

饲料锌水平对小尾寒羊生产性能、屠宰性能、肉质及免疫指标的影响

初汉平

(菏泽学院 制药工程系, 山东 菏泽 274000)

摘要: 为探讨生长期小尾寒羊日粮适宜的锌添加水平, 选用 40 只 6 月龄小尾寒羊, 随机分成 5 组 (对照组和试验组 I—IV 组), 对照组饲喂基础日粮 (锌含量 26 mg/kg), I—IV 组在基础日粮中分别添加 20、50、80、110 mg/kg 锌, 试验周期为 45 d, 测定小尾寒羊生产性能、屠宰性能、肉质和免疫指标。结果表明: 与对照组相比, 试验 I、II、III 组平均日增体质量分别显著提高 18.18%、27.27%、13.64%; 试验 I、II、III、IV 组料重比分别显著降低 13.73%、15.66%、10.48%、8.43%。试验 I、II 组屠宰率分别显著提高 6.47%、10.22%; 试验 I、II、III 组滴水损失分别显著降低 14.59%、26.69%、19.22%; 试验 II、III、IV 组 IgG 含量分别显著提高 31.34%、23.99%、18.63%; 试验 II 组 IgM 含量显著提高 36.67%。可见, 在本试验条件下, 生长期小尾寒羊饲料中锌适宜添加水平为 50 mg/kg。

关键词: 锌; 生产性能; 屠宰性能; 肉质; 免疫性能

中图分类号: S816.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)11-0132-05

Effects of Dietary Zinc Levels on Growth Performance Carcass Traits Meat Quality and Immune Capability in Small-tail Han Sheep

CHU Han-ping

(Department of Pharmaceutical Engineering, Heze University, Heze 274000, China)

Abstract: In order to study the optimum supply of dietary zinc levels in the growing small-tail Han sheep, forty 6-month-old small-tail Han sheep were randomly assigned to five groups (the control group and the experimental groups of I—IV). The control group were fed with the basal diet (26 mg/kg zinc). The experimental groups of I—IV were fed with the basal diet + 20 mg/kg zinc, basal diet + 50 mg/kg zinc, basal diet + 80 mg/kg zinc and basal diet + 110 mg/kg zinc respectively. The experimental period lasted for 45 days. The growth performance, carcass traits, meat quality and immune capability were observed in the experimental period. The results indicated that the average daily gain (ADG) of group I, II and III were significantly increased by 18.18%, 27.27% and 13.64% than those of the control respectively. The feed : body weight (F/G) of group I, II, III and IV were significantly decreased by 13.73%, 15.66%, 10.48% and 8.43% than those of the control respectively. The dressing percentage of group I and II were significantly increased by 6.47% and 10.22% than those of the control respectively. The drip loss of meat in group I, II and III were significantly decrease by 14.59%, 26.69% and 19.22% than

收稿日期: 2014-05-22

基金项目: 山东省高等学校科技计划项目 (J10LC65); 菏泽学院中青年学术骨干项目

作者简介: 初汉平 (1979-), 男, 山东烟台人, 副教授, 硕士, 主要从事反刍动物营养学的教学与研究。

E-mail: champion_chu@163.com

those of the control respectively. The IgG level of group II, III and IV were significantly increased by 31.34%, 23.99% and 18.63% than those of the control respectively. The IgM level of group II were significantly increased by 36.67% than those of the control. In conclusion, the appropriate adding supply of dietary zinc levels for the growing small-tail Han sheep was 50 mg/kg at this experimental conditions.

Key words: zinc; growth performance; carcass traits; meat quality; immune capability

锌是动物体必需的一种重要微量元素,它与 200 多种酶的结构和生物学活性有关,具有广泛的生理功能,在维持动物健康和正常生理机能等方面发挥着重要作用。由于许多天然饲料缺锌,所以畜禽饲料中往往需要添加外源锌,才能满足动物的生长和生理需要^[1]。研究表明,日粮中添加适宜水平的锌有助于仔猪生长性能^[2-3]和肉兔平均日增体质量、饲料转化效率的提高^[4]。锌还能够提高绿头野鸭的平均日增体质量、降低料重比^[5],并提高鸡的生产性能^[6]。姚军虎等^[7]和 Spears 等^[8]认为,适宜的日粮锌水平可提高肉牛的平均日增体质量和饲料转化率。另有研究报道,日粮中添加锌有助于仔猪免疫能力^[3,9-10]和绵羊血液免疫功能的提高^[11-13],并能在一定程度上改善小牛和鸡的胴体品质^[8,14]。

小尾寒羊属肉裘兼用地方优良品种,中心产区位于山东省西南部的菏泽市,其以耐粗饲、增重快、繁殖率高等特点而闻名。饲料中微量元素锌的缺乏或过量使用已成为影响当地小尾寒羊产业发展的一个重要因素。虽然中国肉羊饲养标准(2004 版)^[15]、美国 NRC 羊营养需要(1985)^[16]等给出了估计生长期绵羊锌需要量的参数范围,但针对不同地区绵羊适宜的锌添加量缺少科学依据。以 6 月龄小尾寒羊为研究对象,观察日粮锌水平对其生产性能、屠宰性能、肉质及血液免疫指标的影响,以探讨针对特定地区羊日粮适宜的锌水平。

1 材料和方法

1.1 供试动物

于山东省郓城县诚联小尾寒羊养殖场选用 40 只体况良好、体质量相近 $[(36.65 \pm 2.67) \text{ kg}]$ 的 6 月龄小尾寒羊作为试验动物。试验羊单栏舍饲,每天驱于运动场运动 5~6 h。日粮分 2 次饲喂(7:00、19:00),自由采食,自由饮水。试验开始前,羊只统一用阿维菌素驱虫。

1.2 试验日粮

试验羊日粮配制参照中国肉羊饲养标准(2004 版)^[15]。基础日粮由羊草、玉米、麸皮、豆粕、棉籽粕等组成,锌源采用 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,饲料制成颗粒饲料。试验基础日粮组成及营养水平见表 1。

表 1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

原料	含量/%	营养成分	含量
羊草	70.00	DM/%	91.56
玉米	10.50	ME*/(MJ/kg)	10.63
麸皮	3.50	CP/%	12.60
豆粕	8.00	NDF/%	50.24
棉籽粕	6.40	ADF/%	27.88
石粉	0.59	Ca/%	0.41
食盐	1.00	P/%	0.21
维生素预混料	0.01	Ca:P	1.95:1
合计	100	Zn/(mg/kg)	26.00

注:维生素预混料:维生素 A 5 400 万 IU/kg;维生素 D₃ 1 080 万 IU/kg;维生素 E 18 000 万 IU/kg;维生素 K 5 g/kg;维生素 B₁ 2 g/kg;维生素 B₂ 15 g/kg;维生素 B₁₂ 0.03 g/kg;维生素 B₆ 35 g/kg;泛酸钙 25 g/kg;叶酸 0.5 g/kg;抗氧化剂 0.2 g/kg; *表示除代谢能(ME)外其他指标均为实测值。

1.3 试验设计

采用单因素重复试验设计,将 40 只羊随机分为 1 个对照组和 4 个试验组,每组重复 8 次,每次重复 1 只。对照组饲喂基础日粮(日粮锌水平 26 mg/kg),试验 I、II、III、IV 组饲喂在基础日粮中分别添加 20、50、80、110 mg/kg(日粮锌水平 46、76、106、136 mg/kg)锌的试验日粮。试验期 45 d。

1.4 样品采集与处理

正试期的第 45 天 7:00(饲喂前),从试验羊的颈静脉采血 10 mL,37 °C 水浴静置 30 min,3 000 r/min 离心 10 min,分离所得血清分装于 Eppendorf 管中,立即置于液氮罐中保存备用,用于测定血清免疫指标。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 生产性能指标测定 正试期开始和结束时连续 2 d,对所有试验羊于晨饲前称体质量,分别作为初始体质量和末体质量。每天收剩料,记录采食量,用于计算平均日增体质量、平均日采食量、料重比等。平均日增体质量=(末体质量-初始体质量)/试验天数,平均日采食量=试验期采食量/试验天数,料重比=平均日采食量/平均日增体质量。

1.5.2 屠宰性能的测定 试验结束时,每组随机选取 4 头羊屠宰,宰前称体质量作为屠宰体质量。胴体质量、屠宰率、净肉率、肉骨比、眼肌面积的测定参照文献^[17]的方法进行。

1.5.3 肉品质测定 取臀骨二头肌测定肌肉

pH 值、滴水损失、熟肉率、剪切力、大理石纹、肉色等指标,参照文献[18]的方法进行。肉色和大理石纹用目测法,按 5 分制评定。

1.5.4 免疫指标的测定 血清免疫球蛋白 IgG、IgM 和 IgA 的测定使用全自动生化分析仪,参照试剂盒说明用放射免疫法进行检测,试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.6 数据统计

使用 SPSS 16.0 统计软件的 One-way ANOVA 法进行方差分析,用 Duncan 法进行多重比较,并进行显著性检验,各组试验数据均以平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 日粮锌水平对小尾寒羊生产性能的影响

由表 2 可知,各组初始体质量差异均不显著;试验结束时,各试验组末体质量均高于对照组,其中以试验 II 组最高,显著高于对照组 6.80%。与对照组相比,试验 I、II、III 组平均日增体质量分别显著提高了 18.18%、27.27%、13.64%,试验 IV 组差异不显著;试验 I、II、III 组平均日采食量增加,试验 II 组最高,高于对照组 5.98%,试验 IV 组降低,但各组差异均不显著;试验 I、II、III、IV 组料重比分别显著降低了 13.73%、15.66%、10.48%、8.43%。

表 2 日粮锌添加水平对小尾寒羊生产性能的影响

项目	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组
初始体质量/kg	36.45±1.43 ^a	35.89±1.96 ^a	36.30±1.98 ^a	36.23±2.13 ^a	36.11±1.89 ^a
末体质量/kg	45.76±2.97 ^c	47.60±3.19 ^{ab}	48.87±3.63 ^a	47.66±4.01 ^{ab}	46.96±4.15 ^{bc}
平均日增体质量/kg	0.22±0.01 ^c	0.26±0.02 ^{ab}	0.28±0.03 ^a	0.25±0.02 ^{ab}	0.24±0.02 ^{bc}
平均日采食量/kg	1.84±0.17 ^a	1.86±0.16 ^a	1.95±0.18 ^a	1.86±0.15 ^a	1.82±0.16 ^a
料重比	8.30±0.60 ^a	7.16±0.64 ^{bc}	7.00±0.50 ^c	7.43±0.57 ^{bc}	7.60±0.61 ^b

注:表中同行肩注不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下表同。

2.2 日粮锌水平对小尾寒羊屠宰性能的影响

由表 3 可知,与对照组相比,试验 I、II 组屠宰率分别显著提高 6.47% 和 10.22%,试验 III、

IV 组分别提高 4.74%、1.47%,与对照组差异不显著。净肉率、肉骨比、眼肌面积各组之间差异不显著。

表 3 日粮锌添加水平对小尾寒羊屠宰性能的影响

项目	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组
屠宰率/%	43.46±4.28 ^b	46.27±2.55 ^a	47.90±3.94 ^a	45.52±3.11 ^{ab}	44.10±3.32 ^{ab}
净肉率/%	31.97±2.18 ^a	33.07±2.99 ^a	34.15±3.87 ^a	32.81±4.19 ^a	32.64±3.44 ^a
肉骨比	3.24 : 1 ^a	3.26 : 1 ^a	3.30 : 1 ^a	3.23 : 1 ^a	3.25 : 1 ^a
眼肌面积/cm ²	13.71±1.22 ^a	13.72±1.18 ^a	13.99±1.09 ^a	13.80±1.33 ^a	13.70±1.28 ^a

2.3 日粮锌水平对小尾寒羊肉质的影响

由表 4 可知,与对照组相比,试验 I、II、III 组滴水损失分别显著降低 14.59%、26.69%、19.22%,

试验 IV 组降低 4.63%,差异不显著。各组 pH₁、pH₂₄、熟肉率、剪切力、大理石纹分值、肉色分值差异均不显著。

表 4 日粮锌添加水平对小尾寒羊肉质的影响

项目	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组
pH ₁	6.13±0.31 ^a	6.21±0.18 ^a	6.15±0.36 ^a	6.31±0.43 ^a	6.36±0.29 ^a
pH ₂₄	5.65±0.14 ^a	5.72±0.10 ^a	5.49±0.17 ^a	5.55±0.25 ^a	5.73±0.34 ^a
滴水损失/%	2.81±0.15 ^a	2.40±0.30 ^{bc}	2.06±0.13 ^c	2.27±0.20 ^{bc}	2.68±0.21 ^{ab}
熟肉率/%	56.00±1.57 ^a	56.96±3.64 ^a	57.27±2.53 ^a	55.64±1.59 ^a	55.33±3.68 ^a
剪切力/(kg·f)	4.64±0.17 ^a	4.37±0.34 ^a	4.15±0.34 ^a	4.29±0.31 ^a	4.51±0.28 ^a
大理石纹/分	2.65±0.22 ^a	2.70±0.30 ^a	2.60±0.35 ^a	2.75±0.25 ^a	2.65±0.30 ^a
肉色/分	4.50±0.40 ^a	4.45±0.45 ^a	4.65±0.50 ^a	4.60±0.40 ^a	4.55±0.35 ^a

注:pH₁ 和 pH₂₄ 分别在屠宰后 45 min 和 24 h 进行,肉色表示肉色红色素,其分值越大,肌肉红色越强。

2.4 日粮锌水平对小尾寒羊血清免疫指标的影响

由表 5 可知, 试验 II、III、IV 组 IgG 含量分别比对照组显著提高 31.34%、23.99%、18.63%, 试验 I 组与

对照组差异不显著; 试验 II 组 IgM 含量显著高于对照组 36.67%, 试验 I、III、IV 组与对照组差异不显著; 各试验组的 IgA 含量均高于对照组, 但差异均不显著。

表 5 日粮锌添加水平对小尾寒羊血清免疫指标的影响

g/L

项目	对照组	I 组	II 组	III 组	IV 组
IgG	16.05±1.13 ^c	18.94±1.60 ^{bc}	21.08±1.87 ^a	19.90±1.48 ^{ab}	19.04±1.57 ^{ab}
IgA	0.60±0.06 ^a	0.67±0.03 ^a	0.76±0.05 ^a	0.73±0.04 ^a	0.73±0.06 ^a
IgM	0.90±0.09 ^b	1.09±0.12 ^{ab}	1.23±0.08 ^a	1.16±0.11 ^{ab}	1.07±0.09 ^{ab}

3 结论与讨论

3.1 日粮锌水平对小尾寒羊生产性能的影响

本试验中, 羊平均日增体质量随锌添加水平的提高, 先增加后降低, 其中 50 mg/kg 添加组最高, 比对照组提高 27.27%。而料重比以 50 mg/kg 锌添加组最低, 比对照组降低 15.66%。本试验取得了与前人在猪、肉兔、绿头野鸭、鸡及肉牛上^[2-8]相似的研究结果。有关锌促进动物生长的机制还不十分清楚, 有研究^[19-20]认为, 缺锌使胰岛素对丙酮酸的调节作用减弱, 从而导致食欲下降, 并且缺锌还会使口腔黏膜增生, 角质化不全, 造成食物与味蕾接触受阻, 降低食欲。另外, 锌还能通过清除体内自由基、提高机体免疫力^[21]、增加饲料转化率^[22-23], 从而取得促生长效果, 但过量的锌同样可能会抑制采食量^[4]。本试验中, 小尾寒羊平均日增体质量及采食量随日粮锌添加水平的提高呈先增加后降低的趋势, 验证了上述观点。

3.2 日粮锌水平对小尾寒羊屠宰性能的影响

屠宰性能是评价畜禽饲养管理水平和屠宰加工效益的重要依据, 它能直观地反映动物体组成与可食部分的比例, 屠宰率、净肉率、肉骨比和眼肌面积是衡量动物产肉性能的重要指标^[24-25]。有报道, 日粮中添加锌对鸡和仔猪的屠宰性能指标无显著影响^[6, 14, 26-27], 而关于锌对反刍动物屠宰性能影响的报道国内较少。从本试验结果看, 除屠宰率外, 其他屠宰性能指标未产生显著变化, 与上述研究结论不尽相同。本试验中屠宰率发生显著变化的原因可能是锌增加了饲料的降解率和转化效率, 增强了胃肠道的消化机能^[22-23], 达到促生长的效果, 进而提高了屠宰率。

3.3 日粮锌水平对小尾寒羊肉质的影响

肌肉 pH 值是评价肉质的重要指标, 反映了肌肉组织酵解过程中的酸度变化, pH 值过高、过低都会给肉质带来不利影响。正常情况下, 羊刚屠宰时肌肉 pH 值为 5.9~6.5^[25]。本试验中, 羊肉 pH 值未发生显著变化, 屠宰后 45 min 和 24 h 肌

肉 pH 值的分别为 6.13~6.36 和 5.49~5.73, 在正常范围内。滴水损失与肌肉水分含量及其保水性有关。滴水损失降低能减少肉中的水分等液体的流失, 更好地保持肉的营养、滋味、外观和嫩度等。本研究中, 日粮添加锌降低了羊肉滴水损失, 有利于嫩度的改善, 该结果与 Spears 等^[8]和廖秀冬等^[14]在肉牛和肉仔鸡上的研究基本一致。剪切力是评定肌肉嫩度的主要指标, 剪切力越小, 嫩度越高。本试验中, 日粮中添加锌对剪切力虽未产生显著影响, 但在一定程度上有降低的趋势。本试验未发现锌元素对大理石纹和肉色产生显著影响。

3.4 日粮锌水平对小尾寒羊血清免疫指标的影响

锌在维持动物中枢免疫系统和外周免疫系统的结构和功能的过程中发挥着重要作用, 锌能作用于免疫系统, 促进动物生长, 提高机体免疫力^[28]。免疫球蛋白主要存在于血液中, 含有特异或非特异性抗体, 具有抗菌、抗病毒和抗外毒素等多种作用, 是抗感染免疫的主力。有研究认为, 补锌可增强 B 淋巴细胞的免疫功能, 提高免疫球蛋白合成能力^[29]。本试验中, 日粮添加锌显著提高了免疫球蛋白水平, 效果以 50 mg/kg 添加组最好, 试验结果与上述研究结论相似, 表明锌元素有助于羊免疫性能的提高。其原因可能是 IgG 和 IgM 等免疫球蛋白主要由脾脏和 B 淋巴细胞产生, 而缺锌会影响脾脏的发育和 B 淋巴细胞的功能, 进而导致体液免疫球蛋白合成降低^[10, 29], 但锌过量同样可能会抑制免疫系统的发育和免疫功能的发挥。

综合本试验结果, 日粮锌水平对生长期小尾寒羊生产性能、屠宰性能、肉品品质及血清免疫球蛋白水平均有一定程度影响。本试验条件下, 本地区生长期小尾寒羊锌的适宜添加水平为 50 mg/kg (日粮总锌 76 mg/kg, 风干基础)。

参考文献:

- [1] 曹家银, 罗绪刚, Davis S R, 等. 以组织锌、金属硫蛋白及其基因表达指标评价肉仔鸡对锌源的相对生物学利

- 用率[J]. 畜牧兽医学报, 2003, 34(3): 227-231.
- [2] Case C L, Carlson M S. Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and balance in nursery pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80: 1917-1924.
- [3] 王勇, 钮海华, 马文强, 等. 甘氨酸锌对断奶仔猪生长性能、免疫指标及肠道形态的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(1): 176-180.
- [4] 徐振华, 李福昌, 秦应和. 日粮锌水平对生长肉兔生产性能、血清肝脏抗氧化酶活性和金属硫蛋白-1 基因表达的影响[J]. *动物营养学报*, 2008, 20(3): 337-342.
- [5] 孙淑霞, 李玉杰, 王丽梅, 等. 蛋氨酸螯合锌对绿头野鸭生产性能的影响[J]. *中国家禽*, 2006, 24(28): 87-88.
- [6] 高惠林, 王前光, 田科雄, 等. 不同锌源及其水平对桃源鸡生产性能及屠宰性能的影响[J]. *畜牧与兽医*, 2008, 40(7): 13-17.
- [7] 姚军虎, 曹斌云, 窦铨, 等. 锌对青年牛生长发育的影响[J]. *西北农业大学学报: 自然科学版*, 1996, 24(4): 55-58.
- [8] Spears J W, Kegley E B. Effect of zinc source(zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(10): 2747-2752.
- [9] 张彩英, 曹华斌, 胡国良, 等. 锌添加水平对断奶仔猪生产性能及免疫机能的影响[J]. *江西农业大学学报*, 2013, 35(2): 225-229.
- [10] 冷静, 戴志明, 杨国明, 等. 日粮锌水平对断奶仔猪免疫球蛋白及补体变化的影响探讨[J]. *中国畜牧杂志*, 2005, 41(11): 20-22.
- [11] 李敬玺, 赵坤, 王双山, 等. 不同锌源高锌日粮对肉羊血液指标和免疫功能的影响[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2007, 27(3): 303-307.
- [12] 邵凯. 有机锌对绵羊消化代谢及免疫机能的影响[J]. *华北农学报*, 2000, 15(2): 133-137.
- [13] 杨自军, 冉林武, 王婷, 等. 锌、铜对铅中毒绵羊免疫功能的影响[J]. *中国兽医学报*, 2009, 29(2): 207-209.
- [14] 廖秀冬, 吕林, 王光瑛, 等. 日粮锌水平对 4~6 周龄肉仔鸡生长性能、胴体性能及肉品质的影响[J]. *中国畜牧兽医*, 2011, 38(9): 5-9.
- [15] 中华人民共和国农业部. 中国肉羊饲养标准 NY/T34-2004[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [16] NRC. Nutrient requirements of sheep and goats[S]. 6th. Washington D C: National Academy Press, 1985.
- [17] 王梦霖. 陶赛特×小尾寒羊 F₁ 羔羊和小尾寒羊羔羊产肉力及肉品质比较研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008: 21-22.
- [18] 赵有璋. 现代中国养羊[M]. 北京: 金盾出版社, 2005: 709-712.
- [19] 虞泽鹏. 锌及锌源对动物生长、免疫调节及其分子机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005: 23-33.
- [20] Hoover S L, Ward T L, Hill G M E. Effect of dietary zinc and copper amino acid complexes on growth performance of starter pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1997, 75(suppl): 186-190.
- [21] Rush J W, Laughlin M H, Woodman C R. SOD-1 expression in pig coronary arterioles training[J]. *Animal J Physiol Heart Circ Physiol*, 2000, 279(5): 2068-2076.
- [22] 王峰, 莫放, 黄应祥, 等. 肉牛日粮补锌对粗料纤维和玉米有机物瘤胃降解的影响[J]. *中国草食动物*, 2008, 28(1): 10-14.
- [23] 毕世丹, 李光玉, 钟伟, 等. 不同锌添加量对生长期雄性梅花鹿消化率及血液理化指标的影响[J]. *特产研究*, 2009(3): 1-7.
- [24] 贾志海. 现代养羊生产[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1999: 219.
- [25] 罗卫星, 张启林, 穆林, 等. 黔北麻羊的肉用性能和肉质特性研究[J]. *西南农业学报*, 2010, 23(5): 1706-1710.
- [26] 赵润梅, 史兆国. 不同锌源和水平对肉鸡生长性能和屠宰性能的影响[J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(1): 119-121.
- [27] 王敏奇, 许梓荣. 氧化锌、蛋白锌对仔猪胴体组成的影响及机理探讨[J]. *浙江农业学报*, 2001, 13(4): 205-209.
- [28] Hall V L, Ewan R C, Wannemuehler M J. Effect of zinc deficiency and performance and immune response in young pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1993, 71(suppl 1): 173-178.
- [29] 吕广宙, 陆治年, 丁晓明. 低锌日粮补锌对断奶犊牛免疫机能的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 1995, 26(3): 207-213.