

肉仔鸡对不同镁源相对生物学利用率的评价

刘永祥^{1,2}, 吕于明², 刘太宇¹, 刘艳丽¹, 朱宽佑¹

(1 郑州牧业工程高等专科学校 畜牧工程系, 河南 郑州 450008; 2 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100098)

[摘要] **【目的】**探讨肉仔鸡对不同镁源的生物学利用率。**【方法】**将 360 只 1 日龄的 AA 肉仔鸡随机分为 10 个处理组, 每处理组 6 个重复, 每重复 6 只公雏, 分别饲喂添加氧化镁(MgO)、天门冬氨酸镁(MgAsp)和天门冬氨酸螯合镁(MgdiAsp)的日粮(各种镁源添加量均设 0.9、1.8 和 2.7 g/kg 3 个添加水平), 以不加镁的处理组为对照。21 日龄时测定肉仔鸡组织镁和肝脏丙二醛(MDA)含量及肝脏过氧化氢酶(CAT)活性, 以组织镁、肝脏 MDA 含量和 CAT 活性为指标, 评价肉仔鸡对不同镁源的生物学利用率。**【结果】**肉仔鸡血清镁含量随 MgO、MgAsp 和 MgdiAsp 添加量的增大而线性提高($P<0.01$); 肝脏镁含量随日粮中 MgO($P<0.01$)、MgAsp($P<0.05$)添加量的增加呈二次曲线性提高; 肉仔鸡肝脏 CAT 活性随 MgAsp ($P<0.05$)或 MgdiAsp($P<0.01$)添加量的增加线性提高, 随 MgO 添加量的增加呈二次曲线性提高($P<0.05$); 肉仔鸡肝脏 MDA 含量随日粮镁添加量的增加而线性降低($P<0.05$)。以 MgO 的生物学利用率为 100%, 以血清镁含量、肝脏 CAT 活性、MDA 含量为衡量指标时, MgAsp 的相对生物学利用率分别为 155%、283%和 150%, MgdiAsp 的相对生物学利用率分别为 203%、424%和 133%。**【结论】**日粮中添加镁可以改善肉仔鸡的镁营养状态, 提高肉仔鸡肝脏 CAT 的活性, 降低脂质过氧化水平, 且有机镁的添加效果优于无机镁。

[关键词] 肉仔鸡; 镁; 生物学利用率; 组织镁含量; 过氧化氢酶活性; 丙二醛含量

[中图分类号] S816.71 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2008)08-0007-06

Evaluation of relative bioavailabilities of different magnesium sources in broilers

LIU Yong-xiang^{1,2}, GUO Yu-ming², LIU Tai-yu¹, LIU Yan-li¹, ZHU Kuan-you¹

(1 Animal Science Department, Zhengzhou Animal Husbandry College, Zhengzhou, Henan 450008, China;
2 College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: **【Objective】**The experiment was conducted to study the relative bioavailabilities of magnesium sources for broilers. **【Method】**Three hundred and sixty 1-day-old male AA broiler chicks were allocated to ten treatments, each with six replicates of 6 chickens. Birds were fed diets supplemented with MgO, MgAsp or MgdiAsp (magnesium (Mg) level from each Mg source at 0.9, 1.8, 2.7 g/kg of the diet respectively, and the basal diet served as the control. Mg concentrations in liver and serum, hepatic catalase activity and MDA content of broiler chickens at 21 d were determined as criteria for relative bioavailability assays of Mg. **【Result】**Serum Mg concentration increased linearly as MgO, MgAsp or MgdiAsp supplementation increased ($P<0.01$). Hepatic Mg concentration increased quadratically as MgO or MgAsp supplementation increased ($P<0.01$). Hepatic catalase (CAT) activity increased linearly in birds fed with MgAsp or MgdiAsp ($P<0.01$) and quadratically in birds fed with MgO ($P<0.05$) as dietary Mg supplementation level increased. Hepatic MDA content decreased linearly as dietary Mg supplementation level increased ($P<$

* [收稿日期] 2007-03-16
[基金项目] 国家自然科学基金项目(30371043)
[作者简介] 刘永祥(1969—), 男, 山东成武人, 讲师, 博士, 主要从事单胃动物营养研究。E-mail: yxliu225@163.com
[通讯作者] 吕于明(1964—), 男, 湖北孝感人, 教授, 博士生导师, 主要从事单胃动物营养研究。

0.05)。The respective relative bioavailability values compared with 100% from MgO were 155%,283%,150% for MgAsp;203%,424%,133% for MgdiAsp. 【Conclusion】Dietary Mg supplementation could improve magnesium nutrition status of broiler chicken;and organic magnesium such as MgAsp or MgdiAsp is more effective to improve hepatic CAT activity and decrease MDA content.

Key words: chickens; magnesium; bioavailability; tissue magnesium; catalase activity; malondialdehyde content

镁是畜禽必需的矿物质元素之一,几乎参与动物机体内所有重要的生化活动。过去对镁营养的研究主要集中在反刍动物上,其原因是成年反刍动物对镁的利用率低,需要量大,因此容易出现镁缺乏症(如青草抽搐)。普通玉米—豆粕日粮中的镁含量远高于家禽的最低需要量,因此在配制家禽日粮时,一般不考虑镁营养问题。然而,近年来的研究表明,家禽日粮中添加镁具有抗应激、改善肌肉品质、增强机体抗氧化能力的作用^[1-3]。

氧化镁(MgO)是最常用的无机镁源,具有成本低、镁元素含量高等优点,但溶解性差、利用率低,因此人们将目光转向有机镁。但是,近年来对不同镁源在抗应激、改善肌肉品质、增强机体抗氧化能力等方面的研究结果不一致。有研究表明,有机镁(如柠檬酸镁、镁蛋白盐)的生物学利用率高于无机镁源(如氧化镁)^[3-5];然而 Souza 等^[6]发现,天门冬氨酸镁(MgAsp)、硫酸镁、氯化镁对减少白肌肉(PSE肉)的发生率同样有效。产生这些差异的原因可能在于不同报道中所用的有机镁源的性质及评价指标不同。日粮镁的抗应激和改善肌肉品质的作用与镁调节机体的氧化应激状态有关。目前,以组织镁含量、肝脏过氧化氢酶(CAT)活性、肝脏丙二醛(MDA)含量为衡量指标,评价肉仔鸡对不同镁源生

物学利用率的研究在国内外均未见报道。为此,本研究以 MgO、MgAsp 和天门冬氨酸螯合镁(Mgdi-Asp)为镁源,以肉仔鸡组织镁含量、肝脏 CAT 活性及肝脏 MDA 含量为评价指标,研究了肉仔鸡对不同镁源的生物学利用率,以期揭示有机镁相对于无机镁的组织代谢机理,为肉仔鸡生产中高效镁源的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

1.1.1 肉仔鸡 1 日龄的 AA 肉仔鸡,购自华都肉鸡有限公司,共 360 只,饲养在温控的饲养室内,自由采食和饮水,按照常规的程序进行免疫。

1.1.2 镁源 氧化镁(MgO),国产分析纯,北京红星化工厂生产;天门冬氨酸镁(MgAsp)和天门冬氨酸螯合镁(MgdiAsp),购自安徽生物制品厂,镁含量分别为 11.9%和 7.7%。

1.1.3 基础日粮 按照美国 NRC(1994)家禽营养标准配制基础日粮,其组成见表 1。基础日粮营养水平为:代谢能 12.62 MJ/kg;粗蛋白、钙、有效磷、蛋氨酸、蛋氨酸+胱氨酸和赖氨酸的含量分别为 216,9.8,4.5,4.8,8.4 和 10.4 g/kg,镁含量为 1.29 g/kg。

表 1 肉仔鸡对不同镁源相对生物学利用率试验的基础日粮组成

Table 1 Basal diet composition in the experiment on relative bioavailabilities of different magnesium sources in broilers			
营养成分 Ingredient	含量/(g·kg ⁻¹) Content	营养成分 Ingredient	含量/(g·kg ⁻¹) Content
玉米 Maize	648.2	氯化钠 NaCl(AR)	3.0
豆粕 Soyabean meal	159.2	维生素预混剂 Multi-vitamin premixa	0.2
大豆分离蛋白 Soyabean isolated protein	80.0	矿物质预混剂 Trace-minerals premixb	2.0
大豆油 Soya oil	27.3	15%金霉素 Aureomycin	0.8
DL-蛋氨酸 DL-Methionine	2.0	50%氯化胆碱 Choline chloride	0.8
赖氨酸 Lysine	0.8	33%抗氧化剂 BHT	0.4
磷酸氢钙 CaHPO ₃ (CR)	18.0	细沙 Slim sand	7.7
碳酸钙 CaCO ₃ (CR)	12.3	天门冬氨酸 L-Aspartic-acid	27.8

注:维生素预混剂向每千克饲料提供维生素 A 12,500 IU,维生素 D₃ 2500 IU,维生素 E 18.75 mg,维生素 K₃ 2.65 mg,维生素 B₁ 2.0 mg,维生素 B₆ 6.0 mg,维生素 B₁₂ 0.025 mg,叶酸 50 mg,D-泛酸钙 12 mg,尼克酸 1.25 mg;矿物质预混剂向每千克饲料提供 Cu 8 mg,Fe 80 mg,Mn 100 mg,Zn 75 mg,Se 0.15 mg,I 0.35 mg。

Note: Vitamin premix provided per kg of diet: Vitamin A 12,500 IU;Vitamin D₃,2500 IU;Vitamin E,18.75 mg;Vitamin K₃,2.65 mg;Thiamin,2.0 mg;Vitamin B₆ 6.0 mg,Riboflavin,0.025 mg;niacin,50 mg;D-pantothenic acid,12 mg;folic acid,1.25 mg;Trace-minerals premix provided per kg of diet:Cu,8 mg;Fe,80 mg;Mn,100 mg;Zn,75 mg;Se,0.15 mg;I,0.35 mg.

1.2 试验设计

试验在中国农业大学动物饲养场进行,采用 3×3+1 因子完全随机设计,MgO、MgAsp 和 Mgdi-Asp 3 种镁源均设 0.9、1.8 和 2.7 g/kg 3 种添加水平,以不加镁的半纯合日粮作为对照组,共 10 个处理组,每个处理设 6 个重复,每重复 6 只公雏。通过添加天门冬氨酸来平衡所有处理组饲料中的粗蛋白至同一水平。肉仔鸡饲养至 21 日龄时群体称重并统计耗料量,计算只均增重和只均采食量。

1.3 血清和肝脏组织匀浆液样品的制备

21 日龄时每个处理选 6 只鸡宰杀,收集血液,800 r/min 离心 10 min 分离血清,-30℃ 冷冻保存。同时采取肝脏,立即放入液氮速冻,称取约 0.5 g 肝脏组织样,加 4.5 mL 生理盐水,4 000 r/min 匀浆 2~3 min,3 000 r/min 离心 10 min,取上清(组织匀浆液),分数管冻存。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 血清和肝脏中镁含量的测定 血清用稀盐酸稀释 10 倍后,以原子吸收分光光度法测定镁的含量。冻存的肝脏经冷冻干燥后先在电炉上充分炭化,然后在 550℃ 高温下充分灰化 12 h,最后溶于适量的稀盐酸溶液中,以原子吸收分光光度法测定镁含量。

1.4.2 肝脏匀浆液 CAT 活性和 MDA 含量的测定

肝组织匀浆液中的 CAT 活性采用紫外分析法^[7]测定,MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定。试验所用试剂盒由南京建成生物工程研究所提供。

1.5 数据统计分析

试验数据采用 SPSS11.5 的 GLM 程序进行方差分析,以镁源及其添加水平作为主效应,当差异显著时,以 LSD 进行多重比较。用 Poly contrast 程序比较评定镁的剂量添加效应。以多元线性回归斜率比法,评定有机镁相对于氧化镁的生物学利用率。

2 结果与分析

2.1 不同镁源及其添加水平对 21 日龄肉仔鸡生产性能的影响

试验结果表明,添加 MgO、MgAsp、MgdiAsp 组肉仔鸡只均增重分别是(0.66±0.03),(0.67±0.03),(0.66±0.04) kg,只均采食量分别是(1.03±0.03),(1.04±0.04),(1.04±0.03) kg,不同镁源及其添加水平对肉仔鸡的采食量、只均增重等指标均无显著影响($P>0.05$)。

2.2 不同镁源及其添加水平对 21 日龄肉仔鸡血清和肝脏镁含量的影响

镁源及其添加水平对 21 日龄肉仔鸡血清镁含量的影响见表 2。

表 2 不同镁源及其添加水平对 21 日龄肉仔鸡血清和肝脏镁含量的影响

Table 2 Effect of Mg source and level on serum and hepatic Mg concentrations

镁源 Mg source	镁添加水平/(g·kg ⁻¹) Mg supplemental level	血清镁/(mg·L ⁻¹) Serum Mg	肝脏镁/(mg·kg ⁻¹) Hepatic Mg
对照组 Control 氧化镁 MgO	0	7.12 ± 1.25	119.51 ± 14.64
	0.9	7.73 ± 0.88	123.06 ± 6.21
	1.8	8.35 ± 0.66	125.11 ± 10.84
	2.7	10.13 ± 1.04	143.14 ± 17.33
	平均 Average	8.33 ± 1.47 A	127.70 ± 24.25 A
天门冬氨酸镁 MgAsp	0.9	9.15 ± 0.86	154.50 ± 7.76
	1.8	9.92 ± 0.68	156.51 ± 15.74
	2.7	10.16 ± 0.79	164.78 ± 15.74
	平均 Average	9.09 ± 1.49 B	141.82 ± 22.41 B
天门冬氨酸螯合镁 MgdiAsp	0.9	9.85 ± 1.02	173.53 ± 14.63
	1.8	10.21 ± 0.41	186.95 ± 21.64
	2.7	11.06 ± 0.72	188.2 ± 14.54
	平均 Average	9.56 ± 1.73 C	167.05 ± 32.58 C

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$);标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。表中的平均值均为各镁源不同添加水平和对照的平均值。下表同。

Note: Different small letters within a row mean significant difference ($P<0.05$); Different capital letters within a row mean very significant difference ($P<0.01$). Any average in the table is the average of different Mg supplementation level treatments and the control. The following table is the same.

由表 2 可知,肉仔鸡血清中的镁含量随日粮镁添加水平的增加线性提高($P<0.01$);镁源对肉仔

鸡血清镁含量也有显著影响,MgdiAsp 供应组肉仔鸡血清中的镁含量最高,其次是 MgAsp 组,MgO 组

肉仔鸡血清镁含量最低($P<0.01$),而且镁源和镁添加水平之间存在显著的互作($P<0.05$)。21 日龄肉仔鸡血清镁含量与添加镁采食量间拟合的多元线性回归方程为: $Y=7.70+13.56 X_1+20.98 X_2+27.54 X_3$ ($P<0.001,R^2=0.628$)。式中: Y 为 21 日龄肉仔鸡的血清镁含量; X_1,X_2,X_3 分别为 MgO,MgAsp,MgdiAsp 的添加采食量($\text{mg}/(\text{只}\cdot\text{d})$)。若以 MgO 的利用率为 100%,则 MgAsp 和 MgdiAsp 的相对生物学利用率分别为 155%和 203%,镁源之间差异极显著($P<0.01$)。肝脏镁的含量随日粮 MgO($P<0.01$)、MgAsp($P<0.05$)添加量的提高呈二次曲线性提高;21 日龄肉仔鸡肝脏镁含量与添加镁采食量间的多元线性回归方程为: $Y=132.89+55.26 X_1+249.83 X_2+473.22 X_3$, X_1 的 $P=0.527>0.05$,表明肉仔鸡肝脏镁含量与添加的 MgO 采食量间的线性回归关系不显著。

2.3 不同镁源及其添加水平对肉仔鸡肝脏 CAT 活性和 MDA 含量的影响

镁源及其添加水平对 21 日龄肉仔鸡肝脏 CAT 活性和 MDA 含量的影响见表 3。由表 3 可知,镁源对肉仔鸡肝脏 CAT 的活性有极显著影响($P<$

0.01),其中 MgdiAsp 供应组肉仔鸡肝脏 CAT 的活性最高,其次是 MgAsp 供应组,MgO 供应组肉仔鸡肝脏 CAT 活性最低($P<0.01$)。肉仔鸡肝脏 CAT 活性随 MgAsp($P<0.05$)或 MgdiAsp ($P<0.01$)添加量的增加而线性提高,随 MgO 添加量的增加呈二次曲线性提高($P<0.05$)。由表 3 还可知,肝脏 MDA 含量随日粮镁添加量的增加而线性降低($P<0.05$),有机镁比无机镁更有利于肉仔鸡肝脏中 MDA 含量的降低($P<0.05$)。

肝脏 CAT 活性与添加镁采食量间的多元线性回归方程为: $Y=130.49+94.37 X_1+267.17 X_2+400.43 X_3$ ($P<0.01,R^2=0.72$),若以 MgO 的利用率为 100%,则 MgAsp 和 MgdiAsp 的相对生物学利用率分别为 283%和 424%,镁源之间差异显著。肝脏 MDA 的含量与添加镁采食量间的多元线性回归方程为: $Y=0.455-0.03 X_1-0.045 X_2-0.040X_3$ ($P<0.01,R^2=0.765$),若以 MgO 的利用率为 100%,则 MgAsp 和 MgdiAsp 的相对生物学利用率分别为 150%和 133%,MgAsp 与 MgdiAsp 之间差异不显著($P>0.05$)。

表 3 不同镁源及其添加水平对 21 日龄肉仔鸡肝脏 CAT 活性和 MDA 含量的影响
Table 3 Effect of sources and level of magnesium on CAT activity and MDA content in
liver of broiler chickens at 21 days

镁源 Mg source	镁添加水平/ $(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1})$ Mg supplemental level	过氧化氢酶/ $(\text{U}\cdot\text{g}^{-1})$ CAT	丙二醛/ $(\text{nmol}\cdot\text{g}^{-1})$ MDA
对照 Control 氧化镁 MgO	0	122.90 $\pm$ 3.15	0.45 $\pm$ 0.05
	0.9	134.49 $\pm$ 7.65	0.44 $\pm$ 0.06
	1.8	135.63 $\pm$ 8.07	0.41 $\pm$ 0.03
	2.7	139.84 $\pm$ 9.37	0.35 $\pm$ 0.04
	平均 Average	133.39 $\pm$ 11.12 A	0.40 $\pm$ 0.04 a
天门冬氨酸镁 MgAsp	0.9	142.80 $\pm$ 12.14	0.40 $\pm$ 0.05
	1.8	154.98 $\pm$ 28.88	0.37 $\pm$ 0.04
	2.7	162.93 $\pm$ 25.83	0.32 $\pm$ 0.03
	平均 Average	145.75 $\pm$ 24.61 B	0.36 $\pm$ 0.13 b
	0.9	161.23 $\pm$ 17.21	0.41 $\pm$ 0.05
天门冬氨酸螯合镁 MgdiAsp	1.8	163.61 $\pm$ 6.77	0.37 $\pm$ 0.04
	2.7	176.97 $\pm$ 27.80	0.34 $\pm$ 0.03
	平均 Average	156.03 $\pm$ 26.04 C	0.37 $\pm$ 0.14 b

3 讨 论

张桂梅^[8]研究发现,在普通的玉米—豆粕型日粮中添加 2 g/kg 氧化镁或镁蛋白盐不影响肉仔鸡的生产性能。Gardiner 等^[9]研究发现,日粮中的镁含量达 4 058 mg/kg 时,其对肉仔鸡体重、死亡率、饲料转化率没有任何不良影响。NRC 建议肉仔鸡对镁的最低需要量是 0.65 g/kg^[10]。本试验基础日

粮中的镁含量为 1.295 g/kg,普通的玉米—豆粕日粮中的镁含量约为 2.1 g/kg,大约相当于在本试验基础日粮中补加 0.9 g/kg 的镁。在本试验基础日粮中补加 2.7 g/kg 镁后,日粮中的镁含量大约为 4 g/kg,与在普通的玉米—豆粕日粮中添加 2 g/kg 镁相当。据报道,当日粮中的镁含量超过肉仔鸡的耐受平时,肉仔鸡会表现出生长缓慢、腹泻、骨骼异常等中毒现象^[11]。本试验中,日粮不同镁源和镁添

加水平对肉仔鸡的只均采食量、只均增重等指标均无显著影响,说明本试验镁的最高添加量没有超过肉仔鸡的耐受能力。

血清镁含量是反映机体镁营养状况的最有效的指标之一。血清镁含量与日粮镁含量高度相关^[12],日粮中添加镁可提高血清中的镁含量。无论是人还是动物摄入低镁日粮均可诱发镁缺乏症。生长鼠摄取镁缺乏的日粮后,血清镁含量会在数天内大幅度下降^[13-15]。镁在肠道中的吸收量也是影响血清镁含量的重要因素,镁在肠道的吸收量与日粮中的镁含量成正比^[16]。一般而言,有机元素比无机元素更容易吸收。在本试验中,有机镁比无机镁更有利于提高血清镁含量,原因可能在于不同镁源在肠道中的吸收率不同。

肝脏中的镁含量受到严格的调控^[17],对于鼠类动物而言,肝脏、心脏等软组织中镁的沉积量在相当大的程度上不受日粮镁水平的影响^[18-19]。Georgievskii 等^[20]用镁水平为 400~5 000 mg/kg 的半纯合日粮饲喂 1~28 日龄肉仔鸡,结果发现日粮镁水平对肉仔鸡肝脏、心脏等软组织中的镁含量没有影响。本试验发现,日粮中添加镁对肉仔鸡肝脏中的镁含量有显著影响,这与张桂梅的研究结果^[8]类似,但与 Georgievskii 等^[20]的试验结果有差异,其原因尚有待于进一步探讨。

以往的研究表明,日粮的镁含量水平影响组织中的抗氧化酶活性和脂质过氧化状态^[21]。日粮镁缺乏将导致鼠的心脏、肝脏、肌肉和脾脏等组织中 MDA 含量显著提高^[22-24]。最近的研究表明,热应激状态下鹌鹑腿肌中的 MDA 含量随日粮镁供应量的提高而线性降低^[5]。董瑞鹏等^[25]研究发现,硫酸镁和氯化镁能明显降低低温储存猪肉的硫代巴比妥酸反应值(TBARS 值),对肉品中脂类氧化有一定的抑制作用。上述试验结果表明,日粮镁具有降低动物机体组织脂质过氧化水平的功能。本试验结果表明,日粮中添加镁可以提高肉仔鸡肝脏的 CAT 活性,降低肝脏的 MDA 含量,这说明抗氧化酶活性提高是脂质过氧化程度降低的原因之一。不同镁源对肝脏 MDA 含量和 CAT 活性的影响存在差异,以肝脏 CAT 活性为衡量指标,MgAsp 和 MgdiAsp 的生物学利用率差异显著($P<0.05$);以肝脏 MDA 为衡量指标,MgAsp 和 MgdiAsp 的生物学利用率差异不显著($P>0.05$),其原因可能在于肝脏 MDA 含量受多种抗氧化酶活性、抗氧化酶之间的平衡及非酶抗氧化物等因素的协同调节,而不仅仅决定于

CAT 活性。

在本试验中,日粮添加镁提高肝脏 CAT 活性的机理尚不清楚。日粮添加镁可以提高肝脏中的镁含量,提高的肝脏镁含量可能通过以下途径调节肝脏 CAT 活性:其一,镁广泛参与基因表达的各个环节^[26-27],肝脏镁含量提高可能增强了 CAT 基因的表达,从而提高了 CAT 活性;其二,镁是多种酶活性的激活因子,在体内外对多种酶有激活作用^[28],肝脏中镁含量的提高对 CAT 或许有直接的激活作用。

在本试验条件下,镁源和镁添加水平不影响肉仔鸡的生长性能,因而生长性能指标不是评价镁源生物学利用率的特异性敏感指标。以血清镁、肝脏镁及肝脏 CAT 活性为衡量指标时,不同镁源的生物学利用率表现为 MgdiAsp>MgAsp>MgO;以肝脏 MDA 含量为衡量指标时,MgAsp 和 MgdiAsp 的生物学利用率无明显差异,但均高于 MgO。以上研究结果表明,在改善肉仔鸡的镁营养状态和提高肉仔鸡机体抗氧化能力方面,有机镁的效果优于无机镁。

[参考文献]

- [1] Souza D N, Warner R D, Leury B J, et al. The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality [J]. J Anim Sci, 1998, 76: 104-109.
- [2] Schaefer A L, Murray A C, Tong A K W, et al. The effect of ante mortem electrolyte therapy on animal physiology and quality in pigs segregating at the halothane gene [J]. Can J Anim Sci, 1993, 73: 231-240.
- [3] Guo Y M, Zhang G M, Yuan J M, et al. Effects of source and level of Mg and Vitamin E on prevention of hepatic peroxidation and oxidative deterioration of broiler meat [J]. Anim Feed Sci Tech, 2003, 107: 143-150.
- [4] Gaal K K, Safar O, Gulyas L B, et al. Magnesium in animal nutrition [J]. J Am Coll Nutr, 2004, 23: 754S-757S.
- [5] Sahin N M, Onderci M, Sahin K, et al. Mg proteinate is more protective than Mg oxide in heat stress [J]. J Nutr, 2005, 135: 1732-1737.
- [6] Souza D N, Warner R D, Dunshea F R, et al. Comparison of different dietary magnesium supplements on pork quality [J]. Meat Sci, 1999, 51: 221-225.
- [7] Aebi H. Catalase *in vitro* [J]. Methods Enzymol, 1974, 105: 121-126.
- [8] 张桂梅. 有机镁和无机镁对肉仔鸡的营养作用研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
Zhang G M. Nutritional effects of organic and inorganic magnesium in broilers [D]. Beijing, China: Agricultural University, 2002.

[9] Gardiner E F,Rogler J C,Parker H E. Magnesium requirement of the chick [J]. Poul Sci,1960,39:1111-1115.

[10] NRC. Nutrient requirements of poultry [M]. 9th ed. Washington,DC:National Academy of Sciences,1994.

[11] Lee S R,Britton W B. Magnesium toxicity; effect on phosphorus utilization by broiler chicks [J]. Poult Sci,1980,59:1989-1994.

[12] Nowitzki-grimm N. Objektive parameter zur beurteilung der alimentaren magnesium versorgung [D]. Universitat Hohenheim,1990.

[13] Shivakumar K,Kumar B P. Mg deficiency enhances oxidative stress and collagen synthesis *in vivo* in the aorta of rat [J]. Int J Biochem Cell Biol,1997,29:1273.

[14] Mak I T,Stafford R,Weglicki W B. Loss of red blood cell glutathione during Mg deficiency; prevetion by vitamin E,D-propranolol,and chloroquine [J]. Am J Phsiol,1994,267:C1366-C1370.

[15] Andrzej K,Premyslaw M,Kurys P,et al. The influence of hypomagnesiumia on erythrocyte antioxidant enzyme defence system in mice [J]. Biometals,2003,16:349-357.

[16] Kayne L H, Lee D B. Intestinal Mg absorption [J]. Miner Electrol Metab,1993,19:210-217.

[17] Romani A,Scarpa A. Regulation of cell magnesium [J]. Arch Bioochem Biophy,1992,298:1-12.

[18] Vormann J,Gunther T. Magnesium transport mechanisms [M]/N J. Magnesium and the cell. London:Academic Press,1993:137-156.

[19] Zimmermann P,Weiss U,Classen H G,et al. The impact of diets with different Mg contents on Mg and calcium in serum and tissues of the rat [J]. Life Sci,2000,67:949-958.

[20] Georgievskii V I,Polykova E P,Khazin D A. Distribution of trace element in tissues of broiler chicks on a diet containing different levels of magnesium [J]. Livestiya Timiryazeskoi Skokkhozaistvennoi Akademi,1993,1:123-131.

[21] Jurgen V T,Gunther V H,Schumann K. Effect of various degrees and duration of magnesium deficiency on lipid peroxidation and mineral metabolism in rats [J]. Nutri Biochem,1995,6:681-688.

[22] Andrzej K,Premyslaw M,Kurys P,et al. The influence of hypomagnesiumia on erythrocyte antioxidant enzyme defence system in mice [J]. Biometals,2003,16:349-357.

[23] Jurgen V,Gunther T,Hollriegl V. Effect of various degrees and duration of magnesium deficiency on lipid peroxidation and mineral metabolism in rats [J]. Nutri Biochem,1995,6:681-688.

[24] Kumar B O,Shivakumar K. Depressed antioxidant defense in rat heart in experimental Mg deficiency-implications for the pathogenesis of myocardial lesions [J]. Biol Trace Elem Res,1997,60(1-2):139.

[25] 董瑞鹏,赵 君. 镁离子对肉中脂类氧化的影响 [J]. 食品卫生,1994(1):1.

Dong R P,Zhao J. Effect of Magnesium ion on lipid peroxidation in meat [J]. Food Hyg,1994(1):1. (in Chinese)

[26] Cowan J A. The biological chemistry of magnesium [M]. New York,Wiley-VCH,1995:1-126.

[27] Hartwig A. Role of magnesium in genomic stability [J]. Mut Res,2001,475:113-121.

[28] Heaton F W. Mg requirement for enzymes and hormones [R]. Biochemical society transactions 31st meeting Lancaster,1973:67-70.