

# 微量元素铁、铜、锌、硒对肉牛作用的研究进展

刘宏凯<sup>1</sup>, 王浩程<sup>1</sup>, 佟垚毅<sup>1</sup>, 郭文伟<sup>1</sup>, 高君平<sup>1</sup>,  
岳春旺<sup>1\*</sup>, 孙茂红<sup>1\*</sup>, 高勇<sup>2</sup>

(1. 河北北方学院动物科技学院, 河北 张家口 075000; 2. 三步育肥(北京)饲料研发中心有限责任公司, 北京 102206)

**摘要:**微量元素在肉牛日粮营养中具有重要的作用, 本文对肉牛日粮中需要补充的铁、铜、锌和硒的生理功能、相互作用、促生长效果和适宜添加量的研究进展进行综述, 以为肉牛精细化养殖做好日粮配方提供依据。

**关键词:**肉牛; 日粮配方; 微量元素; 生产性能

**中图分类号:**S823 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9111(2023)03-0076-06

从2020年1月我国禁止在饲料中使用抗生素开始, 畜牧业一直致力于探索能够促进瘤胃有益菌群活性的天然补充剂, 增加反刍动物营养供应, 有关微量元素常被用做调节动物新陈代谢的补充剂产品, 家畜各阶段的生长发育和正常生产活动与各种矿物质微量元素密切相关, 对于肉牛来说, 常需要补充的微量元素有: 铁、铜、锰、锌、碘、硒和钴等。微量元素补充剂因其不同的存在形式在动物体内的生物学效价和生理功能也不同, 微量元素的开发应用经历了第一代无机盐阶段、第二代有机酸盐阶段、第三代氨基酸螯合物(Aa-M)阶段, Aa-M是指由微量元素离子与氨基酸或低分子肽经过络合反应生成的具有稳定性强、无刺激性、无毒害作用、易消化吸收的螯合物<sup>[1]</sup>, 但由于其高成本在肉牛生产中相比于无机盐形式的微量元素添加剂使用较少。通过对铁、铜、锌和硒功能的介绍以及近期研究结论的总结分析, 希望能够为广大肉牛养殖者对微量元素补充剂的使用与生产中面临的现实问题提供新的认识或解决方法。

## 1 铁

铁作为营养成分的价值一直受到人们的重视, 1886年发现在马的血红蛋白(Hb)中含有0.335%的铁, 证实了铁的供应和血液紊乱之间的联系。之

后研究发现对贫血动物补充柠檬酸铁和硫化亚铁等无机盐形式的铁可以使Hb浓度迅速增加, 铁的生理基础和功能被进一步发现, 铁是血红蛋白、肌红蛋白和过氧化氢酶、过氧化物酶和细胞色素氧化酶等多种酶的基本成分, 参与氧的运输、电子转移、蛋白质合成、激活或辅助酶参与三羧酸循环、去除潜在的危险代谢产物、结缔组织发育和维持免疫系统稳定等生物活动<sup>[2]</sup>。

### 1.1 铁的缺乏和过量

长期缺铁会导致家畜食欲不振、生长不良、嗜睡、可见粘膜变白、呼吸速率增加, 严重时还会导致死亡率升高, 这些症状出现之前, 主要是由贫血的发展引起的, 表现为肝脏、肾脏、脾脏和粘膜中铁蛋白或含铁血黄素消耗, 血清铁的下降和血清中总铁结合力升高, 红细胞压积显著下降。新生犊牛出生后从母乳中获得足够的铁, 一般不会引发贫血, 但随着犊牛到达一定日龄(30~60 d), 红细胞的快速扩张导致母乳中铁的供给不能满足犊牛对铁的需要, 常引发缺铁性贫血, 这时可对牛补饲40~100 g/kgDM铁补充剂, 加速犊牛血红蛋白的合成。此外, 铁添加过量引起的负面影响也值得关注, 如心脏肥大、认知功能障碍、新陈代谢紊乱、免疫机能障碍、抑制动物对其它矿物质元素的吸收和抑制成骨细胞活性等问题<sup>[3]</sup>。牛对饲料中铁的耐受性很高, 但放牧动物可

收稿日期: 2023-01-03 修回日期: 2023-02-20

基金项目: 河北省现代农业师叔体系肉牛产业创新团队高效养殖岗(HBCT201830202); “肉牛杏鲍菇菌渣饲料的开发技术与示范”(202103B030)

作者简介: 刘宏凯(2000—), 男, 硕士研究生, 研究方向为反刍动物营养与养牛科学。

\* 通讯作者: 岳春旺(1969—), 男, 教授, 研究方向为反刍动物营养与养牛科学; 孙茂红(1971—), 女, 教授, 研究方向为反刍动物营养与养牛科学。

能会在环境中摄入过量的铁,过量的铁会降低十二指肠粘膜中二价金属离子转运体的表达,这可能会导致部分依赖于相同载体蛋白吸收的其它元素(如铜、锰)二次抑制<sup>[4]</sup>。因此在生产当中需要注意各种饲料原料中铁的含量,再根据实际需要选择合适的铁源进行补饲。

### 1.2 不同铁源对肉牛生产性能和瘤胃发酵的影响

犊牛在出生后 120 d 补充硫酸亚铁,使摄入铁的水平达到  $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$ ,可在不改变其它性能特征的情况下提高 Hb 含量和净肉率<sup>[5]</sup>。当肉牛摄入饲料中添加的柠檬酸铁时,柠檬酸铁在胃肠消化过程中可以充当替代电子受体,通过抑制硫酸盐还原为硫化物,进而减少硫酸盐还原细菌可用的氢气量,减少硫化氢气体的产生,并且微生物发酵过程中产生的  $\text{H}_2$  气体被产甲烷菌用作能源,因此,柠檬酸铁可能会抑制产甲烷的生成<sup>[6]</sup>。李万栋<sup>[7]</sup>研究发现,不同水平的硫酸亚铁和羟基蛋氨酸铁均可提高瘤胃 VFA 含量,改善瘤胃发酵能力,以  $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  水平效果最佳。蔡秋等<sup>[8]</sup>在肉牛基础精料中添加硫酸亚铁添加剂,肉牛平均日增重提高了 12.5%,料重比减少了 15.68%。以上结果表明,铁不仅可以维持肉牛健康的生理状态,还对肉牛瘤胃发酵能力和生产性能水平有一定的促进作用。

### 1.3 肉牛对铁的需要

饲料中铁的添加量因肉牛生长阶段、机体含铁状况、饲料组成和土壤环境等因素而异。由于铁的生长需求主要是 Hb,而 Hb 质量的增加相比于体重的增加是一个逐渐减少的部分,因此随着犊牛生长到成熟体重,对于饲料中铁的需要逐渐下降。NRC 建议维持犊牛正常生长的铁含量为  $120 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$ ,当进行犊牛牛肉生产时,饲料中铁含量降低至  $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$ 。尚未报道成年牛对于铁需要量的最终研究,但它们的需求量很低,尤其是在哺乳期,因为需要通过乳汁分泌的铁相对较少,当需要维持峰值产奶量时,仅需  $16 \text{ mg/kg DM}$  的铁即可满足奶牛每日产量 40 kg 的需求。

## 2 铜

铜存在于多种酶、辅助因子和反应蛋白中,是血红素酶复合物细胞色素 C 氧化酶(CCO)的辅助因子,CCO 负责呼吸链中的末端电子转移,从而在所有组织中产生能量。低 CCO 活性可能会导致多种功能障碍,包括中性粒细胞呼吸爆发的损害、胰腺腺泡细胞基底膜破裂、对糖基化或硫酸化产生副作用<sup>[9]</sup>。铜可以保护组织免受自由基的氧化作用,并与其它具有抗氧化特性的营养素相互作用。铜是铜

蓝蛋白的辅基,维持铁运输代谢,也是成熟红细胞的组成部分,所以当动物铜供应不足时会导致贫血的发生<sup>[10]</sup>。铜缺乏影响氨基氧化酶和赖氨酰氧化酶的活性降低,使骨胶原损伤导致骨异常<sup>[11]</sup>。铜缺乏使脑部运动神经元内细胞色素氧化酶不足导致运动失调和生育力降低等问题<sup>[12]</sup>。

### 2.1 不同铜源对肉牛的影响

先前许多研究表明,铜在反刍动物的泌乳、免疫和瘤胃功能中起着重要作用。传统方法预防铜缺乏现象是采用高水平的饲料无机铜,但近年来人们对无机铜吸收率低以及未消化的铜化合物造成的环境问题的认识逐渐提高,关于牛对铜吸收率低的主要原因包括牛的生长时期、饲料种类和铜的来源。犊牛在出生后的四周内铜的吸收率可以达到 60%,而成年牛铜的吸收率只有 1%~5%;有机和无机形式的铜的吸收率并不一致,不同无机铜的利用性也不一致,氯化亚铜的铜含量高于硫酸铜,柠檬酸铜无论是作为促生长剂还是用于提高肝脏铜的储存量相比于硫酸铜或者氯化物都更有优势,饲料中高含量的硫和钼会影响铜的吸收和代谢,寻找在铜拮抗剂的存在下更具有生物利用性的铜源十分重要,所以许多铜的研究集中在反刍动物对氨基酸铜或蛋白铜吸收利用的评估。HANSEN 等<sup>[13]</sup>在含有  $10 \text{ mg/kg DM}$  铜的饲料中分别添加  $5 \text{ mg/kg DM}$  甘氨酸铜和硫酸铜饲喂肉牛发现,两种形式的铜均可提高平均日增重和饲料转化率,但甘氨酸铜相比于硫酸铜的生物学利用率高。ENGLE 等<sup>[14]</sup>在西门塔尔牛的饲料中补充  $10 \text{ mg/kg DM}$  硫酸铜,结果表明铜对肉牛的生长性能没有直接影响。精料中添加  $6 \text{ mg/kg}$  蛋氨酸羟基铜和  $6 \text{ mg/kg}$  硫酸铜可提高血浆铜浓度,并有助于改善中性和酸性洗涤剂纤维的表观消化率和泌乳性能<sup>[15]</sup>。ARTHINGTON<sup>[16]</sup>研究发现,对 16 月龄的婆罗门杂交公牛饲喂  $60 \text{ mg/kg}$  的氧化铜丸会降低饲料利用率,使用高硫补充剂的母牛增加铜的补充对增加肝脏铜浓度影响不显著,并可能会对体重产生负面影响。以上研究表明,铜对牛的生长促进作用与铜的添加形式、添加量、饲料组成和牛的生长阶段有关。

### 2.2 铜与饲料中其他物质的相互作用

反刍动物对铜的需求量变化,很大程度上取决于饲料中硫和钼的浓度,铜、钼和硫之间存在三向相互作用,由于钼酸盐在瘤胃中可以与瘤胃微生物产生的硫化物反应,从而形成硫钼酸盐,硫钼酸盐又与铜形成不溶性络合物,参与着铜反应性紊乱的发生,导致铜的吸收降低,值得注意的是铜反应紊乱在非反刍动物中很少自然发生,因此对肉牛补充铜时应

注意饲料中钼、硫与铜之间的拮抗作用<sup>[17]</sup>。

$\beta$  受体激动剂激活着细胞内信号通路,以促进动物的肌肉增生和脂质代谢<sup>[18]</sup>。MESSERSMITH 等<sup>[19]</sup>研究通过补充铜对饲喂  $\beta$  氧化剂肉牛的影响,结果表明铜对  $\beta$  受体激动剂的信号通路起着调节作用,并影响着  $\beta$  激动剂氧化的必须活动——线粒体对脂肪酸的获取。

### 2.3 肉牛对铜的需要

肉牛对铜的需要量为  $4 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,需要量会随着产奶量、日增重、饲料中硫和钼的含量等因素改变<sup>[20]</sup>,NRC 推荐的肉牛饲料中铜的浓度为  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。肉牛对铜的耐受量为  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ <sup>[10]</sup>,在补充铜时要考虑基础饲料中铜的水平,以免铜过量造成肉牛铜中毒,临床表现为血尿、黄疸及组织坏死等。

## 3 锌

锌是地壳中第 23 种最丰富的元素,原子序数为 30,原子量为 65.37。纯锌是一种蓝白色、有光泽的金属。锌广泛分布于反刍动物的血液、生殖器官、肌肉、肝脏和皮毛内,锌是维持锌结合蛋白转录因子的结构和功能完整性所必需的,几乎所有的信号和代谢途径都依赖于一种或多种含锌蛋白、并且还是多种酶以及胰岛素的组成成分<sup>[21]</sup>。锌在动物体内功能主要表现在以下方面:调节参与信号转导、应激反应、氧化还原反应、生长和能量利用基因的表达、参与碳水化合物代谢、脂肪吸收以及抗氧化等作用,对机体的营养代谢、生长发育、免疫和繁殖等生理过程有极其重要的意义<sup>[22-25]</sup>。

### 3.2 锌对肉牛生长的影响

锌改善免疫功能,调节肠道菌群、肠道液体运输和粘膜完整性,皮下注射  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  体重的依地酸锌 (Zn edetate) 可作为新生犊牛的抗炎和抗腹泻治疗方法<sup>[26]</sup>。高剂量补充氧化锌时,可促进犊牛生长和免疫,并降低腹泻的发生率<sup>[27]</sup>。陈俊材等<sup>[28]</sup>在瘤胃液体外培养过程种添加高水平纳米氧化锌,结果表明纳米氯化锌改善了瘤胃发酵方向,提高有机物发酵率、菌体蛋白产量和 VFA 浓度,降低乙酸/丙酸及  $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度,其中以  $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  添加水平效果最好。但由于锌对环境的影响,中国农业农村部于 2017 年禁止向动物饲料中添加高水平的氧化锌。CHANG 等<sup>[29]</sup>研究低剂量氧化锌和蛋氨酸锌对犊牛促生长和抗腹泻效果,结果表明犊牛出生后 3 d 内补充两种形式的锌具有类似的效果,但蛋氨酸锌的生物利用率更高,促生长表现更好,因此在犊牛出生后 3 d 内可以补充氧化锌  $104 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ,之后选择

补充蛋氨酸锌  $457 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。隋晨<sup>[30]</sup>对围产期奶牛补充  $300 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$  锌,显著提高泌乳性能和繁殖性能。ARELOVICH 等<sup>[31]</sup>研究发现,添加 250 ppm 浓度锌可以延缓瘤胃中尿素的分解,提高丙酸的比例,改变瘤胃发酵,进而提高能量利用效率。锌的不同形式和水平对动物的影响不同,高锌日粮可以促进肉牛的生产性能,但锌代谢后的污染、引起其它微量元素缺乏症等问题不容忽视,因此在生产中应采用安全、稳定、具有性价比的锌添加剂,促进肉牛日粮锌的可持续利用。

### 3.3 肉牛对锌的需要

锌供应不足会导致肉牛生长迟缓、饲料转换率降低,影响免疫和繁殖机能。我国农业部第 1224 号公告规定了锌在肉牛配合饲料或全混合日粮中的推荐添加量:使用硫酸锌  $30 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ;使用氧化锌  $30 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ;使用蛋氨酸锌螯合物  $30 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在补充锌时需要注意锌与铜之间的拮抗作用,补充铜促进了锌与大分子的结合,并耗尽了锌与小分子的结合比例,当体内锌过量时,锌能够竞争性地抑制铜的胃肠附着导致铜缺乏,在这一现象中金属硫蛋白上调的基因表达可能发挥重要作用。

## 4 硒

20 世纪 50 年代之前对硒的研究仅限于其对动物的毒性,之后对土壤、植物和动物组织中硒研究的不断深入,硒被证明是一种动物生化和生理过程必需的微量元素,具有抗氧化活性、抗炎、抗诱变、抗癌、抗病毒、抗细菌、抗真菌、抗寄生虫等功能<sup>[32]</sup>,硒主要通过硒蛋白发挥特定的生化作用,目前已鉴定出 25 种哺乳动物的硒蛋白。谷胱甘肽过氧化物酶、硫氧还蛋白还原酶、硒磷酸合成酶作为硒蛋白在动物体内分别发挥着不同的生理功能:清除活性氧对细胞、蛋白、脂质体的损伤,减少食物源性或内源性过氧化氢对肠粘膜造成的损害,保护肾小管和肺泡毛细血管等精细结构,清除脂质过氧化物,对胚胎发育至关重要<sup>[33-34]</sup>;保护肌肉免受营养不良的影响,并保护成骨细胞和破骨细胞免受骨骼重塑过程中产生的活性氧引起的过氧化反应<sup>[35]</sup>;具有络合镉、汞等金属元素的潜力,免受此类元素对组织的损伤<sup>[36]</sup>。

### 4.1 不同硒源对肉牛的影响

WALLACE 等<sup>[37]</sup>对泌乳期的安格斯牛饲喂富含亚硒酸钠 (SS) 的苜蓿甘草,结果表明在安格斯牛的初乳中免疫球蛋白的含量明显增加。EL-SHARAWY EL-SHARAWY 等<sup>[38]</sup>在水牛基础日粮中分别补充有机硒和 SS,结果表明硒补充增加了血清

中睾酮的浓度,提高了精子存活率、降低了精子畸形率,并且补充有机硒相比补充SS更有效的改善精液质量、果糖水平和精浆中酶的水平。硒作为反刍动物的必需微量元素,也会影响瘤胃发酵和瘤胃微生物。WEI J Y等<sup>[39]</sup>研究泌乳中期荷斯坦奶牛补充SS和羟基硒代蛋氨酸两种形式的硒对瘤胃发酵的影响,结果表明羟基硒代蛋氨酸比SS改善瘤胃发酵、提高VFS含量和丙酸比例效果更好。全世界约有11亿人缺硒,我国西部高原地区缺硒较为严重,对牛补充超剂量硒( $>0.1 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1} \text{ DM}$ )是一种天然生产供人类食用的富硒牛肉的方法,而不会损害牛的生长性能。SILVA J S等<sup>[40]</sup>在内洛尔牛的饲料中以 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.9 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $2.7 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 三种水平添加SS和酵母硒两种来源的硒,结果表明,超剂量的硒对内洛尔牛的生长性能没有影响,但会提高硒在肉产品中的沉积,SS相比酵母硒在牛肉中的沉积浓度更高。以上结果表明,硒对肉牛的免疫、繁殖、瘤胃发酵和生产利用具有重要作用,给肉牛补充硒时要按需要添加,硒在饲料中的添加形式也决定了硒在动物体内的代谢结果,有机硒如蛋氨酸硒相比无机硒在利用率和毒性方面并不是具有绝对优势,在各种硒源安全应用于肉牛生产中还需更多试验研究。

#### 4.2 硒缺乏对肉牛的影响

家畜硒缺乏是造成经济损失的原因之一。硒缺乏会造成反刍动物的代谢障碍,这是因为硒是存在于甲状腺激素相关酶活性位点关键酶的主要结构成分,通过抑制四碘甲状腺原氨酸向三碘甲状腺原氨酸转化,引起动物甲状腺功能障碍,因此硒与甲状腺功能也有间接作用<sup>[41]</sup>。白肌病、胎盘滞留、骨质疏松和乳房炎等疾病也可能由硒缺乏引起<sup>[42]</sup>。MOHAMED等<sup>[43]</sup>研究表明,哺乳期水牛由于硒摄入不足引起乳房炎等炎性疾病的发生,导致水牛妊娠率显著下降。

#### 4.3 硒的适宜添加量

NRC标准中硒的推荐用量,肉牛 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ g,奶牛 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ,我国硒的推荐用量,肉牛 $0.05 \sim 0.3 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ,奶牛 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ ,硒的耐受量为 $2 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

### 5 结语

铁、铜、锌和硒在维持肉牛机体免疫、健康、生产、繁殖等方面发挥着重要作用。柠檬酸铜、氯化锌等微量元素添加剂高剂量使用具有促生长和提高生产性能的效果,但过多的金属残留对环境、动物健康和人类健康产生不利影响,因此我们对于微量元素

补充剂的研究开发和使用应该朝着安全、高效、无害的方向前进。有机螯合剂在肉牛应用中具有显著的正向效应,但对于更多的有机螯合剂来说其作用机理、代谢途径、有机+无机的组合和准确适用量等问题也亟需探明,以期对其利用经济效益进行可行性评价。

#### 参考文献:

- [1] 虞俊翔,孙南耀,王光然,等. 微量元素氨基酸螯合物的生物学效价研究进展[J]. 食品科学,2015,36(23):367-371.
- [2] SUTTLE NEVILLE. Mineral Nutrition of Livestock[M]. CABI: 2022-05-30.
- [3] ALI GHOLI RAMIN,SIAMAK ASRI REZAEI,KHALES PAYA, et al. Evaluation of Anemia in Calves up to 4 Months of Age in Holstein Dairy Herds[J]. Acta Vet Eurasia,2014,40(1):1-6.
- [4] HANSEN S L, PEARS J W. Impact of copper deficiency in cattle on proteins involved in iron metabolism[J]. The FASEB Journal, 2008,22:443.5-443.5.
- [5] CUI K,TU Y,WANG C, et al. Effects of a limited period of iron supplementation on the growth performance and meat colour of dairy bull calves for veal production[J]. Animal Production Science,2017,57(4):778-784.
- [6] DREWNOSKI M E, DOANEP, HANSEN S L. Ferric citrate decreases ruminal hydrogen sulphide concentrations in feedlot cattle fed diets high in sulphate[J]. British Journal of Nutrition,2013, 111(2):261-269.
- [7] 李万栋. 铁、锌、硒对牦牛瘤胃发酵、生长性能及血液生化指标的影响[D]. 西宁:青海大学,2016.
- [8] 蔡秋,张明忠,刘康书,等. 饲料添加铜、铁和Zn对牛组织和血液铅和镉含量的影响[J]. 动物营养学报,2012,24(03):571-576.
- [9] TOMASZEWSKA EWA, DOBROWOLSKI PIOTR, KWIECIE MA GORZATA, et al. The Influence of the Dietary Cu-Glycine Complex on the Histomorphology of Cancellous Bone, Articular Cartilage, and Growth Plate as well as Bone Mechanical and Geometric Parameters Is Dose Dependent. [J]. Biological trace element research, 2017,178(1):54-63.
- [10] 薛艳锋,郝力壮,刘书杰,等. 铜在反刍动物上的研究和应用进展[J]. 黑龙江畜牧兽医,2016(13):54-58.
- [11] 鲍坤,李光玉,钟伟,等. 微量元素铜与反刍动物营养关系的研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医,2010(13):25-27.
- [12] 崔贺婷. 畜禽对微量元素铜的利用[J]. 现代畜牧科技,2016(12):101.
- [13] HANSEN, S L, SCHLEGEL. Bioavailability of copper from copper glycinate in steers fed high dietary sulfur and molybdenum [J]. Journal of Animal Science,2008,86(1):173-179.
- [14] ENGLE T E, SPEARS J W. Performance, carcass characteristics, and lipid metabolism in growing and finishing simmental steers fed varying concentrations of copper[J]. Journal of Animal Science,2001,79(11):2920-2925.
- [15] WANG F, LI S L, XINJ, et al. Effects of methionine hydroxy copper supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, and blood biochemical parameters in lactating cows[J].

- Journal of Dairy Science, 2012, 95(10):5813-5820.
- [16] ARTHINGTON J D. Effects of copper oxide bolus administration or high-level copper supplementation on forage utilization and copper status in beef cattle. [J]. Journal of animal science, 2005, 83(12):2894-2900.
- [17] 鲍坤, 李光玉, 钟伟, 等. 微量元素铜与反刍动物营养关系的研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2010(13):25-27.
- [18] KRISHNAMOORTHY LAKSHMI, COTRUVO JOSEPH A, CHAN JEFFERSON, et al. Copper regulates cyclic-AMP-dependent lipolysis. [J]. Nature chemical biology, 2016, 12(8):586-592.
- [19] MESSERSMITH ELIZABETH M, HANSEN STEPHANIE L. Effects of dietary copper supplementation on performance, carcass characteristics, and lipolytic rate of beef steers fed ractopamine hydrochloride[J]. Translational Animal Science, 2021, 5(1):96-100.
- [20] 李万栋, 张晓卫, 冯宇哲, 等. 微量元素铜在反刍动物生产中的应用研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2021, 48(01):178-189.
- [21] KULJEET KAUR, RAJIV GUPTA, SHUBHINI A SARAF, et al. Zinc: The Metal of Life[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2014, 13(4):358-376.
- [22] COUSINS ROBERT J, BLANCHARD RAYMOND K, MOORE J BERNADETTE, et al. Regulation of zinc metabolism and genomic outcomes. [J]. The Journal of nutrition, 2003, 133(5):1521-1526.
- [23] IN-SOOK KWUN, YOUNG-EUN CHO, RIA-ANN R LOMEDA, et al. Marginal zinc deficiency in rats decreases leptin expression independently of food intake and corticotrophin-releasing hormone in relation to food intake[J]. British Journal of Nutrition, 2007, 98(3):485-489.
- [24] SANG K NOH, SUNG I KOO. Intraduodenal Infusion of Lysophosphatidylcholine Restores the Intestinal Absorption of Vitamins a and E in Rats Fed a Low-Zinc Diet[J]. Experimental Biology and Medicine, 2001, 226(4):342-348.
- [25] M PAOLA ZAGO, PATRICIA I OTEIZA. The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants[J]. Free Radical Biology and Medicine, 2001, 31(2):266-274.
- [26] MATTIOLI GUILLERMO ALBERTO, ROSA DIANA ESTHER, TURIC ESTEBAN, et al. Effects of Copper and Zinc Supplementation on Weight Gain and Hematological Parameters in Pre-weaning Calves. [J]. Biological trace element research, 2018, 185(2):327-331.
- [27] HILLARY R FELDMANN, DENIECE R WILLIAMS, JOHN D CHAMPAGNE, 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.
- [28] 陈俊材, 王威, 王之盛. 利用体外法研究纳米氧化锌的添加对瘤胃发酵的影响[J]. 动物营养学报, 2011, 23(08):1415-1421.
- [29] 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, 103:6100-6113.
- [30] 隋晨. 黄冈市围产期奶牛添加锌锰硒和二氢吡啶的研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2013.
- [31] ARELOVICH, FN OWENS, GW HORN, et al. Effects of supplemental zinc and manganese on ruminal fermentation, forage intake, and digestion by cattle fed prairie hay and urea [J]. Journal of Animal Science, 2000, 78(11):2972-2979.
- [32] ANA PAULA M? RSCHB? CHER, ANJA DULLIUS, CARLOS HENRIQUE DULLIUS, et al. Assessment of selenium bioaccumulation in lactic acid bacteria[J]. Journal of Dairy Science, 2018, 101(12):10626-10635.
- [33] 谢光洪, 黄梅, 袁路, 等. 谷胱甘肽过氧化物酶1(GPX1)抑制过氧化氢诱导的人脐静脉内皮细胞凋亡及机制[J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2019, 35(05):434-440.
- [34] 程峰, 张庸, 王祥, 等. 谷胱甘肽过氧化物酶 GPX4 在铁死亡中的作用与机制研究进展[J]. 现代肿瘤医学, 2021, 29(07):1254-1258.
- [35] 陆金苗, 韦娜娜, 周金林. 硫氧还蛋白还原酶结构与功能研究进展[J]. 动物医学进展, 2019, 40(09):79-83.
- [36] RENKO KOSTJA, WERNER MARGARETHE, RENNER-MÜLLER INGRID, et al. Hepatic selenoprotein P (SePP) expression restores selenium transport and prevents infertility and motor-incoordination in Sepp-knockout mice. [J]. The Biochemical journal, 2008, 409(3):741-749.
- [37] WALLACE LG, BOBE G, VORACHEK WR, et al. Effects of feeding pregnant beef cows selenium-enriched alfalfa hay on selenium status and antibody titers in their newborn calves [J]. J Anim Sci. 2017;95(6):2408-2420.
- [38] EL-SHARAWY MOHAMED, EID ENTSAR, DARWISH SAMY, et al. Effect of organic and inorganic selenium supplementation on semen quality and blood enzymes in buffalo bulls. [J]. Animal science journal = Nihon chikusan Gakkaiho, 2017, 88(7):999-1005.
- [39] WEI J Y, WANG J, LIU W, et al. Short communication: Effects of different selenium supplements on rumen fermentation and apparent nutrient and selenium digestibility of mid-lactation dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2019, 102(4):3131-3135.
- [40] SILVA J S, RODRIGUEZ F D, TRETTEL M, et al. Performance, carcass characteristics and meat quality of Nellore cattle supplemented with supranutritional doses of sodium selenite or selenium-enriched yeast[J]. animal, 2019, 14(1):215-222.
- [41] LIN SHI-LEI, WANG CONG-WU, TAN SI-RAN, et al. Selenium deficiency inhibits the conversion of thyroidal thyroxine (T4) to triiodothyronine (T3) in chicken thyroids. [J]. Biological trace element research, 2014, 161(3):263-271.
- [42] MICHAEL R F LEE, HANNAH R FLEMING, TRISTAN COGAN, et al. Assessing the ability of silage lactic acid bacteria to incorporate and transform inorganic selenium within laboratory scale silos [J]. Animal Feed Science and Technology, 2019, 253(C):125-134.
- [43] MOHAMED MOHSEN MANSOUR, AMIN O HENDWAY, MOUSTAFA M ZEITOUN. Effect of mastitis on luteal function and pregnancy rates in buffaloes[J]. Theriogenology, 2016, 86(5):1189-1194.

## Research Progress on the Effects of Trace Elements Iron, Copper, Zinc and Selenium on Beef Cattle

LIU Hong-kai<sup>1</sup>, WANG Hao-cheng<sup>1</sup>, TONG Yao-yi<sup>1</sup>, GUO Wen-wei<sup>1</sup>,  
GAO Jun-ping<sup>1</sup>, YUE Chun-wang<sup>1\*</sup>, SUN Mao-hong<sup>1\*</sup>, GAO Yong<sup>2</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Hebei North University, Zhangjiakou, Hebei 075000 China;  
2. Three Steps Fattening Feed R & D Center Co. LTD, Beijing 102206 China)

**Abstract:** Trace elements play an important role in the nutrition of beef cattle diets. This paper reviews the research progress on the physiological functions, interactions, growth promotion effects and appropriate dosages of iron, copper, zinc and selenium that need to be supplemented in beef cattle diets, which would provide a basis for the fine breeding of beef cattle and the formulation of diets.

**Key words:** beef cattle; diet formulation; trace element; production performance

(上接第75页)

- [36] 张莹蕾,汪银锋,李素平. 牛奶体细胞数的研究进展[J]. 河南畜牧兽医(综合版), 2008, 29(023):9-10.
- [37] TAL-STEIN R, FONTANESI L, DOLEZAL M, et al. A genome scan for QTL affecting milk somatic cell count in Israeli and Italian Holstein cows by means selective DNA pooling with multiple marker mapping[J]. Journal of Dairy Science, 2010, 93: 4 913-4 927.
- [38] CHESSA S, NICOLAZZI E L, NICOLOSO L, et al. Analysis of candidate SNPs affecting milk and functional traits in the dual-purpose Italian Simmental cattle[J]. Livestock Science, 2015, 173:1-8.
- [39] MANCINI G, NICOLAZZI E L, VALENTINI A, et al. Association between single nucleotide polymorphisms (SNPs) and milk production traits in Italian Brown cattle[J]. Livestock Science, 2013, 157(1): 93-99.
- [40] POLASIK D, J GOLI? CZAK, PROSKURA W, et al. Association between *THRSP* Gene Polymorphism and Fatty Acid Composition in Milk of Dairy Cows[J]. Animals, 2021, 11(4):1144.

## Research Progress on the Functional Role of Thyroid Hormone Response (THRSP) Gene in Milk Fat Synthesis in Bovine Species

WU Yu, MIAO Yong-wang\*

(College of Animal Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650210 China)

**Abstract:** Thyroid hormone responsive (*THRSP*) gene is involved in animal de novo fatty acid synthesis, mainly expressed in liver, mammary gland and adipose tissues, induced by factors related to lipid metabolism at the transcriptional level, and acts as transcriptional activators to regulate the expression of downstream lipid synthase genes. This paper reviews the research progress on the structure and function of *THRSP* gene, the mechanism of transcriptional regulation, the biological pathway for regulating fatty acid synthesis, and the effects of polymorphisms of the gene on lactation traits in bovine species.

**Key words:** *Thrsp* gene; milk fat synthesis; regulatory mechanism; expression and function; polymorphism