

家畜内科丛书

王洪章 辛德颐



# 畜禽钙磷营养 和代谢性疾病

农业出版社

家畜内科丛书

# 畜禽钙磷营养和 代谢性疾病

王洪章 辛德颐

家畜内科丛书  
**畜禽钙磷营养和代谢性疾病**

王洪章 辛德颐

农业出版社出版 (北京朝阳区东直门内大街)  
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 3印张 56千字

1988年8月第1版 1988年8月北京第1次印刷

印数 1—2,300册 定价 0.75元

ISBN 7-109-00298-5/S·215

## 前 言

家畜内科疾病种类多，发病率高，直接影响畜牧业生产的发展，并造成经济上损失，因此，家畜内科疾病及其防治，一向受到兽医工作者的注意与重视。

随着畜牧业生产的发展与科学的进步，为满足基层兽医工作者的需要，中国畜牧兽医学会家畜内科研究会与农业出版社协作配合，组织和出版一套《家畜内科丛书》。本丛书的读者对象以县、区、乡级兽医工作者为主，同时兼顾大、中专院校兽医专业师生以及职业中学、养畜专业户。

这套丛书由四十多个分册组成，内容包括家畜消化器官疾病、泌尿器官疾病、呼吸系统疾病、血液循环系统疾病、神经系统疾病、代谢性疾病以及中毒性疾病等。编写采用一书一题的形式，每个分册独立成篇，各分册间又互有联系。内容着重介绍国内外兽医内科及诊断方面的先进理论和技術，以求提高基层兽医人员的理论水平和实际操作能力，读者可以根据自己的需要选购。

本套丛书从一九八五年起陆续出版，真诚地欢迎读者提出宝贵意见，以改进我们的工作。

中国畜牧兽医学会家畜内科研究会

## 编 者 的 话

钙磷营养和代谢障碍性疾病是家畜家禽常见疾病之一。在我国，尤其是奶牛、耕牛和马、骡发病较多，给畜牧业生产造成很大损失。

钙磷营养和代谢障碍性疾病主要是由于营养不适当造成的。本书专门介绍有关畜禽的正常钙磷代谢和对钙磷及维生素D的营养需要量，编写中参考了近几年来国内外在这方面的研究成果，引用了矿物质营养元素的生物学效价等新的概念。目的在于阐明这类疾病的病因，以便通过改善饲养预防疾病的发生。可供从事畜牧兽医工作的专业人员参考和学习。

本书承蒙动物营养学家杨胜教授审阅，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，谨希读者批评指正。

编 者

1985.12. 于北京

## 《家畜内科丛书》编辑委员会

主 编 王洪章 祝玉琦 倪有煌 史 言 段得贤

王 志

副主编 邹康南 李毓义 王英民 刘志尧 崔中林

张德群 熊道焕

编 委 (以姓氏笔划为序)

万固君 马清海 王民楨 王 志 王英民

王洪章 王继英 史志诚 史 言 刘志尧

刘应义 杜恒珍 李永效 李光中 李祚煌

李毓义 肖定汉 邹康南 张庆斌 张志良

张德群 林藩平 吴维芬 连文琳 祝玉琦

段得贤 倪有煌 徐忠宝 崔中林 熊道焕

樊 璞

# 目 录

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 第一章 钙、磷代谢.....                           | 1  |
| 一、钙、磷在体内的分布及其生理功能 .....                  | 1  |
| 二、钙、磷在体内的代谢 .....                        | 7  |
| 三、钙、磷代谢的调节 .....                         | 15 |
| 第二章 家畜、家禽对钙、磷的需要量以及钙、<br>磷缺乏和过量的影响 ..... | 29 |
| 一、家畜、家禽对钙、磷的需要量 .....                    | 29 |
| 二、钙、磷缺乏或过量对动物的影响 .....                   | 44 |
| 第三章 几种常见的家畜、家禽钙、磷营养和<br>代谢障碍性疾病 .....    | 57 |
| 一、骨病 .....                               | 57 |
| 二、钙、磷代谢障碍性疾病 .....                       | 75 |
| 附表 几种常用的钙、磷添加饲料 .....                    | 87 |

## 第一章 钙、磷代谢

### 一、钙、磷在体内的分布及其生理功能

钙、磷占机体总灰分的70%以上。体内总钙量的99%以上和总磷量的80—85%存在于骨骼和牙齿中，以维持骨骼和牙齿的正常硬度。其余的钙主要分布在细胞外液（血浆和组织间液），细胞内钙的含量很少。其余的磷则在细胞外液和细胞内分布。

体液中钙、磷的含量虽然很少，但对维持机体的正常机能的作用却很大。细胞外液中钙的作用有：（1）降低神经肌肉的兴奋性；（2）降低毛细血管和细胞膜的通透性；（3）维持正常肌肉收缩；（4）维持神经冲动的正常传导；（5）参与正常血液凝固。此外，钙可以激活许多种酶，其中有些是与上述机能有关的。骨骼外的磷则起着更为广泛的作用。它参与构成活细胞的结构，参与几乎所有重要有机物的合成和降解代谢，高能磷酸化合物则在能量的贮存、释放和转换中起着极为重要的作用。此外，磷能以 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 或 $\text{HPO}_4^{2-}$ 形式存在于体液中以及从尿排出，从而对体液的酸碱平衡起重要的调节作用。

（一）骨骼中的钙和磷 正常成年动物骨骼的组成成分大致是：水为45%，灰分为25%，蛋白质为20%，脂肪为



10%。

骨骼中的灰分大致由 36% 的钙、17% 的磷和其他一些元素组成。其中钙和磷的比值总是在 2 : 1 左右,甚至在骨组织部分脱盐时也是如此。因此,如果不知道骨骼中灰分的总重量,只是测定灰分中钙和磷的百分含量,是不能说明一个动物骨骼的矿物质贮备情况的。表 1 列举了猪和鸡骨骼中的钙、磷含量及比例,分别代表哺乳动物和禽类的情况。

表 1 猪和鸡管骨致密组织中的钙、磷含量及其比例

| 动 物 | 克%干燥脱脂骨组织 |      | 钙:磷比例    |
|-----|-----------|------|----------|
|     | 钙         | 磷    |          |
| 猪   | 27.1      | 12.5 | 2.17 : 1 |
| 鸡   | 26.1      | 11.5 | 2.26 : 1 |

引自《Mineral Nutrition of Animals》(Georgievskii, et al, 1981)

就骨骼中钙和磷的存在形式来说,钙的 85% 以磷酸盐形式、12% 以碳酸盐形式沉着于骨骼之中,磷大部分与钙结合而存在。

从骨的组织结构来看,它有一个由有机物组成的骨母组织,分散在其中的是骨细胞和骨盐结晶。骨盐的成分很象羟磷灰石,其分子式为  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ ,并具有羟磷灰石的基本晶体格子。不过此分子式只表示了主要的成分钙和磷,实际上还有少量的其他离子,如  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  及柠檬酸根等。钙、磷开始沉积时是以无定形的磷酸钙盐形式而不是以羟磷灰石的形式沉积的。这种无定形

的磷酸钙盐再逐渐转变成羟磷灰石的结晶。羟磷灰石的晶体在结构上是稳定的，不易溶解，因而不易和体液中的离子进行交换，称为骨盐的不易交换部分。但其表面则易于交换。这些晶体极小，因而总的表面积很大。至于晶体间介质中的离子则是易于溶解以及和体液进行交换的，称为骨盐的易交换部分。

动物骨骼中的钙、磷主要是在个体发育的早期沉积的，越到后来，沉积速度越慢，直至成年，骨骼中的钙、磷基本上维持在一个恒定水平。鸡骨骼中的钙、磷在第一个月沉积最快，可以达到成年鸡的80%（表2）。

表2 不同日龄鸡胫骨中钙、磷含量及比例

| 日 龄 | 克%干燥脱脂骨组织 |      | 钙：磷比例  |
|-----|-----------|------|--------|
|     | 钙         | 磷    |        |
| 1   | 8.13      | 4    | 2.03：1 |
| 30  | 17.25     | 8.25 | 2.09：1 |
| 60  | 17.51     | 8.37 | 2.09：1 |
| 90  | 19.6      | 9.13 | 2.15：1 |
| 120 | 20.35     | 9.3  | 2.18：1 |
| 150 | 22.41     | 10.1 | 2.21：1 |

引自《Mineral Nutrition of Animals》(Georgievskii, et al, 1931)

动物在其生命活动过程中，体液中的钙和磷不断进入并沉积在骨骼中，同时骨骼中的钙和磷也不断地动员进入血液。因此，骨盐不仅是维持骨的硬度所必需，而且也是体内钙、磷的贮存库。当动物由饲料中摄入的钙、磷不足，或者机体对钙、磷的需要增加（如妊娠、泌乳或产卵）时，钙、磷就由骨组织中动员出来，以满足机体的需要。

(二) 血液中的钙和磷 钙是血浆中能够得到精确调节的成分之一。钙的恒定是通过钙的消化道吸收和尿液、粪便的内源性排出，以及胎儿和泌乳排出的平衡得到的。如果从食物中摄取的钙满足不了需要，则血浆钙的浓度靠骨中钙的重吸收来维持。

正常成年动物血清钙的浓度平均为 10 毫克/100 毫升，一般正常范围为 9—12 毫克/100 毫升，但产蛋母鸡的血钙浓度高达 27—44 毫克/100 毫升（表 3）。红细胞中含钙量极微。

表 3 正常动物血钙浓度

| 动 物 种 类               | 血 液 部 分 | 血钙浓度 (毫克/100毫升) |
|-----------------------|---------|-----------------|
| 蒙古马 <sup>①</sup>      | 血 清     | 10.2            |
| 骡 <sup>①</sup>        | 血 清     | 9.60            |
| 奶牛 (北京) <sup>①</sup>  | 血 清     | 10.73           |
| 奶牛 (分娩) <sup>②</sup>  | 血 清     | 8.1             |
| 绵羊 <sup>②</sup>       | 血 清     | 10.09           |
| 山羊 <sup>②</sup>       | 血 清     | 10.3            |
| 猪 (6 月龄) <sup>②</sup> | 血 清     | 9.7             |
| 猪 (妊娠) <sup>②</sup>   | 血 清     | 10.1            |
| 狗 <sup>②</sup>        | —       | 10.2            |
| 鸡 (2 周龄) <sup>③</sup> | 血 浆     | 8.62            |
| 鸡 (18周龄) <sup>③</sup> | 血 浆     | 9.72            |
| 鸡 (25周龄) <sup>③</sup> | 血 浆     | 27.45           |

①引自《动物生物化学》(北京农业大学, 1979)

②引自《Clinical Biochemistry of Domestic Animals》(Kaneko, third edition, 1981)

③引自《Nutrition of the Chicken》(Scott, et al, 1978)

血清中的钙以三种形式存在 (图 1)。其中 53% 是游离

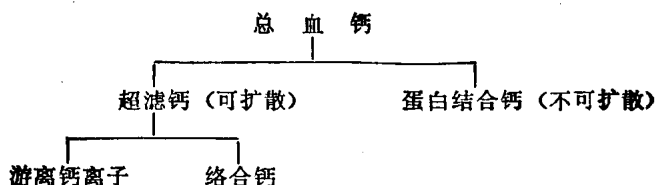


图1 血清中钙的存在形式

的钙离子，约有 12% 是与  $\text{HPO}_4^{2-}$  和柠檬酸等形成的不解离的钙，这两部分都是可扩散的。其余的 35% 是与蛋白质结合的钙，这部分钙是不能扩散的（表 4）。在组织间液中的钙则主要是游离钙离子，其浓度与血浆中游离钙离子浓度大致相等。现在认为，发挥生理作用的主要是游离钙离子，为了维持正常的生理活动，血浆中游离钙离子浓度必须恒定在一个极小的范围内。因此，虽然血钙的三种形式保持平衡，但只有游离钙离子部分受到直接的调节。

表 4 正常动物各种形式血清钙的分布

| 来 源                | 浓度(毫摩尔/升) |
|--------------------|-----------|
| 非扩散部分 (蛋白质结合)      | 0.82      |
| 白蛋白结合              | 0.66      |
| 球蛋白结合              | 0.17      |
| 扩散部分               | 1.63      |
| 离子钙                | 1.33      |
| 与碳酸氢根、磷酸根和柠檬酸根结合的钙 | 0.3       |
| 总钙                 | 2.5       |

引自《Mineral Nutrition of Animals》(Georgievskii, et al, 1981)

血液中的磷（包括有机磷和无机磷两部分），有机磷和无机磷的比值在反刍动物为 3—4:1，在禽类为 10:1。血液中

的磷大多数在红细胞中以有机磷酸酯的形式存在（45—60毫克%），红细胞中并含有痕量的无机磷。血浆中含磷总量约为14—15毫克/100毫升，其中5—8毫克/100毫升是有机磷，4—7毫克/100毫升是无机磷。表5列举了泌乳期母牛血液中各部分磷的含量。

表5 泌乳期母牛血液各部分磷的含量

| 部 分   | 含量(毫克/100毫升血液) |
|-------|----------------|
| 总磷    | 21.58          |
| 溶于酸   | 10.30          |
| 无机磷   | 4.75           |
| 溶于有机酸 | 5.54           |
| 不溶于酸  | 11.28          |
| 与酯结合  | 7.89           |
| 与蛋白结合 | 3.44           |

引自《Mineral Nutrition of Animals》(Georgievskii, et al, 1981)

通常所说的血磷一般是指血浆中的无机磷，血浆无机磷差不多都是超滤的和离子化的，主要以  $\text{HPO}_4^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  的形式存在。大多数正常成年动物血浆无机磷的含量是4—7毫克/100毫升，但马和狗较低（表6）。青年动物一般含量较高，并且变动范围较大（5—9毫克/100毫升）。

血清钙的浓度受到三大主要调节激素——甲状旁腺素、降钙素和维生素D的活性代谢产物的精密调节，而血清磷的浓度并不如此。当血清钙浓度发生改变时，骨盐随时可以动员以维持血清钙的浓度正常，而当血清磷浓度发生改变时，骨盐不会如此迅速地动员，因此，血清无机磷酸盐水平降低是缺磷的第一个表现。

表 6 正常动物血无机磷浓度

| 动 物 种 类      | 血 液 部 分 |   | 血 钙 浓 度 (毫 克 / 100 毫 升) |
|--------------|---------|---|-------------------------|
| 蒙古马①         | 血       | 清 | 3.72                    |
| 骡①           | 血       | 清 | 3.08                    |
| 奶牛 (北京) ①    | 血       | 清 | 6.11                    |
| 小牛②          | 血       | 清 | 8.9                     |
| 绵羊②          | 血       | 清 | 5.2                     |
| 山羊②          | 血       | 清 | 4.3                     |
| 猪 (6 月 龄) ③  | 血       | 清 | 10.09                   |
| 猪 (妊娠) ②     | 血       | 清 | 7.9                     |
| 狗②           | —       |   | 3.7                     |
| 鸡 (2 周 龄) ③  | 血       | 浆 | 5.44                    |
| 鸡 (18 周 龄) ③ | 血       | 浆 | 4.51                    |
| 鸡 (25 周 龄) ③ | 血       | 浆 | 1.91                    |

①引自《动物生物化学》(北京农业大学, 1979)

②引自《Clinical Biochemistry of Domestic Animals》(Kaneko, third edition, 1981)

③引自《Nutrition of the Chicken》(Scott, et al, 1978)

## 二、钙、磷在体内的代谢

在动物的钙和无机磷代谢中, 我们着重讨论两方面的问题: 一是动物由饲料摄入的钙、磷量和由体内排出的钙、磷量之间的平衡。对于成年动物来说, 钙、磷的摄入量和排出量要相等, 以维持体内正常钙、磷含量的恒定。否则, 当摄入量比排出量少而形成负平衡时, 则使骨中的钙、磷丢失, 造成骨软病。对于幼年动物来说, 由于骨骼的生长, 需要摄入的钙、磷量大于其排出量, 使骨盐充分沉积。否则就会使骨盐沉积不足引起佝偻病。二是维持血浆中钙、磷浓度, 特别是钙浓度的正常恒定。这就要求进入血液的钙、磷量和同时由血液中清除的钙、磷量相等, 否则将会引起血浆中钙、

磷浓度的过高或过低而引起疾病。例如，血钙浓度过低时，由于神经肌肉的高度兴奋而引起痉挛和瘫痪，家畜的生产瘫痪就是血钙过低的常见病例。这两方面的问题又是互相关联的。因为钙、磷的摄入和排出同样也影响着血浆中钙、磷的浓度。除此之外，血浆中钙、磷的浓度还受着其与骨中钙、磷的相互交换的影响，而且在许多情况下这种交换对维持血浆中的钙、磷浓度更为重要。

(一) 钙、磷的吸收 饲料中的钙和无机磷不必经过消化就可以吸收，而有机磷则需经过酶水解成无机磷后才能被吸收。钙的吸收部位主要在小肠，少量在胃，通过主动吸收和被动吸收两个途径。主动吸收是由于 $1, 25-(\text{OH})_2-\text{D}_3$ 刺激小肠粘膜细胞合成钙结合蛋白，钙结合蛋白与肠腔中的钙结合后将钙从肠腔内吸收进入血液。被动吸收即通过扩散，使钙从肠腔进入血液。磷的吸收部位，反刍动物、猪和狗主要在小肠，而马则主要在背大结肠和小结肠，一般认为，磷主要是靠被动吸收。

影响钙、磷吸收程度的因素如下：

1. 饲料中钙的含量和动物的需要量：当其他因素相同时，饲料中钙的含量越多，吸收的钙量也越多，但吸收率则随之下降，反之亦然。图2说明高产奶牛饲料含钙量与钙吸收率之间的反比关系。钙的吸收率也受动物需要量的影响，引起钙需要量增加的因素，如妊娠、泌乳或产卵，可提高钙的吸收率。图3说明（母牛泌乳）对钙吸收率的影响。

2. 肠道的酸碱度：进入动物体的钙来源于植物性饲料和矿物质添加剂。在植物性饲料中，钙与蛋白质和有机酸的阴

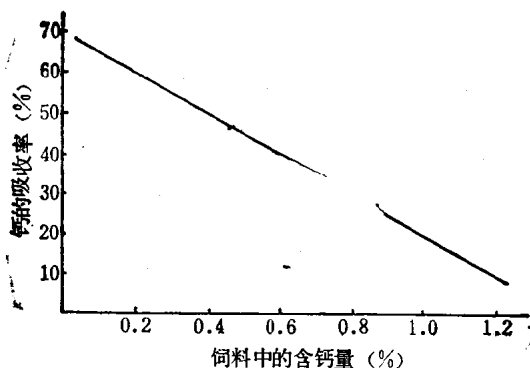


图2 高产奶牛饲料含钙量与钙吸收率之间的关系

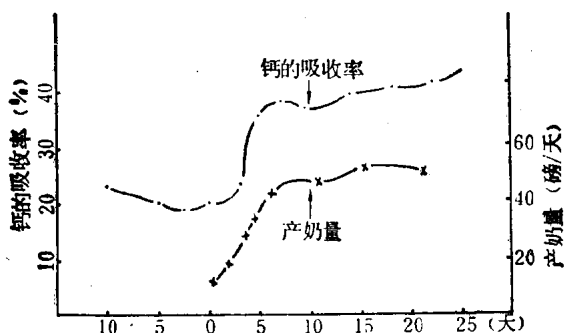


图3 母牛泌乳对钙吸收率的影响 (喂钙量不变)

离子结合，而在添加剂中钙以碳酸盐和磷酸盐的形式存在。这些含钙化合物除草酸钙外在酸性溶液中都易溶解，在胃液中转变为氯化钙，几乎全部解离成离子。但这些含钙化合物在中性或碱性溶液中溶解度很低。只有溶解的钙盐才可被吸收，否则不被吸收。因此，凡能增加肠内酸度的因素都有利于钙、磷的吸收，反之则不利于钙、磷的吸收。如乳酸、氨基



酸等可促进钙盐溶解，有利于钙、磷吸收，而胃酸分泌不足则影响钙、磷的吸收。

3. 饲料中的钙、磷比例：饲料中的钙、磷比例对钙、磷的吸收有很大影响，这是因为磷酸钙的溶解度积是一个常数的原因。饲料中钙过多则影响磷的吸收，磷过多也影响钙的吸收，而二者有一种吸收不足，都影响骨的生成，多吸收的那种也不能为机体利用而只能排出体外。因此，在家畜饲养中必需注意调整饲料中钙、磷含量的比值。一般说来，饲料中的钙、磷比值以 2—1.5:1 为宜。但不同动物对不适宜的钙、磷比值的耐受力是不同的。非反刍动物饲料中的钙、磷比例不能太宽，一般来说，非反刍动物不能耐受大于 3:1 的钙、磷比例，却能耐受小于 1:1 的钙、磷比例。而反刍动物可以耐受较宽的钙、磷比例。对于肉牛，饲料中钙、磷比例在 1—7:1 之间，其摄入饲料量、生长速度和饲料报酬都不受明显的影响，而超过这个比例范围时，摄入饲料量和生长速度明显下降。对于泌乳牛，应避免低于 1:1 的钙、磷比例。由于蛋壳中含钙高、含磷低，所以产蛋鸡日粮中的钙、磷比例要宽，一般以 5:1 为宜。

4. 饲料中的其他因素：草酸可以降低单室胃动物对钙的吸收，这是因为草酸钙不溶于水，不易被吸收，而从粪便排出。反刍动物瘤胃内的微生物可以分解草酸，因而当草酸盐含量不大时，不至影响其对钙的吸收。但是，在碱中毒时，草酸的降解可以打破矿物质的平衡，间接影响钙的代谢。反刍动物摄入大量的草酸（新鲜甜菜叶中含 7% 的草酸钾），超过了瘤胃对它的代谢能力，因不能在消化道被吸收，可以