Rabbit Farming*, 2019, 2 ( 1 ) : 4-7. ( in Chinese )

[ 4 ] 杨国雨, 刘公言, 陈晓阳, 等. 饲料锌添加水平对生长獭兔生长性能、屠宰性能、肌肉品质、毛皮质量及氮代谢的影响 [ J ]. *动物营养学报*, 2019, 31 ( 4 ) : 1936-1942.

YANG G Y, LIU G Y, CHEN X Y, et al. Effects of dietary zinc supplemental level on growth performance, slaughter performance, meat quality, fur quality and nitrogen metabolism of growing Rex rabbits [ J ]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31 ( 4 ) : 1936-1942. ( in Chinese )

[ 5 ] 任战军, 白彦, 李发弟. 不同锌源及水平对幼龄艾哥兔生长性能与组织锌沉积的影响 [ J ]. *草业学报*, 2014, 23 ( 1 ) : 283-290.

REN Z J, BAI Y, LI F D. Effects of different sources and levels of zinc on growth performance and tissue zinc accumulation of the young Elco rabbit [ J ]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23 ( 1 ) : 283-290. ( in Chinese )

[ 6 ] WANG C, ZHANG L G, YING Z X, et al. Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth, diarrhea, mineral deposition, intestinal morphology, and barrier of weaned piglets [ J ]. *Biological Trace Element Research*, 2018, 185 ( 2 ) : 364-374.

[ 7 ] ZHANG H B, WANG M S, WANG Z S, et al. Supplementation dietary zinc levels on growth performance, carcass traits, and intramuscular fat deposition in weaned piglets [ J ]. *Biological Trace Element Research*, 2014, 161 ( 1 ) : 69-77.

[ 8 ] 张斌, 刘磊, 李福昌. 家兔饲料和营养需要量研究进展 [ J ]. *中国兽医学报*, 2018, 38 ( 11 ) : 2234-2240.

- ZHANG B, LIU L, LI F C. The research progress of rabbit dietary nutrition and requirement [J]. Chinese Journal of Veterinary Science, 2018, 38(11): 2234–2240. (in Chinese)
- [9] CUI H, ZHANG T T, NIE H, et al. Effects of sources and concentrations of zinc on growth performance, nutrient digestibility, and fur quality of growing-furring female mink (*Mustela vison*) [J]. Journal of Animal Science, 2017, 95(12): 5420–5429.
- [10] SUN J Y, WANG J F, ZI N T, et al. Effects of zinc supplementation and deficiency on bone metabolism and related gene expression in rat [J]. Biological Trace Element Research, 2011, 143(1): 394–402.
- [11] KREBS N F. Overview of zinc absorption and excretion in the human gastrointestinal tract [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(5): 1374S–1377S.
- [12] LI B T, VAN KESSEL A G, CAINE W R, et al. Small intestinal morphology and bacterial populations in ileal digesta and feces of newly weaned pigs receiving a high dietary level of zinc oxide [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2001, 81(4): 511–516.
- [13] ZHU C, LV H, CHEN Z, et al. Dietary zinc oxide modulates antioxidant capacity, small intestine development, and jejunal gene expression in weaned piglets [J]. Biological Trace Element Research, 2017, 175(2): 331–338.
- [14] HU C H, GU L Y, LUAN Z S, et al. Effects of montmorillonite-zinc oxide hybrid on performance, diarrhea, intestinal permeability and morphology of weanling pigs [J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 177(1/2): 108–115.
- [15] SHAO Y X, LEI Z, YUAN J M, et al. Effect of zinc on growth performance, gut morphometry, and cecal microbial community in broilers challenged with *Salmonella enterica* serovar typhimurium [J]. Journal of Microbiology, 2014, 52(12): 1002–1011.
- [16] PRASAD A S. Discovery of human zinc deficiency and studies in an experimental human model [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1991, 53(2): 403–412.
- [17] KARA E, GUNAY M, CICIOGLU İ, et al. Effect of zinc supplementation on antioxidant activity in young wrestlers [J]. Biological Trace Element Research, 2010, 134(1): 55–63.
- [18] MA W Q, NIU H H, FENG J, et al. Effects of zinc glycine chelate on oxidative stress, contents of trace elements, and intestinal morphology in broilers [J]. Biological Trace Element Research, 2011, 142(3): 546–556.
- [19] 张彩英, 曹华斌, 胡国良, 等. 日粮高锌对断奶仔猪某些血清生化指标的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2013(10): 65–67.
- ZHANG C Y, CAO H B, HU G L, et al. Effects of high zinc on certain serum biochemical indexes of weaned piglets [J]. Heilongjiang Animal Husbandry and Veterinary, 2013(10): 65–67. (in Chinese)
- [20] TAPIERO H, TEW K D. Trace elements in human physiology and pathology: zinc and metallothioneins [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2003, 57(9): 399–411.
- [21] NAGALAKSHMI D, SRIDHAR K, PARASHURAMULU S. Replacement of inorganic zinc with lower levels of organic zinc (zinc nicotinate) on performance, hematological and serum biochemical constituents, antioxidants status, and immune responses in rats [J]. Veterinary World, 2015, 8(9): 1156–1162.
- [22] NINH N X, THISSEN J P, MAITER D, et al. Reduced liver insulin-like growth factor- I gene expression in young zinc-deprived rats is associated with a decrease in liver growth hormone (GH) receptors and serum GH-binding protein [J]. Journal of Endocrinology, 1995, 144(3): 449–456.
- [23] MACDONALD R S. The role of zinc in growth and cell proliferation [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(5S Suppl.): 1500S–1508S.
- [24] CESUR Y, YORDAM N, DOĞAN M. Serum insulin-like growth factor- I and insulin-like growth factor binding protein-3 levels in children with zinc deficiency and the effect of zinc supplementation on these parameters [J]. Journal of Pediatric Endocrinology and Metabolism, 2009, 22(12): 1137–1143.
- [25] NINH N X, MAITER D, VERNIERS J, et al. Failure of exogenous IGF- I to restore normal growth in rats submitted to dietary zinc deprivation [J]. Journal of Endocrinology, 1998, 159(2): 211–217.
- [26] 朱宇旌, 王浩然, 李方方, 等. 半胱胺螯合锌对仔猪生长性能、血清生化指标、养分消化率及粪中微生物菌群的影响 [J]. 动物营养学报, 2015, 27(10): 3225–3232.
- ZHU Y J, WANG H R, LI F F, et al. Effects of cysteamine chelated zinc on growth performance, serum biochemical indices, nutrient digestibility and fecal microbial flora of piglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(10): 3225–3232. (in Chinese)

## Effects of Zinc Lactate on Growth Performance, Intestinal Development and Serum Biochemical Indexes of Weaned Rabbits

YU Chenghao<sup>1,2</sup> GUO Zhiqiang<sup>1,3\*</sup> LEI Min<sup>1,3</sup> LI Congyan<sup>1,3</sup> REN Yongjun<sup>1,3</sup> ZHENG Jie<sup>1,3</sup>  
MEI Xiuli<sup>1,3</sup> YANG Rui<sup>1,3</sup> XIE Xiaohong<sup>1,3</sup> KUANG Liangde<sup>1,3\*\*</sup>

(1. Sichuan Animal Science Academy, Chengdu 610066, China; 2. College of Life Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China; 3. Genetics Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610066, China)

**Abstract:** The purpose of this experiment was to study the effects of zinc lactate on growth performance, intestinal development and serum biochemical indexes of weaned rabbits. In the experiment, 420 weaned New Zealand rabbits at 28 days of age were randomly divided into 5 groups: control group (fed a basal diet supplemented with 0 mg/kg zinc sulfate), zinc sulfate group (fed the basal diet supplemented with 80 mg/kg zinc sulfate) and three zinc lactate groups (fed the basal diet supplemented with 20, 40 and 80 mg/kg zinc lactate, respectively), and each group had 14 replicates with 6 rabbits (half male and half female) per replicate. The pre-experimental period lasted for 7 days, and the experimental period lasted for 42 days. The results showed as follows: 1) compared with control group, the diet supplemented with 40 and 80 mg/kg zinc lactate significantly increased the final body weight and average daily gain of weaned rabbits ( $P < 0.05$ ), decreased the feed to weight ratio, diarrhea rate and mortality ( $P < 0.05$ ), but had no significant effect on the average daily intake ( $P > 0.05$ ); the final body weight, average daily gain and feed to weight ratio of 40 mg/kg zinc lactate group was not different from zinc sulfate group ( $P > 0.05$ ), but diarrhea rate and mortality were lower. 2) Compared with control group, adding 40 and 80 mg/kg zinc lactate to the diet could significantly increase the villus height and villus height/crypt depth of small intestine ( $P < 0.05$ ), and significantly decrease the depth of duodenal crypt ( $P < 0.05$ ); the height of duodenal villus in 80 mg/kg zinc lactate group was significantly higher than that in the same level zinc sulfate group ( $P < 0.05$ ). 3) Compared with control group, adding 40 and 80 mg/kg zinc lactate to the diet could significantly improve the serum antioxidant enzyme activity, growth hormone and insulin-like growth factor- I contents of weaned rabbits ( $P < 0.05$ ); the serum biochemical indexes in 40 mg/kg zinc lactate group were not different from those in zinc sulfate group ( $P > 0.05$ ), and 80 mg/kg zinc lactate group was superior to the same level zinc sulfate group in improving the serum copper zinc superoxide dismutase activity and growth hormone content of weaned rabbits. Therefore, zinc lactate added to the diet can promote the growth of meat rabbits, reduce the diarrhea rate and mortality rate, improve serum biochemical indexes and intestinal development; the effects of zinc lactate added is significantly better than that of zinc sulfate at the same level, and the appropriate amounts of zinc lactate in diet is 40 mg/kg in rabbit production. [ *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2):1055-1062 ]

**Key words:** zinc lactate; weaned rabbit; intestinal development; serum biochemical indexes

\* Contributed equally

\*\* Corresponding author, associate professor, E-mail: happyboy5851258@163.com