

内蒙古白绒山羊生绒期日粮适宜铜水平研究

张微¹ 朱晓萍¹ 卢德勋² 侯文娟¹ 贾志海¹

(1. 中国农业大学 动物科学技术学院,北京 100094; 2. 内蒙古畜牧科学院,呼和浩特 010030)

摘要 通过基础日粮中(含铜 $7.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)添加不同水平的铜(0,10,20 和 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)对生绒期绒山羊营养物质消化代谢及生产性能影响的研究,确定其日粮铜的适宜水平。结果表明:1)基础日粮添加铜对采食量、氮代谢、DM 及 ADF 消化率没有影响 ($P > 0.05$),但 NDF 的消化率有升高趋势,添加 10(56.72% 为 NDF 消化率,下同)和 20(57.16%) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组显著高于对照组 (50.35%) ($P < 0.05$)。2)添加 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组日增重 ($42.50 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) 和饲料转化率 ($62.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 与对照组 ($29.17 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $43.58 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和添加 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组 ($31.39 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $46.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 差异不显著 ($P > 0.05$),但显著高于添加 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组 ($26.67 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $39.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) ($P < 0.05$)。日粮铜水平对绒山羊绒毛的细度没有影响 ($P > 0.05$),但添加 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组绒毛生长率 ($0.44 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 显著高于对照组 ($0.39 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 和添加 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组 ($0.38 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) ($P < 0.05$),而与添加 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜组 ($0.40 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。3)绒山羊生绒期日粮铜的适宜水平为 $27.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

关键词 绒山羊; 生绒期; 铜水平

中图分类号 S 816.72; S 827.91

文章编号 1007-4333(2004)03-0036-05

文献标识码 A

Study on dietary copper proper level of Inner Mongolian White Cashmere Goats during the cashmere growing period

Zhang Wei¹, Zhu Xiaoping¹, Lu Dexun², Hou Wenjuan¹, Jia Zhihai¹

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Inner Mongolia Academy of Animal Sciences, Huhhot 010030, China)

Abstract The effects of different copper levels (supplemented 0,10,20,30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of diet) on nutrient digestibility and performance of Inner Mongolian White Cashmere Goats during the cashmere growing period were studied to determine the optimum copper level in diet. The results showed that: 1) Feed intake, N metabolism, digestibility of DM and ADF were not affected ($P > 0.05$), but NDF digestibility tended to increase when copper was added in the diet; NDF digestibility of groups added 10(56.72%) and 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (57.16%) copper were significantly higher than that of the control group (50.35%) ($P < 0.05$). 2) The group added 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ had significantly higher ADG ($42.50 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$) and G/F ($62.56 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) than the group added 30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($26.67 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $39.86 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) ($P < 0.05$), but there was no evident difference ($P > 0.05$) between the group added 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($31.39 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $46.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) and the control group ($29.17 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, $43.58 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$). The various copper levels had no effect on cashmere diameter ($P > 0.05$). The cashmere growth rate of the group added 20 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($0.44 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) was significantly higher than the group added 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($0.38 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and the control group ($0.39 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) ($P < 0.05$), but no difference from the group added 30 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($0.40 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) ($P > 0.05$). 3) The optimum copper level was $27.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of diet during the cashmere growing period.

Key words cashmere goats; during the cashmere growing period; copper level

1928 年 Hart 等研究发现,以牛奶为惟一营养 素来源的动物,其奶中必须含有足够的铜与铁,否则

收稿日期: 2004-04-06

基金项目: 国家“十五”重点科技攻关资助项目(2002BA514-8)

作者简介: 张微,博士研究生;贾志海,教授,博士生导师,通讯作者,主要从事羊的营养和育种研究。

动物易出现贫血现象,揭示了铜在营养学上的重要性。铜是产毛动物非常重要的一种必需矿物元素,日粮供给不足或缺乏铜时,会产生毛色变浅、毛质下降等缺乏症状。

国际上对山羊矿物质营养的研究远落后于牛和绵羊,矿物质元素的需要量全部借鉴后二者的资料。本试验的目的是通过研究日粮不同铜添加水平对生绒期绒山羊营养物质消化代谢及生产性能的影响,确定绒山羊生绒期日粮铜的适宜水平,为进一步研究该元素的需要量奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选用体况良好,体重相近((28.14 ± 1.33) kg),装有永久性瘤胃瘘管的1.5周岁内蒙古白绒山羊半同胞羯羊12只,用“阿维菌素”驱除体内外寄生虫。

1.2 试验日粮

试验羊日粮配置参照NRC^[1]山羊饲养标准,代谢能供给量为1.2倍,能够满足50 g日增重的需要。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(风干物质基础)

Table 1 Ingredient composition and nutrient levels of basal diet (as fed basis) %

日粮组成	质量分数	代谢能与营养成分	营养水平
青干草	70.00	ME/(MJ · kg ⁻¹)	8.40
玉米	16.00	DM	90.58
麸皮	7.20	CP	9.65
豆粕	5.40	NDF	54.19
石粉	0.16	ADF	31.56
磷酸氢钙	0.24	S	0.217
食盐	1.00	Ca	0.47
维生素预混料	0.003	P	0.31
		N/S	7.12
		Ca/P	1.51
		Cu/(mg · kg ⁻¹)	7.46

注: 维生素预混料使用北京万宁兽药研制开发有限公司生产的“北京多维”: VA, 5 400 万 U · kg⁻¹; VD₃, 1 080 万 U · kg⁻¹; VE, 18 000 U · kg⁻¹; VK₃, 5 g · kg⁻¹; VB₁, 2 g · kg⁻¹; VB₂, 15 g · kg⁻¹; VB₁₂, 0.03 g · kg⁻¹; VB₅, 35 g · kg⁻¹; 泛酸钙, 25 g · kg⁻¹; 叶酸, 0.5 g · kg⁻¹; 抗氧化剂, 0.2 g · kg⁻¹。

除代谢能外其他指标都为实测值。

基础日粮中其他微量元素铁、锌、锰、钼、碘和硒水平分别为: 343.91, 39.49, 43.94, 5.47, 1.13 和 0.11 mg · kg⁻¹。

ME为代谢能; DM为干物质; NDF为中性洗涤纤维; ADF为酸性洗涤纤维。

1.3 饲养管理

试验羊单笼饲养, 750 g日粮分7:00, 19:00 2次饲喂, 自由饮水。预饲期15 d, 正试期60 d。

1.4 试验设计

将12只羊按体重随机分为4组, 每组3只, 饲喂不同铜水平的日粮(日粮添加的铜分早、晚2次经由瘤胃瘘管投放), 铜的添加剂量分别为0, 10, 20和30 mg · kg⁻¹(以下分别简称, , , 组), 因此形成含铜分别为7.46, 17.46, 27.46和37.46 mg · kg⁻¹的4种试验日粮。铜源采用天津市北方化玻购销中心产的分析纯硫酸铜(CuSO₄ · 5H₂O)。

1) 消化代谢试验。试验羊空腹称重后, 带上集粪袋和尿袋上代谢笼。预饲期15 d, 正试期7 d。每天早饲前收集剩料, 8:00和20:00收集粪尿。将7 d收集的剩料混合称重后取部分样品粉碎制成剩料样以备分析; 将每天收集的鲜粪样称重后按10%采样混合, 冷冻保存; 记录每天总排尿量后按10%取样制成混合样本, 冷冻保存备用。

2) 饲养试验。正试期开始前1 d, 在试验羊右侧肩胛骨后缘10 cm × 10 cm面积上, 用染发剂进行染色。试验结束前, 剪下染色部位的毛被, 分离出绒样保存备用, 并于饲养试验开始和结束时连续2 d于早饲前称羊重, 分别作为试验羊的始重和末重。

1.5 样品分析方法

按实验室常规方法分析日粮、剩料及粪样的DM, ADF, NDF, N以及尿样的N含量; 采用湿法消化(利用体积比为1:4的高氯酸与硝酸混合酸消化样品)后利用Z-8000型便振塞曼原子吸收分光光度计测定铜浓度; 利用钢板直尺测定绒毛纤维的伸直长度; 用显微投影法测定绒毛纤维的细度。

1.6 数据统计

试验数据统计分析用SAS软件包(SAS for Windows, Release 6.12)中平衡试验设计方差分析过程(ANOVA), 均值多重比较采用Duncan法进行。

2 结果与讨论

2.1 不同铜添加水平对绒山羊日粮营养物质消化代谢的影响

1) 不同铜的添加水平对生绒期绒山羊采食量及DM消化率的影响(表2)。由表2看出, 基础日粮添加铜对生绒期绒山羊的采食量和DM消化率没有影响($P > 0.05$)。这与Luginbuhl等^[2]在杂种肉山

羊上及 Zervas 等^[3]在青年山羊上的报道相似,与 Hopkins 和 Solaiman^[4]在杂交波尔山羊上的报道不一致。说明日粮中添加铜在一定范围内,由于动物

自身的稳衡调控不会抑制动物的采食,但当铜的添加量超出动物自身的调控范围时,就会抑制动物的采食。

表 2 日粮铜水平对绒山羊采食量及 DM 消化率的影响

Table 2 Effects of dietary copper on FI and DM digestibility of Cashmere Goat

项 目	试 验 组			
	0	10	20	30
日粮采食量/(g·d ⁻¹)	736.88 ±11.58	745.42 ±7.94	750.00 ±0.00	736.88 ±22.73
进食 DM 量/(g·d ⁻¹)	667.78 ±10.18	675.27 ±7.04	679.33 ±0.00	667.88 ±19.84
粪排出 DM 量/(g·d ⁻¹)	284.39 ±11.05	257.95 ±6.80	264.01 ±28.05	268.78 ±25.96
DM 消化率/%	57.42 ±1.44	61.80 ±1.14	61.14 ±4.13	59.79 ±3.05

注:各试验组设计铜添加量和实际添加量分别为 0,10,20,30 和 0,(10.06 ±0.11),(20.00 ±0.00),(30.55 ±0.96) mg·kg⁻¹。

2) 不同铜的添加水平对生绒期绒山羊日粮纤维消化率的影响(表 3)。20 世纪 60 和 70 年代国外就有关于铜对反刍动物纤维降解影响的报道,但由于所采用的方法(体外法)及基础日粮等因素的不同,试验结果并不一致。本试验中基础日粮添加铜使日粮 NDF 的消化率有升高的趋势,而添加铜组彼此之间日粮 NDF 的消化率差异不显著($P > 0.05$)。

组、组显著高于组($P < 0.05$),但组与组差异不显著($P > 0.05$)。基础日粮添加铜对生绒期绒山羊的 ADF 消化率没有影响($P > 0.05$)。这与非生绒期的试验结果基本一致,说明反刍动物日粮中铜含量影响纤维的降解,对于不同动物及不同基础日粮条件下,适宜的铜添加量将显著提高纤维素的降解^[5]。

表 3 日粮铜水平对绒山羊日粮 NDF 和 ADF 消化率的影响

Table 3 Effects of dietary copper on digestibility of NDF and ADF of cashmere goat

项 目	试 验 组			
	0	10	20	30
进食 NDF 量/(g·d ⁻¹)	397.14 ±8.16	403.16 ±5.60	406.40 ±0.00	397.14 ±16.03
粪排出 NDF 量/(g·d ⁻¹)	197.18 ±7.13	174.45 ±3.58	174.11 ±20.26	182.53 ±20.80
NDF 消化率/%	50.35 ±1.69 b	56.72 ±1.42 a	57.16 ±4.99 a	54.11 ±3.85 ab
进食 ADF 量/(g·d ⁻¹)	231.21 ±4.87	234.80 ±3.34	236.73 ±0.00	231.21 ±9.56
粪排出 ADF 量/(g·d ⁻¹)	119.36 ±4.01	109.70 ±0.78	110.89 ±10.31	115.63 ±13.69
ADF 消化率/%	48.37 ±1.66	53.28 ±0.36	53.16 ±4.35	50.09 ±4.11

注:同行字母相同为差异不显著($P > 0.05$),不同为差异显著($P < 0.05$)。下同。

3) 不同铜添加水平对生绒期绒山羊日粮 N 代谢的影响(表 4)。由表 4 看出,基础日粮中添加铜对生绒期绒山羊氮代谢没有影响($P > 0.05$),这一结果与非生绒期的试验结果一致。

4) 不同铜添加水平对生绒期绒山羊日粮铜消化代谢的影响(表 5)。试验结果表明,各组羊实际进食日粮铜分别为 7.43,17.52,27.46 和 37.99 mg·kg⁻¹。随着进食铜量的增加,粪排泄及总排泄铜量增加,且各处理之间差异显著($P < 0.05$),而经尿液排泄铜量各处理之间差异不显著($P > 0.05$)。日粮添加铜对可消化铜和沉积铜的影响一致,即各处理彼

此之间差异不显著($P > 0.05$)。组和组粪排泄铜量占进食铜量的比例显著高于组和组($P < 0.05$),而组与组之间以及组与组之间差异不显著($P > 0.05$);组和组羊粪排泄铜量占进食铜量的比例为 88%左右,而组与组超过 94%。生绒期绒山羊日粮添加铜影响铜的表观消化率,各组分别为 12.18%,11.09%,5.83%和 4.59%,组与组之间以及组与组之间差异不显著($P > 0.05$)。这些结果说明生绒期绒山羊对日粮铜的利用率很低,当铜添加量达到 20 mg·kg⁻¹时,利用率急剧下降,且未被动物利用的铜绝大部分

表 4 日粮铜水平对绒山羊日粮氮代谢的影响

Table 4 Effects of dietary copper on nitrogen metabolism of Cashmere Goat

项 目	试 验 组			
进食氮量/(g·d ⁻¹)	11.40 ±0.16	11.51 ±0.12	11.58 ±0.00	11.36 ±0.38
粪排出氮量/(g·d ⁻¹)	4.31 ±0.25	3.92 ±0.13	4.17 ±0.45	3.98 ±0.35
尿排出氮量/(g·d ⁻¹)	5.78 ±0.84	5.41 ±1.11	7.09 ±0.25	6.60 ±0.93
可消化氮/(g·d ⁻¹)	7.09 ±0.14	7.59 ±0.10	7.41 ±0.45	7.38 ±0.29
(m(尿氮)/m(进食氮))/%	50.69 ±6.94	46.95 ±9.24	61.29 ±2.18	57.99 ±6.89
(m(粪氮)/m(进食氮))/%	37.79 ±1.74	34.05 ±0.91	36.02 ±3.85	34.99 ±2.43
氮表观消化率/%	62.21 ±1.74	65.95 ±0.91	63.98 ±3.85	65.01 ±2.43

表 5 日粮铜水平对绒山羊日粮铜代谢的影响

Table 5 Effects of dietary copper on copper metabolism of Cashmere Goat

项 目	试 验 组			
羊体质量/kg	30.20 ±1.38	30.47 ±1.28	29.18 ±1.32	29.57 ±1.20
采食量/g	736.88 ±11.58	745.42 ±7.94	750.00 ±0.00	736.88 ±22.73
进食铜量/(mg·d ⁻¹)	5.48 ±0.11 d	13.06 ±0.07 c	20.60 ±0.00 b	27.98 ±0.20 a
粪排出铜量/(mg·d ⁻¹)	4.81 ±0.13 d	11.61 ±0.43 c	19.40 ±0.46 b	26.70 ±0.97 a
尿排出铜量/(mg·d ⁻¹)	0.22 ±0.22	0.06 ±0.05	0.09 ±0.03	0.10 ±0.06
可消化铜量/(mg·d ⁻¹)	0.67 ±0.03	1.45 ±0.41	1.20 ±0.46	1.28 ±0.77
沉积铜量/(mg·d ⁻¹)	0.45 ±0.19	1.39 ±0.39	1.11 ±0.43	1.18 ±0.81
(m(粪铜)/m(进食铜))/%	87.82 ±0.76 b	88.91 ±3.13 b	94.17 ±2.22 a	95.41 ±2.80 a
(m(尿铜)/m(进食铜))/%	3.97 ±4.12 a	0.47 ±0.38 b	0.43 ±0.15 b	0.35 ±0.22 b
铜的表观消化率/%	12.18 ±0.76 a	11.09 ±3.13 a	5.83 ±2.22 b	4.59 ±2.80 b
进食铜质量分数/(mg·kg ⁻¹)	7.43 ±0.03 d	17.52 ±0.10 c	27.46 ±0.00 b	37.99 ±0.91 a

是经粪排出的^[4,6],这也是动物机体对日粮高铜的主要调节方式^[7]。虽然本试验中高铜组没有发现一只羊有铜中毒的症状,但是动物排泄铜量剧增,对人类健康和生态环境构成了威胁,故在动物生产中对于高铜日粮应该谨慎使用。

综合以上结果可以看出,绒山羊生绒期日粮添加铜对纤维和铜的消化有显著的影响,而对其他营养物质的消化没有影响。由于瘤胃是反刍动物纤维

消化的主要场所,可推断出日粮铜水平对瘤胃代谢有影响,但该结论有待于进一步证实。

2.2 不同铜添加水平对绒山羊生产性能的影响

1) 不同铜添加水平对生绒期绒山羊增重性能的影响(表 6)。有关日粮铜水平对反刍动物日增重和饲料转化效率的影响报道不少,但结果并不一致^[8~11]。基础日粮添加铜对生绒期绒山羊日增重和饲料转化率的影响较明显,组、组与组彼此

表 6 日粮铜水平对绒山羊增重性能的影响

Table 6 Effects of dietary copper on growth performance of Cashmere Goat

项 目	试 验 组			
初始体质量/kg	28.27 ±1.33	28.68 ±1.49	27.45 ±1.85	28.17 ±1.05
结束体质量/kg	30.02 ±1.43	30.57 ±1.20	30.00 ±1.39	29.77 ±0.78
日增重/(g·d ⁻¹)	29.17 ±7.64 ab	31.39 ±4.88 ab	42.50 ±7.95 a	26.67 ±5.77 b
DM 采食量/g	667.78 ±10.18	675.27 ±7.04	679.33 ±0.00	667.88 ±19.84
饲料转化率/(g·kg ⁻¹)	43.58 ±10.78 ab	46.50 ±7.38 ab	62.56 ±11.70 a	39.86 ±8.02 b

之间差异不显著 ($P > 0.05$); 组显著高于 组 ($P < 0.05$), 与 组和 组差异不显著 ($P > 0.05$)。说明在本试验条件下, 本期绒山羊日粮适宜铜添加水平为 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。此外, 组(含铜 $7.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和组羊都有增重, 说明 $7.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 铜即可以满足本期绒山羊对铜的需要量, 本期绒山羊对铜的耐受量超过 $37.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。从此结果中也可以明确生绒期绒山羊对铜的耐受量比绵羊 ($25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 高,

这与 Luginbuhl 等^[2]在杂种肉用山羊和 Solaiman 等^[12]对当地山羊的相关研究结果一致。

2) 不同铜添加水平对生绒期绒山羊产绒性能的影响(表 7)。试验结果表明, 日粮铜水平对绒山羊绒毛的细度没有影响 ($P > 0.05$), 但对绒毛生长率有影响。组、组与组绒毛的生长率彼此之间差异不显著 ($P > 0.05$), 组显著高于组和组 ($P < 0.05$), 而与组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 7 日粮铜水平对绒山羊产绒性能的影响

Table 7 Effects of dietary copper on cashmere performance of Cashmere Goat

项 目	试 验 组			
	1	2	3	4
绒生长量/cm	2.32 ±0.07 b	2.30 ±0.25 b	2.66 ±0.10 a	2.37 ±0.01 ab
绒生长率/(mm · d ⁻¹)	0.39 ±0.01 b	0.38 ±0.04 b	0.44 ±0.02 a	0.40 ±0.00 ab
绒细度/μm	14.28 ±0.65	15.34 ±0.79	15.92 ±1.45	14.33 ±0.75

3 结 论

日粮铜水平影响生绒期绒山羊营养物质消化代谢和生产性能, 日粮适宜的铜水平将通过影响日粮营养物质的消化代谢, 而提高动物的生产性能。

对各指标综合评价, 认为生绒期绒山羊日粮铜的适宜水平为 $27.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

参 考 文 献

- [1] NRC. Nutrient requirements of domestic animals[M]. Washington D C: National Academy Press, 1981. 10 ~ 12
- [2] Luginbuhl J M, Poore M H, Spears J W, Brown T T. Effect of dietary copper level on performance and copper status of growing meat goats[J]. Sheep and Goat Research Journal, 2000, 16: 65 ~ 71
- [3] Zervas G, Nikolaou E, Mantzios A. Comparative study of chronic copper poisoning in lambs and young goats[J]. Animal Production, 1990, 50: 497 ~ 506
- [4] Hopkins C E, Solaiman S G. Effect of high dietary copper on growth performance and carcass characteristics in goat kids[J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85: 295
- [5] 高登宏. 不同剂量的铜对瘤胃微生物发酵的影响[D]. 山西 太谷: 山西农业大学, 2000
- [6] Chopra R C, Harjit Kaur. Iron and copper requirements of cross-bred calves[J]. Indian Journal of Animal Nutrition, 1989, 6: 325 ~ 328
- [7] Underwood E J, Suttle N F. The mineral nutrition of livestock[M]. 3rd ed. Wallingford: CAB International, 1999. 291 ~ 293
- [8] Ward J D, Spears J W. Long-term effects of consumption of low-copper diets with or without supplemental molybdenum on copper status, performance, and carcass characteristics of cattle[J]. Journal of Animal Science, 1997, 75: 3057 ~ 3065
- [9] Engle T E, Spears J W. Effects of dietary copper concentration and source on performance and copper status of growing and finishing steers[J]. Journal Animal Science, 2000, 78: 2446 ~ 2451
- [10] Engle T E, Spears J W. Dietary copper effects on lipid metabolism, performance, and ruminal fermentation in finishing steers[J]. Journal Animal Science, 2000, 78: 2452 ~ 2458
- [11] Mullis L A, Spears J W, McCraw R L. Estimated copper requirements of Angus and Simmental heifers[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81: 865 ~ 873
- [12] Solaiman S G, Maloney M A, Qureshi M A, et al. Effects of high copper supplements on performance, health, plasma copper and enzymes in goats[J]. Small Ruminant Research, 2001, 41: 127 ~ 139