

# 农畜矿物质营养

倪可德 等编译



上海科学技术文献出版社

# 农 畜 矿 物 质 营 养

|     |     |     |    |
|-----|-----|-----|----|
| 倪可德 | 阎素梅 | 郝俊玺 |    |
| 宋丽华 | 武立怀 | 卢德勋 | 编译 |
| 邵 凯 |     |     |    |
| 赵志恭 |     |     | 审校 |

上海科学技术文献出版社

(沪)新登字301号

**农畜矿物质营养**

倪可德 阎素梅 郝俊玺 宋丽华 编 译  
武立怀 卢德勋 邵 凯

赵志恭 审 校

上海科学技术文献出版社出版发行  
(上海市武康路2号 邮政编码200031)

全国各书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 16.5 字数 399,000

1995年2月第1版 1995年2月第1次印刷

印数 1—2,050

ISBN 7-5439-0353-9/S·54

定 价: 17.00 元

科技新书目: 307—250

# 编者的话

本书系根据国内外有关动物矿物质营养的最新资料编译而成。全书共分16章,主要包括:矿物质营养的基本概念;生物地质化学区域与饲料中的矿物质组成;动物身体和组织中的矿物质成分;常量元素和微量元素的生理功能;矿物质在消化道、血液、器官和组织中的代谢动态;农畜矿物质需要量的测定方法;牛、绵羊、猪、家禽的矿物质营养以及农畜适宜矿物质营养的控制方法等。全书对当代动物矿物质营养理论进行了深入浅出的阐述,对科研和生产的具体方法也作了详尽介绍。

本书第一、四、五、六、八、十四和十五章由倪可德编译,第二章由武立怀编译,第三、十二和十三章由郝俊玺、宋丽华编译,第七、九、十和十一章由阎素梅编译,第十六章由卢德勋和邵凯编译。全书由赵志恭教授审校,最后由倪可德整理定稿。

本书的出版承蒙北京农学院动物营养研究所所长邵根伙博士大力支持和帮助,就此谨表示衷心感谢。

本书可供大专院校畜牧、饲料和营养专业师生、科技人员以及畜禽饲料与饲养技术人员参考。

编者

一九九四年12月

# 目 录

|                            |      |
|----------------------------|------|
| 第一章 概述                     | (1)  |
| 第一节 矿物元素及其在动物营养上的功能        | (1)  |
| 第二节 在生产条件下动物的矿物质营养         | (3)  |
| 第二章 矿物质营养的基本概念             | (6)  |
| 第一节 矿物质的分类                 | (6)  |
| 第二节 矿物质的生理化学性质与其生物活性之间的联系  | (11) |
| 第三节 矿物质的主要功能               | (14) |
| 第四节 矿物质彼此间以及与其他营养物质之间的相互作用 | (34) |
| 第五节 研究动物矿物质代谢的方法           | (48) |
| 第三章 生物地质化学区域与饲料中的矿物质组成     | (48) |
| 第一节 动物的化学组成与环境之间的关系        | (48) |
| 第二节 生物地质化学区域与生物化学生态        | (50) |
| 第三节 饲料植物中的矿物质组成            | (55) |
| 第四章 动物身体和组织中的矿物质成分         | (61) |
| 第一节 灰分及其组成                 | (61) |
| 第二节 动物体的矿物质组成及其影响因素        | (64) |
| 第三节 组织中的矿物质组成              | (66) |
| 第四节 动物产品中的矿物质成分            | (71) |
| 第五章 水代谢及动物对水的需要量           | (72) |
| 第一节 水的基本功能及其在体内的分布         | (72) |

|            |                        |              |
|------------|------------------------|--------------|
| 第二节        | 体内水的含量及其在各器官中的分布       | (74)         |
| 第三节        | 体内水的移动和平衡              | (76)         |
| 第四节        | 水缺乏的后果                 | (80)         |
| 第五节        | 动物对水的需要量               | (82)         |
| <b>第六章</b> | <b>常量元素的生理功能</b>       | <b>(85)</b>  |
| 第一节        | 钙                      | (86)         |
| 第二节        | 磷                      | (102)        |
| 第三节        | 钙-磷代谢的调节               | (114)        |
| 第四节        | 镁                      | (127)        |
| 第五节        | 钾                      | (139)        |
| 第六节        | 钠和氯                    | (151)        |
| 第七节        | 硫                      | (165)        |
| <b>第七章</b> | <b>微量元素的生理功能</b>       | <b>(177)</b> |
| 第一节        | 铁                      | (177)        |
| 第二节        | 铜                      | (185)        |
| 第三节        | 钴                      | (194)        |
| 第四节        | 锌                      | (201)        |
| 第五节        | 锰                      | (210)        |
| 第六节        | 碘                      | (219)        |
| 第七节        | 钼                      | (225)        |
| 第八节        | 硒                      | (230)        |
| <b>第八章</b> | <b>消化道内的矿物质代谢</b>      | <b>(239)</b> |
| 第一节        | 矿物质被摄入消化道              | (240)        |
| 第二节        | 矿物质在消化道内的吸收和排泄部位       | (242)        |
| 第三节        | 食糜的生理化学特性及消化道中矿物化合物的形式 | (253)        |
| 第四节        | 矿物质的内源损失以及表观和实际的吸收     | (258)        |

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| 第九章 血液中的矿物质代谢动态·····               | (262) |
| 第一节 放射性同位素进入消化道后在血液中的代谢<br>动态····· | (262) |
| 第二节 放射性同位素经静脉注射后的代谢动态··            | (265) |
| 第十章 器官和组织中的矿物质代谢动态·····            | (277) |
| 第一节 钙代谢动态·····                     | (277) |
| 第二节 磷代谢动态·····                     | (281) |
| 第三节 镁代谢动态·····                     | (284) |
| 第四节 钠代谢动态·····                     | (285) |
| 第五节 锌代谢动态·····                     | (287) |
| 第六节 锰代谢动态·····                     | (289) |
| 第七节 碘代谢动态·····                     | (291) |
| 第八节 钼代谢动态·····                     | (292) |
| 第九节 铜代谢动态·····                     | (292) |
| 第十一章 农畜矿物质需要量的测定方法·····            | (294) |
| 第一节 测定动物矿物质需要量的析因方法·····           | (294) |
| 第二节 平衡试验·····                      | (297) |
| 第三节 实际饲养试验·····                    | (299) |
| 第四节 动物器官、组织和整体的矿物质含量分析··           | (301) |
| 第五节 测定动物矿物质需要量的间接方法·····           | (303) |
| 第十二章 牛的矿物质营养·····                  | (306) |
| 第一节 牛矿物质营养标准的基础·····               | (306) |
| 第二节 幼龄牛的矿物质营养·····                 | (322) |
| 第三节 奶牛的矿物质营养·····                  | (333) |
| 第四节 牛的矿物质营养与繁殖力·····               | (345) |
| 第十三章 绵羊的矿物质营养·····                 | (348) |
| 第一节 矿物质饲养标准的测定·····                | (348) |

|      |                              |       |
|------|------------------------------|-------|
| 第二节  | 矿物质混合物对绵羊营养的效果·····          | (381) |
| 第三节  | 绵羊的矿物质需要量·····               | (385) |
| 第十四章 | 猪的矿物质营养·····                 | (388) |
| 第一节  | 矿物质饲养标准的依据·····              | (389) |
| 第二节  | 为猪推荐的矿物质标准·····              | (420) |
| 第三节  | 在猪饲养上使用微量元素混合物的效果·····       | (423) |
| 第十五章 | 家禽的矿物质营养·····                | (428) |
| 第一节  | 家禽矿物质代谢的典型特征·····            | (428) |
| 第二节  | 家禽对矿物质的需要量及满足需要量的方法<br>····· | (430) |
| 第三节  | 钙、磷和镁·····                   | (433) |
| 第四节  | 钠、钾和氯·····                   | (456) |
| 第五节  | 硫·····                       | (461) |
| 第六节  | 铁、铜和钴·····                   | (463) |
| 第七节  | 锌和锰·····                     | (468) |
| 第八节  | 钼和硒·····                     | (472) |
| 第九节  | 碘·····                       | (475) |
| 第十六章 | 农畜矿物质营养适宜度的控制方法·····         | (480) |
| 第一节  | 饲料中矿物质适宜度的控制·····            | (481) |
| 第二节  | 家畜体内矿物质代谢的控制·····            | (483) |
| 附录   | ·····                        | (495) |



# 第一章 概 述

## 第一节 矿物元素及其在动物营养上的功能

植物饲料是动物用来建造身体营养物质的主要来源,因此,尽管自然条件多种多样,植物和动物通常具有相同的元素成分(克%)(表1.1)。

表 1.1 元素成分(克%)

|         | C     | O     | H    | N    | 其它元素 |
|---------|-------|-------|------|------|------|
| 植物(苜蓿)  | 11.33 | 76.74 | 9.43 | 0.88 | 1.62 |
| 动物(哺乳类) | 20.20 | 63.43 | 9.90 | 3.06 | 3.41 |

由碳、氧、氢和氮构成了它们干物质重量的96~98%。动物体含有较多的碳和氮,而植物组织却含有较多的氧。有机化合物——蛋白质、脂肪和碳水化合物——主要是由碳、氢、氧和氮组成的,它们被称作有机元素。

当在高温下或与浓酸混合时,植物和动物组织中的有机物质经过燃烧,伴之有二氧化碳、水和氨的释放,而无机物即灰分则作为残渣剩留下来。从灰分中去掉杂质后所形成的那部分元素称为矿物质(灰分或无机元素)。至今已有60种以上的矿物元素(常量元素和微量元素)在高等动物的器官和组织的灰分中被检测出来,其中45种已经定量测定,并且是有机体的固有成分。

分。

应当指出,在有机元素和矿物质之间并没有鲜明的界线,这种区分是人为的。在有机体内发生的代谢是统一的,矿物质代谢只是整个代谢链中的一个环节。磷的代谢在机体内和蛋白质、碳水化合物、脂类、矿物质以及能量等代谢过程密切相关,这是说明这一点的例子。在某种程度上,这也适用于硫、镁、铁、锌以及其它元素。

在动物饲养实践上,术语“矿物元素”历来是与“矿物质”概念视为相同的,这个专有名称成立的理由大概是基于矿物元素常常以复杂化合物的形式进入有机体,而矿物质分析通常包括对灰分的研究,在灰分中,元素是作为盐和氧化物存在的。但是,在研究代谢过程中,实验人员遇到的是具体的矿物元素,饲喂给动物的矿物质的水平也是以元素成分为基础来计算的。

虽然单个矿物质,尤其是氯化钠,在家畜饲养上的重要性甚至在古代就知道了,而有关常量和微量元素在动植物生命中所起作用的研究最初是在一个多世纪以前进行的,但是,作为生物学的一个独立分支,关于矿物质代谢和动物矿物质营养的理论,则是在本世纪 20~30 年代才创建的。正是在这期间,包括采用缺乏单个常量和微量元素的合成日粮的实验技术被引入和发展起来,并且开始研究有机物中的基本化学成分和地壳的化学成分之间的相互联系。那时化学和生理科学已经先进到足以能够测定动植物组织灰分中的化学成分,而且,科学家们已经注意到某些元素——钙、钠、铜、铁、碘——是动物营养中的必需成分。

在随后这些年间,这门科学迅速发展起来了。在不到 50 年的时间里,科学家们已经鉴别并详细研究了这些必需元素,有了新的发现,并且一般地确立了对医学、生物学和动物饲养极端重

要的可靠定律。如果没有矿物质元素的参与，任何一个重要的生物化学过程都不可能发生，合理的动物饲养体系必须以已确立的矿物质代谢理论为基础，这些都变得清楚了。

这些深入进展的取得，不仅仅是由于科学家们对矿物元素的一般生物学功能和微量元素的特定生物学功能的强烈兴趣，而且也是由于在一些相关学科所取得的进展。当生物自身元素的放射性同位素得到采用，而且放射性同位素本身在实验上得到确立以后，在关于有机体内元素的迁移和分布、元素参与代谢过程以及它们的排出途径等方面，都获得了前所未有的大量的资料。酶学、内分泌学和维生素学的发展揭示，常量和微量元素总是存在于复杂的有机化合物之中，这些化合物具有酶、维生素和激素的功能。

由于电学、光学、电化学和仪器的进展，人们进一步发展和改进了矿物质的分析方法。像微量光度比色计、极谱记录仪、火焰光度计、发射光谱仪、原子吸收分光光度计和中子活化分析等方法都被逐一用于实验实践。这些方法中有一些的灵敏度比检测动植物中痕量元素所需要的还高些( $10^{-5} \sim 10^{-7}\%$ )。

## 第二节 在生产条件下动物的矿物质营养

现代家畜饲养的特征是向专业化的生产方式转变。由于畜群的集中，动物的强化利用，管理培育方式的专门化，动物饲养、饲料加工和生产技术变化的结果，在畜牧、卫生、兽医防疫等方面产生了许多问题。人工草场的强化利用（那时牧草中的矿物质含量取决于多种因素，并且表现出相当大的变化）；用各种方法处理组成成分很少的块状和粒状饲料的采用；在幼畜饲料中用人工奶或再生奶代替鲜奶；用植物饲料代替短缺的动物基础

饲料，所有这些情况使得我们对动物矿物质需要，以及这些需要得以满足的理论，都产生了本质上的变化。

已知矿物质的体内平衡是受有机体非常精确地控制的。尽管在单个饲料中常量和微量元素的含量变化很大，但组织中的矿物质成分仍相当恒定。然而，这些调节机制的有效性是有限度的，由动物的强化利用引起的矿物质代谢障碍可能成为产品生产的严重限制因素。

因此，在奶牛场，高产母奶牛常常表现出代谢障碍、骨骼病变、繁殖机能紊乱以及产后综合征。科学的见解是，这些机能障碍的重要原因是包括微量元素在内的矿物元素的不平衡（提供给有机体的这些元素数量不足），这些元素从饲料中被吸收不足；它们随奶一起大量的集中排出；以及高产动物对这些元素的需要增加。

养禽场由于像笼养产蛋母鸡的骨质疏松（溜腱症）和胚胎营养不良这一类疾病而蒙受巨大损失，高产家禽常常表现骨骼异常（随后被淘汰），它们的蛋壳质量受损。

兽医科学家目前的观点是，在某些方面，有80种以上的疾病与矿物质代谢障碍有关，包括营养性骨骼不良、草地痉挛、佝偻病、骨质疏松、关节炎、贫血、副角化症、地方性甲状腺肿、类微量元素不足症等等。由于圈舍拥挤、运动不足、动物在裂缝田地上放牧、外伤、运输期间的应激条件、有机体总的抵抗力的削弱等等，更易感染疾病。疾病的进程可能是亚临床性的，即可能没有症状，但生产下降，饲料利用降低，产品质量变劣。

最近几年，世界上许多畜牧业发达的国家在修订和改进矿物质的饲养标准、找寻新的、有效的矿物质添加剂原料、改善饲养技术方面做了大量工作。与此同时，生物化学和生理学研究也在深入进行，以便揭示那些控制微量元素和常量元素代谢的

一般规律,以及它们与动物的年龄、生理状态和生产性能类型之间的关系。这些研究的最终的、实际的目的,为家畜矿物质需要量、充足的矿物质饲养的简单、实用标准的提出以及亚临床形式的矿物质缺乏症的早期诊断奠定了生理学基础。

另一个有趣的问题是通过把微量和常量元素添加到动物饲料中,从而给畜产品(肉、蛋、奶)以可能的补充,虽然按照科学的观点看,这些元素直接掺入人类食品更合理些,因为元素在动物有机体内的转换很低。这个问题有待进一步研究。

在工业化的家畜饲养条件下,对矿物质利用的毒理方面应给予特别的注意。这个方面牵涉到大剂量复合矿物质肥料施入土壤以及由此产生的植物某些矿物质元素的强化吸收;牵涉到杀虫剂和脱叶剂的采用、用矿物质补充料饲养家畜的广泛实践、工业废弃物和干渣的掺入饲料;最后,还牵涉到环境污染。这个问题不只限于传统的、具有潜在毒性的元素,如汞、氟、矾、钼、砷、铅、镉、铬等等,而且还涉及某些可以过量渗入有机体的生物物质。尤其是为了刺激动物生长和生产而在使用高剂量的(20~100倍于正常剂量)某种微量元素如铜时,应当加以注意。如果没有探究这一过程的药理方面,那就必须强调,不加控制地乱用微量矿物质饲料补充剂,不仅是不经济的,而且对动物的健康常常是有害的,还会造成额外的生态和环境保护问题。

## 第二章 矿物质营养的基本概念

### 第一节 矿物质的分类

目前对动物体内矿物质的分类体系以下列三种标准之一为根据:

1. 根据矿物质在特定组织或器官中的主要局限部位。
2. 根据机体组织中的含量。
3. 根据它们在生命活动中的意义。

#### 一、根据矿物质在组织和器官中的分布分类

这是根据矿物质对一定组织器官的“亲和性”，即特异性进行的分类。在这一分类体系中，矿物质可分为如下三类：

1. 骨组织中沉积的矿物元素(亲骨元素)。它们有钙、镁、锶、钡、氟、钒、钡、钛、镭、铅等元素。

2. 网状内皮系统沉积的元素。它们有铁、铜、锰、银、铬、镍、钴，还有一些镧系元素。

3. 在组织中的分布没有特异性的元素，即这些矿物元素分布的组织不限。它们有钠、钾、硫、氯、锂、铷和铯。

从生理学的角度来看，这个分类方法很不完善。首先，许多“亲和性”元素并不完全亲和。以镁为例，镁集中分布在骨骼中，但它乃是机体软组织细胞内的主要阳离子。磷是亲骨元素(83%的磷是以羟基磷灰石的形态集中分布在骨骼之中)，但同时也是复杂有机化合物的组成部分，并且还是机体内环境中不可缺少的成分。其次，某些矿物元素集中分布于骨、肝、脾等组织，但这

并不说明这些元素对这些组织的生长与功能有什么意义。某些亲骨元素,如铅、铍、钡、锆、锡和铜系元素,仅仅是骨骼的组成部分,大概没有什么生物学功能。肝中许多元素的浓度(如铜、钴等),可以反映这些元素的食入水平,而其它元素的这种相关性很弱(如锰、铁),即使它们在肝中的含量很高也如此。

网状内皮系统(巨噬细胞系统)有各种不同的构型,其功能是保护机体免受外来异物的侵害。网状内皮系统包括骨髓、脾、淋巴结和肺的网状细胞和血管内皮组织,还包括肝脏毛细血管及肾上腺、脑垂体前叶类髓质细胞的特殊内皮(Kupffer)细胞。矿物元素在这些器官中的积累并不能说明对这些器官功能的重要性,只有毒害作用或没有任何作用。

最后,还有一些矿物元素不属于以上任何一类。这些元素有:碘,集中分布于甲状腺和卵巢;碲,集中分布于肾脏;砷和锑,集中分布于红细胞;锌和镉,集中分布于胰和繁殖器官、骨髓中。

总的来说,这一分类方法对毒物学家和放射生物学家的用途比对生理学家要大。

## 二、根据含量的标准分类

根据动物体内各种矿物元素的含量,将所有的矿物元素分为三类:常量元素、微量元素和痕量元素(表 2.1)。

这种根据含量标准进行的分类具有简单、方便的优点,但却不能说明最重要的问题,即每一元素在机体内的功能问题。另外,某些元素在机体内的含量有一定的变化,这与动物习性、生活环境、饲养方法和品种有关(特别是氟、钒、硒、锗、钼和镉这些元素)。

有的研究者认为,不应当把微量元素、痕量元素当作矿物质来看待,因为这些元素主要是以具有生物活性的有机化合物的

表 2.1 农畜体内矿物质的平均含量\*

| 数量级                    | 浓 度               | 元 素                                                                                        | 类 别  |
|------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| $n \cdot 10^0$         | 1~9               | Ca                                                                                         | 常量元素 |
| $n \cdot 10^{-1}$      | 0.1~0.9           | P, K, Na, S, Cl                                                                            |      |
| $n \cdot 10^{-2}$      | 0.01~0.09         | Mg                                                                                         |      |
| $n \cdot 10^{-3}$      | 0.001~0.009       | Fe, Zn, F, Sr, Mo, Cu                                                                      | 微量元素 |
| $n \cdot 10^{-4}$      | 0.0001~0.0009     | Br, Si, Cs, I, Mn, Al, Pb                                                                  |      |
| $n \cdot 10^{-5}$      | 0.00001~0.00009   | Cd, B, Rb                                                                                  |      |
| $\leq n \cdot 10^{-6}$ | 0.000001~0.000009 | Se, Co, V, Cr, As, Ni<br>Li, Ba, Ti, Ag, Sn, Be<br>Ga, Ge, Hg, Sc, Zr, Bi<br>Sb, U, Th, Rh | 痕量元素 |

\*详细情况见第四章。

形式存在于饲料和动物机体内。然而仅仅把微量元素归为一组特殊的生物活性物质还没有充分的理由。

现在我们已经知道，矿物质不是单纯以其盐类的动力学作用参与新陈代谢的。

动物饲养的研究证明，微量元素与其他矿物元素一样，不管其进入机体的方式如何，都是饲料中不可缺少的成分。

### 三、根据矿物质的生物学功能分类

这是生理学家、生物化学家和营养学家都感兴趣的一种分类方法。在这一分类方法中，动物机体中所有的元素都被分为这么三类：

#### 1. 必需元素(生命元素)；



2. 可能必需元素(条件必需元素);

3. 功能尚不完全清楚的元素或未知的元素。

对于包括农畜在内的大多数哺乳动物来说,按这一方法分类的结果如下(表 2.2):

表 2.2 矿物元素的生物学分类

| 必需元素 |    | 可能必需元素 | 未知元素 |    |
|------|----|--------|------|----|
| Ca   | S  | F      | Li   | Pb |
| P    | Mg | Si     | Be   | Sb |
| K    | Fe | Ti     | B    | Cs |
| Cl   | Cu | V      | Sc   | Ba |
| Na   | Co | Cr     | Al   | Hg |
| Zn   | Mn | Ni     | Ga   | Sn |
| Mo   | I  | As     | Ge   | Bi |
| Se   |    | Br     | Rb   | Ra |
|      |    | Sr     | Zr   | Th |
|      |    | Cd     | Ag   | U  |

必需元素包括常量元素和一些微量、痕量元素。这进一步说明,机体内元素含量的高低并不能说明矿物元素的生物作用。一个元素,只有满足以下四个条件才可认为是必需元素:

1. 在动物体内有相对稳定的浓度含量。

2. 在不同组织中的含量有一致的次序。

3. 饲喂缺乏该元素的合成日粮,动物会产生特定的缺乏综合征,体组织有特定的生物化学变化。

4. 在实验饲料中,针对性地加入该元素可以预防或消除这种综合征和生化变化。

依照现有的材料,以上所列的 15 个元素都可以满足这些条件。即使像氟这样的元素,具有明显的防治龋齿的作用,而且有