

* 获第二届部级优秀教材一等奖

全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

动物营养学

● 杨凤 主编

● 畜牧专业、动物营养及饲料加工专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

动物营养学

杨 凤 主编

畜 牧 专 业
动物营养及饲料加工专业 用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

动物营养学

杨 凤 主编

责任编辑 刘振生

出 版 中国农业出版社
(北京市朝阳区农展馆北路2号)

发 行 新华书店北京发行所

印 刷 中国农业出版社印刷厂

* * *

开 本 787mm×1092mm 16开本

印 张 14.75 字数 338千字

版、印次 1993年10月第1版

1999年2月北京第4次印刷

印 数 17 701~25 700册 定价 16.00元

书 号 ISBN 7-109-02535-7/Q·142

ISBN 7-109-02535-7



9 787109 025356 >

主 编 杨 凤 (四川农业大学)
副主编 陈可容 (四川农业大学)
编 者 周安国 (四川农业大学)
 王康宁 (四川农业大学)
 钱文龙 (四川农业大学)
 左绍群 (四川农业大学)
 张慎容 (四川农业大学)
主 审 韩友文 (东北农业大学)
审稿者 周毓平 (中国农业大学)
 冯仰廉 (中国农业大学)

前 言

本书是全国高等农业院校“七五”教材规划中编写出版的教材之一。主要为畜牧专业和动物营养及饲料加工专业本科教学而编写。

根据我国养殖业及饲料工业现代化建设和动物营养学科现代科技发展的需要，不仅在动物营养及饲料加工专业，就是在畜牧专业中只开设《家畜饲养学》，已远不能适应形势要求。为此，遵照农业部专业培养目标原则，北京农业大学、四川农业大学和东北农学院等部分院校早在动物营养及饲料加工专业或在畜牧专业的教学计划中，已分别开出《动物营养学》和《饲料与饲养学》两门课程，几年来从实践中积累了一定经验，一些学校还自编了教材，为在全国农业院校分别开设此两门课程奠定了基础和创造了条件。

本课程对畜牧专业属专业基础课，对动物营养及饲料加工专业则为专业课。课程的主要任务是讲授动物营养学的基础理论、基本知识和基本方法。按思想性、科学性、启发性、先进和适用性的原则，力求内容全面、系统和由浅入深。为便于学生对知识的掌握，在对教材内容的处理中，突出某些章节内容的规律性和特殊性。编写中参阅了国内外近年出版的《动物营养学》、《畜禽饲养标准》和动物营养研究进展等大量最新资料。作为畜牧与动物营养及饲料加工两专业的教科书，为避免与相关课程在内容上的脱节与重复，首先，在拟订教材编写大纲过程中，查阅了有关教材，与有关教材主编取得联系和协商，编写大纲除交教材指导委员会专业组讨论审定外，还较广泛地征求了华南、南京、甘肃、华中和内蒙古等院校有关教师的意见。

编写组由七位富有教学经验和具高级职称的教师组成，编写过程中部分博士研究生参加了讨论。初稿完成后，编写组曾约请审稿者开会进行初步商讨。会后曾蒙审稿者逐章逐句地认真审阅，提出几百条宝贵意见，对此深表感谢。编写组对审稿意见逐一考虑，在认真讨论的基础上，经多次修改定稿。

因时间仓促和编写人员水平所限，错误和不当之处在所难免，欢迎读者指正。

编 者

1991年4月

目 录

绪论	1
第一章 动物及饲料	3
第一节 动物与植物	3
第二节 动植物的化学组成	4
第二章 动物对饲料的消化	9
第一节 消化方式	9
第二节 动物的消化力与饲料的消化性	12
第三章 水的作用与需要	17
第一节 水的性质和作用	17
第二节 动物体内水的平衡及调节	18
第三节 动物的需水量	21
第四章 蛋白质的营养	23
第一节 蛋白质的组成和作用	23
第二节 蛋白质的消化吸收	27
第三节 蛋白质、氨基酸的代谢	29
第四节 蛋白质、氨基酸的品质与利用	31
第五节 非蛋白氮的利用	36
第五章 碳水化合物的营养	39
第一节 动植物体内的碳水化合物及其作用	39
第二节 碳水化合物的消化、吸收和代谢	43
第六章 脂类的营养	49
第一节 脂类化学及其作用	49
第二节 脂类的消化、吸收和代谢	51
第三节 必需脂肪酸	55
第四节 饲料脂类与动物脂肪	56
第七章 矿物质营养	58
第一节 矿物质营养概述	58
第二节 常量元素	61
第三节 微量元素	67
第八章 维生素的营养	76
第一节 脂溶性维生素	76
第二节 水溶性维生素	82
第九章 能量代谢	89
第一节 能量的概念	89

第二节	能量代谢	90
第三节	饲料的能量效率	95
第十章	非营养性生长促进剂	98
第一节	抗生素	98
第二节	激素和其他生长促进剂	102
第十一章	各类营养物质的相互关系	106
第一节	能量和其他营养物质的关系	106
第二节	蛋白质、氨基酸与其他营养物质的关系	107
第三节	矿物质与其他营养物质的关系	109
第四节	维生素间的相互关系	111
第十二章	动物对饲料及营养物质的利用和营养需要的研究方法	113
第一节	化学分析法	113
第二节	消化试验	114
第三节	平衡试验	119
第四节	饲养试验	122
第五节	屠宰试验	125
第六节	动物营养试验技术	125
第十三章	动物的营养需要与饲养标准	127
第一节	饲养标准	127
第二节	营养需要的研究方法	129
第十四章	维持的营养需要	132
第一节	维持需要的概念及意义	132
第二节	动物维持状态下的营养需要	133
第三节	影响维持需要的因素	140
第十五章	生长育肥的营养需要	142
第一节	生长的生理基础	142
第二节	生长育肥的营养需要	148
第三节	生长、育肥的饲料利用效率	159
第十六章	繁殖的营养需要	163
第一节	营养对动物繁殖的意义	163
第二节	妊娠期间母畜本身和胎儿的营养生理规律	165
第三节	繁殖母畜的营养需要	168
第四节	繁殖公畜的营养需要	171
第十七章	泌乳的营养需要	174
第一节	乳的成分	174
第二节	乳的形成	176
第三节	泌乳的营养需要	178
第四节	营养对泌乳的影响	186
第十八章	产蛋的营养需要	189
第一节	蛋的成分、形成和营养因素的影响	189
第二节	产蛋的营养需要	193

第十九章 工作的营养需要	201
第二十章 产毛的营养需要	208
第一节 毛的成分和形成	208
第二节 产毛的营养需要	211
第二十一章 动物的采食量	215
第一节 采食量调节	215
第二节 采食量的估计和影响采食量的因素	218
第二十二章 营养与环境	220
第一节 动物与温热环境	220
第二节 营养与环境	221
主要参考文献	227

绪 论

民以食为天，动物亦如此。营养是动物的客观要求。不管是肉用、奶用、卵用动物或经济动物，都要通过采食饲料，从中获取必要的营养素，才能表现出应有的生物学特性，为人类生产、生活服务。

人类从事动物生产，其实质是通过动物将饲料，特别是人不能利用或少用的物质转化为特有的产品形式，达到饲养动物为人类服务的目的。

人和动物都主要是直接或间接利用经光合作用捕获太阳能形成的有机物质。从动物进入人类生产实践的时候起，与人类争食的矛盾就一直存在。随着动物生产的不断发展，动物对饲料营养的要求更加苛刻，这一矛盾更加突出。提高动物利用营养素的转化效率，一直认为是缓解这一矛盾的一个重要途径。

科学技术是第一生产力。动物生产或营养物质利用效率的提高，50%~75%取决于营养研究的发展。半个世纪以来，动物与营养研究结合，使动物生产得到突飞猛进的发展。猪的生长速度和饲料利用效率比50年以前提高了1倍以上。出栏时间缩短到6个月以下。我国1990年平均出栏率已达到85%以上，比10年以前提高了近1倍。奶牛产奶量比50年以前提高了6~8倍，最高达15倍以上。每产1kg奶只需要0.4~0.7kg日粮，其中还包括大约40%~60%的粗饲料。肉鸡每增重1kg只需要1.6~1.9kg饲料。肉牛每增重1kg已从过去的耗料8kg以上，下降到5~6kg左右。目前，动物生产的饲料成本仍占总生产成本的50%~80%。动物生产效率的进一步提高，仍有待营养研究的新突破。

动物营养学是一门阐明营养物质摄入与生命活动之间关系的科学。通过研究摄入营养素对生命活动的影响，揭示动物利用营养物质的量变质变规律，为动物生产者提供理论根据和指南。动物营养不仅为经营养殖业成败的关键，亦与人的健康和素质关系密切。动物营养学是现代动物生产和人类健康必不可少的一门学科。

动物营养学的主要任务在于：第一，揭示和阐明动物生存、生产或做功所需要的营养素。到目前为止，已证明各种动物均不同程度需要大约50种以上的必需营养素。第二，研究并确定各种营养素的适宜需要量。阐明营养素缺乏或过量对动物生产和健康的影响。第三，研究营养素供给与体内代谢速度、代谢特点、动态平衡、动物生产效率与动物生产特性之间的关系和营养素进入体内的定量转化规律及作用调节机制。第四，研究动物营养与环境之间的关系。第五，寻求和改进动物营养的研究方法和手段。

本书重点在于介绍动物营养学的基本原理和基本方法及其在动物生产实践中的应用。阐述不同种类动物对营养素的摄取、消化、吸收、代谢等过程的量变规律及其特点；阐述不同种类、不同生产目的动物，在不同条件下的营养需要基础，估计和评定营养需要的基本原理、方法及必需营养素的需要量；阐述影响动物利用饲料或营养素的因素及其解决的途径和适宜的营养环境。

动物营养科学是生产实践和科学研究的结晶。自从 1770 年法国化学家通过呼吸试验证明生命是一个化学过程，奠定了营养学的化学基础以来，经过 18、19 世纪化学、生理学的发展，营养生化和营养生理作为动物营养学的原理得到了迅速发展。到本世纪中叶，动物营养学已形成了一门系统的比较成熟的科学，按营养学揭示的必需营养素配合的纯合日粮或半纯合日粮已能成功饲养好动物，并普遍用于探索和揭示动物营养规律的研究。

近几十年来，动物营养向深度和广度方面发展很快。随着多学科之间的不断渗透，动物营养研究中尚未解决的问题正不断被阐明。一些基本原理和方法正不断得到充实和提高。人工模拟动物营养需要和自动控制营养供给正在渗入动物生产中。

10 余年来，我国动物营养科学发展很快。跟踪世界动物营养研究的进展取得了显著成绩。10 年间，先后制定了猪、禽、牛、羊等的饲养标准，在畜牧生产和配合饲料工业的发展中起到积极的指导作用，产生了重大影响，取得了显著的社会、经济效益。促进了我国畜牧生产的发展。

动物营养学是生命科学中理论性较强的一门科学，与 30 门以上的自然科学，特别是与生命科学有关的学科以及政治、经济等社会科学相联系。掌握这些门类的知识将有助于推动营养研究的发展，更全面深入地了解动物营养学。

饲料和饲养是动物营养的姊妹学科。动物营养学研究营养需要的发展历史，实际上是饲料营养价值评定和饲养技术研究发展的历史。动物营养离不开饲料和饲养。

生理学和生物化学与动物营养学紧密相关，既是动物营养阐述饲料中营养物质在体内代谢转化的基本原理，也是评定动物对营养素需要的理论根据。生理、生化的发展对动物营养研究具有特别重要的推动作用。这两门学科是学好动物营养学和从事动物营养研究必备的基本知识。

物理学，特别是同位素技术、射线照像摄谱、色谱；数学，特别是应用数学以及电脑等是提高动物营养研究水平，改进研究手段和设备的重要源泉。

微生物学不但是动物营养研究消化道营养，特别是反刍动物和单胃草食动物营养的理论基础，也是动物营养的一个重要实验研究对象。

第一章 动物及饲料

动物为了维持自身的生命活动和生产，必须从外界环境中摄取所需要的各种营养物质或含有这些营养物质的饲料。植物及其产品是动物饲料的主要来源。研究动物营养，首先应了解动物与植物的化学组成及它们之间的相互关系。

第一节 动物与植物

一、动物与植物的相互关系

植物和许多微生物能利用土壤和大气中的无机物合成自身所需要的有机物，这些生物属自养生物。大多数动物需直接从外界环境中获得所需要的有机物，属异养生物。异养生物与自养生物是生物界生态系统内物质循环的两大主要生物群落，他们之间相互制约，相互依存。

高等动物皆属于异养生物，其食物直接或间接来源于植物。高等动物在生命活动过程中的排泄物和死后尸体，经微小的异养生物（微生物）分解，最后转化为无机物还原于自然界。绿色植物属自养生物，是自然界的生产者，他们利用空气中二氧化碳、土壤中水及各种无机物，通过光合作用生产各种有机物，同时也贮存能量，释放氧气，为动物生存提供条件。由此看出，生物界中动物和植物，以营养为纽带，构成各种不同的食物链，把生物与生物、生物与环境紧密地联系在一起。

经人类长期驯化的家养动物，无论杂食动物、草食动物或肉食动物，都是不同食物链中的主要消费者。这种以营养为结构的生态系统，能流与物流不停地进行着，构成自然界的物质循环。动物与植物则是物质循环的两个主要方面。

生产领域中，动物生产与植物生产是农业生产的两大支柱。植物生产除了为人类生存提供粮食外，也为动物生产提供饲料，特别是人类不能直接利用的作物秸秆，可以通过动物转化成优质的畜产品——肉、蛋、奶，供人类食用。而动物生产又为植物生产提供有机肥料，有利于农作物增产。因此，动物生产和植物生产也是相互依存、相互促进的。

二、饲料中的营养物质与营养

动物为了生存、生长和繁衍后代等生命活动，必须从外界摄取食物。动物的食物称为饲料。饲料中凡能被动物用以维持生命、生产产品，具有类似化学成分性质的物质，称为营养物质或营养素，简称养分。养分可以是简单的化学元素，如钙、磷、镁、钠、钾、氯、硫、铁、锌、锰、铜、碘、硒等，也可以是复杂的化合物，如蛋白质、脂肪、碳水化合物和各种维生素。营养是指动物摄取、消化、吸收和利用食物中的营养物质以

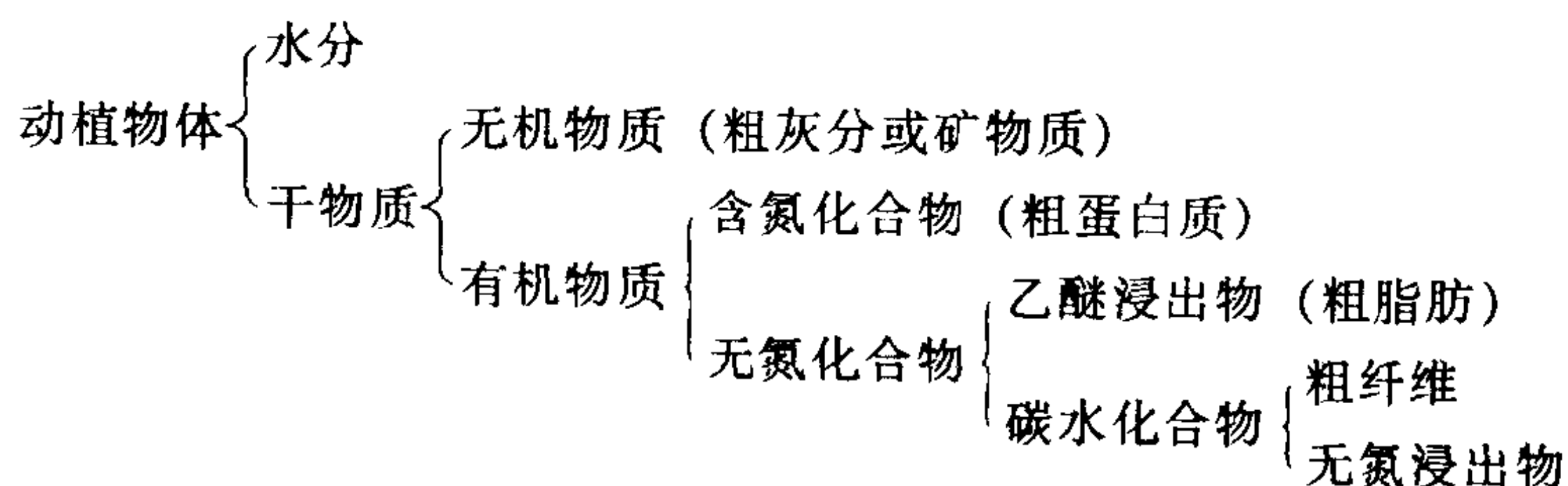
维持生命、生产产品的整个过程。

饲料中的营养物质，是动物生产的物质基础。一切能被动物采食、消化、利用并对动物无毒无害的物质，皆可作为动物的饲料。饲料的适口性、食入量、可消化和可利用性、生产效率，是衡量饲料营养价值的重要指标。不同种类和不同来源的饲料，所含营养物质不同，被动物利用的程度也不一样，其营养价值亦不同。饲料营养价值愈高，用于动物生产的效果愈好。

第二节 动植物的化学组成

一、动植物的化学组成

动物与植物均由化学元素所组成，绝大部分化学元素相互结合，构成复杂的有机和无机化合物。按照常规饲料分析，构成动植物的化合物为水分、粗灰分、粗蛋白质（CP）、粗脂肪或乙醚浸出物（EE）、粗纤维（CF）和无氮浸出物（NFE）六大成分。六大成分间相互关系如下：



（一）水分 动植物体内的水分一般以两种状态存在。一种含于动植物体细胞间，与细胞结合不紧密，容易挥发，称为游离水或自由水；另一种与细胞内胶体物质紧密结合在一起，形成胶体外面的水膜，难以挥发，称结合水或束缚水。构成动植物体内的这两种水分之和，称为总水。

（二）粗灰分 粗灰分是动植物体内所有有机物质全部氧化后剩余的残渣，主要为矿物质氧化物或盐类等无机物质，有时还含有少量泥砂，称粗灰分或矿物质。

（三）粗蛋白质 按常规饲料分析，动植物体内一切含氮物质的总称为粗蛋白质（ $N \times 6.25$ ）。粗蛋白质包括真蛋白质和非蛋白质性的氮化物。

（四）粗脂肪 动植物体内油脂类物质的总称为粗脂肪。饲料分析方案用乙醚浸提油脂类物质，所以粗脂肪又称为乙醚浸出物。

（五）无氮浸出物 无氮浸出物是多糖、双糖、单糖等物质的总称。动物体内无氮浸出物含量极少。常规饲料分析不直接分析无氮浸出物，由原样本重与水分、粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维总和之差得来。

（六）粗纤维 粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分，它包括纤维素、半纤维素、多缩戊糖、木质素及角质等成分。常规分析法测定的粗纤维，并非化学上“匀质”一致的物质，而是易于变异的混合物。主要因分析过程中，部分半纤维素、纤维素和木质素溶解于酸、碱中，使测定的粗纤维不能真正代表饲料样品中的粗纤维，同时又增加了无氮浸出物的计算误差。为了改进粗纤维分析方案，Van Soest（1976）提出了中性洗涤纤维

(NDF)、酸性洗涤纤维 (ADF)、酸性洗涤木质素 (ADL), 作为测定饲料中纤维性物质的指标。测定方案如图 1—1。

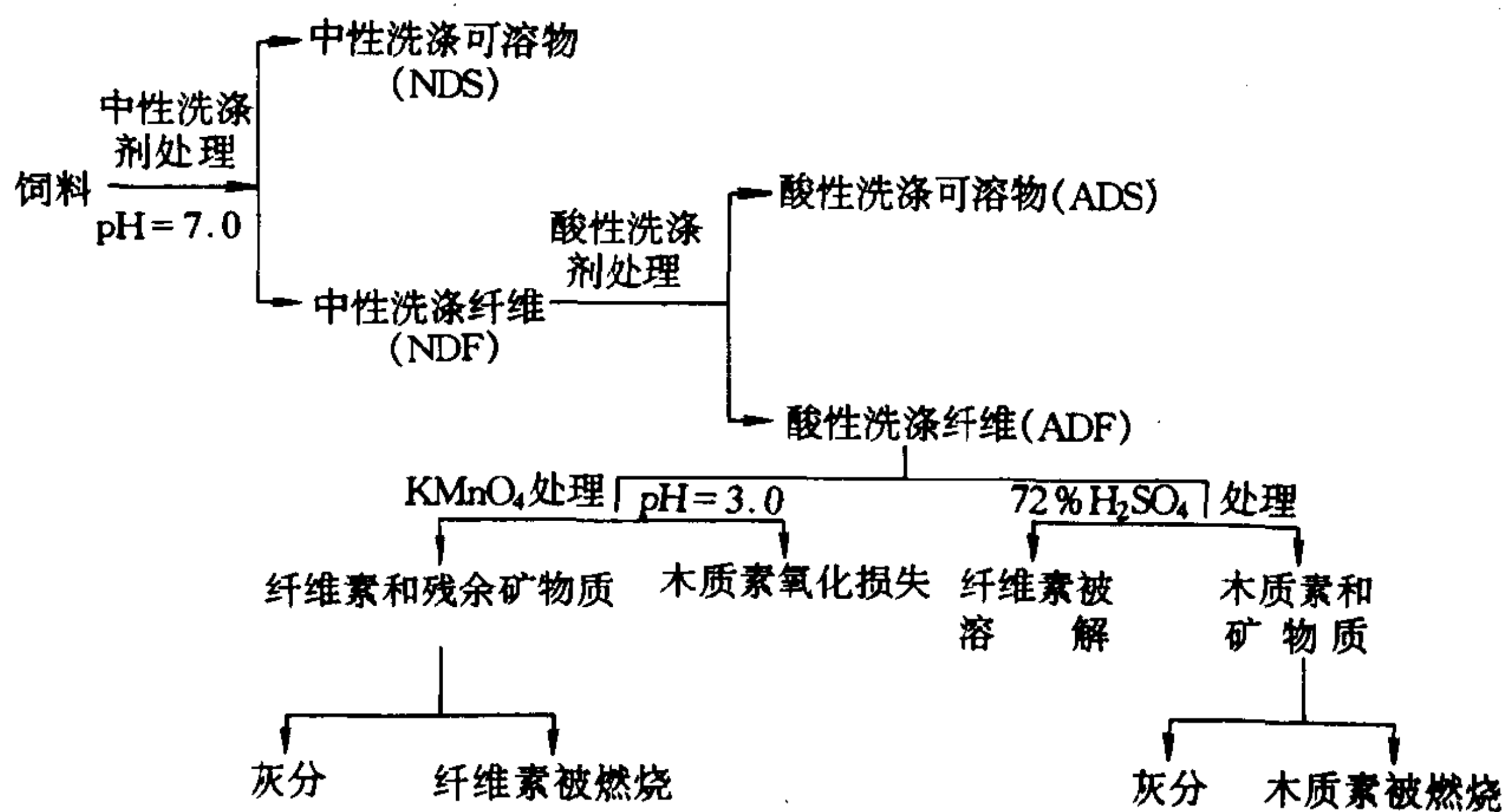


图 1—1 Van Soest 粗纤维分析方案

二、动物体的化学成分

动物体的化学成分依动物种类、年龄、体重、营养状态不同而不同, 见表 1—1。

(一) 水分 动物体内水分含量随年龄和体重的增长而大幅度降低。以牛为例, 胚胎期含水分高达 95%, 初生犊牛含水 75%~80%, 5 月龄幼牛含水降至 66%~72%, 成年牛体内含水仅 40%~45%。动物体内水分随年龄增加而大幅度降低的主要原因, 是由于体脂肪贮积的增加。从表 1—1 看出: 瘦阉牛体内含脂肪 2%, 含水分 64%; 肥阉牛体内含脂肪 41%, 含水分 43%。又如猪从体重 8kg 到 100kg, 水分从 73% 下降到 49%, 脂肪

表 1—1 动物体的化学成分 (%)*

种 类	水分	蛋白质	脂肪	灰分	脱 脂 物 质			脱 脂 干 物 质	
					水分	蛋白质	灰分	蛋 白 质	灰 分
犊牛, 初生	74	19	3	4.1	76.2	19.6	4.2	82.2	17.8
犊牛, 肥	68	18	10	4.0	75.6	20.0	4.4	81.6	18.4
阉牛, 瘦	64	19	12	5.1	72.6	21.6	5.8	79.1	20.9
阉牛, 肥	43	13	41	3.3	72.5	21.9	5.6	79.5	20.5
绵羊, 瘦	74	16	5	4.4	78.4	17.0	4.6	78.2	21.8
绵羊, 肥	40	11	46	2.8	74.3	20.5	5.2	79.3	20.7
猪, 8kg	73	17	6	3.4	78.2	18.2	3.6	83.3	16.7
猪, 30kg	60	13	24	2.5	79.5	17.2	3.3	84.3	15.7
猪, 100kg	49	12	36	2.6	77.0	18.9	4.1	82.4	17.6
母鸡	57	21	19	3.2	70.2	25.9	3.9	86.8	13.2
兔	69	18	8	4.8	75.2	19.6	5.2	79.1	20.9
马	61	17	17	4.5	73.9	20.6	5.5	79.2	20.8
人	60	18	18	4.3	72.9	21.9	5.2	80.7	19.3
小鼠	66	17	13	4.5	75.4	19.4	5.2	79.1	20.9
大鼠	65	22	9	3.6	71.7	24.3	4.0	86.0	14.0
豚鼠	64	19	12	5.0	72.7	21.6	5.7	79.3	20.7

* 除去消化道内容物。

从6%上升到36%。可见水分和脂肪在动物体内的消长关系是十分明显的。

水分是动物体内的必需成分,不同器官和组织因机能不同,水分含量亦不同。血液含水90%~92%,肌肉含水72%~78%,骨骼组织含水约45%,动物牙齿珐琅质含水仅5%。

(二) 有机物质 脂肪和蛋白质是动物体内两种重要的有机物质。

脂肪的含量随动物年龄和体重的增加而增加,并受营养水平和采食量的影响。脂肪与水分含量呈显著负相关,相关系数高达 $r = -8.9$ 。一般来说,猪体脂肪贮量最高,牛、羊次之,鸡、兔、鱼等动物体脂肪贮量最少。分割脂肪组织含脂肪30%~90%;分割肌肉组织含脂肪少,猪的肌肉组织含脂肪约20%,鸡的胸肌组织含脂肪不足2%,大理石状的牛腰肉含脂肪15%~20%。

动物体的每一个细胞都含有蛋白质,所以蛋白质是构成动物体各器官组织的主要组成成分。动物体内酶、抗体、内分泌、色素,以及对动物有机体起消化、代谢、保护作用的一切特殊物质皆为蛋白质。动物体内的蛋白质,是由各种氨基酸按一定次序排列构成的真蛋白质,其营养价值较高。

动物体内碳水化合物含量极少。碳水化合物主要以肝糖元和肌糖元的形式存在。血液中也含有少量葡萄糖。碳水化合物在动物代谢过程中的合成和分解具有重要的生理功能,但是,一般情况下,动物体内碳水化合物的含量低于1%。

(三) 灰分 (矿物质) 动物体的灰分主要由各种矿物质组成,其中钙、磷占65%~75%,90%以上的钙、80%以上的磷和70%以上的镁分布于动物骨骼和牙齿中,其余的钙、磷则分布于软组织和体液中。据对18头不同年龄的阉牛空体成分分析,主要矿物元素平均百分含量为:钙1.33%,磷0.74%,钠0.16%,钾0.19%,氯0.11%,镁0.04%,硫0.15%。

除以上主要矿物元素外,含量仅为动物体十万分之几至千万分之几的铁、铜、碘、锌、锰、钴、硒、钼、氟、铬、镍、钒、锡、硅、砷等15种元素,是动物必需的微量元素。钡、镉、铈、溴等元素是否必需,尚无定论。另外还有一些元素在动物体内存在,但生理作用不明,可能是动物所必需,或者是由环境的污染引入动物体内,有待进一步研究。

(四) 动物活体成分的估计 动物总体成分的分析,是研究动物营养经常要进行的一项工作。鉴于动物总体成分分析耗费大量人力物力,近年来不少学者进行了大量研究,简化分析程序,获得了一定成效。

从动物活体成分构成规律知道,水分与脂肪含量呈显著负相关。脱水和脱脂干物质中,蛋白质和灰分含量又相对稳定(表1-1)。在测定代表动物体成分的基础上,可以用回归方法,由动物体内水分含量估测活体其他成分。如有人用相对密度法测定动物体脂肪含量;又有人用各种染料(如evans,蓝染料)或氧化氘(deuterium oxide)或氚(tritium)等作标记物,静脉注射动物体内,然后测定该化合物在动物体内的稀释量。由稀释量来估计动物体内水分含量。再根据水分与脂肪的相关关系,估计动物体内脂肪含量。经测定,动物体组织的脂肪含量可按下式计算:

$$\text{脂肪} = 100 - \frac{\text{水分}(\%)}{0.732}$$

动物总体重 = 水分重 + 脂肪重 + 脱脂干物质重

不同种类的动物脱脂干物质中蛋白质和灰分重可按稳定比例计算。

Kirchgessner (1988) 按上述方法, 推导出了估计牛的活体成分公式:

$$Y = 355.9 + 0.36X - 202.9 \log X$$

式中 Y——脂肪含量(%)；

X——水分含量(%)。

由上式求出脂肪含量后, 蛋白质和灰分含量即可以按牛体脱脂干物质含蛋白质 80.3%, 灰分 19.7% 计算。

其他动物活体成分的估计, 也有类似的推导公式。

三、植物体的化学成分

表 1—2 列出了部分植物及其各部位的化学成分。植物同动物一样, 化学组成中水分含量最高, 变异也很大。随植物生长至老熟, 水分逐渐减少。碳水化合物是绝大多数植物性饲料的主要组成成分, 也是动物能量和脂肪贮备的主要原料。植物体内碳水化合物以粗纤维和无氮浸出物两种形式存在。蛋白质、脂肪、矿物质含量随植物种类不同差异很大, 一般说来, 比动物体内相应成分的含量低。

表 1—2 植物体及其各部位的化学成分 (%)

种 类	水分	蛋白质	脂肪	碳水化合物	灰分	钙	磷
植物 (新鲜样本)							
玉 米	66.4	2.6	0.9	28.7	1.4	0.09	0.08
苜 蓿	74.1	5.7	1.1	16.8	2.4	0.44	0.07
猫 尾 草	72.4	3.5	1.2	20.7	2.2	0.16	0.10
植物各部位 (风干样本)							
苜 蓿 叶	10.6	22.5	2.4	55.6	8.9	2.22	0.24
苜 蓿 茎	10.9	9.7	1.1	74.6	3.7	0.82	0.17
玉 米 籽 实	14.6	8.9	3.9	71.3	1.3	0.02	0.27
玉 米 秸	15.6	5.7	1.1	71.4	6.2	0.50	0.08
大 豆 籽 实	9.1	37.9	17.4	30.7	4.9	0.24	0.58
猫 尾 干 草	11.4	6.3	2.3	75.6	4.5	0.36	0.15

植物体各部位 (叶、茎、籽实等) 的组成成分也不同。植物成熟阶段将大量营养物质输送到籽实中贮存, 因而籽实中蛋白质、脂肪和无氮浸出物含量高于茎叶, 粗纤维含量则低于茎叶。一般禾谷类籽实无氮浸出物 (主要是淀粉) 贮量较多, 豆科类籽实蛋白质贮量较多, 油料作物籽实脂肪贮量较多。

植物叶片中蛋白质、脂肪、无氮浸出物含量高于茎秆, 粗纤维含量低于茎秆。

植物茎秆、秕壳中粗纤维含量高达 30% ~ 50%, 其他成分含量相对较少。

四、动植物体组成成分的比较

(一) 动植物体化学元素比较 19 世纪初期, 科学工作者利用化学分析方法对动植物

体化学成分进行研究，并作了比较。发现二者所含化学元素种类基本相同，数量略有差异。具体含量见表1—3。

表1—3 动植物体化学元素比较

元素含量	植 物				动 物		
	青草	玉米	豆饼	甜菜	脂肪型猪	中等肥育阉牛	中等肥育绵羊
氧, %	70.4	49.1	38.3	79.0	44.9	53.7	51.7
碳, %	14.4	40.3	41.7	8.0	38.0	23.4	25.4
氢, %	11.5	7.2	5.9	11.7	10.3	9.1	9.3
氮, %	0.5	1.4	7.8	0.3	1.8	2.7	2.2
硫, g/kg	0.97	0.59	1.68	0.60	1.27	1.81	1.54
氯, g/kg	1.32	1.38	3.82	0.76	0.41	0.59	0.52
磷, g/kg	0.68	3.30	7.01	0.29	2.77	7.98	5.28
钙, g/kg	1.97	0.30	2.15	0.61	4.43	15.0	8.74
镁, g/kg	0.89	1.14	2.65	0.25	0.19	0.51	0.32
钾, g/kg	6.32	3.18	20.18	1.35	1.12	1.69	1.42
钠, g/kg	0.36	0.05	0.18	0.14	0.53	1.08	0.76
铁, mg/kg	21.0	42.0	230.0	21.0	90.0	280.0	280.0
硅, mg/kg	1643.0	170.0	720.0	140.0	10.0	60.0	100.0
锰, mg/kg	61.0	9.0	30.0	21.0			
锌, mg/kg	25.0	21.0	47.0	7.0	30.0	30.0	30.0
铝, mg/kg	39.0	14.0	41.0	31.0			
钴, $\mu\text{g}/\text{kg}$	70.0	17.0	135.0	14.0			
铜, $\mu\text{g}/\text{kg}$	800.0	51.0	1240.0	760.0			
碘, $\mu\text{g}/\text{kg}$					400.0	400.0	400.0

(二) 动植物体化学成分的比较 组成动植物体的化学元素并非游离存在，而是相互结合成为复杂的、同名而不同质的有机或无机化合物。动植物体的化学成分，皆以水分含量最高。植物中水分变异范围很大，可多到95%，少到5%；成年动物体内水分比较稳定，一般在45%~60%。植物干物质中主要为碳水化合物。碳水化合物既是植物的结构物质如细胞壁物质，又是植物的贮备物质（种子中淀粉）。碳水化合物中有一部分以粗纤维的形式存在。植物体内蛋白质含量比动物少，一部分蛋白质以氨化物形式存在。脂肪含量除油料作物外，也低于动物。动物干物质中主要为真蛋白质，其次是真脂肪。蛋白质是动物体内的结构物质，动物的贮备物质是脂肪。动物体内碳水化合物含量少，也不存在粗纤维。动植物体化学成分比较见表1—4。

表1—4 动植物体化学组成比较 (%)

营养物质	植 物				动 物			
	草地干草	饲用甜菜	大 麦	向日葵饼	半肥育公牛	中等肥育绵羊	肥 猪	犍 牛
水 分	14	88	14	9	56	54	44	73
蛋 白 质	10	1.0	9	36	18	19	13	18
脂 肪	3	0	2	11	20	22	39	4
无氮浸出物	41	9	68	23	1*	1*	1*	1*
粗 纤 维	23	1	4	14				
灰 分	6	1	3	7	5	4	3	4

注：动物体内碳水化合物含量小于1%。

第二章 动物对饲料的消化

饲料中的营养物质,在动物消化道内经过物理、化学、微生物的系列复杂作用,将大分子的有机化合物分解为简单的在生理条件下可溶解的物质,被动物吸收。吸收的养分通过血液循环输送到机体各组织器官,供动物利用。因此,动物营养的首要过程是消化。

本章以阐述动物对饲料的消化方式和影响饲料消化率的诸多因素为主要内容。

第一节 消化方式

动物的种类不同,消化道结构和功能也不同,但是,他们对饲料中各种营养物质的消化却具有许多共同的规律,其消化方式主要归纳为物理性消化、化学性消化和微生物消化。

一、物理性消化

动物口腔内饲料的消化主要是物理性消化。所有物理性消化过程,都有利于饲料在消化道形成多水的悬浮液,为胃和肠的化学性消化(主要是酶的消化)、微生物消化作好准备。物理性消化主要靠动物的咀嚼器官——牙齿和消化道管壁的肌肉运动把食物压扁、撕碎、磨烂,增加食物的表面积,易于与消化液充分混合,并把食糜从消化道的一个部位运送到消化道的另一个部位。

猪口腔内牙齿对饲料的咀嚼比较细致,咀嚼时间长短与饲料的柔软程度和猪的年龄有关。一般粗硬的饲料咀嚼时间长,随猪年龄的增加,咀嚼时间相应缩短。

家禽口腔内没有牙齿,靠喙采食饲料。喙也能撕碎大块食物。鸭和鹅呈扁平状的喙,边缘粗糙面具有很多小型的角质齿,也有切断饲料的功能。饲料与口腔内分泌的黏液混合,再吞咽入胃进行酶的消化。

生产中猪和禽的饲料常采用中等程度粉碎饲喂,一方面减少加工成本,另一方面也有利于饲料被动物消化。

非反刍草食动物,马主要靠上唇和门齿采食饲料,靠臼齿磨碎饲料,咀嚼比猪更细致。咀嚼时间愈久,唾液分泌愈多,饲料的润湿、膨胀、松软愈好,愈有利于胃内继续消化。草食性的家兔,靠门齿切断饲料,臼齿磨碎饲料,并与唾液充分混合而吞咽。该类动物的饲料饲喂前适当切短,有助于采食和牙齿磨碎。

反刍动物采食饲料后,不经充分咀嚼就吞咽到瘤胃。饲料在瘤胃受水分及唾液的浸润被软化,休息时再反回口腔仔细咀嚼,这是反刍动物特有的反刍现象,也是饲料在口腔内进行的理性消化。经反刍后的食糜,颗粒很细,有利于微生物的进一步消化。

饲料在动物胃、肠内的物理性消化,主要靠管壁肌肉的收缩,对食糜进行研磨和搅