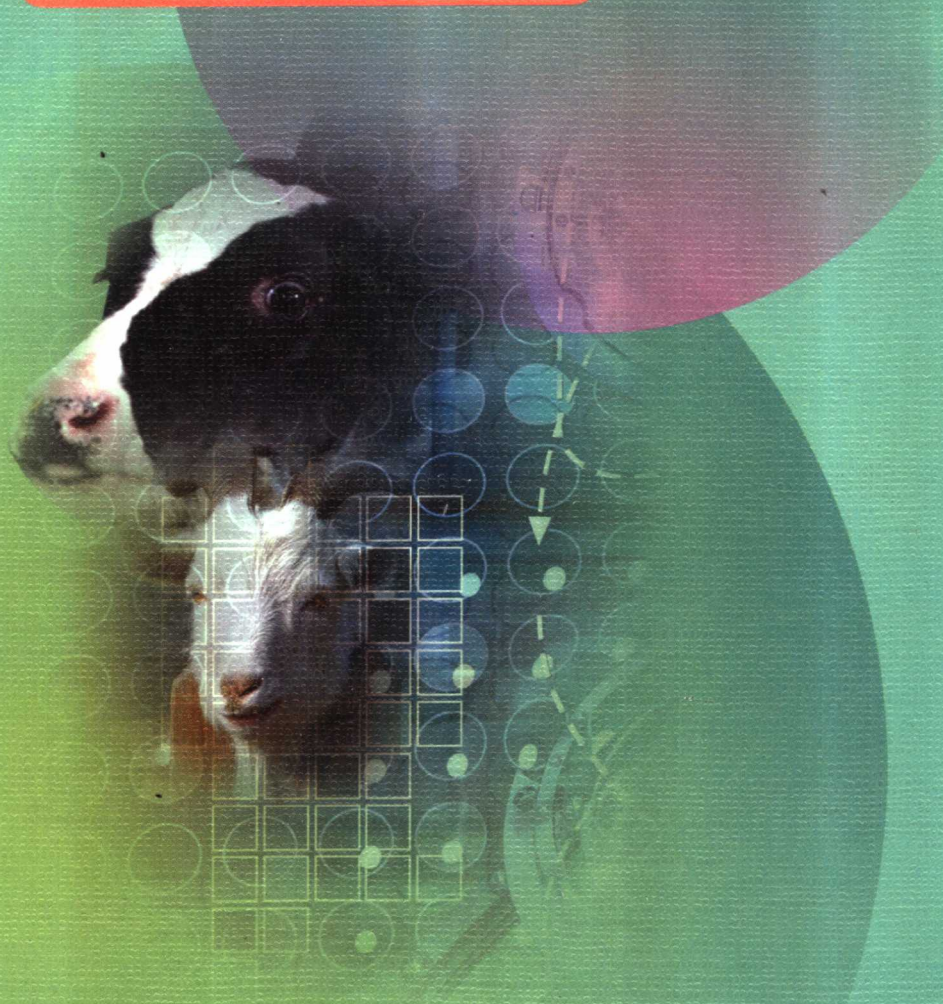


# 反刍动物营养 与饲料利用

● 阎萍 卢建雄 主编



中国农业科学技术出版社

# 反刍动物营养 与饲料利用

● 阎萍 卢建雄 主编

中国农业科学技术出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

反刍动物营养与饲料利用/阎萍, 卢建雄主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2005.5

ISBN 7-80167-733-1

I. 反 …

II. ①阎 … ②卢 …

III. ①反刍动物—动物营养 ②反刍动物—饲料

IV. S823.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 117557 号

责任编辑 沈银书  
责任校对 张京红 贾晓红 马丽萍  
出版发行 中国农业科学技术出版社  
          邮编: 100081  
          电话: (010) 62121118; 68975144 传真: 62189014  
经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京市佳信达艺术印刷有限公司  
开 本 889 mm×1 194 mm 1/16 印张: 20.75  
印 数 1~1 000 册 字数: 550 千字  
版 次 2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷  
定 价 80.00 元

# 序 言

本书分为两大部分:反刍动物营养和反刍动物饲料(包括饲草)的利用。第一部分介绍反刍动物营养原理,为理论部分;第二部分为饲料饲草供反刍动物利用的途径与方法,属于应用部分。两部分合编一本书内,理论与实用相结合,一方面理论对实际应用有指导的意义,另一方面阐明理论并非空谈,而对畜牧业,特别是养牛业与养羊业及饲草饲料工业有实际的效用,两相结合,相得益彰。

本书编者均为畜牧学界与饲料科学界的科学研究与教学多年的科教人员,他(她)们有丰富的科学知识和工作经验。这本书是他(她)们的宝贵经验与湛深知识的结晶。内容丰富新颖,参考文献甚多,文字清晰,易读易懂,可供我国经营反刍动物畜牧业和饲草饲料工业的科技人员、研究教学人员及学生阅读、学习与应用。

杨诗兴



2005年3月3日

# 前 言

反刍动物营养学是动物营养学的重要分支,是在生理学、生物学、生物化学、分析化学及微生物学等学科的基础上发展起来的,其基本任务是最有效地将饲料,尤其是人类不能利用的粗饲料,转化成动物产品,即应用动物营养学原理为动物饲养制定合理的制度,对饲料进行合理的加工,以优化的日粮配方,充分利用饲草资源和发挥动物的遗传潜力,为人类提供更多更好的动物产品。

2000 多年前的《黄帝内经·素问》中就有“五谷为养,五果为助,五畜为益,五菜为充”的食物和养生的记载,可见重视营养及其生物学功能的文化在我国已源远流长。随着国民经济发展和人民群众生活水平提高,动物产品所占比重越来越大。动物从周围环境中摄取食物,以满足自身的营养需要,用以维持个体生命和种族繁衍。经过人类长期驯化选育与饲养管理后,动物所生产的奶、肉、毛、蛋等已远远超出本身的生理需要,为人类提供了营养丰富的食品和轻工、生物医药、肥料等原料。

人类从事动物生产,就是通过动物将饲草饲料尤其是人类不能或很少能利用的物质资料转化为动物特有的产品形式。人类不懈地致力于动物生产水平与质量的提高,就是为了获得高附加值的产品供人类使用。

人们为了获得高产优质的动物产品,除了通过遗传途径选育优良品种外,同时还不断地研究和探索营养学途径,以使高产的遗传潜力得以发挥。如根据动物的生产性能特点,提供全价营养的日粮;为提高饲料的消化利用率,可增强各种饲料在胃肠道适当部位的消化活动,包括延长粗饲料在瘤胃的停留时间,以提高纤维素的消化率;采用过瘤胃保护蛋白和氨基酸技术,可加速饲料蛋白质通过瘤胃,以便降低损耗,使其主要在小肠消化;通过神经内分泌途径,调节代谢,改变养分分配以提高产品质量。

近年来,现代生物技术的发展十分迅速,并广泛应用于畜牧业生产和研究,营养学的发展也不例外。人们利用现代生物技术完善营养学知识和通过对饲料的加工处理提高动物生产与质量水平。例如,应用 PCR 技术对营养与基因表达调控关系的研究发现,除了其基本的营养功能外,各类营养成分包括糖、脂肪(酸)、蛋白质、矿物质等均通过各种途径调控动物基因的表达,从而影响动物机体的代谢过程,并最终影响到动物的生长与

繁殖。虽然营养物质对基因表达调控的作用机制很多还不清楚,但随着研究的进一步深入,人们可以在分子水平上阐明营养物质在体内的作用机制和互作效应,通过合理的饲料搭配完善营养物质的供给,控制动物产品的生产过程。

营养与饲料科学的进步,已使动物生产效率得到很大提高,每产 1 kg 牛奶只需 0.4~0.7 kg 日粮,肉牛 1 kg 增重已从过去的耗料 8 kg 以上降低到 5~6 kg 左右。但是,在动物生产中饲料成本仍占生产总成本的 50%~80%,营养学的任务还十分艰巨。

动物营养学是一门研究营养物质摄入与生命活动之间关系的科学。通过研究营养物质水、蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和矿物质等对动物生命活动的影响,揭示动物在维持生存和进行各种生产活动中,营养物质在体内所发生的生化反应和生理过程,为生产者提供理论依据并指导生产实践。反刍动物营养学除探讨营养学的基本内容外,还着力研究瘤胃微生物的一系列代谢和对粗饲料的利用过程。

本书将详细阐述有关反刍动物消化生理、营养代谢和需要以及对各种饲料的加工利用的基本理论和新知识。全书分为上、下两篇。上篇为反刍动物营养,主要内容包括动物与饲料的化学组成、反刍动物消化生理特点、水的营养、碳水化合物营养、蛋白质营养、脂类营养、能量代谢、矿物质营养、维生素营养等。下篇为反刍动物饲料与利用,主要内容包括反刍动物饲料特性、饲料添加剂、秸秆类饲料加工处理、日粮配合与配合饲料、反刍动物现代饲养技术等。

因编写人员水平所限,书中错误和不当之处在所难免,恳请指正。

编者

2004 年 8 月于兰州

# 目 录

## 上篇 反刍动物营养

<b>第一章 动物与饲料的化学组成</b> .....	(3)
第一节 动物体的组成.....	(3)
第二节 植物及其产品的组成.....	(5)
第三节 动植物体组成的比较.....	(8)
<b>第二章 反刍动物消化生理特点</b> .....	(11)
第一节 反刍动物消化道结构 .....	(11)
第二节 瘤胃微生物及生存环境 .....	(12)
第三节 瘤胃微生物的微生态系统 .....	(19)
<b>第三章 水的营养</b> .....	(21)
第一节 水的性质和生理功能 .....	(21)
第二节 动物体内水的平衡及调节 .....	(23)
第三节 各种动物的需水量 .....	(25)
<b>第四章 碳水化合物的营养</b> .....	(27)
第一节 动植物体内的碳水化合物及其作用 .....	(27)
第二节 碳水化合物的消化、吸收和代谢.....	(31)
<b>第五章 蛋白质的营养</b> .....	(40)
第一节 蛋白质的组成和功能 .....	(40)
第二节 蛋白质的消化与吸收 .....	(44)

第三节	微生物蛋白质的质与量 .....	(53)
第四节	反刍动物蛋白质新体系 .....	(55)
第五节	反刍动物瘤胃保护氨基酸 .....	(59)
第六节	反刍动物对 NPN 的利用 .....	(63)
<b>第六章</b>	<b>脂类的营养 .....</b>	<b>(75)</b>
第一节	脂类化学及其作用 .....	(75)
第二节	脂类的消化与吸收 .....	(78)
第三节	体脂肪与乳脂肪的组成 .....	(83)
第四节	体脂肪与乳脂肪的合成 .....	(85)
第五节	低乳脂综合症 .....	(86)
第六节	日粮中添加脂肪的效果 .....	(87)
<b>第七章</b>	<b>能量代谢 .....</b>	<b>(90)</b>
第一节	能量的概念 .....	(90)
第二节	能量平衡 .....	(90)
第三节	饲料的能量效率 .....	(95)
<b>第八章</b>	<b>矿物质的营养 .....</b>	<b>(98)</b>
第一节	矿物质营养概述 .....	(98)
第二节	主要矿物质元素 .....	(100)
<b>第九章</b>	<b>维生素的营养 .....</b>	<b>(113)</b>
第一节	维生素营养概述 .....	(113)
第二节	各类维生素的营养 .....	(117)
第三节	维生素在家畜体内的合成 .....	(124)

## 下篇 反刍动物饲料与利用

<b>第十章</b>	<b>反刍动物饲料 .....</b>	<b>(129)</b>
第一节	饲料的分类 .....	(129)
第二节	青绿饲料 .....	(130)
第三节	粗饲料 .....	(133)



第四节	青贮饲料·····	(137)
第五节	能量饲料·····	(148)
第六节	蛋白质饲料·····	(155)
第七节	矿物质饲料·····	(162)
第八节	维生素饲料·····	(166)
<b>第十一章</b>	<b>饲料添加剂·····</b>	<b>(168)</b>
第一节	抗生素·····	(168)
第二节	益生菌·····	(172)
第三节	酶制剂·····	(178)
第四节	保藏饲料的添加剂·····	(181)
第五节	其他饲料添加剂·····	(185)
第六节	有效微生物群(EM)技术·····	(189)
<b>第十二章</b>	<b>秸秆类饲料的加工处理·····</b>	<b>(197)</b>
第一节	秸秆类饲料的特点·····	(197)
第二节	秸秆的加工处理方法·····	(201)
第二节	秸秆氨化技术·····	(206)
<b>第十三章</b>	<b>日粮配合与配合饲料·····</b>	<b>(209)</b>
第一节	概述·····	(209)
第二节	饲粮配方的设计方法·····	(212)
第三节	商品浓缩饲料的配方设计·····	(224)
第四节	预混合饲料的配方设计·····	(226)
第五节	配合饲料的生产工艺·····	(232)
第六节	配合饲料的质量管理·····	(234)
<b>第十四章</b>	<b>反刍动物现代饲养技术·····</b>	<b>(238)</b>
第一节	人工控制瘤胃发酵技术·····	(238)
第二节	非蛋白氮的有效利用·····	(247)
第三节	过瘤胃饲养技术·····	(256)
第四节	微生物与饲料·····	(262)
第五节	肉牛肥育法·····	(266)

第六节 高产奶牛生产性能的发挥..... (274)

## 附 录

附录 1 奶牛的营养需要表 ..... (283)  
附录 2 肉牛的营养需要表 ..... (293)  
附录 3 奶山羊的营养需要表 ..... (303)  
附录 4 绵羊的营养需要表 ..... (305)  
附录 5 奶牛饲料营养价值表 ..... (309)  
参考文献..... (312)

# 上篇 反刍动物营养



## 第一章 动物与饲料的化学组成

根据采食习性，将动物分为肉食动物（如狗、狼、虎、狮等）、杂食动物（如猪、禽、鼠、猫等）和草食动物（如牛、羊、马、兔等）。草食动物主要依赖于植物满足自身的营养需要，并为人类提供肉、奶、皮、毛等生活资料。草食动物中反刍动物因其特有的复胃结构，可以消化利用大量农作物秸秆等副产品，不与人类争粮食，是我国畜牧业发展的重要方向。

### 第一节 动物体的组成

动物体主要由水、蛋白质、脂肪和矿物质组成，它们的含量依动物种类、品种、年龄、性别、生理状态不同而异，表 1-1 列出了几种动物体组成的平均值。

表 1-1 动物体的化学成分 (%)<sup>\*</sup>

分类	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，8 kg	73	17	6	3.4	78.2	18.2	3.6	83.3	16.7
猪，30 kg	60	13	24	2.5	79.5	17.2	3.3	84.3	15.7
猪，100 kg	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	20.8
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
大白鼠	66	17	13	4.5	75.4	19.4	5.2	79.1	20.9
小白鼠	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。

#### 一、水分

由表 1-1 可见，动物体内水分含量随年龄、体重和营养状况不同而有很大变化。以牛为例，妊娠不久的胚胎含水量高达 95%，初生犊牛约为 75%~80%，生后 5 个月时约为 66%~72%，成年

时降至40%~65%。动物体内水分含量随年龄增大而下降的主要原因，是由于体内脂肪的含量随年龄增大而增加。例如，初生犊牛体内含脂肪3%，含水分74%；瘦阉牛含脂肪12%，含水分64%；肥阉牛含脂肪41%，含水分43%。肥绵羊与瘦绵羊相比，脂肪含量由5%上升到46%，水分含量由74%下降到40%。

水分在不同器官和组织中的分布也是极不均匀的，血浆含水量高达90%~92%，肌肉约72%~78%，骨骼约45%，脂肪组织含水量仅14.4%，牙齿釉质仅5%。

## 二、有机物质

动物体内的有机物质主要为脂肪和蛋白质，碳水化合物含量极少。

动物体内的碳水化合物主要以肝糖原和肌糖原的形式存在于肝脏和肌肉中，血液中含有少量的葡萄糖。尽管碳水化合物在动物体内的各种代谢中起着非常重要的作用，但含量很少，一般不超过体重的1%。

脂肪的含量随动物年龄和体重的增加而增加，如初生犊牛体内含脂肪3%，5月龄犊牛达10%，成年肥育牛达40%以上。猪从体重8 kg到100 kg，脂肪含量从6%上升到36%。动物种类、品种不同，体脂肪含量有较大差异。一般而言，猪体脂肪最多，牛、羊次之，鸡、兔、鱼最少；动物体各组织间脂肪含量也不同，分割脂肪组织中含脂肪30%~90%，分割肌肉组织含脂肪要少得多，大理石状的牛腰肉含脂肪15%~20%。营养水平对动物体脂肪的贮量也有较大影响，例如，肥阉牛体内脂肪含量达41%，瘦阉牛仅12%，肥绵羊高达46%，而瘦绵羊仅5%。在不同性别中，一般母畜比公畜沉积更多的脂肪。

与水与脂肪相比，体内蛋白质的含量相对比较稳定。虽然它的百分含量随体脂肪沉积量增加而下降，但若以去脂干物质计，仍保持着比较稳定的状态。

## 三、矿物质

亦称灰分。动物体的矿物质是由体内除碳、氢、氧、氮之外的其他元素组成，包括金属元素和非金属元素。目前已确定有20多种矿物质元素是动物机体代谢必需的。机体内矿物元素的百分含量相差很大，据对18头不同年龄的阉牛空体（去除消化道内容物）成分分析，7种常量元素的百分含量如下：Ca 1.33%，P 0.74%，Na 0.16%，K 0.19%，Cl 0.11%，Mg 0.041%，S 0.15%。

除上述矿物元素外，动物体内还有约15种含量仅为十万分之几至千万分之几的微量元素，如Fe、Cu、I、Zn、Mn、Co、Se、Mo、F、Cr、Ni、V、Sn、Si、As等，虽然其含量甚微，但对生命过程是必需的。如果缺乏这些元素，动物的正常生长无疑将受到影响，或者产生某些缺乏症状。对实验动物的研究表明，Al、Br、Sr等元素有一定的生理功能，但它们在实践中的意义及缺乏时是否会影响动物的正常生长和健康还有疑问，因此对动物是否必需，尚未定论。另外，也有一些元素在动物体内存在，而生理作用不明，究竟是动物必需的，还是环境污染引入体内的，有待于进一步研究。

## 四、动物体成分的估测

了解动物总体成分的构成是必要的，也是动物营养与育种学研究中经常要进行的一项重要工作。利用屠宰试验和化学分析，我们可以了解在不同生长发育阶段动物体的组成，以及不同营养水

平对动物体成分的影响。显然，这种方法是分析动物体组成的最准确的方法，但它不仅耗费大量人力物力，而且只能一次性地获得资料，无法掌握同一动物在不同生长发育阶段的动态变化。因此，不少学者对估测动物活体成分的方法进行了大量研究，简化测定程序，并取得了一定成效。

### 1. 比重法

动物体内水分和脂肪的含量存在显著的负相关，相关系数  $r = -0.89$ ，去脂干物质中蛋白质和灰分的含量相对稳定，肥肉和瘦肉的比重不同。因此，测定动物体的比重就能推算出体内水分、蛋白质和脂肪的含量。将活的动物、最好是动物的胴体浸入水中，测出体积，即可计算出比重。水在 20℃ 时的比重是 1.000，肥牛的比重约 0.900，瘦牛肉的比重 1.300。

### 2. 稀释法

把一些标记物如某些染料或者同位素如氘、氚等静脉注入动物体内，然后测定该化合物在动物体内的稀释量。由稀释量计算动物体内水分的含量，再根据水分和脂肪含量的关系估算出动物体内脂肪的含量。例如，Kirchgessner (1988) 按上述方法对牛进行试验，总结出了下面的计算公式：

$$Y = 355.88 + 0.355 X - 202.91 \log X$$

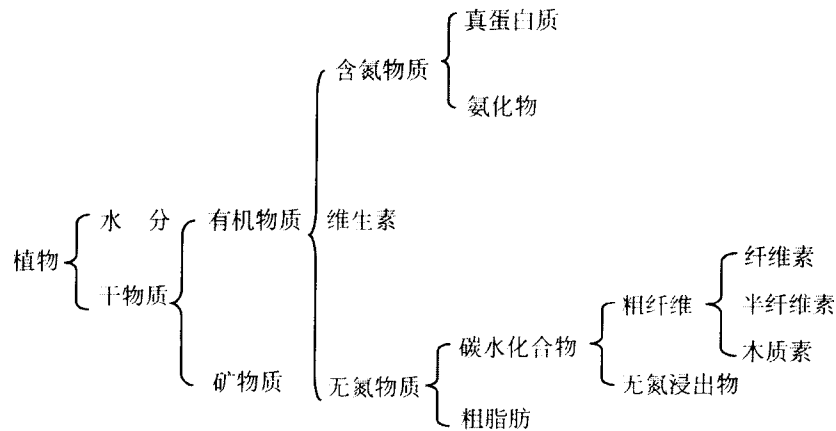
式中：Y 为脂肪含量（%）；

X 为水分含量（%）。

动物脱脂干物质中蛋白质和矿物质的含量比较稳定。由上述公式通过水分含量计算出脂肪的含量后，可按牛体干物质的 80.3% 和 19.7% 分别推算出蛋白质和矿物质的含量。

## 第二节 植物及其产品的组成

反刍动物在断奶后几乎完全依靠植物性饲料获取营养素，以满足建造、修补更新自身组织和生产乳、肉、毛等产品的需要。植物利用太阳能和水、二氧化碳、氮及其他无机盐类合成碳水化合物、脂肪、蛋白质等动物必需的有机物质，贮存能量。常用的植物性饲料中含有以下营养物质：



按常规的饲料分析法，构成植物体的化合物可分为水分、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）6大成分。表 1-2 列出了几种植物性饲料的营养物质组成。

表 1-2 几种饲料的营养成分 (%)

种 类	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗纤维	无氮浸出物	灰分
紫花苜蓿						
花前期	80.1	4.4	0.7	4.7	8.2	4.9
初花期	77.5	4.6	0.7	5.8	9.3	2.1
花后期	70.7	3.6	0.7	11.9	10.9	2.2
鸡脚草	76.1	4.4	1.2	5.6	10.0	2.7
小麦秸	12.2	3.2	1.4	38.3	38.6	6.3
玉米	15	7.7	4.5	2.2	69.5	1.1
大豆	10	37.8	16.9	5.6	24.9	4.8

### 一、水分

植物体中水分含量种间差异极大，水生植物可高达 95% 以上，而作物籽实类仅 10% 左右；植物的生长阶段不同，水分含量不同。一般植物愈幼嫩，含水量愈高；植物的不同部位，水分含量也不同。枝叶中含水量较高，茎秆次之，成熟的籽实最低。饲料植物的加工调制方法对含水量也有一定的影响，如陆生青绿饲料水分含量在 75%~90% 之间，而晒制的青干草则在 17% 以下。

### 二、粗蛋白质

粗蛋白质是动植物体中所有含氮物质的总称。在常规营养分析中，用“凯氏定氮法”测定出样品中的含氮量，然后再乘以 6.25 即为粗蛋白质的含量。

所有的植物体中都含有粗蛋白质，但含量和品质有很大差异。植物或其组织代谢越旺盛，粗蛋白质的含量越高。一般叶片粗蛋白质的含量高于茎秆，植物生长早期高于晚期。豆科植物蛋白质的质与量均高于禾本科及其他植物。

植物性饲料粗蛋白质中，除了真蛋白质以外，还包括一类非蛋白质含氮物。这些含氮物质在植物生长的旺盛时期和旺盛组织及发酵饲料中含量最多，它们主要包括：(1) 尚未合成蛋白质分子的氨基酸；(2) 硝酸盐、氯化物等含氮无机物质；(3) 酶类和微生物分解蛋白的产物，如氨基酸、硝酸盐等。

表 1-3 几种饲料的非蛋白氮量占总氮量的百分数

饲料种类	非蛋白氮量占总氮量的 %
青饲料	40
甜 菜	50
青贮料	30~60
马铃薯	30~40
麦 芽	30
成熟籽实	3~10

### 三、粗脂肪

粗脂肪是饲料分析中以乙醚为提取剂所得的油脂类物质的总称，又叫乙醚浸出物，它由真脂肪和类脂两部分组成。真脂肪是由脂肪酸与甘油组成的中性酯，类脂是类似于脂肪并能溶于非极性溶



剂的化合物，包括磷脂、糖脂及叶绿素、胡萝卜素、色素、有机酸、树脂等。

植物性饲料中粗脂肪含量差异较大，有的在10%以上，有的不及1%。植物部位不同脂肪含量不同，一般在植物籽实中脂肪含量较高，茎叶中次之，根部最低。

#### 四、粗纤维

粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分，它由纤维素、半纤维素、木质素及角质等组成。在常规饲料分析中，将样品用稀酸、稀碱相继共煮所得残渣减去粗灰分含量后剩余的物质即为粗纤维，其化学性质比较稳定，杂食动物消化道及消化道的酶类难以消化利用，但反刍动物消化道内的微生物能分解它，并且是其重要的能量来源。

饲料成分近似分析法存在缺点，主要表现在粗纤维的测定方法上。粗纤维的测定方法并非是一个精确方法，所测定结果是在公认的特定条件测定的数值。有部分的半纤维素、纤维素和木质素溶解在酸和碱溶液中。粗纤维没有包括全部的纤维素、半纤维素和木质素，使测定的粗纤维不能真正代表饲料中的粗纤维，而且增加了无氮浸出物的计算误差。测定的粗纤维含量要比饲料中实际存在的粗纤维低，而无氮浸出物要比饲料实际存在的高。为此，Van Soest 等提出了测定饲料中中性洗涤纤维（NDF）、酸性洗涤纤维（ADF）和酸性洗涤木质素（ADL）的方法，其测定方案如图 1-1。

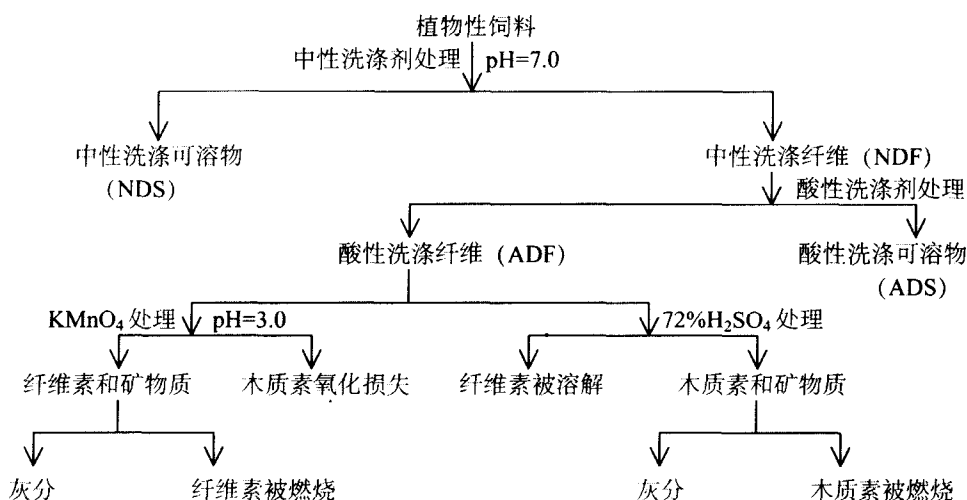


图 1-1 Van Soest 粗纤维分析方案

#### 五、无氮浸出物

饲料有机物质中除去粗脂肪和粗纤维之外的所有无氮物质，总称为无氮浸出物，或可溶性碳水化合物，即：

$$\text{无氮浸出物} = 100\% - (\text{水}\% + \text{粗蛋白质}\% + \text{粗脂肪}\% + \text{粗纤维}\% + \text{粗灰分}\%)$$

饲料中的无氮浸出物包括单糖、双糖及多糖（主要为淀粉）。单糖主要存在于植物的果实中，一般在饲料中含量很少；双糖在甜菜中含量丰富，植物的果实及茎叶中均有一定量；淀粉是植物的贮备物质，大量贮存于植物的种子、果实及根茎中，如玉米、大麦和高粱籽实中含量达70%，鲜马铃薯15%~20%。植物性饲料中一般都含有较多的无氮浸出物，尤以禾本科植物的籽实和根茎类饲料含量最多。