

网络出版时间:2014-07-30 16:13

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.09.001

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.09.001.html>

免加铁源饲料添加剂饲粮对育肥猪的饲用效果

邢立东,王 欢,李泽阳,张 靖,周 明

(安徽农业大学 动物科技学院,安徽 合肥 230036)

【摘 要】 【目的】探讨免加铁源饲料添加剂饲粮在育肥猪中的应用效果。【方法】2012-09-28—11-12,选取健康、体质量约为 69 kg 的杜×长×大育肥猪 32 头,将其分为对照组和试验组,每组 16 头猪,用加有铁源饲料添加剂的常规饲粮饲喂对照组,用免加铁源饲料添加剂的基础饲粮饲喂试验组,分析 2 组猪生产性能、饲料利用和血浆生化指标的变化。【结果】与对照组相比,试验组猪平均日增质量和对饲料转化率有提高的趋势;对粗蛋白、无氮浸出物、粗纤维的消化率显著提高($P<0.05$);血浆铁质量浓度显著减少($P<0.05$),但血红蛋白质量浓度却极显著提高($P<0.01$);血浆谷丙转氨酶活性显著($P<0.05$)提高;血浆总蛋白、甘油三酯和胆固醇含量显著增加($P<0.05$);其他血浆生化指标差异不显著。【结论】育肥猪基础饲粮无需加铁源饲料添加剂。

【关键词】 育肥猪;免加铁源性饲料添加剂饲粮;饲用效果

【中图分类号】 S828.5

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)09-0022-05

Effects of feeding diet without iron-containing additive on finishing pigs

XING Li-dong, WANG Huan, LI Ze-yang, ZHANG Jing, ZHOU Ming

(Animal Science and Technology College, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: 【Objective】 The application of diet without iron-containing additive to feed finishing pigs was investigated in this experiment. 【Method】 From September 28, 2012 to November 12, 2012, 32 healthy three-way crossbred (Duroc×Landrace×Yorkshire) finishing pigs weighting ~69 kg were selected and divided into 2 groups: the control and the experimental group with 16 pigs in each group. The control group pigs were fed with the common diet with iron-containing additive, while the experimental group pigs were fed with the basal diet without iron-containing additive. The changes in productive performance, feed utilization and plasma biochemical parameters of finishing pigs were analyzed. 【Result】 Compared with the control group, ADG and FCR of the experimental group slightly increased while the digestion coefficients of CP, NFE and CF increased significantly ($P<0.05$). Iron content in plasma of the experimental pig plasma decreased significantly ($P<0.05$), while Hb concentration increased highly significantly ($P<0.01$). TP, TG and Cho concentrations as well as GPT activity also increased significantly ($P<0.05$). There were no significant differences ($P>0.05$) in other plasma biochemical parameters between the two groups. 【Conclusion】 It was confirmed that there was no need to add iron-containing additive to basal diet of finishing pigs.

Key words: Finishing pigs; diet without iron-containing feed additive; feeding effects

铁在动物体内有许多重要的作用^[1],如铁是血红蛋白和肌红蛋白的必需组分,也是细胞色素、细胞

色素氧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶等的成分。饲粮中含有足量的铁才能维持动物体正常的生理功

【收稿日期】 2013-06-20

【作者简介】 邢立东(1987—),男,河南南阳人,在读硕士,主要从事动物营养研究。E-mail: 501269707@qq.com

【通信作者】 周 明(1959—),男,安徽枞阳人,教授,主要从事动物营养生态研究。E-mail: aazhouming@163.com

能,保证动物正常的生长发育^[2]。因此,在动物生产上人们很重视使用含铁的饲料添加剂^[3]。研究表明,给幼龄或生长前期动物基础饲粮中添加含铁饲料添加剂,一般可取得预期的效果,如防止贫血和促进生长等^[4-9]。但是,给生长后期动物如育肥猪基础饲粮中添加含铁饲料添加剂,是否能取得预期效果则很少有试验研究。NRC(1998)和《中国猪饲养标准》(2004)都建议,体质量 60 kg 以上的育肥猪饲粮中铁的含量为 50 mg/kg^[10]。笔者查阅并检测了常用饲料原料的含铁量,发现我国许多常用饲料原料含铁较多或很多。例如,以干物质计,不同饲料原料中铁含量为:玉米 181 mg/kg,小麦 355.6 mg/kg,小麦麸 169 mg/kg,米糠 229 mg/kg,大豆饼(粕) 491 mg/kg,菜籽饼 1 112.5 mg/kg,棉籽饼 371.9 mg/kg,鱼粉 1 598 mg/kg。用这些原料配制基础饲粮,其中铁含量远超过育肥猪的铁需要量。另外,铁在动物体内可被循环利用^[11-12]。基于上述原因,在育肥猪基础饲粮中,似乎无需添加含铁饲料添加剂,但对此缺乏试验研究。因此,本试验研究了免加含

铁饲料添加剂饲粮对育肥猪的饲喂效果,以期为人们 在育肥猪饲粮中合理使用铁源性饲料添加剂提供参考。

1 材料与方法

1.1 动物及其试验处理

选取健康、体质量约为 69 kg 的杜×长×大育肥猪 32 头,将其分为对照组和试验组,每组 16 头猪,两组猪公母比例相同,编耳号。用加有铁源性饲料添加剂(一水合硫酸亚铁)的生产常规饲粮饲喂对照组猪;用免加铁源性饲料添加剂的饲粮饲喂试验组猪。

1.2 饲 粮

对照组猪饲粮为猪场生产的常规饲粮,其配方及营养组成如表 1 所示。试验组猪饲粮中大宗原料组成与对照组相同,仅 4% 预混料中不加一水合硫酸亚铁,用等量沸石粉替代。基础饲粮中铁含量为 274 mg/kg。

表 1 对照组猪饲粮原料的组成及养分含量

Table 1 Ingredients and main nutrients concentrations of the diet for the control group pigs

饲料原料 Ingredient	含量 Content	营养指标 Nutrient	含量 Content
玉米/(g·kg ⁻¹) Corn	600	DE/(MJ·kg ⁻¹)	12.76
小麦麸/(g·kg ⁻¹) Wheat bran	80	CP/(g·kg ⁻¹)	153.00
大豆粕/(g·kg ⁻¹) Soybean meal	130	Ca/(g·kg ⁻¹)	5.00
DDGS/(g·kg ⁻¹)	150	P/(g·kg ⁻¹)	4.50
预混料/(g·kg ⁻¹) Premix	40	Fe/(mg·kg ⁻¹)	342.00

注:预混料主要由矿物质、维生素、酶制剂、赖氨酸等组成,每吨 4% 预混料含 5.6 kg 一水合硫酸亚铁。

Note: Premix is mainly composed of minerals, vitamins, enzyme preparations and lysine. Every ton of 4% control group premix contains 5.6 kg ferrous sulphate monohydrate.

1.3 饲养管理

试验于 2012-09-28—11-12 在安徽和县苏绿源种猪场进行,试验期 45 d。各猪圈的设施条件相同:水泥地面,水泥料槽,乳头式饮水器。饲养试验对猪的饲养管理和免疫程序均按猪场的常规管理程序进行。

1.4 指标测定

(1)猪群健康指标:每天观察记录每组猪的健康状况,如采食情况、毛色状况、猪腹泻情况等。

(2)生产性能指标:在试验始、末,对供试猪个体称质量,测算猪平均日增质量(ADG)、日采食量(DFI)、料重比以及饲料转化率(FCR)等。

(3)消化率指标:用内源指示剂(酸不溶灰分)法测定猪对主要养分粗脂肪(EE)、粗蛋白(CP)、无氮浸出物(NFE)、粗纤维(CF)、粗灰分、钙、磷的消化率(DC)。

(4)血液生化指标:在试验末,每组中随机选取 6 头猪,空腹前腔静脉采血 10 mL 左右,肝素钠抗血凝,测定血液中血红蛋白(Hb)含量,并测定血浆中铁(Fe)、葡萄糖(Glu)、甘油三酯(TG)、胆固醇(Cho)、总蛋白(TP)、尿素氮(UN)和 IgG 含量以及谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)活性,测定以上指标所用的试剂盒均购自南京建成生化试剂公司,并按该公司提供的说明书用半自动生化仪测定。

1.5 数据处理与分析

试验数据均以“平均数±标准差”表示,采用 SAS 9.0 版对试验数据进行单因子方差分析。

2 结果与分析

2.1 免加铁源饲料添加剂饲粮对育肥猪健康状况的影响

在饲养试验过程中,偶尔发现 2 组猪均有 1~2

头猪轻度腹泻,但 1~2 d 腹泻症状消失。除此之外,未发现其他明显异常的情况。这表明 2 组猪健康状况基本正常。

2.2 免加铁源饲料添加剂饲粮对育肥猪生产性能、饲料利用与血浆生化指标的影响

从表 2 可看出,试验组与对照组猪的初始体质

量无显著的差异($P>0.05$)。两组猪的 ADG、料重比以及对饲料粗脂肪、粗灰分及钙、磷的消化率均无显著差异($P>0.05$),但试验组猪增重性能以及饲料转化率都高于对照组;试验组猪对饲料粗蛋白质、无氮浸出物、粗纤维的消化率均显著高于对照组($P<0.05$)。

表 2 免加铁源添加剂饲粮对育肥猪生产性能与饲料转化率的影响($n=16$)
Table 2 Productive performance of finishing pigs and feed conversion coefficient

指标 Index	对照组 Control group	试验组 Experimental group	指标 Index	对照组 Control group	试验组 Experimental group
初始体质量/(kg·头 ⁻¹) Initial weight	63.28±6.44 a	63.20±4.29 a	粗脂肪消化率/% DC of EE	0.93±0.03 a	0.95±0.01 a
终末体质量/(kg·头 ⁻¹) End weight	104.97±11.93 a	106.20±7.91 a	粗蛋白消化率/% DC of CP	0.70±0.03 a	0.76±0.03 b
增质量/(kg·头 ⁻¹) Weight gain	41.69±6.85 a	43.00±4.07 a	无氮浸出物消化率/% DC of NFE	0.89±0.02 a	0.92±0.02 b
平均日增质量/(g·头 ⁻¹) ADG	926.44±142.77 a	955.55±85.14 a	粗纤维消化率/% DC of CF	0.65±0.06 a	0.71±0.02 b
日采食量/(kg·头 ⁻¹) DFI	2.51±0.35 a	2.44±0.29 a	粗灰分消化率/% DC of ash	0.43±0.03 a	0.44±0.07 a
料重比 Feed/weight	2.89 a	2.73 a	钙消化率/% DC of Ca	0.45±0.07 a	0.48±0.07 a
饲料转化率/% FCR	34.65 a	36.65 a	磷消化率/% DC of P	0.44±0.07 a	0.47±0.08 a

注:同行数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标相同字母者表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$), while the same letters indicate no significant differences ($P>0.05$). The same below.

表 3 显示,两组猪的血浆 Glu、UN、IgG 含量和 GOT 活性均无显著差异($P>0.05$),但试验组猪血浆 TP、TG、Cho 含量和 GPT 活性均显著高于对照

组($P<0.05$);另外,虽然对照组猪血浆中铁含量显著高于试验组,但试验组猪血液中 Hb 水平却极显著高于对照组($P<0.01$)。

表 3 免加铁源添加剂饲粮对育肥猪血浆生化指标的影响
Table 3 Plasma biochemical parameters of finishing pigs

指标 Index	对照组 Control group	试验组 Experimental group	指标 Index	对照组 Control group	试验组 Experimental group
铁/(mg·L ⁻¹) Fe	1.78±0.054 a	1.50±0.048 b	GPT/(U·L ⁻¹)	85.13±3.30 a	97.36±1.93 b
血红蛋白/(g·L ⁻¹) Hb	110.78±6.72 A	163.26±11.32 B	GOT/(U·L ⁻¹)	48.95±2.47 a	53.89±2.40 a
葡萄糖/(mmol·L ⁻¹) Glu	3.91±0.091 a	3.95±0.089 a	甘油三酯/(mmol·L ⁻¹) TG	0.13±0.026 a	0.32±0.012 b
总蛋白/(g·L ⁻¹) TP	59.51±1.42 a	63.77±1.33 b	胆固醇/(mmol·L ⁻¹) Cho	2.18±0.09 a	2.48±0.10 b
尿素氮/(mmol·L ⁻¹) UN	11.57±0.29 a	11.58±0.39 a	IgG/(g·L ⁻¹)	4.67±0.12 a	4.71±0.11 a

注:同行数据后标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。
Note: Different uppercase letters indicate extremely significant differences ($P<0.01$).

3 讨 论

幼龄仔猪易缺铁,这是因为:①体内铁储量少(每 kg 约含铁 35 mg);②吮吸的初乳(10 mg/L)和常乳铁含量(5 mg/L)少;③生长快,需铁量多^[13]。因此,要给仔猪补饲铁^[5-7]。随着仔猪的长大,其需铁量逐渐减少。断奶后的仔猪以及随后的中、大猪,采食的饲料一般是由常规饲料原料组成的,据测算常规或一般性饲粮中铁含量多在 270 mg/kg 以上。NRC(1998)和《中国猪饲养标准》(2004)都规定:体质量 60 kg 以上的育肥猪对铁的需要量为 50 mg/kg 饲粮^[10]。由此可见,基础饲粮中铁含量明显

超过育肥猪对铁的需要量。当然,基础饲粮中的铁可能多为结合态,效价可能较低^[8]。从本试验结果看,育肥猪基础饲粮中无需再额外补铁,而且给体质量 60 kg 以上的育肥猪基础饲粮中添加一水合硫酸亚铁,可能还有不良影响。

3.1 补饲铁饲粮对育肥猪生产性能和饲料转化率的影响

基础饲粮中铁含量为 274 mg/kg。本试验结果表明,在体质量 60 kg 以上的肥育猪基础饲粮中再添加含铁制剂,猪的增重性能并未得到改善,反而有下降的趋势,但与不加铁的试验组相比,二者差异不显著。这表明基础饲粮中铁含量(274 mg/kg)已能

满足育肥猪的营养需要量,饲粮中含过量的铁,可能对育肥猪有害。

Knight 等^[14]和 Weinberg^[15]分别报道,游离铁离子可促进大肠杆菌等细菌的生长和增殖。本试验结果显示,补饲铁的育肥猪对粗蛋白质、无氮浸出物、粗纤维等养分的消化率显著低于未补饲铁的育肥猪($P < 0.05$)。其原因可能是:在饲粮中添加无机铁(一水合硫酸亚铁),增加了肠道中游离铁离子的含量,从而刺激了大肠杆菌等有害菌的生长和增殖,一方面使肠道健康状况下降,降低了猪的消化机能;另一方面,大肠杆菌等有害菌在消化道内还消耗养分。因此,补饲过量铁的猪对饲料养分的消化率降低。

3.2 补饲铁饲粮对育肥猪血液生化指标的影响

Zimmerman 等^[16]认为,血液 Hb 含量是反映动物铁营养状况的可靠指标。健康动物血液 Hb 含量在一定的范围内波动^[17]。本试验中,试验组猪血浆铁含量显著低于对照组,这很可能是未给试验组猪补饲铁造成的。然而,未补饲铁育肥猪血液中的 Hb 含量却极显著高于补饲铁的育肥猪,造成这个试验结果的原因还不清楚,还有待以后试验证明。

血浆 TP 的主要功能是维持胶体渗透压,并有运输、免疫、修补组织和缓冲酸碱等作用。血浆 TP 含量也反映了机体蛋白质的吸收和代谢状况。本试验中,试验组猪血浆 TP 含量显著高于对照组($P < 0.05$),其原因可能是试验组猪对饲粮蛋白质的消化吸收率较高所致。GPT 和 GOT 主要存在于肝脏、心脏等组织细胞中,一般而言,血液中 GPT、GOT 活性与肝、心等组织细胞结构的稳定性存在负相关关系。本试验中,试验组猪血浆 GPT 活性显著高于对照组。季学枫等^[13]报道,猪长期喂高铁饲粮,则肝被铁所饱和,铁进而以胶体硫酸铁的形式沉积下来,这种胶体硫酸铁可能使肝细胞膜通透性下降,肝细胞内 GPT 渗出量减少,因而铁含量高的对照组猪的血浆 GPT 活性低于试验组。刘庆华等^[18]报道,铁过量或缺乏,均会影响新生仔猪机体的免疫功能和抗氧化功能;铁过量可提高新生仔猪机体铁含量和肝脏中 hepcidin mRNA 表达量,铁缺乏则会降低新生仔猪机体铁含量和肝脏中 hepcidin mRNA 表达量。杨智敏等^[19]报道,高铁负荷抑制了胸腺、脾脏、法氏囊等免疫器官的正常发育。本试验结果显示,试验组猪血浆 TG 和 Cho 浓度显著高于对照组,这可能是试验组猪对饲粮脂肪消化率较高所致。

铁等矿物元素来自地球矿物质资源,为非再生

性饲料资源^[20]。铁等微量元素添加剂的作用是弥补基础饲粮中相应元素的不足。因此,铁等微量元素添加剂的用量取决于基础饲粮中铁等微量元素的本底值。我国幅员辽阔,地形复杂,土壤类型繁多,不同地区土壤的化学组成(如铁等)差异较大,这就必然导致不同地区生产的植物性饲料中化学组成(如铁等)不同。另外,我国不同地区的气候差异很大,气候也会影响饲料作物对土壤铁等微量元素的吸收利用。可见,由不同地区生产的饲料原料配合而成的基础饲粮中,微量元素组成是不同的。现今,不少饲料企业一般不测定基础饲粮中铁等矿物元素含量,往往添加过量的矿物质添加剂,这种做法值得商榷。笔者在先前的预试验中,在育肥猪基础饲粮中添加铁制剂,猪的增质量和对饲料的转化率并未提高,甚至有下降的趋势。本试验的结果表明,在富铁的基础饲粮中再加铁制剂(一水合硫酸亚铁),对育肥猪的生长和营养生化代谢无积极作用,甚至有负面影响。当然,这仍是初步的试验结果,还有待于今后进一步的试验证明。

[参考文献]

- [1] Domellof M. Iron requirements, absorption and metabolism in infancy and childhood [J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 2007, 10(3): 329-335.
- [2] Collard K J. Iron homeostasis in the neonate [J]. *Pediatrics*, 2009, 123(4): 1208-1216.
- [3] 熊家林, 张 衍. 常用饲料添加剂 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
Xiong J L, Zhang Y. *Common feed additives* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [4] 孙铁虎, 朴香淑, 龚利敏, 等. 氨基酸络合铁对生长猪生长性能及有关指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2006, 18(1): 12-18.
Sun T H, Piao X S, Gong L M, et al. Effects of iron-amino acid complex on growth performance and the related parameters in growing pigs [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2006, 18(1): 12-18. (in Chinese)
- [5] 覃以智, 周学光, 夏玉红. 有机微量元素内络合物在仔猪的应用试验 [J]. *饲料博览*, 2000(12): 14.
Qin Y Z, Zhou X G, Xia Y H. Organic trace elements within complex application tests in pigs [J]. *Feed Review*, 2000(12): 14. (in Chinese)
- [6] 孙效名, 吴 信, 印遇龙, 等. 幼龄动物铁吸收及其调控 [J]. *动物营养学报*, 2012, 24(6): 1001-1006.
Sun X M, Wu X, Yin Y L, et al. Iron absorption and its regulation in the neonate [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(6): 1001-1006. (in Chinese)
- [7] 江素梅. 氨基酸螯合铁预防仔猪贫血的初步探讨 [J]. *饲料研究*, 2012(3): 32-33, 36.

Jiang S M. Preliminary study on iron amino acid chelate preventing piglet anemia [J]. Feed Research, 2012(3): 32-33. 36. (in Chinese)

[8] 张志美,付石军,郭时金,等. 氨基酸螯合铁在猪营养中的应用研究进展 [J]. 饲料研究, 2012(8): 35-36.

Zhang Z M, Fu S J, Guo S J, et al. Advances in application of iron amino acid chelate in swine nutrition [J]. Feed Research, 2012(8): 35-36. (in Chinese)

[9] Ma W Q, Sun H, Zhou Y, et al. Effects of iron glycine chelate on growth, tissue mineral concentrations, fecal mineral excretion and liver antioxidant enzyme activities in broilers [J]. Biol Trace Elem Res, 2012(5): 1-5.

[10] 吴晋强. 动物营养学 [M]. 3 版. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2010.

Wu J J. Animal nutrition [M]. 3rd edition. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2010. (in Chinese)

[11] McDonald P, Edwards R A, Greenhalgh J F D. Animal nutrition [M]. 4th edition. New York: John Wiley & sons Inc, 1988: 101-103.

[12] Kostas P, Suheel K P, Alan T, et al. Mechanisms of mammalian iron homeostasis [J]. Biochemistry, 2012, 51: 5705-5724.

[13] 季学枫, 周 明, 吴义师. 仔猪铁营养的研究 [J]. 饲料工业, 2005, 26(22): 38-40.

Ji X F, Zhou M, Wu Y S. Study on iron nutrition of piglets [J]. Feed Industry, 2005, 26(22): 38-40. (in Chinese)

[14] Knight D D, Kalsing K C, Forsyth D M, et al. E. coli growth in serum of iron dextran-supplemented pigs [J]. Anim Sci, 1983, 60: 387-395.

[15] Weinberg E D. Iron and infection [J]. Microbiol Res, 1987, 42: 45-66.

[16] Zimmerman D R, Speer V C, Hays V W, et al. Inject able iron dextran and every day iron treatments for prevention of deficiency anemia of baby pigs [J]. Anim Sci, 1980, 57: 1409-1414.

[17] 赵金香. 酵母铁对仔猪生长性能、理化指标及免疫机能的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2005.

Zhao J X. Effects of yeast iron on growth performance, physiological and biochemical parameters and immune function of baby pigs [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2005. (in Chinese)

[18] 刘庆华, 杨建平, 刘延贺, 等. 铁过量或缺乏对新生仔猪血清生化指标及肝脏 hepcidin mRNA 表达量的影响 [J]. 动物营养学报, 2012, 24(5): 845-851.

Liu Q H, Yang J P, Liu Y H, et al. Effects of iron overload or deficiency on serum biochemical parameters and liver hepcidin mRNA expression of newborn piglets [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(5): 845-851. (in Chinese)

[19] 杨智敏, 刘志军, 万 锐. 禽铁过度负荷免疫器官病理学观察 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011(3): 111-112.

Yang Z M, Liu Z J, Wan R. Pathological observation of immune organs in fowl of iron overload [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2011(3): 111-112. (in Chinese)

[20] 周 明. 饲料学 [M]. 2 版. 合肥: 安徽科学技术出版社, 2010.

Zhou M. Feed Science [M]. 2nd edition. Hefei: Anhui Science and Technology Press, 2010. (in Chinese)

(上接第 21 页)

[17] 赵昕红, 李德发, 田福刚, 等. 高铜和高锌对仔猪生长性能、免疫功能和抗氧化酶活性的影响 [J]. 中国农业大学学报, 1999, 16(1): 91-96.

Zhao X H, Li D F, Tian F G. Effects of high copper and zinc on performance, immune function and antioxidant enzyme activities [J]. Journal of China Agricultural University, 1999, 16(1): 91-96. (in Chinese)

[18] Hill G M, Ku P K, Miller E R, et al. A copper deficiency in neonatal pigs induced by a high zinc maternal diet [J]. Jou Nutr, 1983, 113: 867-872.

[19] Pimentel J L, Cook M E. Reseach note: Bioavalaility of zinc-methionine for chicks [J]. Poultry Seienee, 1991, 70(7): 1637-1639.

[20] Foster D M, Wastney M E, Henkin R I. Zinc metabolism humans; A kinetic model [J]. Math Biosci, 1984, 72: 359-372.