

肉仔鸡对不同铜源生物学效价的研究

周桂莲 韩友文 滕 冰 杜忠亮

(东北农业大学动物科学系, 哈尔滨, 150030)

摘要 试验采用 2×4 因子的试验设计, 通过屠宰试验结合代谢试验, 研究肉仔鸡对不同铜源(硫酸铜、蛋氨酸铜、硬脂酸铜和天然饲料铜)的生物学效价及植酸对其影响。其中天然饲料铜主要指玉米和豆饼中的铜。试验用 56 日龄 AA 肉仔鸡 16 只, 单笼个体饲养, 每处理 2 个重复, 采用强饲法, 自由饮水。以淀粉—酪蛋白为主构成纯合型基础日粮。纯合型试验日粮的补铜水平与天然饲料的含铜量一致, 为 4.29mg/kg 。外加植酸设两个水平: 0% 和 1%。预试期 3 天, 饲喂无铜纯合日粮, 试验期 3 天, 其中代谢试验期 2 天。结果表明: 在本试验研究条件下, 不同铜源对试鸡铜表观代谢率影响不显著; 对肝脏铜浓度和红细胞铜—锌超氧化物歧化酶活性有极显著的影响(硫酸铜 > 蛋氨酸铜 > 天然饲料铜 > 硬脂酸铜)。日粮植酸水平对试鸡铜的表观代谢率、肝脏铜浓度及红细胞铜—锌超氧化物歧化酶活性的影响程度因铜源而异。就铜表观代谢率来说, 硫酸铜组和蛋氨酸铜组因添加植酸降低量较大, 硬脂酸铜次之, 天然饲料铜则基本不受其影响。肝脏铜浓度和红细胞铜—锌超氧化物歧化酶活性受植酸的影响表现出一致的趋势: 硫酸铜和硬脂酸铜降低量大, 蛋氨酸铜和天然饲料铜则受植酸影响较小。在本试验条件下, 测得各铜源在日粮植酸水平为 0% 和 1% 时的相对生物学效价(不添加植酸的硫酸铜组设为 100,) 如下: 以表观代谢率为评价指标时, 硫酸铜: 100 和 34.93, 硬脂酸铜: 91.39 和 53.32, 蛋氨酸铜: 86.39 和 41.39, 天然饲料铜: 97.29 和 86.44; 以肝脏铜浓度为评价指标时, 硫酸铜: 100 和 57.59, 硬脂酸铜: 69.19 和 59.19, 蛋氨酸铜: 73.21 和 73.24, 天然饲料铜: 69.45 和 81.74; 以红细胞铜—锌超氧化物歧化酶活性为评价指标时, 硫酸铜: 100 和 45.03, 硬脂酸铜: 74.44 和 42.01, 蛋氨酸铜: 82.63 和 73.17, 天然饲料铜: 75.97 和 65.02。

关键词 铜源 生物学效价 植酸 肉仔鸡

关于不同铜源生物学效价的评定, 50 年代至今已经经历了几个阶段。最初, 人们用常规平衡试验进行这方面的研究, 但 Mills(1971) 和 Miller(1983) 发现因为动物消化的铜只有一小部分被吸收利用, 其差别很容易被分析误差所掩盖, 从而导致错误的定论。Lassiter(1960) 和 Buescher(1961) 曾用 Cu^{64} 标记研究不同铜化合物的生物效价取得成功, 但用同位素标记技术要求技术水平高, 耗资巨大, 不易推广使用。Black(1984) 首次以试鸡短期内采食高锰水平的日粮得到的组织锰浓度为基础, 采用斜率比法测定锰源生物学效价取得成功, 创立了锰源生物学效价的生物学评定体系。Ledoux(1987, 1989, 1991), Pott(1994), Zantatti(1991), Baker(1991), Izquierdo(1986) 等曾将这种方法用于铜源效价的评定, 并获得成功。然而, Davis(1987) 研究表

收稿日期: 1995-10-16

明,当日粮铜水平高于需要量时,小肠对铜的吸收是被动扩散过程,而铜水平低于需要量时,吸收过程则是主动的转运过程。基于此,Aoyagi和Baker(1992,1993),在研究当日粮铜水平远低于需要量时(0.56~2.56mg/kg)的铜源的效价,证实此时对日粮铜水平反应敏感的指标是胆汁铜。排空—恢复(Depletion-Repletion,缩写为D-R,下同)技术是指先以缺铜日粮饲喂动物,使动物体内的铜耗竭,之后,饲喂补铜日粮,此时组织铜浓度或相关的酶指标可用于评价不同铜源的生物学效价。Kirchgeßner(1970),Suttle(1974),Lee(1988),Lo(1984)等将此技术用于评定大鼠对铜的利用,但未见用于肉仔鸡的报导。本试验试图用此技术测定肉仔鸡对不同铜源的生物效价,同时,比较植酸对其影响。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验采用2×4因子试验设计,结合代谢试验进行,详见表1。

1.2 基础日粮组成

基础日粮采用淀粉—酪蛋白纯合日粮,其成分见表2。外加的硫酸铜、硬脂酸铜和蛋氨酸铜是由东北农业大学中心实验室制备的纯品,各处理组的铜添加量同天然饲料铜含量相同,均为4.29mg/kg。天然饲料组日粮组成见表2。

1.3 试验动物及饲养管理

试验选用健康的、体重相近的16只56日龄AA肉仔鸡,公、母各半。预试期3天,强饲无铜纯合日粮(排空期)。试验期3天,饲喂补铜的试验日粮(恢复),代谢试验两天。整个试验期采用强饲方法,每日每只喂料100g。每日8:00、20:00时两次投料。自由饮用去离子水,每处理组2个重复,每重复1只鸡,试鸡单笼饲养,预试期结束时对试鸡采血,并立即提取粗酶液。

强饲方法:将饲料压成直径1cm,长3cm的圆柱形颗粒料,按喂料量准确称量,一次经口投入。

1.4 测定指标及仪器

1.4.1 测定指标

红细胞铜—锌超氧化物歧化酶(ECu-ZnSOD,下同)活性、胆汁中铜浓度、风干排泄物中铜浓度。

1.4.2 计算方法

表1 试验设计

Table 1. Design of experiment

铜源 Copper sources	硫酸铜 CuSO ₄ ·5H ₂ O		硬脂酸铜 Copper stearate		蛋氨酸铜 Copper methionine chelate		天然饲料铜 Natural copper	
代号 Code	A		B		C		D	
植酸水平 Phytic acid level	0	1	0	1	0	1	0	1
处理 Treatments	A-1	A-2	B-1	B-2	C-1	C-2	D-1	D-2

①本试验天然饲料主要指玉米和豆饼;②植酸以植酸钠形式添加,添加水平为1%;③天然饲料组植酸水平为0指不加植酸钠,此时饲料植酸含量为0.14%

表 2 纯合日粮组成及营养成分表

Table 2. Composition and Nutrient level of purified diets and conventional diets

纯合日粮 Purified diets				常规日粮 Conventional diets			
日粮成分 Ingredients	含量 Content (%)	项目 Item	营养指标 Nutrient level	日粮成分 Ingredients	含量 Content (%)	项目 Item	营养指标 Nutrient level
玉米淀粉 Corn starch	43.0	代谢能 ME	12.16	去皮玉米 Dehulled corn grains	63.00	代谢能 ME	13.25
酪蛋白 Casein	21.0	(MJ / kg)		玉米蛋白粉 Corn gluten meal	3.00	(MJ / kg)	
蔗糖 Sucrose	21.0	粗蛋白 CP	19.54	鱼粉 Fish meal	5.00	粗蛋白 CP	19.04
石粉 Ground limestone	1.4	(%)		豆粕粉 Soybean meal	19.00	(%)	
磷酸氢钙 CaHPO ₄	2.5	蛋氨酸 Met	0.50	玉米淀粉 Corn starch	4.50	蛋氨酸 Met	0.46
蛋氨酸 DL - methionine	0.5	(%)		石粉 Ground limestone	1.40	(%)	
赖氨酸 Lysine Hcl	1.0	赖氨酸 Lys	1.00	磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.20	赖氨酸 Lys	1.07
植物油 Plant oil	7.0	(%)		蛋氨酸 DL - methionine	0.10	(%)	
M - premix	0.4	钙 Ca (%)	1.07	植物油 Plant oil	1.50	钙 Ca (%)	1.04
V - premix	0.24	有效磷 AP	0.40	食盐 Salt	0.40	有效磷 AP	0.50
食盐 Salt	0.4	(%)		氯化胆碱 Choline chloride(50%)	0.10	(%)	
氯化胆碱 Choline chloride(50%)	0.1	铜 Cu	4.29	V - premix	0.12	铜 Cu	4.29
纤维素 Cellulose	1.0	(mg / kg)		M - premix	0.25	(mg / kg)	

①M - premix 为微量元素添加剂预混料，自配，不含铜，其组成为 (%)：MnSO₄ · H₂O, 10.99；ZnSO₄ · H₂O, 9.86；FeSO₄ · H₂O, 6.21；KI, 0.44；Na₂SeO₃, 0.30；沸石, 72.36

②V - premix 为维生素添加剂预混料，从东北农业大学饲料添加剂厂购入。其组成为 (每公斤含量)：VA 675 万 IU；VD₃ 125 万 IU；VE 2250 IU；VK₃ 625mg；VB₁ 250mg；VB₂ 1875mg；VB₁₂ 3.75mg；烟酸 4.375g；泛酸钙 3.125g；叶酸 62.5mg

③日粮组成用各种铜源和沸石补足到 100%。植酸组用 1% 植酸钠替换玉米淀粉，天然饲料组在原植酸基础上加到 1%

(1)ECu - ZnSOD 活性(μ / ml 血液) =

$$[(\text{标准液速率} - \text{样液速率}) \div \text{标准液速率} \times 100\%] \div 50\% \times \text{反应液总体积}$$

公式中速率指标准液或样液吸光度的变化速率。

(2)铜的表现代谢率(%) = (铜食入量 - 铜排出量) ÷ 铜食入量 × 100%

1.4.3 仪器：酶活测定用美国 Beckman 公司生产的 DU - 7 型紫外分光光度计及“时间驱动”附件进行，铜含量测定用 Pekin - Elmer ICP - 6500 型等离子发射光谱仪进行。

1.5 样品的采集和制备

1.5.1 粗酶液的提取：放血屠宰鸡时，采血 1.5ml，放入用肝素处理过的 5ml 试管中，取 0.1ml 全血，加入盛有 5ml 生理盐水的刻度离心管中，1250rpm 离心 10 分钟，弃上清液，重复一次。然后加去离子水 0.4ml，溶血 5 分钟，加预冷 95% 乙醇 0.2ml，振摇 2 分钟后加氯仿 0.2ml，振摇 2 分钟，3000 - 3500rpm 离心 5 分钟，吸取上清液用于测定 ECu - ZnSOD 活性。

1.5.2 肝样制备：每只试鸡放血后，开膛，取出肝脏，去除胆囊及其它结缔组织，放入编号塑料袋中备消化测铜。

1. 5. 3 排泄物样品的制备：将排泄物样品完全收于编号的不锈钢盒中，将不锈钢盒放于 120℃烘箱中烘半小时进行灭菌，然后将烘箱温度调到 65℃烘干，在室温下回潮 48 小时后称重，用小型粉碎机粉碎，装入编号塑料袋中，备消化测铜。

1. 5. 4 测定方法：酶活用连苯三酚自氧化法测定(谢卫华等, 1988)。肝脏和排泄物样品用干法消化后，测铜含量。

2 试验结果

2.1 不同铜源的生物学效价

2.1.1 肝脏铜浓度：不同铜源对试鸡肝脏铜浓度的影响在统计上差异极显著($P < 0.01$) 硫酸铜组极显著高于其余 3 组，蛋氨酸铜组、硬脂酸铜组、天然饲料铜组之间差异不显著($P > 0.05$)，详见表 3。

2.1.2 ECu - ZnSOD 活性：不同铜源对试鸡 ECu - ZnSOD 活性的影响在统计上差异极显著($P < 0.01$)，硫酸铜组和蛋氨酸铜组极显著高于硬脂酸铜组和天然饲料铜组，详见表 4。

2.1.3 铜的表现代谢率：不同铜源对试鸡食入铜的表现代谢率的影响在统计上差异不显著($P > 0.05$)，详见表 5。

2.2 日粮中植酸水平对不同铜源生物学效价的影响

2.2.1 肝脏铜浓度：表 6 列出了日粮中植酸水平对试鸡肝脏铜浓度的影响。表 6 表明，不同铜源受植酸影响的程度不同，硫酸铜组差异极显著($P < 0.01$)，硬脂酸铜组差异显著($P < 0.05$)，蛋氨酸铜和天然饲料铜组差异不显著($P > 0.05$)；日粮植酸水平为 1%时，不同铜源对肝脏铜浓度的影响在统计上差异极显著($P < 0.01$)。

2.2.2 ECu - ZnSOD 活性：日粮中植酸水平对采食不同铜源的试鸡的 ECu - ZnSOD 活性影响不同，硫酸铜组和硬脂酸铜组差异显著($P < 0.05$)，蛋氨酸铜和天然饲料铜组差异不显著

表 3 铜源与试鸡肝脏铜浓度
Table 3. Copper sources and copper concentration in liver of broilers

	硫酸铜 CuSO ₄ · 5H ₂ O	硬脂酸铜 Copper stearate	蛋氨酸铜 Copper methionine chelate	天然饲料铜 Natural copper
测值 Determined value(mg / kg)	11.38 ^A ± 0.02	7.88 ^B ± 0.01	8.33 ^B ± 0.02	7.91 ^B ± 0.08

①表中肩标为大写字母其测值的显著水平为 0.01，小写字母其测值的显著水平为 0.05(后表同)，字母相同者差异不显著，不同者差异显著，下同；②表中数值为 $\bar{X} \pm SE$ ，下同

表 4 铜源与 ECu - ZnSOD 活性
Table 4. Copper sources and erythrocyte copper - zinc superoxide dismutase

	硫酸铜 CuSO ₄ · 5H ₂ O	硬脂酸铜 Copper stearate	蛋氨酸铜 Copper methionine chelate	天然饲料铜 Natural copper
测值 Determined value(u / ml)	1.19 ^A ± 0.02	0.89 ^B ± 0.01	0.98 ^A ± 0.02	0.90 ^B ± 0.08

($P>0.05$)。日粮植酸水平为 1% 时,不同铜源对 ECu-ZnSOD 活性的影响差异显著($P<0.05$),蛋氨酸铜和天然饲料铜组显著高于硫酸铜和硬脂酸铜组,详见表 7。

2. 2. 3 铜表观代谢率: 试验结果见表 8。日粮植酸水平对试鸡不同铜源铜的表观代谢率的影响程度不同。硫酸铜和蛋氨酸铜组差异极显著($P<0.01$),硬脂酸铜组和天然饲料铜组差异不显著($P>0.05$)。日粮植酸水平为 1% 时,不同铜源对铜表观代谢率的影响在统计上差异极显著($P<0.01$)。

3 分析和讨论

3.1 各种铜源的溶解度和存在形态

本试验所用蛋氨酸铜是一种螯合物,是由两个蛋氨酸分子和一个铜原子螯合在一起形成的内络盐。它在纯水中的溶解度为 $38.2\mu\text{mol}$,在 $\text{pH}=3.6$ (此 pH 值与鸡腺胃中的相似)的醋酸-醋酸钠缓冲溶液中溶解度也只有 $612\mu\text{mol}$,可见其溶解度很低。硬脂酸铜是一种有机酸盐,是脂溶性的,只有在脂肪或表面活性剂(如胆汁)存在时才能溶解,不溶于水。因此,在水或缓冲液中,蛋氨酸铜的溶解度远高于硬脂酸铜。Underwood(1977)指出天然饲料中的铜是不溶

表 5 铜源与铜的表观代谢率
Table 5. Copper sources and apparent metabolizability of copper

	硫酸铜 CuSO ₄ · 5H ₂ O	硬脂酸铜 Copper stearate	蛋氨酸铜 Copper methionine chelate	天然饲料铜 Natural copper
测值 Determined value(mg / kg)	74.9 ^a ± 0.52	68.5 ^a ± 0.99	64.7 ^a ± 0.58	72.9 ^a ± 0.48

表 6 日粮植酸水平与试鸡肝脏铜浓度
Table 6. Phytic acid level of diets and copper concentration in liver of broilers

植酸水平 Phytic acid level	硫酸铜 CuSO ₄ · 5H ₂ O (mg / kg)	硬脂酸铜 Copper stearate (mg / kg)	蛋氨酸铜 Copper Methionine chelate (mg / kg)	天然饲料铜 Natural copper (mg / kg)
0 %	11.38 ^a ± 0.02	7.88 ^b ± 0.01	8.33 ^b ± 0.02	7.91 ^b ± 0.08
1 %	6.56 ^b ± 0.02	5.83 ^b ± 0.04	8.34 ^b ± 0.06	9.31 ^a ± 0.06
显著性 Significant level	**	*	NS	NS

表中肩标字母为同一植酸钠水平不同铜源间的比较,“显著性”为同一铜源不同植酸钠水平间的比较,下同: * 显著, ** 非常显著, NS 不显著, 下同

表 7 日粮植酸水平与红细胞铜- 锌超氧化物歧化酶活性
Table 7. Phytic acid level of diets and erythrocyte copper - znic superoxide dismutase

日粮植酸水平 Phytic acid level	硫酸铜 CuSO ₄ · 5H ₂ O (μ / ml)	硬脂酸铜 Copper stearate (μ / ml)	蛋氨酸铜 Copper methionine chelate (μ / ml)	天然饲料铜 Natural copper (μ / ml)
0 %	1.19 ^a ± 0.02	0.89 ^b ± 0.01	0.98 ^a ± 0.02	0.90 ^b ± 0.08
1 %	0.54 ^b ± 0.11	0.50 ^b ± 0.07	0.87 ^a ± 0.05	0.77 ^a ± 0.05
显著性 Significant level	*	*	NS	NS

表 8 日粮植酸水平与铜的表现代谢率

Table 8. Phytic acid level of diets and apparent metabolizability of copper

日粮植酸水平 Phytic acid level	硫酸铜 CuSO ₄ · 5H ₂ O (μ / ml)	硬脂酸铜 Copper stearate (μ / ml)	蛋氨酸铜 Copper methionine chelate (μ / ml)	天然饲料铜 Natural copper (μ / ml)
0%	74.92 ^a ± 0.52	68.47 ^a ± 0.99	64.72 ^a ± 0.58	72.83 ^a ± 0.48
1%	26.17 ^b ± 0.12	38.45 ^b ± 1.83	31.01 ^b ± 0.14	64.76 ^b ± 0.76
显著性 Significant level	＊ ＊	NS	＊ ＊	NS

性的，它以多种化学形态和结合体存在于饲料中。硫酸铜是一种最常见的可溶性无机铜盐，其溶解度与蛋氨酸铜相比高出很多倍。

3.2 铜的表现代谢率

试验结果表明，在本试验条件下（基础日粮是酪蛋白—淀粉为主的纯合日粮，4.29mg / kg，低水平补铜），各种铜源的表现代谢率测值均很高，平均为 70.25%，从统计上看，各铜源的测值差异不显著（*P* > 0.05），见表 5。关于肉仔鸡对不同铜源的表现代谢率这一专题，尚未见到公开报导。

本试验采用 D-R 方法进行，试鸡先饲喂 3 天无铜的纯合日粮，目的在于使试鸡处于乏铜状态或使试鸡体内的铜水平趋于一致，但经观察，试鸡未表现出明显的铜缺乏症。接着饲喂补铜日粮，由于鸡体内稳态调节机制（Homeostatic mechanism）的作用，鸡的消化道将尽量多地吸收铜，以补其所需。Underwood（1997）指出，动物肠道会按身体需要调节对铜的吸收量，至少在膳食中铜水平低时情况如此。Aoyagi（1993）报道，处于缺铜条件下的肉仔鸡，铜的吸收效率很高。本试验结果再次证明了这一论点。

日粮的植酸水平对铜的表现代谢率的影响，不同铜源反应不同。总的来看，由于植酸的加入降低了铜的表现代谢率。本试验结果与前人许多试验结果一致。Davis（1962）研究发现，由于大豆蛋白中植酸的存在降低了雏鸡对铜的利用率。Davies Nightengale（1975）曾报道随大鼠日粮中植酸水平增加，铜的吸收率降低。Underwood（1977）总结了许多研究结果后指出，饲料中植酸盐能与铜生成极稳定的络合物，从而降低铜的吸收率。孙长春（1990）研究证实，日粮中铜吸收利用率与日粮植酸磷含量呈强负相关。然而也有试验表明，植酸并不能降低铜的吸收率。Lo 和 Settle（1984）研究报道大豆分离蛋白中的植酸（含量为 0.05%~0.27%）没有降低铜的吸收率。Lee（1984）报道，大鼠日粮中 0.4% 或 0.8% 的植酸不但没有降低铜的吸收率，反而使其提高了。上述研究结果不同的原因可能在于试验日粮中的植酸含量不同，Davis（1962）、Davies（1975）和孙长春（1990）试验用植酸水平大于 1%，而 Lo（0.05%~0.27%）和 Lee（0.4%~0.8%）则小于 1%。本试验日粮植酸添加水平为 1%，试验结果与 Davis 等的基本一致。

Wallace（1960）、John（1990）、Ledoux（1991）等的研究证明，无机铜源的可利用性与该铜源的溶解度有关，溶解度低的可利用性较差。本试验所用硬脂酸铜的溶解度比蛋氨酸铜低，试验测得硬脂酸铜的表现代谢率（68.47%，38.45%）高于蛋氨酸铜（64.72%和 31.01%），从抗植酸干扰能力来看，硬脂酸铜的表现代谢率略优于蛋氨酸铜。葛桂花（1989）的研究结果表明，有植酸和钙干扰存在时，蛋氨酸锌内络盐的吸收利用率高于蛋氨酸锌络阳离子的，而内络盐的溶解度比络阳离子的低。由此推测，对于有机酸盐或氨基酸金属螯合物低溶解度的效价不一定

低,至少吸收率表现出优势。至于吸收后能否被有效利用,这决定于该物质的化学结构。因此,含铜化合物溶解度的高低并不能决定该化合物中铜的效价如何,要根据它的性质而定。但是对于硬脂酸铜中的铜是如何通过肠粘膜被吸收的问题,有待于进一步研究探讨。

3.3 肝脏铜浓度

试验结果表明:在本研究条件下,不同铜源对试鸡肝脏铜浓度的影响表现出极显著差异($P < 0.01$)。以肝脏铜浓度为指标,设硫酸铜为100%,则蛋氨酸铜、硬脂酸铜和天然饲料铜的相对生物学效价分别为73.21%、69.19%和69.45%。Ledoux(1987)报道醋酸铜、硫酸铜、碳酸铜和氧化铜为外加铜源,补铜水平大于150mg/kg时,各处理组对试鸡肝铜有极显著影响。Cromwell(1989)、Zanetti(1991)、Ledoux等(1991)分别用仔猪和肉仔鸡的研究表明,日粮中高剂量补铜时,不同铜源对试验动物的肝脏铜有极显著的影响。Baker(1991)采用高剂量补铜,证明赖氨酸铜螯合物和硫酸铜组试鸡的肝铜浓度显著高于氧化铜组,而前两者无显著差异。Pott(1991)等报道,以肝脏铜浓度为指标研究确定赖氨酸铜对羊和鸡的生物效价分别为68%和99%(硫酸铜为100%)。Kegley(1994)用牛的研究也证明,赖氨酸铜的生物效价与硫酸铜相似。早在1965年Bunch曾报道蛋氨酸铜对猪的增重作用与硫酸铜组差异不显著。由本试验结果可见,以肝脏铜为指标,没有植酸干扰时,蛋氨酸铜的效价比硫酸铜稍差,但比硬脂酸铜和天然饲料铜稍好。Zinpro公司(1983)资料表明,金属元素的氨基酸螯合物并非纯单一的化学物质,它们对与之结合的物质无特定要求,金属原子对氨基酸分子的键合比例是不定的,其产品随生产条件的不同也各不相同,从而不同产品中化学键的强度及分子量也都各不相同,这也许可以解释本试验所得结果与其他研究者结果的不一致性。

日粮植酸水平对试鸡肝脏铜浓度的影响,不同铜源表现不同。日粮植酸水平为1%时,各铜源的相对生物学效价分别为(设植酸水平为0%,硫酸铜为100%),硫酸铜:57.59、硬脂酸铜:51.19、蛋氨酸铜:73.24、天然饲料铜:81.74。Funk和Baker(1991)报道,由于日粮中植酸的存在,降低了试鸡肝脏铜浓度。Davies(1975)报道,肝铜随日粮植酸水平的增加而降低。Leach(1990)的研究指出,向雏鸡低钙纯合日粮中添加植酸,引起肝铜增加,而钙水平正常时,则肝铜降低。本试验硫酸铜和硬脂酸铜的结果与上述研究结论一致。关于植酸水平对蛋氨酸铜的影响尚未见报道。由本试验结果可见,尽管植酸的添加降低了蛋氨酸铜的表观代谢率,但它一旦被小肠吸收,由于其特殊的分子结构,会很快转运到肝脏等器官,进而发挥其生理功能。而硬脂酸铜尽管在消化道中抗植酸干扰能力比蛋氨酸铜稍强,但从肝脏铜浓度来看,吸收后的利用性较差,这可能由于它不能被有效转运造成的。因此,从肝脏铜浓度来看,蛋氨酸铜仍是一种非常有效的铜添加剂。

3.4 红细胞超氧化物歧化酶的活性

本试验表4结果表明:不同铜源对试鸡ECu-ZnSOD活性的影响在统计上差异极显著($P < 0.01$)。关于以ECu-ZnSOD作为指标评定不同铜源的生物学效价,目前还未见公开报道。由本试验测得的数据可见,以硫酸铜为100%,蛋氨酸铜为82.63%,天然饲料铜为75.97%,硬脂酸铜为74.44%。Lee(1988)报道,给处于缺铜状态的大鼠饲以不同水平补铜的日粮后,肝中的ECu-ZnSOD活性得到不同程度的提高。Disilvestro(1988)对大鼠血清中Cu-ZnSOD活性的研究表明,血清中Cu-ZnSOD活性对日粮铜变化敏感。Paynter(1979)、Prohaska(1991)的

研究也指出,肝中 Cu-ZnSOD 活性对日粮铜水平反应敏感。但是,肝脏中 Cu-ZnSOD 活性测定工作较难进行,血清中 Cu-ZnSOD 含量又太低。Mills(1987)在其综述中指出,羊和牛的 ECu-ZnSOD 活性因日粮中铜的缺乏而降低,补铜后还可增加。但是,以 Cu-ZnSOD 活性作为评价指标时应注意:在机体缺铜时,Cu-ZnSOD 活性随日粮铜水平变化有较大变化,但机体铜处于临界水平或高于临界水平时,由于体液环境稳衡机制的作用,Cu-ZnSOD 活性则不再有变化。也就是说,一旦体内的铜满足了 Cu-ZnSOD 的需要,吸收的铜再增加就不再对它有影响。这也是本试验采用 D-R 法的原因之一。Prohaska(1990),刘昊(1992)在猪饲料中分别补铜 4.36、62.5、125、250mg/kg,就没有观察到 ECu-ZnSOD 活性的变化。本试验补铜水平为 4.29mg/kg,低于肉仔鸡对铜需要量,故能测定和分析不同铜源对该酶活性的影响。

试验结果表明:日粮植酸水平对试鸡 ECu-ZnSOD 活性的影响程度因铜源而异。本试验测得日粮植酸水平为 1%时,各铜源的生物学效价分别为(设植酸水平为 0%,硫酸铜为 100%):硫酸铜:45.03,硬脂酸铜:42.01,蛋氨酸铜:73.17,天然饲料铜:65.02。可见,在本试验条件下,以肝脏铜浓度和 ECu-ZnSOD 活性为指标得到的结论基本一致。

Cu-ZnSOD 是细胞内一种过氧化物清除剂,该酶含两种金属元素:铜和锌,其中锌原子与酶分子的结构稳定性有关,而铜原子参与酶的活性中心组成,直接与酶的活性有关。因而,根据动物 Cu-ZnSOD 活性的变化,可比较灵敏地反映机体铜的营养状态。

综合本试验选用的 3 个指标:食入铜的表观代谢率、肝脏铜浓度和 ECu-ZnSOD,可以看出,这 3 个指标对于反映机体铜营养状态是逐步深入的。表观代谢率只涉及食入量和排出量,而不涉及中间过程,是一个比较粗略的指标。肝脏铜参与各种含铜酶的合成并包含存储的铜,它仍不能直接反应铜的利用情况。ECu-ZnSOD 活性可直接反映铜的利用状况,是一个更确切的指标。试验结果表明:随评价指标的深入,蛋氨酸铜的生物学效价逐渐表现出其优势。

参考文献

- 葛桂花.1992.蛋氨酸螯合锌对雏鸡的营养效果及内源锌排出量的测定.东北农业大学硕士毕业论文
- 刘昊等.1992.日粮中铜水平对生长猪血清某些微量元素浓度及几种酶活性的影响.福建农学院学报,21(2):198~302
- 孙长春.1990.生长猪饲料中植酸水平对体内矿物质代谢的影响,畜牧与兽医,(5):19~20
- Aoyagi S, Baker D H. 1992. Bioavailability of copper in inorganic and organic copper supplement for young chicks. *Poultry Sci.*, 71(Suppl):68(Abstr.)
- Aoyagi S, Baker D H. 1993a. Bioavailability of copper in analytical-grade and feed-grade inorganic copper sources when fed to provide copper at levels below the chick's requirement. *Poult. Sci.*, 72:1075~1083
- Aoyagi S, Baker D H. 1993b. Estimate of copper bioavailability from liver of different animal species and from feed ingredients derived from plants and animals. *Poult. Sci.*, 72:1746~1755
- Aoyagi S, Baker D H. 1993c. Nutritional evaluation of copper-lysine and zinc-lysine complexes for chicks. *Poult. Sci.*, 72:165~171
- Aoyagi S, Baker D H. 1993d. Biological efficacy of copper in chicken bile. *J. Nutr.*, 123:870~875
- Baker D H, Ddle J, Funk M A, Wieland T M. 1991. Bioavailability of copper in cupric oxide, cuprous oxide, and in a copper-lysine complex. *Poult. Sci.*, 70:177~179

- Black J R , Ammerman C B , Henry P R , Miles R D 1984 . Biological availability of manganese on tissue mineral composition of broiler - type chick . *Poult. Sci.* , 50:1999~2006
- Buescher R G Griffin S A , Bell M C , 1961 . Copper availability to swine from Cu^{64} labelled inorganic compounds . *J. Anim. Sci.* , 20 (3): 529~531
- Bunch R J , McCall J T , Speer V C , Hays V W . 1965 . Copper supplementation for weanling pigs . *J Anim. Sci.* , 24(4):995~1000
- Davies N T , Nightengale R N . 1975 . The effects of phytate on intestinal absorption and secretion of zinc , and whole - body retention of zinc , copper , iron and manganese in rats , *Br. J. Nutr.* , 34:243~258
- Davis P N , Norris I. C , Kratzer F H . 1962 . Interference of soybean proteins with the utilization of trace minerals . *J Nutr.* , 77:217~223
- Davis I. W , Mortz W . 1987 . Trace elements in human and animal . Academic Press , New York , pp:301~364
- Disilvestro R A . 1988 . Influence of copper intake and inflammation on rat serum superoxide dismutase activity levels . *J Nutr.* , 118:474~479
- Funk M A , Baber D H . 1991 . Toxicity and tissue accumulation of copper in chicks fed casein and soy - based diets . *J Anim. Sci.* , 69:4505~4511
- Izquierdo O , Baker D H . 1986 . Bioavailability of copper in pig feces . *Can. J Anim. Sci.* , 66:1145~1148
- Kegley E B , Spears J W . 1994 . Bioavailability of feed - grade copper sources (oxide, sulfate, or lysine) in growing cattle . *J Anim. Sci.* , 72:2728~2734
- Kirchgesner M , Grassman E . 1970 . Dynamics of copper absorption . In *Trace Element Metabolism in Animals* , 1:227~287
- Lassiter J W , Bell M C . 1960 . Availability of copper to sheep from Cu^{64} labeled inorganic compound . *J Anim. Sci.* , 19(2):754~762
- Leach R M , Rosenblum C I , Amman M J , Burdette J . 1990 . Broiler chicks fed low - calcium diets . *Poult. Sci.* , 69:1905~1910
- Ledoux D R , Ammerman C B , Miles R D . 1987 . Biological availability of copper source for broiler chicks . *Poult. Sci.* , 66(suppl. 1)24:(Abstr.)
- Ledoux D R , Henry P R . 1991 . Estimation of the relative bioavailability of inorganic copper sources for chicks using tissue uptake of copper . *J Anim. Sci.* , 69:215~222
- Ledoux D R , 1989 . Effect of dietary copper and age on tissue mineral composition of broiler - type chicks as a bioassay of inorganic copper source . *Nutr. Rep. Inter.* , 40(1):53~66
- Lee D , Schroeder J , Gordon D T . 1988 . Enhancement of Cu bioavailability in the rat by phytic acid . *J Nutr.* , 118:712~717
- Lo G S , Settle S L , Steike F H . 1984 . Bioavailability of copper in isolated soybean protein using the rat as an experimental model . *J Nutr.* , 114:332~340
- Mills C F , William R B . 1971 . Problems in the determination of the trace element requirement of animals . *Proc. Nutr. Soci.* , 30:83~91
- Mills C F . 1987 . Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals : copper, cobalt and zinc . *J Anim. Sci.* , 65:1702~1711
- Millet E R . 1983 . Techniques for determination bioavailability of trace elements . In: *Proc. of the 6th Annu. Int. Minerals Conf.* , St. Petersburg Beach FL
- Paynter D I , Moir R J , Underwood E J . 1979 . Change in activity of the Cu , Zn - superoxide dismutase enzyme in tissues of the rat with changes in dietary copper . *J Nutr.* , 109:1570~1576

- Pott E B , Henry P R , Ammerman C B , Merritt A M . 1994 . Relative bioavailability of copper in a copper - lysine complex for chicks and lambs . *Animal Feed Science and Technology* , 45 : 193 ~ 203
- Prohaska J R . 1990 . Biochemical changes in copper deficiency . *J Nutr , Biochem* , 1 : 452 ~ 459
- Prohaska J R . 1991 . Change in Cu , Zn - superoxide dismutation cytochrome C oxidase , glutathione peroxidase and glutathione transferase activity in copper - deficient mice and rats . *J Nutr* , 121 : 355 ~ 363
- Sandstead H H . 1982 . copper bioavailability and requirement . *Am . J Clin . Nutr* , 35 : 809 ~ 814
- Suttle N F . 1974 . A technique for measuring the biological availability of copper to sheep using hypocupremic ewes . *Br . J Nutr* , 32 : 395 ~ 405
- Underwood E J . 1977 . Trace element in human and animal nutrition . Academic Press . New York . PP58 ~ 106
- Wallace H D , McCall J T , Bass B , Combs G E . 1960 . High level copper for growing - finishing swine . *J Anim . Sci* , 19 (4) : 1153 ~ 1163
- Wise A . 1986 . Influence of calcium on trace metal phytate interaction . In : Phytic Acid Chemistry and Application . PP151 ~ 160
- Zanetti M A , Henry P R , Ammerman C B , Miles R D . 1991 . Estimation of the relative bioavailability of copper sources in chicks fed on conventional dietary amount . *Br . Poult . Sci* , 32 : 583 ~ 588

欢迎入编《中国农牧业单位名录大全》

为进一步加强全国农业战线各单位之间的横向联系,沟通供需渠道,及时传递信息,交流经验,促进中国农牧业发展,全国农业新技术产品传播网专家委员会与中国农业科技出版社正在组织出版一本高水平、高质量的《中国农牧业单位名录大全》。该《大全》共编入全国农业科研、教学、企事业单位名录3万个左右,是迄今为止国内入编单位最多、发行量最大的农牧业单位名录。

《大全》分《种植业分册》、《养殖业分册》共两册,编排按邮政编码的顺序排列,附有单位分类索引,便于查找。为便于国际交流,《大全》将选编部分国外驻华办事处(机构)、代理商名录。

《大全》16开本,200万字左右,由新华书店征订发行,印发数量2万册,由中国农业科技出版社10月份出版,每册定价46元。现在开始征订。

《大全》编委会欢迎农牧业单位踊跃入编。可选择免费入编(单位、地址、邮编、电话)和交费入编(另加企业与产品简介,每200字50元)。

《大全》另设若干彩页广告,只收成本费,欢迎预订,详细办法函索即寄。

(联系地址:100094 北京农业大学 刘铁斌博士 电话(010)62872631)

STUDY ON THE BIOAVAILABILITY OF DIFFERENT COPPER SOURCES FOR BROILERS

Zhou Guilian Han Youwen Teng Bing Du Zhongliang

(Northeast Agricultural University, Harbin, 150030)

ABSTRACT

16 fifty - six - day old Abro Acres broilers were used to evaluate the bioavailability of different copper sources and the effect of phytic acid on it. Broilers were allotted randomly to a 2×4 factorial design with two duplicates, and fed diets included a casein - corn starch basal purified diet supplemented with 4.29mg / kg Cu as $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, copper stearate [$(\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2)_2\text{Cu}$, SCu], copper methionine chelate [$\text{Cu}(\text{met})_2$] and the conventional diet based corn - soybean (this Cu source was named as nature Cu in this study, NCu). Levels of exogenous phytic acid were 0% and 1% as sodium phate at each Cu source. The Depletion - Repletion technique combined with balance experiment was used in this study. Apparent metabolizability of Cu (AMCu), liver Cu (LCu), erythrocyte copper - zinc superoxide dismutase (ECu - ZnSOD) were used as indexes to evaluate the bioavailability of different copper sources.

Under the conditions of this study, AMCu was not affected by different Cu sources ($P > 0.05$), but LCu and ECu - ZnSOD were influenced significantly ($P < 0.01$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} > \text{Cu}(\text{Met})_2 > \text{NCu} > \text{SCu}$). AMCu, LCu and ECu - ZnSOD were decreased significantly by the addition of phytic acid into the diets supplemented $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, FCu and $\text{Cu}(\text{Met})_2$ of Cu - deficient broilers, but were not be influenced by the addition of phytic acid into the diets supplemented NCu.

Under different levels of phytic acid (0%, 1%), relative to efficacy of the $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (100 assumed, the addition of phytic acid was 0%, 1%), the bioavailabilities of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, SCu, $\text{Cu}(\text{Met})_2$ and NCu were as follows: ① Taking AMCu as index, 100, 34.93; 91.39, 53.32; 86.39, 41.39; 97.29, 86.44, respectively; ② Taking LCu as index, 100, 57.59; 69.19, 51.19; 73.21, 73.24; 69.45, 81.74, respectively; ③ Taking ECu - ZnSOD as index, 100, 45.03; 74.44, 42.01; 82.63, 73.17; 75.97, 65.02, respectively;

Key words: Cu source, Bioavailability, Phytic acid, Broilers