

天然矿物饲料

添加剂

谢仲权 张军民 主编

 中国农业出版社

天然矿物饲料添加剂

谢仲权 张军民 主编

S816.71

X495

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

天然矿物饲料添加剂/谢仲权, 张军民主编. —北京:

中国农业出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-109-13116-3

I. 天… II. ①谢…②张… III. 矿物质饲料—饲料添加
剂—研究 IV. S816.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 175735 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 郭永立

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 20.25

字数: 358 千字

定价: 45.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

作者简介

谢仲权：1959 年于北京农业大学兽医专业本科毕业。先后任教于黑龙江八一农垦大学、北京农学院，历任讲师、副教授、教授（博导），现任北京市饲料工业协会会长。专著有《兽医针灸穴名解》，主编《天然物中草药饲料添加剂大全》、《天然物中草药饲料添加剂研究方法》、《天然植物饲料添加剂生产技术与质量标准》、《中草药防治鱼病》等，并主持了国家标准《天然矿物饲料添加剂通则》的制定。

张军民：1994 年毕业于河南农业大学畜牧专业，2000 年获得中国农业科学院畜牧研究所动物营养与饲料科学专业博士学位。副研究员，现任中国农业科学院北京畜牧兽医研究所科技处副处长，主要从事动物营养理论研究和新饲料资源开发工作，主持和参加完成了多项国家课题，先后发表论文 30 余篇；主编或参编了《饲料添加剂手册》、《奶牛场生产技术与管理》等 5 部著作。

前 言

中国是世界上应用天然矿物及其理论的创始国，也是矿产大国。中国人对矿物的应用历史悠久，经验丰富，其应用可追溯到人类远古时代，早在 200 万年前已知用自然火，从而开始了人类的文明，但人类真正成为万物之灵，是从利用矿物制作工具开始的。中国元谋人在 170 万年前已知用火，之后，中国人最早创造出“矿物取火”，即用黄铁矿石与引火物干菌化石相击而创造出人工火。与此同时，又于新石器时代在打造石器的基础上，创立了世界上最早的矿产业，即用坚硬石器开山、凿井、取石、造洞，从而使中国人最早进化为现代人。到中国母系氏族社会的繁荣阶段，当时的伏羲氏、神农氏时代，人们已将矿物加工磨制为用于人类生产生活的各种石器（石刀、石镰、砭石等）和制造陶器，并可制造红铜工具，此时期后人称为“金石并用时期”，开创了人类应用金石矿物的先河。因此，在中国甲骨文中创造了世界最早的“矿物”一词的文字——𠂔或𠂕（象征采矿工具及采矿的声音）。并于公元前 17 至前 11 世纪将矿物青铜的应用推广到农业、军事、医药等方面，促进了矿物应用的发展。到中国的西汉时期，刘安（公元前 179 至前 122 年）所撰《淮南子·万毕术》在世界上首次记载了利用天然矿物作饲料添加剂“麻盐肥豚豕法”（促猪生长催肥法），从而为矿物全面应用做出巨大贡献。

中国是世界矿物资源大国，不仅种类多、分布广，而且储量大、品质优，是世界上基本能自己满足本国矿物资源应用需要的国家之一。如应用于人体保健和饲料添加剂的中华麦饭石，不仅资源丰富，且闻名于世界。中国沸石资源占世界的 1/3，中国磷酸盐资源（饲

料级)产量占世界的80%等。这么多丰富的资源,除要加以保护外,还应加以合理的开发利用。尤在当今人类回归自然之际,各国掀起了天然物的研发热潮,天然矿物不仅应用于工业、农业、兵器方面,也已扩展到保健,甚至化妆品等方面,深受重视。尤其在食品和饲料方面,受到各国的重视。美国认为:应把天然矿物饲料添加剂(如沸石等)列为21世纪饲料发展的一个重要方向。据此,北京天然饲料添加剂委员会联合中国农业科学院北京畜牧兽医研究所等单位,组织相关专家、教授,在起草《天然矿物饲料添加剂通则》国家标准的同时,编写出《天然矿物饲料添加剂》一书,旨在补充这方面专著的空白和促进天然矿物研发事业的发展。另外,本书在出版社过程中得到中央级公益性科研院所基本科研业务费项目《天然矿物抗菌剂研究与开发》(2009yg-3)的资助。

本书以天然矿物在饲料添加剂中的应用为重点,全面介绍了饲用天然矿物的特性、作用优势及其机理,原料的生产加工应用,以及饲料天然矿物及其药物添加剂等内容。力求达到图文并茂,通俗易懂,适用于相关科技工作者和大专院校相关专业,以及饲料生产厂家参考。

由于水平所限,不当之处恳请指正。对本书所应用的资料及提供文献的同道者,以及关心协助过的同志们在此一并致谢。

编者

目 录

前言

绪论	1
一、天然矿物的形成	1
二、天然矿物饲料添加剂的概念	2
三、天然矿物饲料添加剂的优越性	14
四、中国对天然矿物应用的贡献	19
第一章 天然矿物	22
第一节 天然矿物的特性	22
一、天然矿物的性质	22
二、天然矿物的特性	23
第二节 天然矿物分类	23
一、矿物分类	24
二、天然矿物药的分类	29
第三节 矿物的毒性	35
一、矿物的毒性	35
二、矿物的药理药效和毒理毒性	38
三、矿物毒性危害特点	40
四、饲料中重金属的毒害作用	40
五、降低矿物毒性的方法	41
第二章 天然矿物元素	44
第一节 元素的分类	45
第二节 动物体内矿物元素间的相互关系	48
一、矿物元素间的颉颃作用	48
二、矿物元素间的协同作用	51
三、微量元素与有机营养物质的相互作用	52
四、植物性中草药与铁元素间的矛盾	53

第三节 矿物元素的污染和利弊	57
一、有毒金属元素对饲料的污染	57
二、几种有毒金属元素对饲料的污染及其危害	59
三、金属元素对环境的危害	75
第三章 天然矿物饲料添加剂	77
第一节 矿物饲料添加剂的应用	77
一、中国是矿物资源大国	78
二、世界应用矿物的情况	78
第二节 矿物添加剂预混料配制技术	80
一、原料选择	80
二、微量元素添加剂预混料配方技术	81
第四章 天然矿物饲料添加剂加工技术	84
第一节 常用微量元素添加剂	85
一、常用微量元素添加剂	85
二、微量元素添加剂生产要求	93
三、纳米矿物微量元素添加剂	95
第二节 天然矿物原料的深加工技术	98
一、机械式超细粉碎设备及工艺	100
二、气流式超细粉碎设备及工艺	104
三、超细分级设备	113
四、超细产品的粒度检测	118
第五章 天然矿物饲料添加剂建议标准	123
第一节 部分天然矿物的测定方法和质量标准	123
一、沸石的测定方法和质量标准	123
二、膨润土的测定方法和质量标准	127
三、海泡石的测定方法和质量标准	130
四、凹凸棒石的测定方法和质量标准	135
五、麦饭石的质量标准	136
第二节 天然矿物中重金属的检验	138
一、矿石中铅的测定	138
二、矿石中砷含量的测定	141
三、镉、砷、汞、铜测定法	144
第六章 天然矿物药饲料添加剂	148
第一节 天然矿物药添加剂	149

一、药物饲料添加剂的概念	149
二、矿物药的分类	149
第二节 天然矿物药的作用	154
一、矿物药的作用	154
二、矿物药性味功效	156
第三节 天然矿物药的物性理论	166
一、矿物药的物性	166
二、矿物药配伍	167
第四节 天然矿物药饲料添加剂的炮制	171
一、炮制分类	171
二、矿产本草加工炮制的方法	176
三、饲料药物添加剂预混料的基本要求	177
四、各类炮制技术	181
五、中药炮制常用辅料	188
第七章 饲用天然矿物资源	194
第一节 沸石	195
一、国内外资源开发及研究应用现状	195
二、沸石矿物学、理化特性及分类	197
三、沸石的作用机理	199
四、沸石的应用	202
第二节 膨润土	206
一、国内外资源开发及研究利用现状	206
二、膨润土的矿物学、理化特性及分类	209
三、膨润土的作用机理	213
四、膨润土的应用	214
第三节 海泡石	218
一、国内外资源开发及研究利用现状	218
二、海泡石的矿物学和理化特性及分类	220
三、海泡石的作用机理	223
四、海泡石的应用	224
第四节 凹凸棒石	227
一、凹凸棒石在国内外的研究利用现状	227
二、凹凸棒石的矿物学和理化特性	228
三、凹凸棒石的作用机理	231
四、凹凸棒石的应用	231
第五节 麦饭石	236

一、国内外资源开发应用现状	236
二、麦饭石的矿物学性质和理化性质	237
三、麦饭石的作用机理	238
四、麦饭石的应用	239
第六节 稀土元素	247
一、国内外资源开发应用现状	247
二、稀土元素的矿物质性质和理化性质	248
三、稀土元素的作用机理	249
四、稀土元素的应用	252
附录 1 饲料卫生标准 (GB 13078—2001)	258
附录 2 饲料和饲料添加剂管理条例	263
附录 3 新饲料和新饲料添加剂管理办法	269
附录 4 农业部第 977 号公告的通知 单一饲料产品目录	272
附录 5 中华人民共和国农业部公告 食品动物禁用的兽药及 其他化合物清单	274
附录 6 常见饲料中矿物质及维生素含量	277
附录 7 天然矿物饲料通则	292
附录 8 矿物质饲料生物安全使用准则	296
附录 9 “千年好”天然植物超微复合配方技术对提高养殖业 综合效益的作用	303
参考文献	307

绪 论

天然矿物是指在地壳各种物质的综合作用下（称地质作用）形成的天然单质或化合物，并具有化学式表达的特有的化学成分和相对固定的化学成分。现已从地壳中发现天然矿物3 000种，其中绝大多数是固态无机物，如石英、方解石、磁铁矿等；也有液态的，如自然汞、水等；还有气态的，如火山喷出气中的二氧化碳等。而有机矿物仅占极少数的几十种，如琥珀等。

矿石是指采掘出来的天然矿石。现代认为，矿物是地壳中矿石的组成单位，即矿石是矿物的集合体。

利用先进的科学技术可以人工制造出与天然矿物特性相同的矿物，称人造矿物。

矿物质是指生物机体组织、细胞的重要成分和动物营养的基础物质（一类无机营养物质），并在机体代谢中起重要作用的矿物元素。动物机体内除有机化合物（以碳、氢、氧、氮为主的化合物）外，其余的各种元素统称为矿物质元素。

一、天然矿物的形成

地壳是地球最外面的固体层，主要由结晶岩石组成，从地面延伸到“莫霍洛维奇”界面，厚数千米。地壳中的化学元素，是形成矿物的物质基础，而各元素在地壳中的分布是不均匀的。元素在地壳中平均含量的百分比（%），称百分元素的“克拉克值”或“重量克拉克值”。一般氧占地壳总重量的1/2；氧、硅、铁、钙、钠、钾、镁、铝（称为“八大元素”）占地壳总重量近99%，锗占1%。八大元素分布最广，是形成矿物（氧化物、含氧盐、硅酸盐等）和地壳各类矿物及土地的主要成分。

地质在形成矿物中的作用主要为内生作用和外生作用。

（一）内生作用

由于地质中岩浆的冷却、分异，物质通过各种物理化学反应（结晶作用等）而形成矿物。岩浆是源于地下深处的成分复杂的熔融体。其中含克拉克值高的铁、钙、钠、钾、镁、铝的硅酸盐熔体占岩浆的90%；其次为水、二氧

化碳、氯、氟、硼及其化合物（在高温下为气态），占岩浆的8%~9%；最少的是稀有有色金属元素及其化合物，占岩浆的1%~2%。

（二）外生作用

包括风化、沉积等作用。

1. 风化作用 是在常温常压下进行的。①物理风化：只把矿物破碎，而不形成新矿物。②化学风化：能使矿物破坏，并使其组分转入溶液或改造为新矿物。这是由于水及其游离氧的作用，并因各种酸，如有机酸、碳酸及风化中形成的硫酸等加速化学风化。风化作用形成矿物集合体，为多孔状、土状、皮壳状、钟乳状等形态。

2. 沉积作用 ①有机物沉积作用：不产生新矿物，但可使某些矿物富集，并最后存留为最稳定的矿物，如石英、金刚石、锡石、自然金等。②胶体沉积作用：可将难溶物质以水胶体形式运送到湖、海等水盆地中，沉积为矿物，如硅酸盐黏土矿物。③结晶沉积作用：能使物质经饱和态沉积下来，如石盐（内陆湖泊中）、硼砂，以及半封闭海湾（泻湖）中的石盐、钾盐、石膏、硬石膏的沉积。④生物化学沉积：即生物遗体堆积，如磷矿、珊瑚礁、石灰岩等。

3. 变质作用 此作用又可按变质作用的原因、物化条件而分为：①区域变质。由原岩石矿物的成分发生变化的作用，而重新组合成新矿物。②接触变质。指岩浆加入到周围岩中，形成新矿物。③气化变质。即热液变质，形成变质岩石。

二、天然矿物饲料添加剂的概念

根据《饲料和饲料添加剂管理条例》（以下均称《条例》），饲料添加剂是指在饲料加工、制作、使用过程中添加的少量或微量物质，包括营养性饲料添加剂、一般饲料添加剂和药物饲料添加剂。饲料添加剂是配合饲料的重要组成部分。其生产、使用等均应按《条例》执行，天然矿物饲料添加剂亦应遵循这一原则。

（一）营养性饲料添加剂

营养性饲料添加剂是指用于补充饲料营养成分的少量或微量物质，包括饲料级氨基酸、维生素、矿物质微量元素、酶制剂、非蛋白氮等。

营养性矿物元素是维持动物正常生命活动所必需，并对动物的正常生理和新陈代谢起着重要作用，如缺乏或过剩，均可能引起动物体内代谢紊乱，出现缺乏症状或中毒症状。

营养性矿物元素按其在动物体内的含量多少，又可分为常量矿物元素，占动物体重的0.01%以上，包括钙（Ca）、磷（P）、镁（Mg）、钾（K）、钠

(Na)、硫 (S)、氯 (Cl)；微量矿物元素，占动物体重 0.01% 以下，包括铁 (Fe)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、锰 (Mn)、碘 (I)、硒 (Se)、钴 (Co)、钼 (Mo) 等。

1. 常量矿物元素 是维持动物生命必不可少的营养性元素。过去认为，常量元素可通过给动物饲喂植物性饲料满足其需要，而不必另外补充。但现在在舍饲集约化饲养方式下，要充分挖掘动物生产性能的潜力，动物已不能像以前的传统放牧或半舍饲那样，直接从自然中获得必需营养元素。同时，植物性饲料原料经过机械等加工后，会损失一些必需营养成分，故对常量元素的补充问题，还待做进一步的深入研究。

(1) 钙 (Ca) 是动物体内含量最多的矿物元素，在体内浓度约为 1.5%。钙是动物体内骨骼和牙齿的主要组成成分，约有 99% 用于构成骨骼和牙齿，而仅有 1% 存在于软组织和血液中。同时，钙亦为家畜产奶和家禽产蛋形成蛋壳所必需。此外，钙还具有维持动物正常的神经功能，以及维持肌肉收缩、血液凝固和细胞通透性等功能。缺乏钙时，幼龄家畜出现佝偻症，成年动物出现骨质疏松症，高产母牛易患乳热症和生产瘫痪，产蛋鸡产出软壳蛋，且破蛋率升高。但是高钙（供钙过剩），亦会使动物发生不良后果。其原因是矿物元素间在机体内必须是平衡统一的，否则会产生元素间拮抗，影响机体对锌、锰、铜的吸收，以及引起高血钙、尿路结石等。钙、磷在饲料中应有一定的比例。

(2) 磷 (P) 磷对动物的主要生理功能是和钙形成羟基磷灰石，以构成动物的骨骼，以及以磷酸根的形式参与机体的物质代谢过程。磷分布于动物体所有的细胞中，约有 30% 的磷存在于骨骼中，10% 存在于肌肉中，1% 存在于神经组织中，其余分布于体细胞中。缺乏磷时，动物出现异嗜，常喜啃食泥土、木块、破布、粪便等，并发生佝偻病或骨质疏松症（成年动物）、繁殖力下降等。磷在机体内的浓度为 1%，磷与钙在饲料中的比例约为 1:2。

(3) 镁 (Mg) 机体内 70% 的镁存在于骨骼中，其余分布于软组织和体液中。镁在机体内的浓度约 0.4%。镁在碳水化合物和脂肪代谢中起着对一系列酶的激活作用，并为细胞氧化所必需。对激活磷酸转移酶、脱羟酶及酰基转移酶类尤为重要。镁离子可影响神经肌肉的兴奋性，机体缺镁时，易发生应激及痉挛，肌肉共济失调，以及生长发育受抑制、厌食等，严重时可使动物昏迷及死亡。

(4) 钾 (K) 钾是细胞内液中重要的阳离子，在机体内的浓度为 0.2%。红细胞中的钾浓度是钠的 25 倍，在肌肉中含量比钠高 6 倍。钾是丙酮酸磷酸激酶的激活剂，与糖的氧化及糖原合成等许多代谢反应有关；钾在肌肉中具有

重要活性作用，能影响肌肉神经的兴奋性；钾影响机体内的水平衡和酸碱度的平衡。机体缺乏钾时，动物会发生肌肉营养不良、肾小管变形等。与此同时，钾与钠在机体代谢中相互关联、颉颃，若一种元素不足而另一种元素过多，过多的元素会加剧另一种元素的缺乏症状。

(5) 钠 (Na) 钠离子是动物细胞外液中的主要阳离子，在机体中的浓度为 0.2%，大部分存在于体液中，对维持机体内酸碱平衡和血液体积与血压力平衡起着十分重要的作用。机体缺乏钠时，会出现异嗜，在连续缺钠 23 周后，动物会丧失食欲，生长、生产性能下降，饲料转化率降低等。

(6) 硫 (S) 硫在动物机体内浓度为 0.15%，硫元素分布于机体全身各个细胞中，被毛、蹄爪、角、羽毛中含较多的硫。硫用于合成软骨素基质，是生物合成中黄酸肝素、胱氨酸等的有机成分；硫是蛋白质合成所必需的含硫氨基酸的成分。缺乏硫时动物生长发育受阻，生产性能下降。在添加硫后，可提高禽的产蛋率，提高牛、羊对粗纤维的消化率和对氮的利用与沉积。

(7) 氯 (Cl) 氯在成年动物体内含量为 0.12%，分布于细胞内外。氯以盐酸形式作为胃液的重要成分；在血液中的酸性离子有 2/3 由氯构成，在机体酸碱平衡中起着重要作用。饲料中缺氯会导致机体血液中碱储的异常增高，使重碳酸盐过剩而引起碱中毒。体内氯不足是由重碳酸盐补偿所致。饲料原料中除鱼粉、骨粉外，其他饲料原料中含氯很少。缺氯可用食盐作补充。

2. 微量矿物元素 是指动物体内含量在 0.01%~0.000 01% 之间的元素，含量在 0.000 01% 以下的称为超微量元素，但通常均称为微量元素。在动物饲养上常用的微量元素有：铁、铜、锌、锰、碘和硒。反刍动物的微生物区系合成维生素 B₁₂ 时需要钴（因钴是维生素 B₁₂ 的成分），而单胃动物配合饲料中已添加有维生素 B₁₂ 添加剂，且动物性蛋白质饲料中均含有维生素 B₁₂，故不再需要另外补充钴。此外，在一般饲料和饮水条件下，不会发生缺钼的问题。但若饲料中含铜多时，就应添加钼，因为钼与铜是相互颉颃的微量元素。

构成微量元素添加剂的原料，不是铁、铜、锰等具体元素，而是含有微量元素的无机化合物或有机化合物、天然矿物。在应用中，以微量元素化合物作添加剂时，不能将天然矿物原料直接添加在饲料中，而要制成矿物质微量元素专项预混料或经微量元素加工系统后，再进行添加混配。

(1) 铁 (Fe) 铁在动物体内含量虽少（约为 0.004%），但却在生命过程中起着极为重要的作用。铁是血红蛋白呼吸色素的组成成分，血红蛋白中含铁 0.33%；是红细胞色素 C、过氧化物酶、含铁卟啉酶等的组成成分。铁主要以蛋白的形式贮存于动物体内，与另一种含铁量高的大聚合物含铁血黄素共同影响机体内铁的状况。动物缺铁时，会影响血红蛋白的形成，发生贫血，

进而出现生长异常、被毛粗糙、腹泻等症状。铁缺乏症，多发生于动物幼龄哺乳期。以高铜作为促生长剂时可引起生长猪继发性缺铁，应引起重视。

(2) 铜 (Cu) 铜在各种微量元素中是对动物体作用最广泛的一种元素。它在机体内的含量虽然比较少，在体内浓度仅为 $1\sim 5\text{mg/kg}$ ，也不是血红蛋白的组成成分，但其却与血红蛋白的合成、红细胞的成熟有关，也是小肠黏膜吸收铁及铁从组织中动用所必需的。同时，铜与线粒体的胶原代谢和黑色素生成有密切关系。动物缺铜时，影响被毛生长、色泽形成和引起贫血；缺铜也会影响动物的繁殖，使生殖能力下降。孕畜缺铜还会影响仔畜的正常发育，出现关节浮肿和共济失调等神经症状，引起流产、死胎等。高铜除可引起动物中毒外，过量的铜还会蓄积于动物肝脏，影响动物产品质量。

(3) 锌 (Zn) 锌在动物体内浓度为 $10\sim 50\text{mg/kg}$ 。它存在于机体内各种组织中，其中以肌肉、肝、骨、皮毛中浓度最高，眼睛、前列腺中含量较高。锌具有重要的生理作用，它与 300 多种酶的活性相关，锌是许多酶的组成成分，如醇脱氢酶、碱性磷酸酶、羧肽酶、RNA 和 DNA 聚合酶、胸苷激酶等；锌在 DNA 合成和核酸、蛋白质代谢中起活性作用；可作为碱性磷酸酶的激活剂，在角化及钙化过程中起作用；在红细胞中的碳酸酐酶含锌 0.3% ，在排除二氧化碳中起必要的作用。缺乏锌，动物表现食欲减退、生长受阻、被毛粗糙、脱毛、长骨粗短、羽毛发育不良，以及生产性能、繁殖力下降等。此外，锌过量，又会对动物造成伤害，尤其对反刍动物瘤胃微生物的生长繁殖不利，甚至会引起母羊贫血、羔羊死亡率高。

(4) 锰 (Mn) 锰在动物体内浓度为 $0.2\sim 0.5\text{mg/kg}$ ，分布于所有组织中，其中以肝、肾、胰和垂体中较多。锰有多种生理功能，是部分激酶、水解酶、转移酶、脱羧酶等激活剂，是丙酮酸氧化酶的组成成分，在氧化磷酸化作用、脂肪酸化代谢、蛋白质合成、黏多糖合成和胆固醇合成中，均需要锰的参与。动物缺锰时，会出现生长受阻、骨组织发育异常（关节肿大、腿短等）、仔畜共济失调，以及繁殖障碍等症。

(5) 钴 (Co) 钴在动物体内浓度为 $0.02\sim 0.1\text{mg/kg}$ 。它是维生素 B_{12} 的组成成分，是一种抗贫血及生长因子，并是磷酸葡萄糖变位酶和精氨酸酶类的激活离子。补钴对反刍动物尤其重要，因为瘤胃微生物要利用钴合成维生素 B_{12} 。缺乏钴时，动物表现为食欲不振、体重减轻、异嗜、消瘦、贫血和死亡。

(6) 硒 (Se) 硒在动物体内主要是作为谷胱甘肽过氧化物酶的组成成分，催化过氧化物的还原反应，减少细胞中的氧化物，保护细胞的正常功能。它主要存在于组织、细胞体液中。硒有类似细胞色素 C 的作用，可参与氧化

还原反应。缺乏硒时，动物发生肌肉营养不良（白肌病）症，大多数幼龄动物均可发生，多呈地方性散发。缺硒还可引起牛、羊生长停止，以及各种动物的生产及繁殖性能下降，甚至导致母畜空怀、早期胚胎死亡等。但过高的硒会引起动物中毒。在土壤中硒含量为 0.5mg/kg 时，就会引起动物慢性硒中毒，表现为被毛脱落、蹄爪壳变形和脱落、采食下降，动物可因饥饿而死亡。过量的硒还会引起动物繁殖紊乱。

(7) 碘 (I) 碘在动物体内浓度为 0.3~0.6mg/kg，一半存在于甲状腺中。碘与甲状腺机能有关，是合成甲状腺素必需的原料，碘与酪氨酸或其前体苯丙氨酸在甲状腺细胞中，经一系列酶促反应合成甲状腺素 (T_4) 和三碘甲状腺原氨酸 (T_3)。在组织细胞中， T_4 脱碘形成 T_3 ，作为直接发挥作用的调节激素（与动物基础代谢相关）。缺乏碘时，会引起动物甲状腺代偿性肿大；家畜缺碘，其初生仔畜会出现甲状腺肿大，全身无毛或皮肤粗厚，虚弱。

(8) 钼 (Mo) 钼是黄嘌呤氧化酶的组成元素，并决定黄嘌呤氧化酶的活性。一般情况下，日粮均可满足动物对钼的需要，故不会引起缺乏症。但高钼会引起动物中毒，给反刍动物喂过多的钼时，会出现缺铜的相似症状，因为钼与铜间存在颉颃。

3. 稀土饲料添加剂 稀土作为一种新型矿物饲料添加剂，具有用量少，促生长效果明显，经济效益显著，畜产品中残留量低，安全可靠等优点。

稀土元素，是化学元素周期表中原子序数从 57~71 的 15 种镧系元素以及与其化学性质相似的铈、铕等 17 种元素的总称。按原子序数可将稀土分为重稀土（又称铈组元素），包括钆 (Gd)、铽 (Tb)、镝 (Dy)、钬 (Ho)、铒 (Er)、铥 (Tm)、镱 (Yb)、镱 (Y)，和轻稀土，包括镧 (La)、铈 (Ce)、镨 (Pr)、钕 (Nd)、钷 (Pm)、钐 (Sm)、铕 (Eu)，又称铈组元素。

稀土元素是典型的金属元素，它们的金属活性仅次于碱金属和碱土金属。按金属活泼次序排列，由铈、铕到镧递增，由镧到镱递减，而镧元素最活泼。稀土元素能形成化学性质稳定的氧化物、卤化物、硫化物，并能与氮、氢、碳、磷等发生反应，以及易溶解于盐酸、硫酸和硝酸中。一般来讲，稀土元素的硝酸盐、氯化物、溴化物、碘化物、高氯酸盐、乙酸盐等有较高的溶解性，其硫酸盐的溶解性中等，而氧化物、氢氧化物、单酸盐、磷酸盐、碳酸盐、氟化物等难于溶解。此外，稀土离子与配位体主要通过静电引力形成络合物。

轻稀土中的镧、铈、镨、钕的化合物常被用作饲料添加剂，其产品有硝酸稀土、碳酸稀土和有机稀土（如柠檬酸稀土，是有机络合物）。

稀土矿物指具高度浓集稀土元素的矿物（如独居石、磷钇矿及氟碳铈矿）。

稀土对动物的作用：①稀土可以与蛋白质结合成络合物，从而影响蛋白质在动物体内的代谢过程；②影响核酸代谢：轻稀土元素能抑制 RNA 的合成，而重稀土则有轻微激活作用；③对酶的影响：稀土可提高胃蛋白酶、胰蛋白酶的活性，对己糖激酶有抑制作用；对谷胱甘肽过氧化物酶活力有良好的影响，且可提高其稳定性；④是生理激活剂：稀土可刺激动物体的新陈代谢，激活机体的生长因子，促进酶转化等，从而可提高饲料转化率，促进动物生长和增强动物免疫功能。

4. 微量元素的生理功能 环境中微量元素常因受到地质环境影响而有差异，可导致机体摄取某种微量元素不足或过剩。这些元素在机体内的含量虽微，但其生理功能极大，主要表现为：①某些微量元素可以协助机体输送常量元素。例如，铁是血红蛋白的重要组成成分，血红蛋白可将氧输送至机体全身，进行代谢。若缺少铁便不能对机体全身输氧。②微量元素是构成机体多种酶的组分或激活剂，一旦失去或缺乏，酶就丧失活力。③某些微量元素是构成机体内激素和维生素的重要成分或活性组分（例如合成甲状腺激素中的碘，维生素 B₁₂ 中的钴等），一旦缺少，便难以合成这些激素或维生素。④影响核酸代谢。核酸是遗传信息的载体，含有较多的钴、铬、铜、锌、钒等微量元素。动物试验证明，微量元素对核酸的结构及功能等产生重要影响。

某些微量元素与健康的关系

元 素	主要生理功能	引 起 疾 病	
		不 足	过 剩
铁 (Fe)	铁是血红蛋白、肌红蛋白、酶等的重要成分，也是血红蛋白、肌红蛋白中氧的携带者。成人体内含铁约 4~5g	贫血	呕吐，胃肠道出血，心脏衰竭或死亡，大骨节病，癌症
锌 (Zn)	锌是许多酶的必要组分，并参与核酸和蛋白质的代谢。成人体内含锌约 1.5~3.0g	发育停滞，食欲减退，嗅觉丧失，妊娠畸胎，闭经，癌症，心血管病	恶心，呕吐，腹泻，发育不良，贫血，食管癌
铜 (Cu)	铜是血、肝、脑中铜蛋白和某些酶的组成成分之一，促进血红蛋白生成和红细胞成熟。成人体内含铜 50~150mg	贫血，生长停滞，智力低下	肝炎，畸胎，心血管病，大骨节病，食管癌
钴 (Co)	钴是维生素的组分，参与核酸、胆碱、蛋氨酸的合成及脂肪、糖的代谢。成人体内含钴约 1mg	贫血	红细胞增多症，甲状腺肿，食欲减退，恶心，呕吐，腹泻，耳聋
铬 (Cr, 三价)	铬是维持糖和胆固醇代谢的必要元素。成人体内含量约 6mg	发育不良，缩短寿命，糖尿病	器官坏死，心脏病，癌症，动脉硬化