

大鼠对氨基酸螯合铁吸收和转运特点的研究

周桂莲¹, 韩友文², 滕冰³, 徐子伟⁴, 刘敏华⁴, 徐莹⁴, 邓波⁴, 徐海凤⁴

(1. 广东省农业科学院畜牧研究所, 广州 510640; 2. 东北农业大学动物科技学院, 哈尔滨 150030;

3. 东北农业大学生命科学与生物技术中心, 哈尔滨 150030; 4. 浙江省农业科学院畜牧兽医研究所, 杭州 310021)

摘要: 试验用 40 日龄 Wistar 纯系雄性大鼠 120 只, 设定两种日粮背景(纯合日粮和常规日粮), 利用直接灌胃技术和放射性同位素示踪技术, 通过与相应摩尔浓度的氨基酸与氯化亚铁混合物比较, 研究了在正常生理条件下, 大鼠对氨基酸螯合铁(以赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁为代表)的吸收和转运情况。试验结果表明: ①赖氨酸和甘氨酸都能促进缺铁大鼠对铁的吸收、转运和利用。②与相应摩尔浓度的氨基酸和氯化亚铁混合物比较, 缺铁大鼠更易于吸收、转运和利用氨基酸螯合铁中的铁, 不同组织器官中⁵⁹Fe 的比放射性也支持上述结论。③体内铁营养状况良好的大鼠对氨基酸螯合铁中铁的吸收、转运和利用优于氯化亚铁。④综合分析整个试验得到的结果, 可以认为氨基酸螯合铁是优秀的铁添加剂。⑤放射性同位素示踪结合直接灌胃技术, 同时监测血液、红细胞、血清球蛋白和十二指肠中的比放射性的动态变化, 能更直接反映被研究铁化合物中的铁被动物吸收、转运和利用情况。

关键词: 赖氨酸螯合铁; 甘氨酸螯合铁; 吸收; 转运; 利用

中图分类号: Q581

文献标识码: A

文章编号: 0366- 6964(2004)01- 0015- 08

根据美国饲料管理官员协会(MFCO)的描述, 氨基酸螯合铁是指由某种可溶性铁盐中的铁离子同氨基酸按一定的摩尔比率(1: 1~ 3, 最好是 2)以共价键结合而成的络合物^[1]。氨基酸促进铁吸收机理^[2, 3]和动物吸收铁机制^[4, 5]的研究结果为氨基酸螯合铁作为优秀铁添加剂提供了有力的理论依据。但是, 众多研究者对氨基酸螯合铁的相对生物学效价的研究得到的结论具有不确定性。有些研究者认为与生产实际中常用的铁添加剂——硫酸亚铁相比, 氨基酸螯合铁的生物学利用率显著增高^[6~ 9], 而有些研究者却得到相反的结果, 认为氨基酸螯合铁的相对生物学效价明显低于硫酸亚铁^[10~ 13]。研究认为, 与相应摩尔浓度的氨基酸与氯化亚铁的混合物相比, 直接灌入十二指肠的赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁能更有效地被大鼠吸收^[14]。而动物胃的内环境是一个强酸性的体系, 不同种类、不同质量的螯合物在其中的稳定性不同, 这可能是造成上述不确定性的主要原因之一。

本研究以赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁为代表, 利用放射性同位素示踪技术, 研究在正常生理状态下, 大鼠对氨基酸螯合铁的吸收和转运特点。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验共设 2 种铁营养状态, 正常和高铁, 分别通过预试期饲喂常规日粮和纯合日粮实现。根据待研究铁形态, 试验共设 8 个处理, 每处理 3 重复。具体见表 1。

1.2 试验动物及饲养管理

由浙江省药品检验所试验动物中心购入 40 日龄 Wistar 纯系雄性大鼠 120 只。进入正式试验前 4 周, 据体重随机分为两组(75 只和 45 只), 分别饲以各试验日粮。试验日粮组成与营养水平见表 2。用不锈钢大鼠饲养笼离地面饲养(避免大鼠和排泄物接触)。大鼠自由采食, 自由饮用去离子水。其它饲养操作按规程进行。

正式试验前一天, 按照试验设计, 将不同日粮组的大鼠, 据体重随机分组, 并进行编号。

1.3 铁吸收液的配制

放射性⁵⁹Fe 由中国同位素总公司购入, 产品为⁵⁹FeCl₃ 的 0.12 mol/L HCl 溶液, 比活度为 1.184 × 10⁸ Bq/ml, 铁浓度为 412 μg/ml。

根据试验设计, 共有 5 种铁源, 具体如下:

- a. 氯化亚铁: 氯化亚铁的生理盐水溶液(pH = 4.5);
- b. 氯化亚铁与赖氨酸混合物: a 与赖氨酸溶液的混合液(M: M = 1: 2);

收稿日期: 2002-11-11

基金项目: 黑龙江省青年基金项目(Q00C016)资助

作者简介: 周桂莲(1969-), 女, 黑龙江穆棱人, 博士, 副研究员, 主攻方向动物营养及饲料科学。

表 1 试验设计

Table 1 Design of experiment

日粮类型 Diet type	纯合日粮 Purified diet					常规日粮 Conventional diet		
铁源 Iron source	Fe-Cl ¹	Fe-Gly ¹	Fe-Lys ¹	Fe+ Gly ¹	Fe+ Lys ¹	Fe-Cl ¹	Fe-Gly ¹	Fe-Lys ¹
	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h	3 h
采血时间点 ²	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h	24 h
Sampling time	96 h	96 h	96 h	96 h	96 h	96 h	96 h	96 h
	168 h	168 h	168 h	168 h	168 h	168 h	168 h	168 h
	240 h	240 h	240 h	240 h	240 h	240 h	240 h	240 h

1. Fe-Cl, 氯化亚铁; Fe-Gly, 甘氨酸螯合铁; Fe-Lys, 赖氨酸螯合铁; Fe+ Gly, 氯化亚铁与甘氨酸的混合物; Fe+ Lys, 氯化亚铁与赖氨酸的混合物; 下同。2. 每个采血时间点每重复宰杀一只大鼠。

1. Fe-Cl, ferrous chloride; Fe-Gly, ferrous glycine chelate; Fe-Lys, ferrous lysine chelate; Fe+ Gly; compound of glycine and ferrous chloride; Fe+ Lys, compound of lysine and ferrous chloride; 2. One rat was killed per duplicate at the sampling time.

表 2 试验日粮组成及营养成分

Table 2 Composition and nutrient level of experimental diets

纯合日粮 Purified diets				常规日粮 Conventional diets			
日粮成分	含量(%)	营养指标	含量(%)	日粮成分	含量(%)	营养指标	含量(%)
Ingredient	Content	Nutrient item	Content	Ingredient	Content	Nutrient item	Content
脱脂奶粉	50.00	消化能	16.32	玉米粉 Corn meal	62.00	消化能	15.70
Dried skim milk		ME(MJ/kg)		豆粕 Soybean meal	20.46	粗蛋白 CP	18.00
玉米淀粉 Corn starch	23.46	粗蛋白 CP	17.84	鱼粉 Fish meal	5.00	蛋氨酸 Met	1.01
蔗糖 Sucrose	20.50	蛋氨酸 Met	1.00	磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.10	赖氨酸 Lys	1.34
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.70	赖氨酸 Lys	1.43	石粉 Ground Limestone	0.80	钙 Ca	0.81
蛋氨酸 DL-methionine	0.55	钙 Ca	0.82	植物油 Plant oil	8.60	总磷 TP	0.61
植物油 Plant oil	3.00	总磷 TP	0.61	赖氨酸 Lysine	0.55	铁 ^c (mg/kg)	200.00
M-premix ^a	0.25	铁 ^c (mg/kg)	3.00	蛋氨酸 DL-methionine	0.70		
V-premix ^b	0.04			食盐 Salt	0.50		
食盐 Salt	0.50			M-premix ^a	0.25		
纤维素 Cellulose	1.00			V-premix ^b	0.04		

a. 微量元素预混料, 不含铁。每 kg 微量元素预混料含: MnSO₄·H₂O, 66.5 g; ZnSO₄·H₂O, 33.9 g; CuSO₄·5H₂O, 9.7 g; KI (含 I, 0.65%), 12.3 g; 玉米淀粉, 877.6 g。常规日粮的加入 FeSO₄·7H₂O, 69.7 g, 玉米淀粉为 808.0 g。b. 维生素预混料。每 kg 维生素预混料含: VA, 4 × 10⁷IU; VD₃, 1 × 10⁷IU; VE, 50 g; VK₃, 50 mg; VB₁, 6 g; VB₂, 6 g; VB₆, 7 g; 烟酸, 30 g; 泛酸, 16 g, 叶酸, 2 g; 生物素, 0.2 g。c. 表中铁含量为实测值, 其它为计算值。

a. Trace mineral premix supplied MnSO₄·H₂O, 66.5 g; ZnSO₄·H₂O, 33.9 g; CuSO₄·5H₂O, 9.7 g; KI (content of I was 0.65%), 12.3 g; Corn starch, 877.6 g per kilogram. In conventional diets, it contained FeSO₄·7H₂O, 69.7 g and Corn starch 808.0 g. b. Vitamin premix supplied VA 4 × 10⁷IU; VD₃ 1 × 10⁷IU; VE 50 g; VK₃ 50 mg; VB₁, 6 g; VB₂ 6 g; VB₆ 7 g; niacin 30 g; pantothenic acid 16 g; folacin 2 g; biotin 0.2 g per kilogram. c. The content of iron was determined value and the others were calculated value.

c. 氯化亚铁与甘氨酸混合物: a 与甘氨酸溶液的混合液(M: M= 1: 2);

d. 赖氨酸铁螯合物: 东北农业大学生命科学与生物技术中心合成和鉴定。同样反应条件下获得的化合物, 经过红外光谱分析, 确定其为螯合物。甘氨酸铁螯合物来源与此相同。在 b 基础上, 用 0.2 mol/L 的 NaOH 调 pH= 6.8~ 7.2, 灌注前用超声波

振荡器振荡 5 min;

e. 甘氨酸铁螯合物: 在 c 基础上, 用 0.2 mol/L 的 NaOH 调 pH= 6.8~ 7.2, 灌注前用超声波振荡器振荡 5 min。

1.4 试验操作过程

选一只大鼠, 记录其编号后, 用 1 ml 注射器(安有猪用腰椎穿刺针, 针头磨成钝圆)吸取铁吸收液

0.5 ml, 通过灌前和灌后两次称重差, 准确掌握每只大鼠实际灌入铁吸收液的量。将针头插到大鼠口腔的咽部, 借助于大鼠自身吞咽的力量, 轻轻将针插到大鼠的胃内, 迅速将铁吸收液推入, 拔出针头, 记录灌胃时间。以上操作完成后, 将大鼠头朝上立片刻, 再将其放入笼中, 以避免大鼠将灌入的铁吸收液吐出。大鼠自由采食和饮去离子水。

1.5 样品的采集和制备

1.5.1 灌胃后, 分别在 2、24、96、168、240 h 于股动脉采血, 先取约 1.5 ml 血液, 抗凝并称量后, 立即测定其中⁵⁹Fe 放射性的脉冲数(以下简称脉冲数)。然后离心, 制备红细胞, 称重, 备测红细胞脉冲数; 其余血液收集到 10 ml 离心管中, 离心得到血清, 用盐析法处理, 得到血清球蛋白, 备测血清球蛋白中脉冲数。

1.5.2 所有时间点的大鼠, 股动脉采血后处死, 采集十二指肠(由胃幽门后 0.2 cm 开始向后剪下 7 cm, 去除内容物)、脾脏、一侧股骨、约 1.5 g 肝脏和腿肌样品, 用生理盐水冲洗几遍, 滤纸吸干后称重, 备测其中脉冲数。

1.6 主要测定项目

不同时间点血液、红细胞、血清球蛋白(第 10 d 除

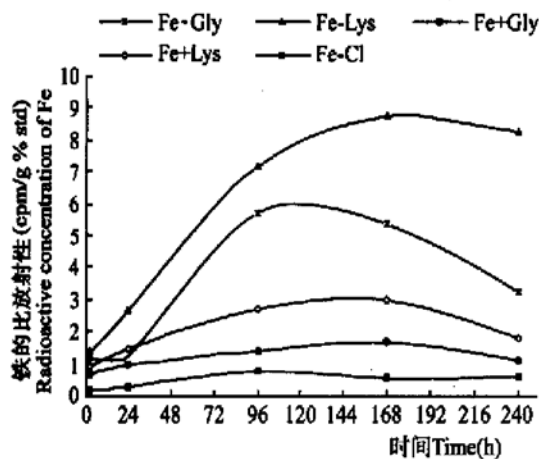


图 1 不同铁源在血液中的比放射性

Fig.1 Radioactive concentration of different iron source in blood

从图 3 中各曲线的变化趋势可以看出, 灌胃 24 h 后, 不同铁源在血清球蛋白中的比放射性都接近于零, 表明灌入大鼠胃内的铁, 在 24 h 内基本转运完毕。赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁在血清球蛋白中的比放射性随时间的变化基本一致, 从具体测值看, 这两种螯合物高于其它 3 种铁源; 而两种混合物的曲线基本一致, 其测值高于氯化亚铁。说明赖氨

外)、十二指肠壁、肝脏、脾脏、腿肌、股骨中的脉冲数。

1.7 统计分析

试验数据用 SAS(6.12 版本)软件中的 GLM 过程进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 缺铁大鼠对氨基酸螯合铁的吸收、转运和利用

2.1.1 血液、红细胞、血清球蛋白中⁵⁹Fe 的比放射性的动态变化 灌胃后, 分别于各时间点采血, 测得血液中⁵⁹Fe 的比放射性, 见图 1。测得红细胞中⁵⁹Fe 的比放射性, 见图 2。测得球蛋白中⁵⁹Fe 的比放射性, 见图 3。

由图 1 可见, 灌胃后 240 h 内, 5 种铁源在血液中的比放射性随时间变化的曲线, 近似呈抛物线形式, 在 96~168 h 之间达到峰值, 然后开始下降。大鼠对两种螯合物中铁的吸收明显优于其他 3 种形态的铁, 而且赖氨酸螯合铁比甘氨酸螯合铁更利于被动物吸收。

由图 2 可见, 不同铁源在红细胞中的比放射性曲线的变化趋势与图 1 中相应铁源的比放射性曲线的变化趋势极为相似, 这是因为血液中的铁大部分在红细胞内。

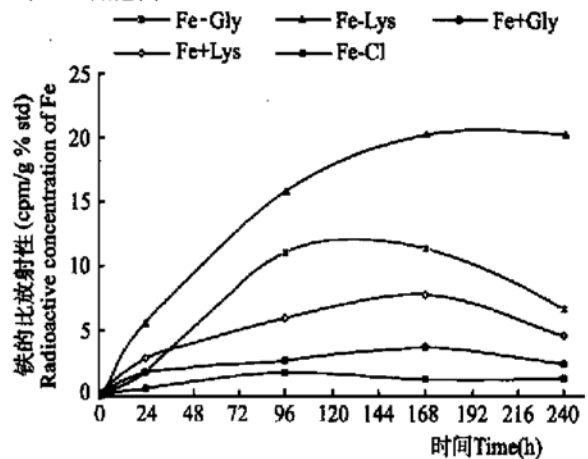


图 2 不同铁源在红细胞中的比放射性

Fig.2 Radioactive concentration of different iron source in red cell

酸螯合铁和甘氨酸螯合铁中的铁更利于在血液中的转运, 赖氨酸和甘氨酸能促进铁的转运。

2.1.2 不同组织器官中⁵⁹Fe 比放射性的动态变化

灌胃后, 于不同时间点跟踪测定了不同铁源在不同组织器官中的比放射性, 结果见图 4、5、6、7、8。

结果表明, 赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁比另

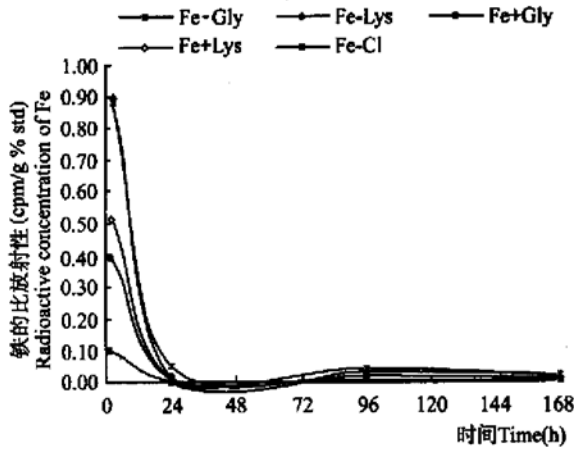


图3 不同铁源在血清球蛋白中的比放射性
Fig.3 Radioactive concentration of different iron source in serum globulin

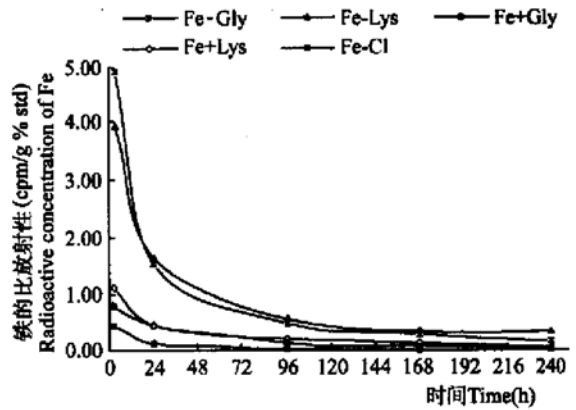


图4 不同铁源在十二指肠中的比放射性
Fig.4 Radioactive concentration of different iron source in duodenum

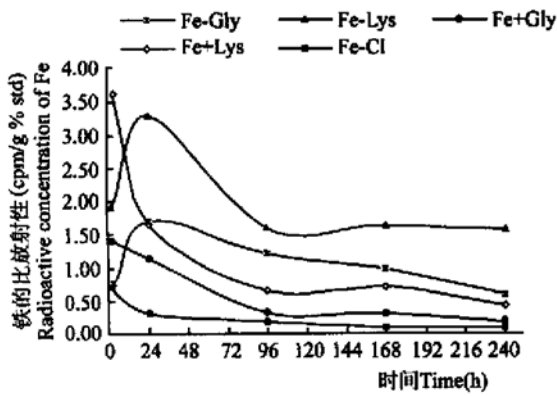


图5 不同铁源在脾脏中的比放射性
Fig.5 Radioactive concentration of different iron source in spleen

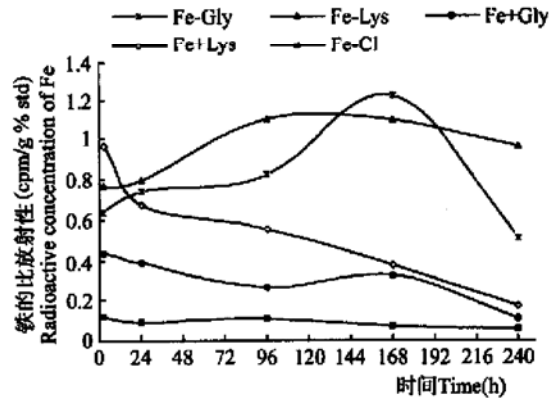


图6 不同铁源在肝脏中的比放射性
Fig.6 Radioactive concentration of different iron source in liver

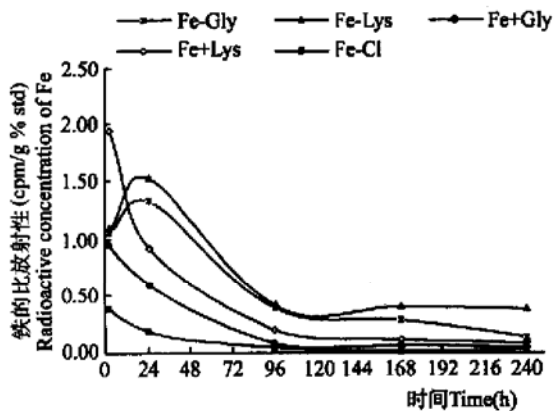


图7 不同铁源在股骨中的比放射性
Fig.7 Radioactive concentration of different iron source in thighbone

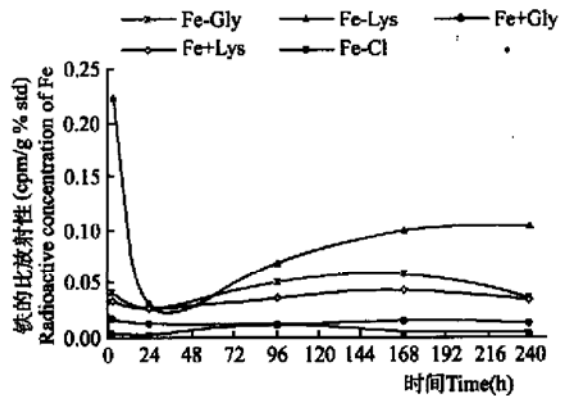


图8 不同铁源在肌肉中的比放射性
Fig.8 Radioactive concentration of different iron source in muscle

3种铁源更易于被十二指肠细胞摄取,并迅速转运入血,再随血液运送到各靶器官,被动物贮存或利

用,从具体测值看,赖氨酸螯合铁略优于甘氨酸螯合铁。赖氨酸和甘氨酸对上述铁的吸收和转运有促进

作用,由图可见,赖氨酸的促进作用略强于甘氨酸。

2.2 不同日粮背景下,大鼠对氨基酸螯合铁的吸收、转运和利用

2.2.1 血液、红细胞、血清球蛋白中⁵⁹Fe的比放射性的动态变化 图9和图10分别描述了不同日粮背景下,不同形态铁在血液和红细胞中的比放射性随时间的动态变化情况。可见,与纯合日粮组相比,

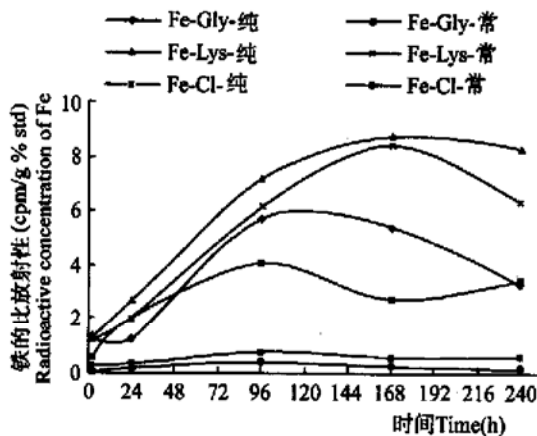


图9 不同日粮背景对血液中铁的比放射性影响

Fig.9 Effect of different type diet on the radioactive concentration in blood

不同日粮背景下,不同形态铁在血清球蛋白中的比放射性随时间的变化情况见图11,常规日粮组中各形态铁的测值低于纯合日粮组的,而且两种螯合物降低的幅度基本相同,均低于氯化亚铁的,如3h时的测值,甘氨酸螯合铁、赖氨酸螯合铁、氯化亚铁分别降低了25.01%、28.83%、65.06%。常规日粮背景下,两个螯合物组中的铁的比放射性明显高于氯化亚铁组。

2.2.2 不同组织器官中⁵⁹Fe的比放射性的动态变化 图12、13、14、15、16分别描述了不同日粮背景下,不同形态铁在十二指肠、脾脏、肝脏、股骨和肌肉中的比放射性的动态变化情况。总的来看,几种形态铁在常规日粮背景下的测值均低于纯合日粮背景下的,而且氯化亚铁的降低幅度最大。

常规日粮背景下,赖氨酸螯合铁组在各组织(器官)中的比放射性略高于甘氨酸螯合铁,二者均显著高于氯化亚铁组。

3 讨论

血液中共有3种蛋白质含有铁:血红蛋白、铁蛋白和运铁蛋白,其中血红蛋白存于红细胞中,动物体

常规日粮组中不同形态铁在血液和红细胞中的比放射性都有不同程度的降低,从具体测值看,氯化亚铁降低的幅度最大(血液58.77%,红细胞54.93%,不同时间点平均值)。常规日粮背景下,与氯化亚铁相比,赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁被动物吸收入血和用于合成血红蛋白速度均表现出绝对优势,赖氨酸螯合铁略优于甘氨酸螯合铁。

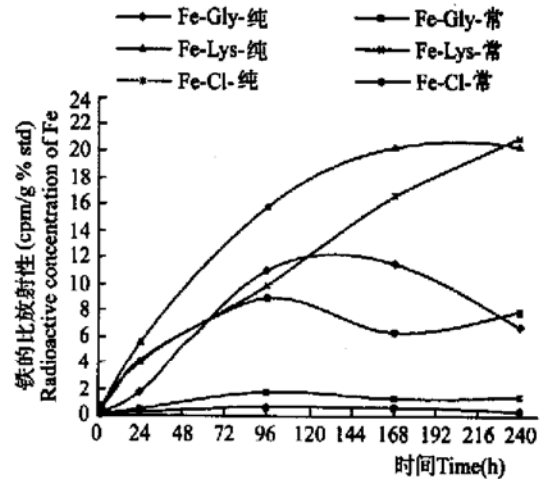


图10 不同日粮背景对红细胞中Fe的比放射性影响

Fig.10 Effect of different type diet on the radioactive concentration in red cells

吸收的铁主要用于合成血红蛋白。铁蛋白和运铁蛋白存在于血清中,铁蛋白是哺乳动物体内的铁贮存蛋白,顾名思义,运铁蛋白是运输铁的蛋白。研究表明,血清中的铁绝大部分是与运铁蛋白结合的,而和铁蛋白结合的铁不到血清中总铁的 $1/10^{15}$ 。运铁蛋白是一种 β 球蛋白^[16]。因此,向胃内灌入含不同形态铁的铁吸收液后,测定血液、红细胞和血清 β 球蛋白中⁵⁹Fe的比放射性的动态变化同时测定其它常规性指标,从中找出不同形态铁被大鼠吸收、转运和利用的差别。

由图2可见,灌胃后3h,红细胞中⁵⁹Fe的比放射性很低,接近于零,24h的测值较高,以后逐渐升高,到240h时,已经开始下降,这与前人的研究结果基本一致。邓家栋^[17]指出,静脉内注射放射性铁后8~12h起可以测出循环血液中的红细胞具有放射性,且强度逐渐增强,到第7d左右达到平顶,表示放射性铁用于合成血红蛋白达到最高值。由图2中不难看出,赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁能更快地被动物用以合成血红蛋白,赖氨酸和甘氨酸都能促进大鼠对铁的吸收。

由图3可见,灌胃后3h,血清球蛋白中⁵⁹Fe的

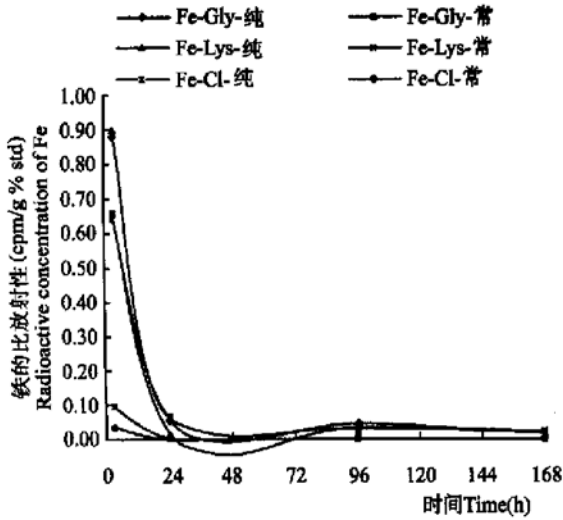


图 11 不同日粮背景对血清球蛋白中铁的比放射性影响
Fig.11 Effect of different type diet on the radioactive concentration in serum globulin

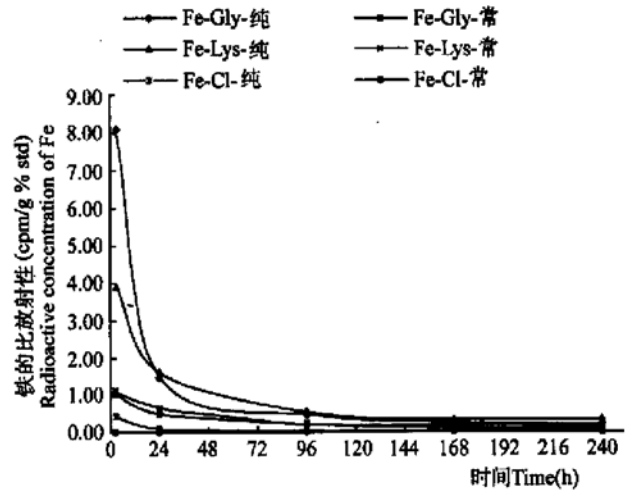


图 12 不同日粮背景对十二指肠中铁的比放射性影响
Fig.12 Effect of different type diet on the radioactive concentration in duodenum

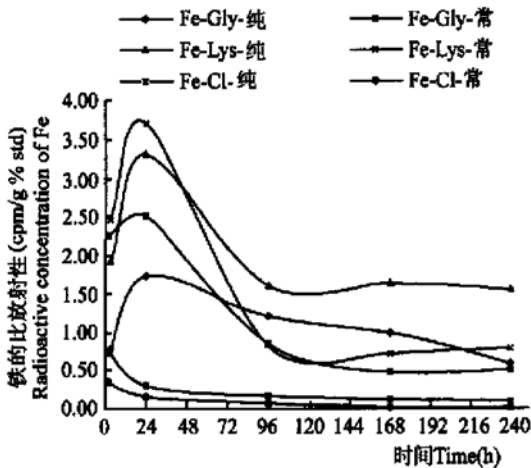


图 13 不同日粮背景对脾脏中铁的比放射性影响
Fig.13 Effect of different type diet on the radioactive concentration in spleen

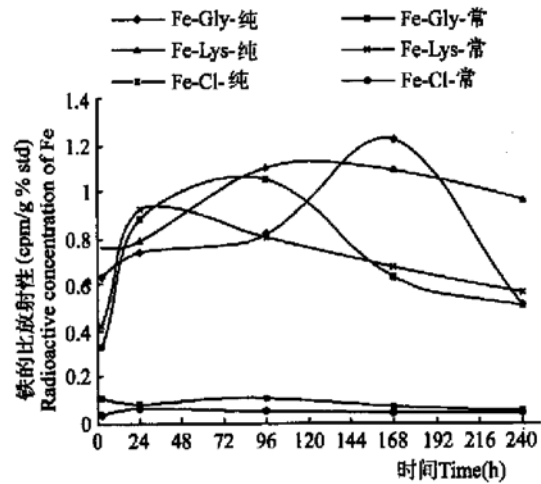


图 14 不同日粮背景对肝脏中铁的比放射性影响
Fig.14 Effect of different type diet on the radioactive concentration in liver

比放射性是所有时间点的最高值,两螯合铁显著高于两混合物中的铁,而后二者显著高于氯化亚铁。24 h 后,几种形态铁的测值没有显著差异,均接近于零。说明向大鼠胃内灌入含不同形态铁的铁吸收液后,24 h 内,运铁蛋白对铁的转运基本完成,而且氨基酸螯合铁的转运速度较其它形态铁更快,由此可以推测,运铁蛋白更易于结合螯合物中的铁。未见前人有过相关报道。但本指标得到结果与红细胞中⁵⁹Fe 比放射性得到结果相吻合。

由图 4 可见,灌胃后 3 h,不同形态⁵⁹Fe 在十二指肠段的比放射性最高,以后迅速下降,到 24 h 后下降速度渐缓。比较不同形态铁的动态变化曲线可

知,十二指肠粘膜细胞更易于摄取氨基酸螯合铁中的铁,其转运入血的速度也比其它形态铁快(见图 1)。有人报道,由于有机微量矿物质是结合于氨基酸、肽和其它化合物上的,所以它们比较容易被结合入生物体系中^[18]。关于铁的吸收机制的研究表明,铁是以螯合物形式由肠上皮细胞进入血液^[19]。本试验结果为上述观点提供了有利证据。

综合分析试验中其它各项测定指标,结果表明,在纯合日粮背景下,赖氨酸和甘氨酸分别与氯化亚铁混合后给予缺铁大鼠,两氨基酸都能促进铁的吸收、转运和利用。但当赖氨酸和甘氨酸分别与铁形成氨基酸螯合铁后再给予缺铁大鼠,更有利于其中

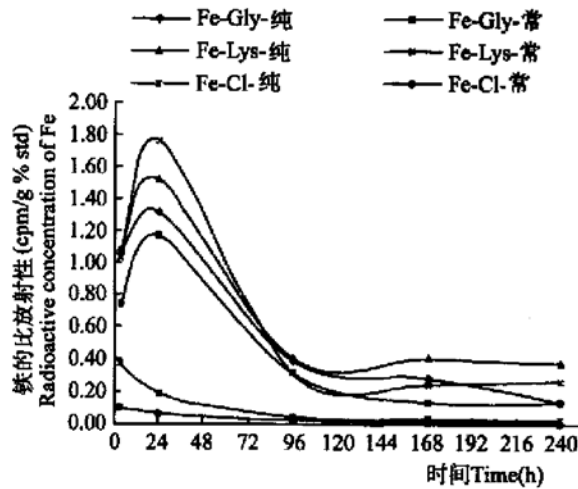


图 15 不同日粮背景对股骨中铁的比放射性影响

Fig. 15 Effect of different type diet on the radioactive concentration in thighbone

铁的吸收、转运和利用。这一结论与周桂莲^[14]得到的结论基本一致, 尽管由于实验条件的限制, 我们不能测定过胃后氨基酸螯合铁的变化, 但从周桂莲^[14]和本试验得到的结果的一致性来看, 过胃后氨基酸螯合铁的优势并未丧失。由此, 可以推测在大鼠胃内, 氨基酸螯合铁可能溶解, 但并未解离(仍保持较高的稳定常数)。

由于试验条件限制, 本研究没有采用铁和氨基酸双标记技术, 故不能证明吸收入血后, 氨基酸螯合铁是否解离? 如前所述, 根据灌胃后⁵⁹Fe在血液和血清球蛋白中的动态变化, 可以推测氨基酸螯合铁中铁的运输可能与运铁蛋白密切相关。但是, 不能否定氨基酸螯合铁在血液中有其自身运输系统。有实验证明: 在同样条件下(酸性), 用高锰酸钾滴定 Fe^{2+} , 使其氧化为 Fe^{3+} , 而向反应体系中加入氨基酸, Fe^{2+} 被氧化的数量大幅度减少。那么, 由于氨基酸螯合铁的 $\text{Log } \beta$ 较高, 吸收入血后, 不能解离出 Fe^{2+} , 被铜蓝蛋白氧化为 Fe^{3+} 的效率就可能很低, 而运铁蛋白只能运转 Fe^{3+} 。由此, 可以推测存在氨基酸螯合铁的自身转运系统。但这种转运系统是否存在、是如何发挥作用、到达靶器官后如何发挥作用等问题, 有待于进行更深入的研究。

采食常规日粮的大鼠对3种形态铁(氯化亚铁、赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁)的吸收转运和利用都低于采食纯合日粮的大鼠, 但不同形态铁降低的程度不同, 如3h时血清球蛋白中⁵⁹Fe的比放射性, 氯化亚铁组降低了65.06%, 赖氨酸螯合铁组降低了28.83%, 甘氨酸螯合铁组降低了25.01%, 其它

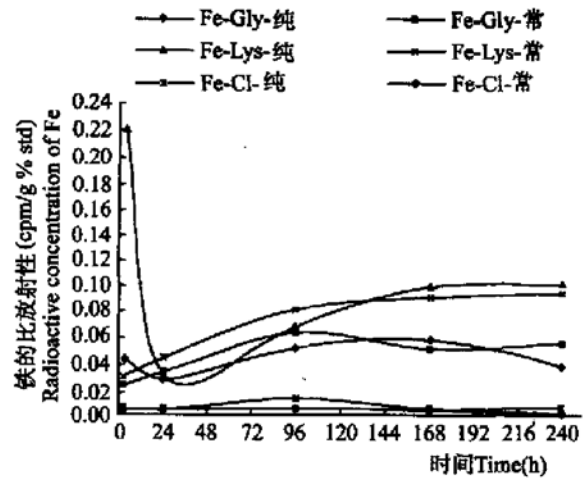


图 16 不同日粮背景对肌肉中铁的比放射性影响

Fig. 16 Effect of different type diet on the radioactive concentration in muscle

测定指标的结果也有类似的趋势。诸多研究表明, 受试动物体内铁的营养状态对其吸收铁的能力有极显著影响^[19~23]。当体内铁贮低时, 受试动物对铁的吸收能力增强。关于动物体内铁贮对铁的转运和利用的影响, 迄今为止, 尚未见相关的研究报道。综合分析各项测定指标, 可以得出以下结论, 在常规日粮背景下, 与氯化亚铁相比, 赖氨酸螯合铁和甘氨酸螯合铁被大鼠吸收、转运和利用均表现出强大优势。

参考文献:

- [1] Terry L W, 胡少昶译. 有机微量元素在断奶仔猪日粮中的应用[J]. 国外畜牧学—猪与禽, 1998, (1): 8~12.
- [2] Kroe D, Kinney T D. The influence of amino acids on iron absorption[J]. Blood, 1963, 21: 546.
- [3] Forth W, Rummel W. Iron absorption[J]. Physiological Reviews, 1973, 53(3): 725~792.
- [4] Saltman P. The role of chelation in iron mechanism[J]. Journal of Chemical Education, 1965, 42(12): 682~687.
- [5] Helbock H J, Saltman P. The transport of iron by rat intestine[J]. Biochim Biophys Acta, 1967, 135: 979~990.
- [6] Kuznetsov S G. Biological availability of iron from different chemical compounds for piglets[J]. Soviet Agricultural Science, 1987, 12: 32~36.
- [7] Spears J W, Schoenherr W D. Efficacy of iron methionine as a source of iron for nursing pigs[J]. J Anim Sci, 1992, 70(suppl. 1): 243(Abstr).
- [8] Darneley A H. Improving reproductive performance with iron amino acid chelate[A]. In: the roles of amino acid chelates in animal nutrition[M]. 1993, 251~268.
- [9] Langini S, Carbone N. Ferric glycinate iron bioavailability for rats, as determined by extrinsic radioisotopic labeling of infant formulas[J]. Nutrition Reports International,

- 1998, 38(4): 729~ 735.
- [10] Ammerman C B, Luo X G. Iron-methionine complex and feed grade ferrous sulfate as sources of dietary iron for chicks[J]. *J Anim Sci*, 1996, 74(suppl. 1): 8.
- [11] Cao J, Luo X G. Effect of dietary iron concentration, age, and length of iron feeding on feed intake and tissue iron concentration of broiler chicks for use as a bioassay of supplemental iron sources[J]. *Poultry Science*, 1996, 75: 495~ 504.
- [12] Lewis A J, Miller P S. Bioavailability of iron in iron methionine for weanling pigs[J]. *J Anim Sci*, 1995, 73(suppl. 1): 172.
- [13] Galdi M, Bassi A. Ferric glycinate iron bioavailability determined by hemoglobin regeneration method[J]. *Nutrition Reports International*, 1988, 37(3): 591~ 597.
- [14] 周桂莲, 等. 氨基酸螯合铁的吸收特点研究[J]. *饲料博览*, 2001, 增刊: 44~ 63.
- [15] 欧阳培, 何灌生. 细胞内的金属螯合物[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989.
- [16] 上海第一医学院. 医用生物化学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1979, 3.
- [17] 邓家栋. 临床血液学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [18] 袁森泉译. 有机微量矿物质添加剂应用的新进展[J]. *国外畜牧学—猪与禽*, 1999, (5): 22~ 24.
- [19] Nathanson M H, Muir A, McLaren G D. Iron absorption in normal and iron-deficient beagle dogs: mucosal iron kinetics[J]. *Am J Physiol*, 1985, 249: G439~ G448.
- [20] Conrad M E, Crosby W H. Intestinal mucosal mechanisms controlling iron absorption[J]. *Blood*, 1963, 22: 406~ 415.
- [21] Greenberger N J, Balcerzak S P, Ackerman G A. Iron uptake by isolated intestinal brush borders: changes induced by alterations in iron stores[J]. *J Lab & Clin Med*, 1969, 73: 711~ 721.
- [22] Thannoun A M, Arthur W M. Heme and nonheme iron absorption from meat loaf by anemic and healthy rats[J]. *Nutrition Reports International*, 1988, 37(3): 487~ 495.

Study of Iron Absorption and Transport of Iron Amino Acid Chelate by Rats

ZHOU Guilian¹, HAN Yourwen², TENG Bing³, XU Zrwei⁴, LIU Minhua⁴,
XU Ying⁴, DENG Bo⁴, XU Haifeng⁴

(1. *Institute of Animal Science, Guang dong Academy of Agricultural Science, Guangzhou 510640, China;*

2. *College of Animal Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;*

3. *Centre of Life Science and Bio-technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030;*

4. *Institute of Animal Science, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou 310021, China)*

Abstract: One trail was carried out to research iron absorption, transport and utilization of iron amino acid chelate (Fe-Lys and Fe-Gly) by rats through comparing with the compound of amino acid and FeCl₂ in the same moles of chelate. Rats in normal physiological status were fed two diets, purified diet based on dried skim milk and corn starch and sucrose, and conventional diet based on corn and soybean. The technique of directly perfusing stomach combined with radioactive isotope tracing was used in this study. The results were as follows: ①Lysine and glycine could increase absorption, transport and utilization of ferrous in iron-depleted rats. ②As compared with FeCl₂ in the same moles of chelate, iron-depleted rats could more easily absorb, transport and utilize iron in iron amino acid chelate, and the same conclusion could be supported by the results of radioactive concentration of different tissues and organs. ③Iron of iron amino acid chelate absorbed, transported and utilized by rats, with well iron status, were better than those of FeCl₂. ④The results obtained from this study indicated that iron amino acid chelate could be considered as an excellent iron additive. ⑤Through investigating dynamic change of radioactive concentration of ⁵⁹Fe in blood, red cell, serum globin, duodenum, the technique of directly perfusing stomach combined with radioactive isotope tracing was an appropriate method to study iron absorption, transport and utilization by animals.

Key words: Fe-Lys; Fe-Gly; Absorption; Transport; Utilization