

饲料添加剂

● 张艳云 陆克文 编著

● 中国农业出版社



饲料添加剂

张艳云 陆克文 编著

饲料添加剂

张艳云 陆克文 编著

* * *

责任编辑 李锦明

中国农业出版社出版 (北京市朝阳区农展馆北路2号 100026)
新华书店北京发行所发行 河北省三河永和印刷有限公司印刷

787mm×1092mm 16开本 16.5印张 380千字

1998年1月第1版 1998年1月河北第1次印刷

印数 1~5 000册 定价 28.50元

ISBN 7-109-04997-3/S·3131

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

序

饲料是养殖业的物质基础，是影响畜禽和水产商品生产经济效益的重要因素。随着饲料工业的发展，应用配合饲料，缩短了动物饲养周期，提高了饲料转换率，从而降低了饲料成本。我国饲料工业虽起步较迟，但近十余年来却得到了迅速发展，我国配合饲料总产量已居世界前列。

饲料添加剂是配合饲料的重要组成部分，随着饲料工业的发展，饲料添加剂的研究开发与生产应用都在迅速发展，既提高了畜牧业的经济效益，又为人们提供了优质价廉的畜产品。随着我国养殖集约化和饲料工业的发展，生产者已认识到饲料添加剂在配合饲料中的重要性，从而使饲料添加剂的品种和产量日益增长。

由于我国应用饲料添加剂的时期尚短，生产者与使用者尚需继续深入了解，才能得到更合理地利用；为此亟需较有系统地能介绍饲料添加剂的科技资料和书籍，以适应发展饲料工业和养殖业的需要。

本书作者长期从事家畜饲养学的教学和科研工作，担任饲料添加剂课程教学工作十余年来，在经多次修改的自编教材基础上，结合收集的近期科研与应用情况等资料，完成本书的编写；本书内容丰富，系统地介绍了饲料添加剂的理论知识和应用技术，并将饲料添加剂法规、法定饲料添加剂以及饲料和饲养标准等列入附录。生产与使用饲料添加剂时，应遵照我国政府批准使用的添加剂品种及使用规定。本书可用作教材和从事饲料、饲养工作者的生产技术指导参考资料，将对我国养殖业的科学发展起着推动作用。

张 照

1996年5月6日

前 言

饲料添加剂是配合饲料的核心,是饲料工业的支柱。近十多年来,我国养殖业和饲料工业的飞速发展,使得饲料添加剂在我国现代化养殖和饲料工业中的重要地位越来越突出。饲料添加剂的研究、应用不仅受到有关科技界的广泛关注与重视,一些畜产品生产者和饲料制造商,已逐渐将饲料添加剂作为提高其产品商业竞争力的关键和重要手段。我国饲料添加剂工业也异军突起。但掌握饲料添加剂知识的专业人员和有关人员对饲料添加剂知识的了解,尚不能满足当前发展的需要,使得我国饲料添加剂和预混料产品的产量、质量、品种都远远不能满足饲料工业和养殖业的需要。有些添加剂的使用不合理,不仅造成很大的浪费,甚至还造成畜禽中毒,以至死亡,对食品卫生和消费者的安全也造成威胁。当前必须抓紧专业技术人才的培养,同时普及饲料添加剂知识,提高饲料添加剂的生产水平和使用水平,消除饲料添加剂使用的不利影响。由于我国饲料添加剂行业起步晚,虽然近几年的研究、报道资料较多,但国内尚未出版适宜于用作饲料添加剂教材的书,系统、全面介绍饲料添加剂知识的书籍、资料也很少。

《饲料添加剂》原为扬州大学农学院饲料加工专业、兽药专科班和养禽专科班使用的自编教材,试用近十年,曾多次全面修改、补充,反映良好,并受到有关专家的好评。为适应当前的社会需要,在一些前辈和我院教务处的鼓励、支持下,在该自编教材的基础上编写了《饲料添加剂》一书。本书在编写上,力图全面系统地介绍有关饲料添加剂的理论知识和应用技术,采用最新资料,反映最新研究成果和应用动态,以使其既可作为有关专业的教材,又可供作相关专业学生、教师和广大专业科技工作者的资料参考书,也可作为普及饲料添加剂知识的读物。但饲料添加剂种类繁多,功能交叉,涉及内容广泛,因水平有限,编写中难免有疏漏和错误,恳请广大读者批评、指教。

本书在收集资料和编写过程中,得到了有关专家和许多朋友的支持和帮助。杨文正、朱模忠教授给予了指导性意见,李筱倩副教授曾多次提出修改意见,张照教授给此书作序。在此书的出版和编辑过程中得到了本院教务处的推荐和支持,在此一并表示衷心感谢。

张艳云 陆克文

1996年5月10日

目 录

序

前言

绪论	1
一、饲料添加剂的概念及作用	1
二、饲料添加剂在发展畜牧业上的重要意义	1
三、作为饲料添加剂的条件	2
四、饲料添加剂的分类	2
五、饲料添加剂发展应用概况和我国的生产目标	4
六、饲料添加剂的管理	5
第一章 矿物元素补充物及微量元素添加剂	7
第一节 概述	7
第二节 矿物元素的营养特性	8
第三节 常量矿物元素补充物	19
第四节 微量元素添加剂	25
第五节 微量元素添加剂的质量要求	31
第六节 微量元素添加剂的合理应用	33
第二章 维生素添加剂	37
第一节 概述	37
第二节 维生素的营养特性	38
第三节 维生素添加剂的特点及应用	48
第四节 维生素添加剂的合理应用	57
第三章 氨基酸添加剂	63
第一节 氨基酸及其添加作用	63
第二节 氨基酸添加剂特性及应用	68
第三节 氨基酸添加剂的合理应用	75
第四章 抗生素添加剂	80
第一节 抗生素添加剂的开发和应用概况	80
第二节 抗生素添加剂的作用及其效果	82
第三节 抗生素添加剂长期使用的效果及安全性	85
第四节 合理使用抗生素添加剂	87
第五节 各种抗生素添加剂介绍	89
第五章 其他生长促进剂	106
第一节 促生长抗菌剂（即合成抗菌药物）	106
第二节 激素类生长促进剂	110
第三节 酶制剂	116

第四节 活菌制剂	123
第五节 酸化剂、缓冲剂及其他促生长饲料添加剂	128
第六章 药用保健剂	132
第一节 抗菌剂	132
第二节 抗寄生虫药物	137
第三节 中草药保健助长添加剂	149
第七章 饲料保藏剂	152
第一节 抗氧化剂	152
第二节 防霉剂	155
第三节 饲料青贮添加剂	158
第八章 其他饲料添加剂	162
第一节 调味剂	162
第二节 畜产品品质改良添加剂	164
第三节 饲料加工辅助剂	168
第四节 除臭剂	173
第九章 预混合饲料配制技术	174
第一节 预混合饲料生产的意义及分类	174
第二节 载体与稀释剂	176
第三节 预混料配方设计	180
第四节 预混料加工技术要点	184
附录 I 我国有关饲料添加剂法规	189
一、农业部关于进口饲料添加剂登记的暂行规定	189
二、兽药管理条例	191
三、兽药管理条例实施细则	195
四、新兽药及兽药新制剂管理办法	202
附录 II 我国和其他几个国家法定的饲料添加剂	207
一、中华人民共和国农业部批准使用的饲料药物添加剂品种及使用规定	207
二、日本法定饲料添加剂	209
三、美国 1989 年公布批准使用的抗生素、合成抗菌药物和驱虫药物饲料添加剂种类	212
四、原联邦德国使用的部分抗生素和合成抗菌药物饲料添加剂规定	213
五、欧洲经济共同体饲料添加剂使用规定	214
附录 III 我国畜禽饲养标准 (摘录)	227
一、瘦肉型猪饲养标准	227
二、鸡的饲养标准	237
附录 IV 中华人民共和国饲料标准 (预混料部分)	242
一、产蛋鸡、肉用仔鸡、仔猪、生长肥育猪微量元素预混合饲料	242
二、产蛋鸡、肉用仔鸡维生素预混合饲料	243
三、产蛋鸡、肉用仔鸡、仔猪、生长肥育猪复合预混合饲料	244
四、产蛋鸡、肉用仔鸡、仔猪、生长肥育猪浓缩饲料	245
五、饲料标签	246
附录 V 中国药典与英美日前苏联等国药典药筛筛号比较	249
主要参考文献	251

绪 论

一、饲料添加剂的概念及作用

添加剂是人类生活中必不可少的东西，用量少、作用大，各行各业都广泛应用于生产实际，有的称之为助剂。例如，在润滑油中添加少量抗氧、抗金属腐蚀、耐高温、低温以及增加油性的一些药物制剂中的一种或几种，就可以大大改善润滑油的性质和作用，所添加的少量药剂是其原来没有的成分；在天然橡胶中加入少量的石墨、硫等物质，可改善橡胶的韧性、弹性等性质，这些物质也是橡胶中原来所没有的；在香肠、火腿等食品的加工过程中，添加少量亚硝酸钾、亚硝酸钠等，可增加肉的红色等。如上所述，在主体物质中加入少量的有特殊作用的其他物质，从而改善其性质和作用，这些少量的添加物称为添加剂或助剂。

那么，什么是饲料添加剂呢？

饲料的优劣，是以其营养成分及其比例能否满足所饲动物的需要为标准的，而一种饲料（如一种谷物或鱼粉）不可能含有动物所需要的所有物质。即使全有，其量也不足。因此，需要多种饲料配合在一起，但各种成分的比例仍不可能符合动物要求。为了满足动物对营养的需要，改善饲料主体物质的性质和作用，就需补充或添加一些物质于其中。这些物质有两类：一类是饲料中原有但量不足的。如氨基酸、维生素、矿物元素等，称之为补充物；另一类是饲料中原所没有的有特殊作用，只需添加少量就能改变饲料性质的物质。如抗氧化剂、香料、激素、抗球虫药等，称之为饲料添加剂。但目前也有许多人将这两类统称为广义的饲料添加剂。前者称为营养性添加剂，后者称为非营养性添加剂。而这两类都是配合饲料的重要部分，因此，我们就这两个方面加以介绍。

虽然饲料添加剂及补充物在饲料中添加量很少，但作用很大，效果显著，具有多方面的功能，特别是对提高配合饲料的质量有着十分重要的作用。在配合饲料中添加 10~30mg/kg 的抗生素，普遍可提高畜禽增重 10%，节约饲料 5%。1973~1977 年，西欧 7 国养 1 000 只白鸡，所用抗球虫病添加剂费用为 7.95 美元，平均每年养 30 亿只鸡，其收益为增加总产值 4 330.9 万美元，扣除投资 2 502.4 万美元，纯效益为 1 828.5 万美元。即相当于投资 1 美元的抗球虫病添加剂，可收回 1.70 美元。

饲料添加剂主要有完善日粮的全价性，提高饲料的利用率、改善饲料的适口性、增进采食；刺激畜禽生长；防治疾病；减少饲料贮存期间营养物质的损失；改进饲料加工性能；改善畜产品品质，增加更多的经济效益等作用。

二、饲料添加剂在发展畜牧业上的重要意义

（一）饲料添加剂的使用是畜牧业发展的要求 在畜牧业发展的早期，畜禽的生产力低，主要是个体的散养，畜禽的各种营养需要能通过土壤、草虫、残羹剩饭以及阳光中得

到满足或基本得到满足，使用添加剂效果不明显。由于畜禽品种的改进，饲养技术的发展，生产力有了大幅度提高，仅靠单项或几种饲料的混合不能满足畜禽的营养需要，特别是工厂化、集约化的高密度地大批量生产，使动物脱离了阳光、土壤、青饲料等，所有的营养物质都必须由饲料或饮水供给，这就要求饲料中营养物质的全价性，且防治疾病也成了一个重要问题。

（二）饲料添加剂的使用是饲料工业发展的要求 饲料添加剂是配合饲料的一个重要组成成分，是配合饲料的核心，虽然饲料添加剂在饲料中的比例很少。但却是平衡配合饲料的营养，改善加工性能，提高配合饲料质量必不可少的。要发展饲料工业，首先就要研制、生产或进口各种饲料添加剂。

（三）节约饲料，扩大饲料来源 由于添加剂的使用而生产出全价配合饲料，改善了饲料的质量，有些添加剂（如某些抗生素）本身就具有提高畜禽对饲料利用效果的作用。氨基酸的添加，可节约蛋白质饲料，扩大蛋白质饲料资源，从而缓解蛋白质饲料的不足。试验证明，在饲料中添加蛋氨酸、赖氨酸可减少日粮粗蛋白质的2~4个百分点的蛋白质饲料。

（四）节约资金 饲料添加剂的应用，因其促进生长、节约饲料，而大大降低了畜产品的生产成本，给人们提供了大量廉价的肉、蛋、奶等产品。据1985年美国农业科学技术委员会估计，饲料中添加抗生素，美国一年可节约35亿美元以上。有人估计，如果欧洲经济共同体农民不使用性能促进剂，则生产成本就要增加10亿英镑。保守的估计，瑞典1986年1月禁止在生长肥育猪饲料中使用常规抗生素作为促进剂，至1988年1月的两年间，上市的约800万头肉猪至少多消耗了7万吨饲料，以1988年的价格计算，约多花了2000万美元。

三、作为饲料添加剂的条件

由于添加的目的不同，对添加剂的要求也有所不同。理想的饲料添加剂应符合下列要求：

- ①必须具有确实的经济和生产效果；
- ②长期使用或在使用期间，不应给动物产生急性或慢性毒害作用和不良影响，对种用动物不导致生殖生理的改变或影响胎儿；
- ③选用的原料中所含毒有害物质不得超过允许限量；
- ④在饲料与消化道中应有较好的稳定性；
- ⑤不降低饲料的适口性；
- ⑥畜产品中的残留量不能超过规定标准，不影响畜产品的质量和人体健康等。

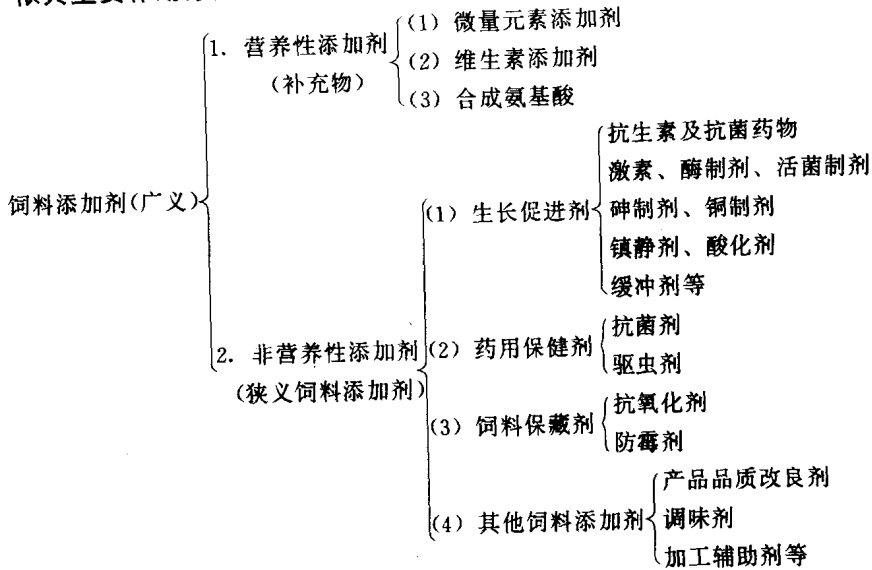
总之，饲料添加剂的研究、生产和选用要符合安全性、经济性和使用方便的原则，使用前要考虑添加剂的效价和有效期，还要注意限用、禁用、用量、用法、配合禁忌等规定。

四、饲料添加剂的分类

饲料添加剂的种类繁多，仅单一的饲料添加剂原料就达数百种。美国批准使用的饲料添加剂种类最多，有300多种；欧洲经济共同体为250多种；日本为114种。我国至1990年3月批准生产和进口的各类添加剂已有100多种。目前世界市场上各种商品添加剂更多。

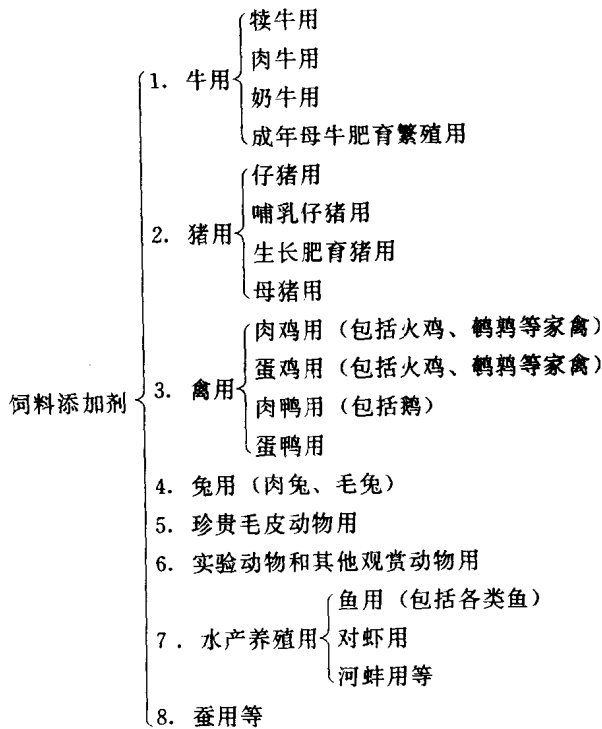
饲料添加剂至今尚无统一的分类方法，人们常按下面两种方法分类。

(一) 依其主要作用分类



由于许多添加剂具有多种添加作用，如酸化剂，既有促生长作用，也有保健作用，有的还有调味作用，按此分类法除将其列入“生长促进剂”外，还可列入“药用保健剂”、“调味剂”。由此可见，这一分类方法并不完善，来自不同资料的划分有一定差异。有的根据添加剂的作用方式，将生长促进剂分为代谢调节剂、消化促进剂等。

(二) 依饲喂对象分类



一般商品性预混料、添加剂系列产品即按此类方法分类。如：“禽用多维”、“仔猪生长素”、“奶牛用增奶素”等。

五、饲料添加剂发展应用概况和我国的生产目标

本世纪初，人们就逐步认识到饲料中除了能量、蛋白质等常量成分以外，还有一些维生素、矿物质等微量成分在畜禽营养中也起着必不可少的作用。但直到四五十年代，人们才逐渐掌握各种维生素的工业生产方法，于是添加到动物饲料中就有了可能，并开始了实践。50年代，抗生素和激素对畜禽促生长作用的了解及应用，使饲料添加剂得到了飞跃发展，饲料添加剂进入了一个新阶段。到了六七十年代，对各种微量元素的作用及添加应用方法的研究也有了较大的进展，随后对各种营养需要的研究及饲养标准的制定，加上工业氨基酸的生产技术的改进、应用以及药物作为饲料添加剂的应用，使饲料添加剂发展到又一个新的水平，极大地促进了畜牧业和饲料工业的发展。畜牧生产水平的不断提高，以及集约化、工厂化的高密度、全封闭饲养，对饲料添加剂进一步提出了更高的要求。同时又开始了将各类添加剂经科学加工制成各种预混合饲料，保证了添加剂使用的效果和方便性。到80年代，饲料添加剂已成为配合饲料的常规组成之一，并进一步促进了配合饲料工业与饲养业的迅速发展。

40多年来，饲料添加剂的生产和需求量不断增加，饲料添加剂的种类和品种也在不断发展。到1979年，饲料添加剂的销售额已超过兽医临床药物的销售额，分别占世界动物用药的48%和41%。1979年全世界饲料添加剂的销售额达25.5亿美元，1980年为27.4亿美元。80年代初，饲料添加剂的相对地位稍有下降，1981~1986年，销售额一直徘徊在24~25亿美元之间，其原因主要是新产品的研究费用增加，研制速度放慢，每年投放市场的新产品不及六七十年代和对传统的性激素、抗生素、抗菌药物以及其他药物添加剂应用的严格限制。近十年来，由于生长激素、酶制剂、饲用微生物、酸化剂、 β -兴奋剂以及调味剂等的研究开发取得了很大进展，世界饲料添加剂生产和市场再次迅速发展，尤其发展中国家配合饲料工业的发展，是饲料添加剂的潜在市场。1987年后，添加剂销售额开始增长，1990年达到48亿美元，比1982年增长近1倍。预计到20世纪末将达124亿美元。世界添加剂市场情况如绪表所示。目前，饲料添加剂产品正朝多能化（一种饲料添加剂具有多种效能）、畜禽专用化、系列化发展。

绪表 1979~1988年世界饲料添加剂销售额及比例 (亿美元,%)

年份		1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
销售总额		25.5	27.4	24.9	24.2	24.3	24.2	24.1	25.6	33.9	34.3
各类添加剂比例(%)	抗菌性	26.6	27.3	26.1	26.2	29.3	30	28.3	28.3		
	抗球虫性	8.8	11.4	12	11.9	12.2	12.5	12.8	12.8		
	营养性 ^①	58	54.5	52.4	52.4	48.8	47.5	48.7	48.7		
	其他 ^②	6.6	6.8	9.5	9.5	9.7	10	10.2	10.2		

(续)

年份	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
销售总额	25.5	27.4	24.9	24.2	24.3	24.2	24.1	25.6	33.9	34.3
各地区销售比例(%)										
北美			33.5		36.5		35.0		30.3	28.2
西欧			23.1		20.2		20.5		24.4	24.7
其他			43.4		43.3		44.5		45.3	47.1

资料来源：饲料添加剂基础知识，P7~8。

注：

①营养性饲料添加剂包括：氨基酸、维生素、微量元素等；

②其他饲料添加剂包括：驱虫剂、着色剂、粘结剂、物料改善剂等。

50年代末，60年代初，我国也在这方面进行了少量研究，但应用甚少。至70年代末，我国饲料工业起步，并在80年代得到迅速发展，同时大大促进了养殖业的发展和集约化的生产，使饲料添加剂的应用和生产显得迫切和重要，并受到重视。80年代末，营养性添加剂逐渐被我国饲料生产者和养殖者普遍接受和应用。近些年来，我国饲料添加剂的研究和生产有了较大的发展，生产和使用的添加剂种类和数量逐年增加，目前我国批准使用的添加剂种类已有100多种，年使用量超过15万吨。但我国饲料添加剂工业起步晚，生产技术和能力都很差。虽然“七五”“八五”规划期间已投资兴建了一些饲料添加剂原料生产厂，建立了许多预混料厂，但许多饲料添加剂原料仍靠进口，特别是某些维生素和非营养性添加剂。

据专家们推测，2000年我国配合饲料、预混合饲料总产量达1.0~1.2亿吨，若按此推算，则蛋氨酸需要量约为24.3万吨，赖氨酸需要量约为48.6万吨，磷酸氢钙将达到364.5万吨，其他微量元素添加剂、维生素添加剂、药物添加剂等的需要量都将大幅度增加。

今后我国饲料添加剂工业发展趋势是：到20世纪末，饲料添加剂主要靠国内解决，部分品种争取更多的出口。这就要求加强新型添加剂的研制工作，改进现有添加剂生产工艺，增加产品规格和数量，提高产品质量。

未来几年发展目标是：到1995年，蛋氨酸新增生产能力2.5万吨，累计达3万吨左右，2000年达10万吨以上；到1995年，赖氨酸新增生产能力2.5万吨，累计达3万吨左右，2000年达10万吨左右；到1995年，饲用磷酸氢钙新增生产能力15万吨，累计达20万吨以上，2000年达50万吨左右。与此同时，各种微量元素、饲用维生素、药物类添加剂、防腐剂等生产能力也将相应大力发展。

六、饲料添加剂的管理

随着饲料工业的发展，饲料添加剂的种类越来越多。在畜牧业发达的国家，饲料添加剂几乎应用于各种畜禽的全部饲养过程。而选作添加剂的物质是否安全？对人体、动物体是否有不利影响？对环境是否导致污染？如何控制不符合要求的物质用作添加剂？怎样防

止和控制某些有效添加剂的不利作用？等等，许多历史教训告诫人们，必须对添加剂的生产、销售和使用进行正确的指导和严格的监督管理，才能达到人们所期望的目的。

世界各国对饲料添加剂的管理都有专门机构来执行，并且各自都制定了具有法律性的“饲料法规”，对饲料添加剂的生产、销售、使用等都有严格而具体的规定和管理条例。综合各国饲料法规，基本有下列内容：

- ①新的饲料添加剂的生产都需遵循一定的审批程序；
- ②新产品的审查除了进行饲养效果检验以外，还必须进行包括“致癌、致畸、致突”三致试验的安全性评价及对人和环境影响的评价；
- ③上述两项内容通过以后，由管理机构公布批准可使用的添加剂品种和规格；
- ④对批准使用的添加剂的适用对象和使用量进行限定；
- ⑤在对饲料添加剂于动物体内的代谢情况及其残留毒理学等进行检验之后，对使用的剂型和对使用的对象的停药期还要有明确规定；
- ⑥有些国家还对各种饲料添加剂之间的配伍关系进行规定。

由于世界各国对各种饲料添加剂的认识不同，各自饲养的动物种类及饲养环境不同，社会政治经济不同以及人们的食物结构和食用习惯不同，各国对饲料添加剂的管理准则、严格程度也各有异。

美国：饲料添加剂最高管理机构是卫生和人类事务公共卫生署的食品药物管理局（Food and Drug Administration, FAD）。实施的法规为《联邦食品、药物和化妆品法令》和《联邦管理条例》。1986年和1987年又相继公布了“加药饲料规程”和“可食动物组织中残留化合物安全评价标准和程序”等法令，对饲料添加剂的种类、生产和应用作了详细规定，并进行严格的监督检查。

日本：饲料添加剂最高管理机构是农林水产省畜产局。实施的饲料法规为1953年颁布的《关于确保饲料安全性和改善饲料品质的法律》（简称《饲料安全法》），于1976年正式实施，1977年和1980年相继公布了《饲料添加剂评价标准》和《研究指南》两项新法令，从而实现了饲料添加剂审定的制度化。

欧洲经济共同体（欧共体）：其饲料添加剂最高管理机构是欧洲委员会以及各成员国的农业部。实施的法规为各国自己的饲料添加剂法规。自1970年以来，在各成员国之间通过了关于添加剂的使用和流通条例，实现了各成员国在立法上的协调和欧洲经济共同体范围内添加剂产品的自由流通。1985年9月，欧共体公布批准使用的饲料添加剂分两大类，共200余种（见附录Ⅰ），第Ⅰ类为可在欧共体内各国使用，第Ⅱ类只能在某一国家的一定时间内使用。

中国：中国饲料添加剂最高行政管理机构是国务院农牧行政管理机关。饲料药物添加剂按兽药管理，实施法规为国务院1987年5月发布的《兽药管理条例》（见附录Ⅰ）。《条例》明确了饲料药物添加剂的范围，对其生产、销售、使用及研制等作了较详细规定，之后又公布了《实施细则》和《新兽药及兽药新制剂管理办法》（见附录Ⅰ）。1989年1月农业部公布了首批饲料药物添加剂品种及使用规定（见附录Ⅰ）。农业部还颁布了《关于进口饲料添加剂登记的暂行规定》（见附录Ⅰ），加强了对进口饲料添加剂的管理和监督。到1990年3月，批准生产和进口的各类饲料添加剂已有100余种。

第一章 矿物元素补充物及微量元素添加剂

第一节 概 述

一、动物所必需的元素

矿物元素对动物机体有着极为重要的功能。矿物元素不仅是机体的重要组成成分(骨、牙、毛、蹄、角等),而且在动物体的代谢过程中还有许多重要功能。动物机体的每一代谢活动几乎都要依靠一种或多种元素才能正常进行。

地壳表层存在的 90 多种天然元素中,至目前为止通常有 26 种被认为是动物所必需。其中 11 种为常量元素(每公斤体重含量在 100mg 或以上),即碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)、钙(Ca)、磷(P)、钾(K)、钠(Na)、氯(Cl)、镁(Mg); 15 种微量元素(每公斤体重含量在 100mg 以下),即铁(Fe)、锌(Zn)、碘(I)、锰(Mn)、镍(Ni)、钴(Co)、钼(Mo)、硒(Se)、铬(Cr)、氟(F)、硅(Si)、锡(Sn)、钒(V)、砷(As)。此外,有人将锶列为必需的,但有争议。据研究,铷、锂、溴也可能为动物所必需,随着研究的深入及分析技术的进步,还会发现和证明新的必需微量元素,表 1-1 为动物体内某些必需矿物元素的浓度。

表 1-1 动物体内某些必需矿物元素浓度

常量矿物元素	体内浓度(%)	微量矿物元素	体内浓度(mg/kg)
钙	1.5	铁	20~80
磷	1.0	锌	10~50
钾	0.2	铜	1~5
钠	0.16	锰	0.2~0.5
氯	0.11	碘	0.3~0.6
硫	0.15	钴	0.02~0.1
镁	0.04	钼	1~4
		硒	1.7
		铬	0.08

资料来源:畜产大事典,1986。

Mertz 认为一种元素如缺乏时会一贯带来功能上的损害,从最适状态进入次适状态,就可作为必需元素。Schroeder、Cotzias、Davies 等各自都提出了标准,而 Cotzias 的解释较为全面,为多数人所接受,他坚持,作为一个必需的元素须符合下列标准:

①这种元素存在于一切健康机体的所有组织之中;②在组织中的浓度相当恒定;③缺乏该元素时,不论研究的种类如何,可产生相似的结构及生理功能的异常;④补充该元素,能够防止此类异常变化;⑤补充该元素可使失常的功能及结构恢复正常状态;⑥缺乏所引

起的异常情况，总会伴有特异的生化改变，当缺乏现象得到预防或治愈时，这些生化改变亦同时得到预防或治愈。

有些元素如铝 (Al)、锑 (Sb)、镉 (Cd)、汞 (Hg)、锗 (Ge)、银 (Ag)、铅 (Pb)、金 (Au)、铋 (Bi)、钛 (Ti)、锆 (Zr) 等，经常以不定的浓度存在于活组织中，据认为是由环境污染物获得的，少数几种元素如铅、镉和汞可称为毒性元素，因为它们在生物学意义上，迄今表现为在低浓度下具有毒性或可能具有毒性。事实上，所有营养上所必需的微量元素，如果食入或吸入过量，也都可能发生中毒。

二、必需元素与元素周期表

当我们仔细研究一下元素周期表，就会有趣地发现：

(一) **多数动物必需元素位居元素周期表前部位置** 在元素周期表里和地壳表层所含有的 92 种天然元素中，人体或动物的必需元素全部位居周期表前部 53 个之中；除碘、锡、钼外，则均在前 34 个之中；而人体重量的 99.954% 是由周期表中前 12 个元素所组成。根据这一规律和门捷列夫 100 年前在元素周期表中所留下的所有空位后来都被他所预言的性质的元素填满的启示和分析，有些专家认为，原子序数排列在已知是动物所必需元素之前的元素都有可能为动物所必需。

(二) **同族元素有相似的性质和作用** 同族元素除原子量外，具有相似的化学和物理性质，其仅因为电子层的不同而微有差别。在自然界，同一族元素很有可能而且常常是一起存在的，例如铜、银和金常在同类的矿石中存在；锌和镉；镍、钯和铂；钒、铌和钽；铬、钼和钨等也有这种情况。这在生物学上表现为：

同一族的元素能置换（特别是原子量重的置换轻的）和相互置换：这种特性可干扰各元素及其组成物质（特别是酶）的作用及性质，甚至使酶失活，引起生化紊乱、病理变化和种种疾病。镉能强烈地置换组织、结构及酶中的锌，砷能置换磷，硒能置换硫，锶能置换钙，铯能置换钴，从而引起疾病和病变，就是很有力的证据。此外，铈能置换钒，钨能置换钼（但不知钼能否置换铬），钨能置换铁，钯能置换镍，银能置换铜，在某种条件下金也能置换铜，溴能置换氯，铍能置换镁，镁和钙能相互置换，锶能置换钙，锂能置换钠，钠和钾相互置换，铯、铷在细菌中能置换钾。

同一族元素多数有相似的生物学作用：ⅠA 族元素对骨骼都有特殊的亲和力，ⅠB 族和ⅥB 族元素对肾和肝组织有特殊亲和力，ⅦA 族元素对甲状腺有亲和力。

(三) **第四周期的微量元素都有不同程度的生血刺激作用** 其作用程度如下：

钛 < 钒 < 铬 < 锰 < 铁、钴、镍、铜 > 镓 > 锗 < 砷，虽作用环节不同，但可相互促进、补充和制约，以维持最适宜的造血条件。

第二节 矿物元素的营养特性

各种矿物元素在动物体内的生理功能可概括为以下几个方面，即是组成牙齿、骨骼、软骨等组织的主要结构物质；维持酸碱平衡；参与血凝；维持肌肉和神经的兴奋性；调节渗透压；以某些酶和激素等化合物的重要成分，参与机体几乎所有的代谢等。

一、常量元素

(一) 钙、磷、镁 钙、磷、镁共占动物体内矿物元素总量的 3/4。钙、磷是构成骨骼的主要成分。一般骨组织中灰分约占 25%，而在正常的骨骼灰分中钙占 36%，磷占 18%，镁约占 1%。钙与磷在骨骼中保持着一定的比例，大致为 1~2:1，成年动物一般约 2:1，青年动物的比例稍低。骨骼是动物体钙、磷的贮备库。钙的 99%和磷的 75%~85%都存在于骨骼和牙齿中，主要由两种状态的磷酸钙组成：一种是无定形状态的水合磷酸三钙；一种是结晶羟磷灰石 $[3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2]$ 。其次还有碳酸钙、磷酸镁等。软骨组织中的钙、磷含量也很丰富。其余的钙主要分布在细胞外液（血浆和组织间液）中，细胞内含量很少。其余的磷则分布于细胞外液中和细胞内。体液中的钙与许多酶的活性有关，参与血凝过程，对维持正常的神经与肌肉兴奋性，对细胞结合质和生物膜的完整性以及对产蛋、泌乳等都起着重要作用。

骨外的磷则起着更为广泛的作用，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；对能量代谢，体液的酸、碱平衡起着重要作用。

钙、磷不足会影响骨骼发育和产生有关的代谢紊乱，随之影响动物的生长、发育、繁殖、泌乳等。常导致幼畜生长停滞，产生佝偻病；成年畜出现软骨症，骨质疏松症；母畜产后瘫痪（多见于奶牛）；鸡产薄壳蛋、软壳蛋等。

一般植物性饲料中含有丰富的磷，而缺钙。谷物及副产品糠麸以及油饼类饲料均含磷量较高。牧草，特别是豆科牧草含有较丰富的钙。但植物中的磷约 1/3~2/3 以上是以不易被动物吸收的植酸磷 $\{\text{C}_6\text{H}_6[\text{OPO}(\text{OH})_2]_3\}$ 形式存在，单胃动物对其利用率很低，猪约为 20%~60%，鸡约 30%，甚至更低。植酸磷还具有较强的与钙、镁、铜、锰、铁、锌等金属离子生成稳定络合物的特性，因而还影响动物对这些元素的吸收利用。但反刍动物的瘤胃微生物可分泌植酸酶，可较好的利用植酸磷。此外，植物性饲料中所含草酸、脂肪酸等，能与钙结合成草酸钙、钙皂等不溶物，降低钙的利用率，动物性饲料一般含钙、磷较丰富，且具有较高的利用率。猪、禽对无机磷的利用率较高，可达 70%以上。

饲料中钙、磷的比例对其吸收利用有很大影响。即使在钙、磷供给充足时，比例不当也会严重影响吸收利用。一般认为，生长畜禽饲料中的钙、磷比以 1~2:1 为宜，产蛋鸡较高，约为 5~7:1。维生素 D 可促进肠道对钙、磷的吸收，并起着调节钙、磷比例平衡的作用。维生素 D 不足也会引起钙、磷缺乏症。过多的铁、铅、锰、铝等能与磷酸形成不溶性的盐，影响磷的吸收。对人研究的资料表明，蛋白质的摄入量明显地影响尿钙排出，蛋白质摄入增加，尿钙的排出随之增加。

钙、磷过多，对畜禽发育不利。钙过多，会阻碍磷、锌、锰、铁、碘等元素的吸收，与脂肪酸结合成钙皂排出，降低脂肪的吸收率，磷过多会降低镁的利用率。

镁存在于动物几乎所有的组织中。其中 70%左右在骨中，其余的在细胞外液中和细胞内。

镁参与骨骼的生长，亦是许多酶的必需辅助因子，起着活化酶的作用而参与许多代谢，在神经肌肉传导和活动中起着重要作用。

自然条件下，动物一般很少缺镁。牛在春季大量采食幼嫩青草可以引起缺镁痉挛症，故

镁多在牛饲料中添加。

(二) **钠、钾和氯** 钾离子主要存在于细胞内，对维持细胞内渗透压，保持细胞容积，维持酸、碱平衡起着重要作用，参与糖和蛋白质的代谢，维持神经、肌肉和心血管的正常功能等。

饲料中含有丰富的钾，实用饲料中一般不会缺乏。下痢家畜，可因钾的损失，引起体内渗透压和酸碱平衡的失调。

钠约占动物体重的 0.15%~0.25%，大部分在细胞外的体液中，在维持体液渗透压和酸、碱平衡，调节体液容量方面起着重要作用，参与维持正常的神经肌肉兴奋和神经冲动的传递。此外钠还由唾液排入瘤胃，为防止瘤胃过酸所必需。

氯主要分布于细胞外液，在血液中以氯化钠 (NaCl) 形式存在。参与维持细胞外液渗透压，参与胃酸的形成，保证胃蛋白酶所必需的 pH 值。氯还参与淀粉酶的激活等。

饲料中所含的钠和氯量常不能满足动物的需要。食盐是畜禽饲料中钠和氯的主要来源。一般猪、鸡饲料中添加 0.2%~0.5% 即可满足需要，肉牛添加 0.25%、奶牛采取在精饲料中添加 0.5%~1.0% 食盐，或用盐块任其舔食。

动物长期摄取食盐不足，可引起活力下降、食欲减退、精神不振；生长动物生长缓慢、发育停止等不良影响；成年动物体重下降；奶牛出现被毛逆立、体重和泌乳量下降。

食入食盐量过高会引起中毒。反刍动物耐受性较强，一般饮水充足时，日粮中加入 9% 的食盐不会影响正常增重、妊娠和泌乳；猪若饮水不足，2% 的食盐日粮就可导致猪的神经性中毒症状；鸡对食盐的耐受力较差。饲料中含 5% 的食盐即可造成雏鸡大批死亡，母鸡产蛋量明显下降。

(三) **硫** 动物体内含硫约为 0.15%，大部分以有机物态存在于蛋白质中，特别是构成毛、蹄、角、爪、羽毛的角蛋白中含硫较多。几乎所有的体蛋白都含有含硫氨基酸，许多激素也含有含硫氨基酸。此外硫胺素、生物素、含硫粘多糖、硫酸软骨素、硫酸粘液素以及谷胱甘肽等重要活性物中都含有硫。硫的作用主要是通过这些含硫有机物实现。

饲料中的硫往往不能满足畜禽需要，但一般是以补给含硫氨基酸来满足需要。当含硫氨基酸满足了动物需要时，单胃动物和禽不会表现出缺硫。在反刍动物使用非蛋白氮时，易出现硫的不足，可补充无机硫。

缺硫不但影响反刍动物含硫氨基酸的合成，还影响牛对纤维素的消化和所产生挥发性脂肪酸的比例，能使瘤胃微生物将乳酸转为丙酸的速度减慢。据研究认为，为提高反刍动物瘤胃微生物充分利用氮，日粮中氮、硫比以 10:1 为宜。高产奶牛日粮含硫量应为干物质的 0.23%~0.26%。

产毛动物要注意补硫，单胃动物需要补含硫氨基酸。近些年的研究表明，在含硫氨基酸不足的单胃动物日粮中补充无机硫，可改善生长发育和生产性能。鸡的试验表明，雏鸡日粮中的硫酸钠参与生命活动所必需的牛磺酸的生物合成，促进雏鸡生长。

二、微量元素

(一) **铁** 铁是构成血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素和多种氧化酶的重要成分，作为氧的载体，保证体组织内氧的正常输送；参与体内复杂的氧化还原过程。现代研究证明，三