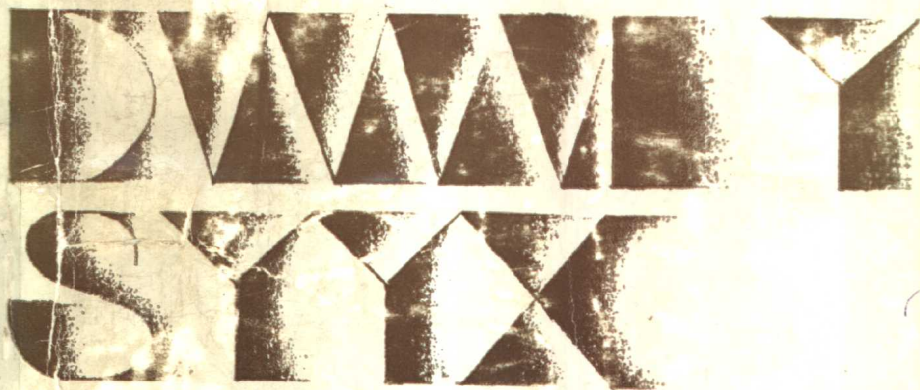


动物 微量元素 营养学



杨顺江 编著

动物微量元素营养学

DONGWUWEILIANGYUANSUYINGYANGXUE DONG

湖北科学技术出版社

动物微量元素营养学

杨 顺 江 编著

•

湖北科学技术出版社出版发行 新华书店湖北发行所经销

湖北省公安专科学校印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 10.375印张 1插页 228千字

1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

ISBN 7—5352—0446—5/S·41

印数1—5 000 定价：3.55元

陈 序

动物微量元素营养是一门新兴学科，是动物营养学的一个分支。尽管它只是在近二十年来才开始兴起，可是现已引起世界各国学者的广泛重视。它不仅属于营养学范畴，而且与生物地球化学、生物无机化学、生物化学、地质、地貌、医学、遗传学、食品、饲料、资源开发、生态环境、农业等众多学科密切相关，是一门多学科相互交叉、联系整个自然界食物链的重要的独立学科。因此，它有着旺盛的生命力，虽然还很年轻，但成长很快，值得引起我国有关学者的高度重视。

我国在该领域起步较晚，只是在近七、八年的时间内才发展起来的。从1982年华中农业大学招收我国第一届“动物微量元素营养”硕士研究生，开设了专门的“动物微量元素营养”研究生课程算起，也只有六年左右的时间，但现在全国许多院校及科研所都相继招收了“动物微量元素营养”研究方向的硕士甚至博士研究生，并且在动物营养与饲料加工专业的本科生中开设了本课程。因此，很多同志都希望能有一本切合我国实际的、能系统反映出本学科基本内容的讲义或是教学参考书，以便更好地开展本学科的教学和研究。有鉴于此，本书作者在攻读“动物微量元素营养”硕士学位的三

年时间里，就着手准备资料，毕业后不久，便编写出了这本我国首见的《动物微量元素营养学》讲义。可见，作者在事业开拓上颇具匠心，殊属难得。

拜读本书之后，深感全书内容层次分明，系统性强，文字通顺，说理充分，且能较好地结合我国实际，深入浅出地将基本概念阐述清楚，可以说，这本《动物微量元素营养学》是本学科中一部难得的好书。对于一位年轻教师和科技工作者，能在学术和写作上达到如此造诣，实属难能可贵，真是后生可畏！本书内容经过一段时间试用，学生普遍反映较好。因此，当作者要我为本书正式出版写几句话时，我当然乐于从命，特向广大读者推荐这本值得一读的书。

最后，希望作者在艰难而又漫长的坎坷崎岖的科学道路上奋力拼搏，戒骄戒躁，吸取众家之所长，不断地丰富自己，使自己成长更快，为祖国的科学事业做出更大贡献。

陈义凤

1989年1月5日于南昌

胡 序

对微量元素的研究，既在理论上具有重要的学术意义，也与国民经济众多部门有着密切联系。但我国尚缺动物微量元素营养学统编教材，这本为动物营养与饲料加工专业所编写的教材，在国内实属首见。它吸取了国内外，特别是国外本学科的新成就，系统地论述了必需微量元素与动物有机体相互作用及其相关规律以及反刍与非反刍动物微量元素营养与饲养，有理论深度和实用价值，适于作本科生教材，并可供有关教研与饲料加工工作人员参考，是值得重视的。

解放前，我国对微量元素的研究甚少注意。建国后，在50年代作了些工作。党的十一届三中全会后迎来了科学的春天，研究证明了微量元素硒与人的生命休戚相关的地方性克山病有关，补硒对其有防治功效。1983年党中央成立了地方病领导小组，同年2月15日《光明日报》及1984年7月19日《人民日报》发表了重视微量元素营养的专文，1994年8月邓小平同志和陈云同志为微量元素代谢失调引起的地方病题词在《人民日报》及《光明日报》头条发表，充分体现了党中央对这一新兴研究领域的重视。近些年来，全国在微量元素基础研究，微量元素与农牧业、医学、中医药、食品营养以及环境等方面都不断取得可喜的科研成果。

回顾过去，展望未来，微量元素研究已经历了一个漫长而又逐渐加快的里程。当前，这一研究领域正方兴未艾，有待深入，并充满希望。本书的问世，适应了我国在微量元素这一新兴领域教学、科研工作的需要，是可喜可贺的。

胡 坚

1988年11月6日于长春

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 动物微量元素营养学的研究内容与任务	(1)
第二节 动物微量元素营养学的研究进展	(4)
第三节 微量元素的基本特性与分类	(6)
第四节 微量元素在动物体内的作用方式	(10)
第二章 饲料中微量元素及其营养价值的评定	(16)
第一节 饲料中微量元素及其影响因素	(17)
第二节 饲料微量元素营养价值的评定	(30)
第三章 动物机体对微量元素的作用	(37)
第一节 微量元素在消化道中的代谢	(38)
第二节 微量元素在动物体内的代谢动力学	(54)
第四章 动物微量元素营养状况的评定	(93)
第一节 动物体内的微量元素及其影响因素	(95)
第二节 动物微量元素营养状况的评定方法	(114)
第五章 微量元素的生理功能	(124)
第一节 铁	(125)
第二节 铜	(139)
第三节 锌	(151)
第四节 锰	(163)

第五节	钼.....	(173)
第六节	钴.....	(182)
第七节	硒.....	(191)
第八节	碘.....	(203)
第九节	镍.....	(211)
第十节	氟.....	(218)
第十一节	其它几种必需微量元素.....	(223)
第六章	微量元素的相互关系.....	(225)
第一节	矿物元素间的相互关系.....	(226)
第二节	微量元素与其它营养素的相互关系.....	(234)
第三节	微量元素与其它因素的关系.....	(237)
第七章	微量元素的需要量与耐受量.....	(239)
第一节	概述.....	(239)
第二节	微量元素需要量的研究方法.....	(241)
第三节	影响微量元素需要量的因素.....	(253)
第八章	几种动物的微量元素营养与饲养.....	(256)
第一节	猪的微量元素营养与饲养.....	(256)
第二节	鸡的微量元素营养与饲养.....	(280)
第三节	反刍动物的微量元素营养与饲养.....	(297)

第一章 绪 论

第一节 动物微量元素营养的研究内容与任务

随着社会生产力的发展与科学技术的进步，动物营养学的研究领域日益扩大，研究方法不断完善，研究内容不断深入。到本世纪30年代，动物微量元素营养研究已成为动物营养学领域的一个重要组成部分，并日益向纵深方向迅速发展。在这一迅速发展过程中，若干其它学科的发展，例如化学及其各分支学科、环境卫生学、现代仪器分析、医学等学科的发展起着十分重要的作用。也正是由于这些学科的发展，特别是仪器分析的问世与迅速发展，使得测定微量元素的手段日益完善，技术不断提高，大大地促进了动物微量元素营养学的发展。目前，可以说动物微量元素营养学已初步形成了自己的体系，构成了动物营养学的一个分支。

在对本科生讲授动物营养学课程的实践中，我们感到，把微量元素营养部分放在动物营养学中讲授时，现时至少存在两点不足之处。其一，是削弱了动物微量元素营养部分的内容，这不仅不符合动物微量元素营养学迅速发展的需要，而且也不符合现行社会生产实践的需要。其二，是如果增加动物营养学课程中微量元素营养部分的内容，又势必削减了

动物营养学其它部分的内容，影响动物营养学这一课程的讲授体系。因此，有必要单独开课，讲授动物微量元素营养的理论与实际应用等有关内容。

动物微量元素营养学，是指研究动物正常生命与生长所必需的微量元素与动物有机体相互作用规律的科学。这种规律，既有和其它营养素与动物机体相互作用规律的相似之处，又有不同之点。随着研究的深入，这种相异性日益分化出来并愈来愈突出。然而，正是由于这种有别于其它部分的特殊性，使得把动物微量元素营养学作为一门独立学科与动物营养学分开讲授成为可能。

一、动物微量元素营养学的内容

从微量元素与动物机体相互作用的关系出发，我们可将动物微量元素营养学的内容分为两大部分：一部分是研究微量元素对有机体的作用规律，包括微量元素作用于动物体的机理，生理生化功能，缺乏与过多的原因、后果及其防治措施。另一部分是研究动物机体对微量元素处置的动态过程，即包括机体对微量元素的吸收，微量元素在体内的分布、生物转化及排泄等体内过程的量变规律。前者主要由微量元素的性质所决定，而后者主要由机体的各种机制特别是体内自动平衡机制所决定。但由于微量元素与机体之间的相互作用是紧密联系在一起，所以上述两大研究内容又不能截然分开。同时，动物微量元素营养学还要研究各种动物微量元素的营养与饲养。

研究动物微量元素营养，首先必须研究动物体的元素组成以及其分布规律。据研究发现，地球上自然存在的微量元

素中，约有三分之二已在动物体内发现。然而这些元素在动物有机体内并非是“盲目而杂乱”的堆积，元素的组成要求是十分严格的，不仅有质的要求，即化学元素的种类及其存在的形式；而且有量的要求，即化学元素在动物体内有其特征性浓度范围；还有比例的要求，即动物体内的化学元素必须保持在精确的比例范围内。三者相互联系，把动物的微量元素营养统一在最适的水平上。随动物种类不同，发育阶段不同，其最适的营养水平也会发生有限的波动。

要保持动物微量元素营养状况处于最适水平，必须了解微量元素的给源情况与动物的排出情况，以及从微量元素供给动物后到被排出之前这段时间内生命过程中所进行的各种代谢情况。

动物微量元素的给源情况，特别是饲料中的微量元素状况，对动物微量元素营养影响很大。而饲料中的微量元素与饲料中的其它营养素不同，它受土壤微量元素及其它养分的影响很大。因此，研究饲料中微量元素的含量与生物有效性及其变化规律，也是动物微量元素营养学的重要内容。

微量元素进入体内后的代谢状况也影响动物的微量元素营养状况。动物不但有比低等生物复杂和完善得多的微量元素代谢过程，而且由于不同动物有着不同的进化过程，甚至同一种动物的不同品种等也经历不同的进化途径和处于不同的进化环境，所以，应注意动物的微量元素代谢过程既有某些共同的规律，更有许多各自特有的特殊规律。因此，不同的动物对某一微量元素以及同一动物对不同的微量元素的吸收利用情况，需要量、中毒量、排出途径及方式都有很大的差异。

研究不同元素在某一动物体内以及同一元素在不同动物

体内的生理作用、生化功能、营养意义等,都是为了更好地认识微量元素在生命生长过程中的重要意义,更好地保持动物的微量元素营养状况。

凡此种种,都构成了动物微量元素营养学研究的主要内容。除此以外,许多与动物微量元素营养研究相互交叉、相互渗透的微量元素其它方面的研究也在不断深入,这无疑会对动物微量元素营养学的研究起促进与完善作用。

二、动物微量元素营养学的任务

本学科的主要任务是帮助动物生产者正确使用微量元素以及保持动物微量元素营养正常提供基本的理论知识与实践技能。为发现与实际问题创造必要的条件。力争充分发挥动物的生产潜力,提高经济效益。

动物微量元素营养学还有加强其自身理论的发展与完善,内容的充实与提高,研究方法的改进与优化等学科完整体系的建立与健全的任务。

第二节 动物微量元素营养学的研究进展

最近几年来,有关动物微量元素营养的研究报告越来越多,研究范围亦越来越广,说明人们对整个食物链系统中微量元素问题的研究日益重视。在这种情况下,很难对动物微量元素营养学的研究进展作出较为系统的概述,甚至作个粗线条式的简介也不容易。这里仅介绍一下1987年5月31日至6月5日,在美国加利福尼亚举行的第六届国际“人和动物的微量元素代谢”(TEMA—6)学术会议的内容,权作目前世界范

国内关于微量元素科学研究最近进展的一些情况汇报。

这次会议的代表来自32个国家，共370多人参加。我国也派人参加了这次重要会议。会议的主要内容可大致分为以下几个方面：

- (1) 电子传递与金属蛋白。
- (2) 微量元素与内分泌系统功能的关系。
- (3) 螯合物与治疗剂的关系。
- (4) 微量元素与免疫功能的关系。
- (5) 微量元素与转送机制的关系。
- (6) 人与动物微量元素的流行性病学研究。
- (7) 微量元素之间相互作用关系的研究。
- (8) 微量元素与动物生长发育的关系。
- (9) 微量元素与自由基的关系。
- (10) 微量元素与钙化组织机制的研究。
- (11) 微量元素在分子生物学领域的作用研究。

研究最多的元素是硒，其次为锌，铜的研究也较受重视。

我国目前的微量元素科学研究，也基本上是从上述诸方面进行的。研究的内容也有类似之处。例如中国营养学会于1985年7月29日至8月2日，在青岛召开的微量元素营养专题讨论会上，共收到107篇论文，其中有关硒的营养研究报告23篇，有关锌的营养研究报告21篇，钼、锰、铜、铁、碘等元素的研究报告34篇，关于测定方法的8篇，其它报告及论述21篇。不少大专院校与科研单位的硕士研究生的课题就是研究动物微量元素的营养问题。在现行饲料、食品工业与动物生产实践中，科技工作者也十分重视微量元素的应用问题。更为可喜的是，我国既重视微量元素营养的理论研究，

又重视其应用研究，双管齐下，互相促进，这无疑会把我国微量元素营养的研究推向一个新的阶段。

目前，我国已相继成立了不少研究微量元素的学术团体，并于1984年创办了《微量元素》这一综合性专业杂志。通过广泛的学术交流，对促进我国微量元素的科学研究也将会有大裨益。

第三节 微量元素的基本特性与分类

一、微量元素的由来

一个多世纪以前，人们就发现有机体内许多特殊化合物，其活性可能与某些金属离子有关。但由于这些金属离子在活组织中存在量很小，以致于早期的分析技术无法对其浓度进行精确的测定。因此，人们把这种为动物所需但当时难以定量的元素称为痕量元素 (Trace elements)。到50年代，原子吸收分光光度法的出现，大大提高了微量元素在测定手段上的精密度，尤其极大地方便了其定量的研究。到70年代前后，分析技术已从ppm发展到ppb的微量水平，故将这些元素改称为微量元素 (Micro element)，以别于常量元素 (Macroelement)。然而，从70年代以来，所发现的许多新的必需微量元素仍属痕量级，所以在动物微量元素营养中可能还要使用“痕量元素”一词。要是没有这些新发现，动物营养学家在动物与人类营养中可能已采用“微量元素”一词而不用“痕量元素”一词了。

常量与微量的区分，是就占动物整体的比例而言。某一组织内某一“微”量元素的量可能超过“常”量元素的含量。

凡占动物体总重量的0.01%以下的元素者谓之。如铁、铜、锰、锌、钴、钼、铬、硒、碘、镍、氟、钒、锡、硅、砷等，统称为微量元素，总共只占动物体总量的0.05%左右。

二、微量元素的分类

按定量的概念来区分动物体内的各种元素，其实际意义不大。不能反映微量元素对生命机体的重要意义。因此，现在一般依其在动物体的生物学作用，把微量元素分为必需、可能必需与非必需三大类。经过一个世纪以来的努力，已确定为必需的微量元素有铁、铜、锰、锌、钴、钼、铬、镍、钒、锡、氟、碘、硒、硅、砷等15种。可能必需但尚未最后定论的有钡、镉、铈、溴等。另外还有15—20种存在于体内而生理作用不明，或由饲料带入，或由环境污染造成，其中主要有铝、铅、汞。按生物性质可把元素分为必需、有害、无害三大类。但这一分类方法无甚实用价值。因为所有微量元素，若进食或吸收的量过大，历时较长，都会产生毒性作用。也就是说，必需微量元素的效应与其作用于动物体的剂量及时间的长短有关。为此，我们不妨引入动物对微量元素的剂量反应模式来说明此问题（图1—1）。曲线的第一部分表示随浓度的增加，反应增强，直到稳定时期为止，此段说明是元素的生物学作用。这个稳定时期是最适宜的补充作用和正常的功能。平稳期的宽度是由动物体内的平衡能力来决定的。若进一步加大元素的浓度，有时功能就会进入兴奋与激动时期，表示它发生了药理学作用。剂量继续升高，接着就出现中毒症状，表现为毒理学效应。所有必需微量元素都符合这一规律，即①缺到一定低限，就出现临

床或亚临床症状；②有一个较宽范围的稳恒区；③出现超过高限的中毒剂量。

由于对“必需”的含义理解不一，有关“必需”的概念及标准各家也有差异。一般而论，“必需”微量元素是指对细胞正常代谢绝对必要的那些微量元素。缺乏某一元素时，就会引起生理功能及结构异常，发生种种病变及出现各种疾病。下面以 Cotzias 氏与 Henning 氏提出的标准来说明判断一种微量元素是否为动物所必需的问题。

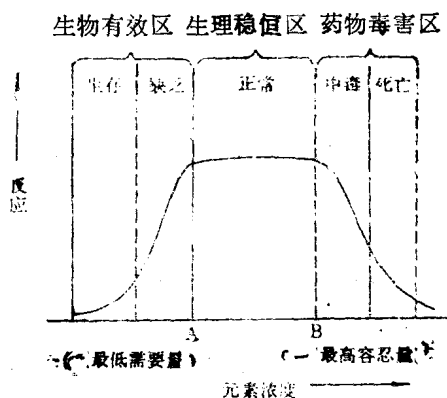


图1—1 动物对微量元素剂量的反应模式

Cotzias提出，作为一种必需的微量元素，必须符合下列条件：①这种元素存在所有健康机体内的全部组织中；②在同类动物中，其浓度相对恒定；③若机体缺乏该种元素后，可在不同组织中产生相似的结构与生理功能性异常；④补充