

文章编号:1673-1689(2008)01-0020-06

甘氨酸螯合铁对大鼠补铁效果的评价

张晓鸣^{1,2}, 黄玲^{1,2}, 朱建平^{1,2}, 姚惠源^{1,2}

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 分别比较了甘氨酸螯合铁和硫酸亚铁对健康大鼠和缺铁贫血大鼠的补铁效果。对于健康大鼠, 甘氨酸螯合铁较硫酸亚铁有更好的吸收利用效果。双倍剂量的甘氨酸螯合铁组血清总铁结合力(TIBC)显著低于双倍剂量硫酸亚铁组($P < 0.01$), 甘氨酸螯合铁对肝脏指数和肝脏铁质量分数的提高都有显著的促进作用。对于缺铁贫血大鼠, 甘氨酸螯合铁补铁比硫酸亚铁见效快。补铁 4 d, 甘氨酸螯合铁组的血清铁质量分数、肝脏指数和肝脏铁平均质量分数均比硫酸亚铁组显著提高($P < 0.05$); 补铁 7 d, 两种铁源血清铁水平没有显著差异, 但甘氨酸螯合铁组血清总铁结合力、肝脏指数和肝脏铁质量分数显著高于硫酸亚铁组($P < 0.05$)。

关键词: 甘氨酸螯合铁; 大鼠; 补铁

中图分类号: Q 517

文献标识码: A

Evaluation of the Efficacy of Ferrous Glycinate for Improving Iron Nutritional Status of Rat.

ZHANG Xiao-ming^{1,2}, HUANG Ling^{1,2}, ZHU Jian-ping^{1,2}, YAO Hui-yuan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Animal tests were carried out to evaluate the efficacy of ferrous glycinate and FeSO_4 for improving iron nutritional status in healthy and anemic rats. With regard to healthy rats, ferrous glycinate was much more absorbed than FeSO_4 . TIBC of rats fed with twice doses of ferrous glycinate was significantly lower than the counterpart with FeSO_4 ($P < 0.01$), and ferrous glycinate also improved the liver index and content of liver iron of rats. As to anemic rat, ferrous glycinate improved their iron status more efficiently than FeSO_4 . After being fortified for 4 days, the content of serum iron of rats fed with ferrous glycinate was significantly higher than that with FeSO_4 , as well as liver index, spleen index and the content of liver iron ($P < 0.05$). When continuous feeding to the seventh day, there was no obvious difference for the content of serum iron was detected. However, TIBC, liver index and the content of live iron of rats fed with ferrous glycinate was significantly higher than that of the FeSO_4 control ($P < 0.05$).

Key words: ferrous glycinate; rat; iron fortification

收稿日期: 2007-05-28.

基金项目: 国家“十五”重大科技专项(2001BA501A04B); 江苏省科技攻关计划项目(BE2005323).

作者简介: 张晓鸣(1965-), 男, 江苏无锡人, 工学博士, 教授, 博士生导师. 主要从事食品化学研究. Email: xzmzhang@jiangnan.edu.cn

铁是人体必需的金属微量元素,广泛参与机体内的代谢过程,如氧的运输、DNA 的合成、电子的传递等。铁缺乏症(IDD)是遍及全球的营养性疾病,估计全世界有 7 亿人左右患 IDD^[1],其中妇女、婴儿和儿童是高危人群。IDD 不仅影响贫血,而且由于机体含铁酶和铁依赖酶活性降低,引起非血液系统的不良表现,对人体智力、体格、免疫系统、消化系统、劳动能力等均有较大负面影响^[2,3],已被世界卫生组织列为全球四大营养性疾病之一^[4]。IDD 在发展中国家的患病率为 30%~90%,显著高于发达国家。在我国,缺铁性贫血也很普遍。有些地区,婴幼儿和中小學生缺铁性贫血患者高达 64.4%,妇女达 47%^[4]。因此,保证铁的供给对预防人群铁缺乏是必须的。

目前人群干预试验、保健食品中使用的铁剂种类很多,多数均不同程度存在铁腥味、对胃肠道刺激等问题,推广上受到一定程度的影响。甘氨酸螯合铁是一种新型氨基酸螯合物,位于具有 5 元环或 6 元环螯合物中心的金属元素可以通过小肠绒毛的刷状缘,而且所有螯合物都可能以氨基酸的形式被吸收。从另一角度讲,细胞膜由蛋白质和类脂组成,它是细胞内外环境的天然屏障,金属离子需要一种载体分子将它包起来(如形成螯合物)形成一种有机的脂溶性表面,才能穿过细胞膜。Cook 也持同样的观点,同时认为在复杂的有机体内,金属

离子和有机配位体能形成缓冲系统,机体通过载体合成应答基因的调控和肠道微环境 pH 值的变化来控制缓冲系统的反应,保证金属离子浓度的平衡^[5]。

作者在研究了甘氨酸螯合铁制备技术的基础上,分别比较了甘氨酸螯合铁和硫酸亚铁对健康大鼠和缺铁贫血大鼠的补铁效果,以证明甘氨酸螯合铁是一种理想的补铁强化剂,可用于面粉、米粉等主食的微量元素营养强化。

1 材料与方法

1.1 实验材料与设备

FeSO₄·7H₂O, AR;甘氨酸螯合铁,实验室自制;722 型分光光度计,上海第三分析仪器厂产品;原子吸收分光光度仪,美国 Varian 公司产品。

1.2 实验动物及分组

选用 SD 品系初断乳雄性大鼠 80 只,平均体重 57.82 g,健康状况良好。适应 3 d 后,按不同的需要喂以纯合饲料。有耗铁需要的实验组喂以低铁基础饲料,耗空 14 d。然后,经尾静脉取血,测定血红蛋白含量,检验其耗铁状态,再补以不同铁源的铁。对于健康大鼠组,从实验初始就分别喂以正常剂量和双倍剂量的甘氨酸螯合铁和硫酸亚铁。

本实验按体重平均分为 10 个组,分组如表 1。

表 1 实验设计
Tab.1 Arrangement of test

铁源	补铁剂量(以日粮计)/(mg/kg)	饲养时间/d	鼠数/只
硫酸亚铁	35(正常剂量)	喂养 21(正对照组)	8
		铁耗竭后喂养 ⁴ ₇	8
	70(双倍剂量)	喂养 21(对健康大鼠补铁)	8
甘氨酸螯合铁	35(正常剂量)	喂养 21(正对照组)	8
		铁耗竭后喂养 ⁴ ₇	8
	70(双倍剂量)	喂养 21(对健康大鼠补铁)	8
缺铁对照	无铁日粮	铁耗竭 ²¹ ₁₄ (负对照组)	8

1.3 实验日粮

饲料采用 AOAC 配方^[6],稍作改动,具体成分见表 2,其中缺铁饲料经原子吸收光谱分析,元素铁质量分数为 4.2 mg/kg。

1.4 饲养管理

动物饲养在不锈钢的饲养笼中,环境温度恒定(25℃),自由饮用去离子水,自由采食,自然光照,

试验中严防外来铁污染。

1.5 实验方法

1.5.1 复制大鼠缺铁贫血模型阶段 按表 1 所安排的,首先对部分组喂以缺铁纯合日粮,进行铁耗竭,经尾静脉取血测定 Hb 含量确定是否贫血(Hb 质量浓度在<9 g/dL 表示贫血)。

表 2 实验日粮配方
Tab.2 Formulation of feed

原料	质量分数/%
酪蛋白	20.0
玉米淀粉	63.0
蔗糖	2.0
纤维素	5.0
DL-蛋氨酸	0.3
植物油	5.0
混合无机盐*	3.5
混合维生素	1.0
胆碱酒石酸盐	0.2

* 混合无机盐中不添加铁盐

1.5.2 铁的补充阶段 大鼠缺铁贫血模型形成后,按照表 1 各组需求补充不同铁源数日,测定各项指标,进行对比。

1.6 检测指标

1.6.1 血红蛋白质量分数 氰化高铁血红蛋白法^[7]。

1.6.2 血清铁质量分数 双吡啶比色法^[8]。

1.6.3 血清总铁结合力 双吡啶比色法^[8]

1.6.4 肝脏铁质量分数 准确称取肝组织样品 0.5 g,加入混合酸消化液(V(HNO₃): V(HClO₄)=5:1)12 mL,在红外消化炉中消化,至溶液澄清

为止,冷却定容至 50 mL,用原子吸收分光光度法测定铁元素的质量分数。

1.6.5 肝脏、脾脏指数 实验结束后,各组动物分别于处死时取大鼠肝脏、脾脏,测定其质量,然后按下列公式计算肝脏、脾脏指数:

肝脏指数(%)= $\frac{\text{肝质量(g)}}{\text{体质量(g)}} \times 100;$

脾脏指数(%)= $\frac{\text{脾质量(g)}}{\text{体质量(g)}} \times 100$

1.7 统计分析

数据处理采用 spss 软件进行方差分析。

2 结果与讨论

2.1 硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁对健康大鼠补铁效果的比较

2.1.1 血液指标 血红蛋白是一种红色的含铁蛋白质,其中铁约占人体铁质量的 70%~80%。如果人体对铁的摄入量不足,便会影响到血红蛋白的合成,从而使红细胞中血红蛋白的含量显著减少,红细胞的数目减少;使人体内的各细胞组织供氧不足。因此,血红蛋白测定是常用的检验贫血程度及造血功能的方法之一。

如表 3 所示,大鼠在铁耗竭 14 d,血红蛋白含量显著下降,已达到贫血状态。对健康大鼠双倍剂量补铁时,甘氨酸螯合铁组和硫酸亚铁组的血红蛋白含量差异不显著(P>0.05)。

表 3 硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁对健康大鼠血液指标的影响
Tab.3 Effect of ferrous glycinate and FeSO₄ on blood indexes of healthy rat

指标	组别	正常剂量	双倍剂量	耗铁 14 d	耗铁 21 d
血红蛋白/(g/dL)	A	12.13±1.53 _a	11.15±1.55 _a	8.22±0.93	8.10±1.35
	B	11.84±1.34 _a	11.36±0.98 _a		
血清铁/(μg/dL)	A	218.00±22.63 _a	173.61±27.40 _a	108.00±11.14	100.00±10.31
	B	204.94±23.14 _a	237.04±22.13 _b		
血清总铁结合力/(μg/dL)	A	454.49±8.80 _a	438.03±6.05 _a	601.51±21.47	605.37±15.61
	B	425.75±13.77 _a	397.24±18.06 _b		

注:1. A-硫酸亚铁 B-甘氨酸螯合铁; 2. 表中同行上标(或同列下标)字母相同的表示差异不显著(P>0.05);字母相异的(a,b)表示差异显著(P<0.05),(a,c)表示差异极显著(P<0.01); 3. 以下表格附注同。

血清铁是机体中铁的主要转运形式。大鼠贫血时,体内铁总量减少,血清铁降低,运铁蛋白合成增加,转铁蛋白饱和度下降,总铁结合力增高。表 4 显示,双倍剂量甘氨酸螯合铁组比双倍剂量硫酸亚铁组的血清铁显著增加(P<0.05);甘氨酸螯合铁

双倍剂量组比正常剂量组血清铁显著升高,平均值升高 15.66%(P<0.05)。

血清总铁结合力(Total Iron Binding Capacity, TIBC)是指能与 100 mL 血清中全部转铁蛋白结合的最大铁量。由于血清中 95%以上的非血红素结

合铁都与血清转铁蛋白结合,因此总铁结合力与转铁蛋白的水平高度相关。通常用测定总铁结合力的方法来反映转铁蛋白被铁饱和的水平,间接反映铁的吸收利用效果。血清总铁结合力偏高则说明试验大鼠处于缺铁状态。动物补铁后,当有机体在吸收利用铁的过程中恢复时,由于体内的铁储有所升高,血清铁增高,血红蛋白上升,转铁蛋白的合成量减少,可使总铁结合力降低^[9-10]。

甘氨酸螯合铁双倍剂量组比正常剂量组的血清总铁结合力显著下降($P<0.05$),平均值下降 6.59%,而双倍剂量硫酸亚铁组比正常剂量的硫酸亚铁组的血清总铁结合力也有下降,但不显著,平均值下降 3.52%。比较双倍剂量甘氨酸螯合铁组和双倍剂量硫酸亚铁组的血清总铁结合力,前者的血清总铁结合力较后者差异极其显著($P<0.01$)。

血清总铁结合力越小,表示转铁蛋白被铁饱和的程度越高,铁吸收利用效果越好。因此,试验结果表明,在对健康大鼠双倍剂量补铁时,甘氨酸螯合铁较硫酸亚铁有更好的吸收利用效果,这可能是因为螯合物中的铁更易吸收并与运铁蛋白结合的缘故。

2.1.2 肝脏、脾脏指标 肝脏、肾脏和脾脏是机体

表 4 硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁对健康大鼠肝脏、脾脏指标的影响

Tab. 4 Effect of ferrous glycinate and FeSO₄ on liver and spleen indexes of healthy rat

指标	组别	正常剂量	双倍剂量	耗铁 14 d	耗铁 21 d
肝脏指数/%	A	4.50±0.58 _a	5.07±0.36 _a	4.23±0.10	4.63±0.30
	B	5.40±0.29 _a	5.64±0.34 _a		
脾脏指数/%	A	0.34±0.05 _a	0.34±0.03 _a	—	0.33±0.03
	B	0.34±0.04 _a	0.36±0.05 _a		
肝脏铁质量分数/(mg/kg)	A	64.74±5.76 _a	65.74±4.33 _a	37.44±3.38	37.99±0.9825
	B	73.18±4.26 _a	85.78±5.11 _b		

正常剂量补铁时,甘氨酸螯合铁组的肝脏铁含量比硫酸亚铁的稍高,但差异不显著。在两种铁源剂量分别增加时,甘氨酸螯合铁双倍剂量组比正常剂量组的肝脏铁质量分数显著提高($P<0.05$),平均值增加了 17.22%,双倍剂量硫酸亚铁组的肝脏铁质量分数则几乎没有提高。双倍剂量甘氨酸螯合铁组肝脏铁质量分数显著高于双倍剂量硫酸亚铁组($P<0.01$)。正常剂量甘氨酸螯合铁组的肝脏指数比双倍剂量的硫酸亚铁组的还要高,但差异不显著。

实验表明,在对健康大鼠补铁时,甘氨酸螯合铁对肝脏指数和肝脏铁质量分数都有显著的促进作用,甘氨酸螯合铁的铁吸收利用率高,其吸收强

最主要的铁储存器官,在机体内铁以铁蛋白和含铁黄素形式存在于肝脏和脾脏中。一般情况下当机体摄入铁不足或机体铁代谢加快从而使铁丢失增加时,机体可以动用体内的铁储备,用于对机体生理机能密切相关的血红蛋白、肌红蛋白以及各种含铁蛋白和酶的合成。当动物体内含铁量处于正常水平时,³²P 即可按正常速度进入肝细胞的 DNA 内,从而维持肝脏组织的正常发育和更新。若缺铁时,肝内 DNA 的合成就要因为磷的缺乏而受到抑制,肝细胞及其他组织细胞内的线粒体和微粒体异常,细胞色素 C 的含量减少,从而影响蛋白质的合成及能量的利用率,动物就会出现贫血^[11]。

表 4 结果表明,当健康大鼠正常剂量补铁时,不同铁源的两组脾脏指数相当,但对于肝脏指数而言,差异极显著($P<0.01$)。当铁的剂量加倍时,甘氨酸螯合铁组的肝脏指数稍有提高,但差异不显著;硫酸亚铁组的肝脏指数却比正常剂量时显著增加。双倍剂量甘氨酸螯合铁组的肝脏指数显著高于双倍剂量硫酸亚铁组($P<0.05$);正常剂量甘氨酸螯合铁组的肝脏指数比双倍剂量的硫酸亚铁组还要高,差异显著($P<0.05$)。

化效果明显好于硫酸亚铁。

2.2 硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁对缺铁大鼠补铁效果的比较

2.2.1 血液指标 如表 5 所示,当铁耗竭 14 d 时的血红蛋白为(8.22±0.93) g/dL,已经处于贫血状态。在补充不同铁源 4 d,两组的大鼠的血红蛋白含量迅速回升,甘氨酸螯合铁的上升较快,平均值比无机铁组高 7.55% ($P>0.05$)。补铁 7 d,甘氨酸螯合铁和硫酸亚铁两种铁源组的血红蛋白含量均有所下降,但方差分析结果显示,这两组的血红蛋白含量差异不显著。

补铁 4 d,甘氨酸螯合铁组血清铁值比硫酸亚铁组上升快,差异显著($P<0.05$)。说明甘氨酸螯

合铁比硫酸亚铁见效快。第 7 d 时两组的效果相当,差异不显著。

补铁 4 d,甘氨酸螯合铁组血清总铁结合力比硫酸亚铁组下降快,但差异不显著。补铁 7 d,甘氨

酸螯合铁组的平均血清总铁结合力比补铁 4 d 时下降了 16.58%,硫酸亚铁组下降 13.85%,两种铁源差异显著($P<0.05$),补铁 7 d 时,比补铁初期的平均血清总铁结合力分别下降 26.77%,22.69%。

表 5 硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁对缺铁大鼠血液指标的影响

Tab. 5 Effect of ferrous glycinate and FeSO₄ on blood indexes of anemic rat

指标	组别	补铁 4 d	补铁 7 d	耗铁 14 d	耗铁 21 d
血红蛋白/(g/dL)	A	11.62±0.69 _a	10.65±1.10 _a	8.22±0.93	8.10±1.35
	B	12.24±0.34 _a	11.21±1.35 _a		
血清铁/(μg/dL)	A	142.59±27.47 _a	195.83±12.32 _b	108.00±11.14	100.00±10.31
	B	180.55±22.26 _a	198.24±17.69 _a		
血清总铁结合力/(μg/dL)	A	540.01±10.52 _a	465.23±5.84 _b	601.51±21.47	605.37±15.61
	B	528.05±15.40 _a	440.48±10.35 _b		

结果表明,随着铁的补充,大鼠体内的缺铁状况有所改善,甘氨酸螯合铁的添加能提高转铁蛋白摄取铁的能力,迅速改变转铁蛋白的缺铁状况。周桂莲等在赖氨酸铁和甘氨酸螯合铁一次性灌喂 Wistar 大鼠 96 h,其血液和红细胞的比放性显著上升^[9],其结果与本实验结论一致。

2.2.2 肝脏、脾脏指标 补铁后各脏器指数如表 6 所示,补铁 4 d 时,硫酸亚铁组的脾脏指数显著低于甘氨酸螯合铁组($P<0.05$),补铁 7 d 时,硫酸亚铁组的脾脏指数还是稍低于甘氨酸螯合铁组,但差异不显著。

对肝脏指数而言,在补铁 4 d 和补铁 7 d 时甘氨酸螯合铁组的肝脏指数均显著高于硫酸亚铁组

($P<0.05$)。说明甘氨酸螯合铁相对于硫酸亚铁对大鼠肝脏组织的生长、发育和更新更为有效。

补铁 4 d,甘氨酸螯合铁组的肝脏铁平均质量分数比硫酸亚铁的高 21%($P<0.05$),补铁 7 d,两种铁源试验组的肝脏铁质量分数比补铁 4 d 分别上升了 18.84%,23.36%,比补铁初期分别上升了 104.22%,75.85%;甘氨酸螯合铁组肝脏铁平均质量分数明显高于硫酸亚铁组($P<0.05$)。由此可见,对缺铁大鼠补铁时,甘氨酸螯合铁的补铁效果明显好于硫酸亚铁,甘氨酸螯合铁补铁 4 d 相当于硫酸亚铁补铁 7 d 的效果。这与周桂莲等采用放射性同位素示踪技术向结扎十二指肠段灌注不同铁吸收液的效果一致^[12]。

表 6 硫酸亚铁和甘氨酸螯合铁对缺铁大鼠肝脏指标的影响

Tab. 6 Effect of ferrous glycinate and FeSO₄ on liver and spleen indexes of anemic rat

指标	组别	补铁 4 d	补铁 7 d	耗铁 14 d	耗铁 21 d
肝脏指数/%	A	4.56±0.20 _a	4.81±0.06 _a	4.23±0.10	4.63±0.30
	B	5.04±0.40 _a	5.50±0.06 _b		
脾脏指数/%	A	0.34±0.04 _a	0.32±0.04 _a	0.33±0.02	0.33±0.03
	B	0.40±0.05 _b	0.35±0.03 _a		
肝脏铁质量分数/(mg/kg)	A	53.37±10.62 _a	65.84±8.78 _b	37.44±3.38	37.99±0.98
	B	64.34±8.08 _b	76.46±12.97 _b		

十二指肠是铁的主要吸收部位,正常采食大鼠,十二指肠肠腔内的 pH 值为 6.6~7.4^[12]。甘氨酸螯合铁在 pH 2~6 的条件下仍能保持较高的稳定性。在肠道 pH 值条件下,甘氨酸螯合铁可能缓慢解离,但此时小肠中的 α-氨基酸、多肽分子、运铁蛋白等配体能及时地与亚铁离子重新配位,形成可溶性配合物,以利于小肠粘膜细胞迅速吸收。

对铁的吸收机制的研究表明,氨基酸螯合铁是动物吸收铁的原始模式之一^[13],氨基酸促进铁吸收机制的研究表明,氨基酸通过与铁结合形成螯合物,提高铁在肠腔内的溶解度,并作为铁的载体而促进动物对铁的吸收^[14]。周桂莲在对氨基酸在大鼠小肠中的吸收及组织中沉积研究时发现,随着不同铁源(氨基酸与无机铁的混合物、氨基酸螯合铁

和无机铁)灌注液进入结扎十二指肠段的时间的延长,混合物中的铁在与氨基酸结合形成螯合铁,被大鼠吸收的同时,存在于十二指肠内容物中的磷酸根、纤维素等也与铁反应形成沉淀,致使部分铁元素不能被动物吸收^[12]。而氨基酸螯合物中的铁已经与氨基酸形成较稳定的螯合物,其稳定常数比一般铁化合物高,约为 $10^4 \sim 10^{15}$,在此试验条件下,大鼠十二指肠内容物中不存在比氨基酸更强的配位体(如植酸),所以氨基酸螯合铁可以不受或很少受影响而被大鼠直接吸收。氨基酸螯合物被吸收后,其中的金属离子可以有效地与氨基酸配位体分离,有利于肠道吸收和体内运输。而无机盐形式的亚铁离子,在从胃到肠道的途径中,始终受到pH值、草酸、纤维素、植酸等的影响,大部分生成不易被机体吸收的难溶性铁复合物。实验结果也表明,甘氨酸螯合铁更易于被大鼠贮存或利用。

3 结 语

对于健康大鼠,双倍剂量的甘氨酸螯合铁组血清总铁结合力显著低于双倍剂量硫酸亚铁组,甘氨酸螯合铁对肝脏指数和肝脏铁甘氨酸螯合铁组都有显著的促进作用,甘氨酸螯合铁的吸收利用效果明显好于硫酸亚铁。

对于缺铁大鼠,甘氨酸螯合铁补铁比硫酸亚铁见效快,甘氨酸螯合铁组的血清铁值比硫酸亚铁组上升快,甘氨酸螯合铁组肝脏指数和肝脏铁甘氨酸螯合铁组显著高于硫酸亚铁组。

血清总铁结合力、肝脏指数和肝脏铁甘氨酸螯合铁组是反映大鼠对不同铁源、不同剂量铁吸收利用效果的敏感指标,而血红蛋白或血清铁含量指标相对不敏感。

参考文献(References):

- [1] W Bushuk. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists(Tenth Edition Volume II)[M]. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 2000.
- [2] Ballot De, Macpheil AP, Bothwell TH, et al. Fortification of curry power with NaFe(III)EDTA in a iron deficiency population initial survey of iron status[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1989, 49: 156.
- [3] 中国学生体质健康调研组. 中国学生贫血状况的动态观察[J]. 中华预防医学杂志, 2002, 36(2): 81-83.
China's National Group on Students' Constitution and Health Survey. Dynamic analysis on the detecting rate of iron deficient anemia of Chinese students[J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2002, 36(2): 81-83. (in Chinese)
- [4] Lozoff B. Behavioral alterations in iron deficiency[J]. *Advances in Pediatrics*, 1988, 35: 331-359.
- [5] 杨跃煌. 铁缺乏症的研究新进展[J]. 中华儿童保健杂志, 1997, 5(2).
YANG yue-huang. The new research progress of iron deficiency[J]. *Chinese Journal of Child Health Care*, 1997, 5(2). (in Chinese)
- [6] Cook J D, Dassenko S A. Effect on iron absorption[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1991, 53: 106-110.
- [7] 苗明三. 实验动物和动物实验技术[M]. 北京: 中国中医药出版社, 1997.
- [8] 上海市医学化验所. 临床生化检验[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [9] 周桂莲, 韩友文, 腾冰, 等. 大鼠对氨基酸螯合铁吸收和转运特点的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2004, 35(1): 15-22.
ZHOU Gui-lian, HAN You-wen, TENG bing, et al. Study of iron absorption and transport of iron amino acid chelate by rats[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2004, 35(1): 15-22. (in Chinese)
- [10] 周桂莲. 铁吸收与代谢的研究技术进展[J]. 饲料博览, 2000(5): 12-13.
ZHOU Gui-lian. The technical progress of iron absorption and metabolism[J]. *Feed Review*, 2000(5): 12-13. (in Chinese)
- [11] 钱忠明. 铁代谢-基础与临床[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [12] 周桂莲, 韩友文. 氨基酸铁在大鼠小肠中的吸收及组织中沉积研究[J]. 动物营养学报, 2003, 15(3): 18-24.
ZHOU Gui-lian, HAN You-wen. Study of iron absorption of iron amino acid chelates; comparison with the amino acid and FeCl₂ mixtore with same moles concentration as the chelates[J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2003, 15(3): 18-24. (in Chinese)
- [13] Saltman P. The role of chelation in iron mechanism[J]. *Journal of Chemical Education*, 1965, 42(12): 682-687.
- [14] Kore D, Kaufman N. Interrelation of amino acids and pH on intestinal iron absorption[J]. *American Journal of Physiology*, 1966, 211(2): 414-418.

(责任编辑:朱明)