



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



饲料与饲养学

● 韩友文 主编

● 畜牧、动物营养与饲料加工专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

饲料与饲养学

韩友文 主编

畜牧、动物营养与饲料加工专业用

中国农业出版社

全国高等农业院校教材

饲料与饲养学

韩友文 主编

责任编辑 张 志

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 14.5 字数 332 千字

版、印次 1997年5月第1版

1999年5月北京第3次印刷

印 数 12 001~15 000 册 定价 15.70 元

书 号 ISBN 7-109-04498-X/S·2792

主 编 韩友文 (东北农业大学)
副主编 吴成坤 (东北农业大学)
编 者 单安山 (东北农业大学)
霍贵成 (东北农业大学)

主 审 杨 凤 (四川农业大学)
审 稿 杨 胜 (中国农业大学)

内 容 简 介

饲料与饲养学内容包括：饲料营养价值及其评定方法，饲料分类及各类饲料评述，日粮和饲粮的配合及配合方法，配合饲料及添加剂预混料，各类畜禽饲养的一般事项。

书中引用了近年来国内外的研究成果，对我国各类常用的饲料作了具体阐述，介绍了评定饲料营养价值的新研究成果。针对我国实际，加重了配合饲料和添加剂预混料部分的实用内容。

本书是动物营养学的姊妹篇，可作为高等农业院校动物营养及饲料加工专业和畜牧专业的基本教材，也可供广大畜牧和饲料工业方面科技人员参考使用。

目 录

绪论	1
第一章 饲料营养价值	2
第一节 饲料组成成分及分析	3
一、植物的构成	3
二、概略养分分析方法	7
三、Van Soest 饲草分析方法	10
第二节 饲料营养物质的消化率	12
一、消化试验	12
二、代谢试验	23
第三节 饲料能值的评定	24
一、饲料的总能 (GE)	25
二、饲料的消化能 (DE)	27
三、饲料的代谢能 (ME)	29
四、饲料的净能 (NE)	36
五、饲料能量营养价值的体系	42
第四节 饲料蛋白质营养价值的评定	45
一、单胃动物饲料蛋白质营养价值的评定	45
二、饲料的蛋白质含量、消化率和代谢率	45
三、生物测定法	48
四、化学评定法	51
五、反刍动物饲料蛋白质营养价值的评定	53
六、与氮代谢有关的微生物	53
七、瘤胃氮代谢的过程	53
八、反刍动物饲料蛋白质营养价值的评定方法	54
九、饲料蛋白质的降解率	54
十、微生物蛋白质的合成	57
十一、瘤胃后的蛋白质的消化与利用	59
第五节 维生素营养价值	59
一、综论	59
二、维生素的生物效价	61
第六节 矿物元素营养价值	63
一、综论	63
二、常量矿物元素的效价	67
三、微量元素的效价	69
第二章 饲料分类及各类饲料评述	71

第一节 饲料分类	71
一、饲料的国际分类与我国现行分类方法及饲料编码	71
二、各类饲料的划分说明	72
三、饲料分类编码与饲料数据库	73
第二节 各类饲料评述	74
一、青绿饲料	75
二、粗饲料	80
三、青贮饲料	84
四、能量饲料	89
五、蛋白质饲料	97
六、矿物质饲料	106
七、维生素饲料	110
八、添加剂	117
第三节 我国饲料资源	126
一、我国牧区饲料资源状况	128
二、我国农区饲料资源状况	129
三、我国非常规饲料资源状况	130
四、开发饲料资源应考虑的几个问题	130
第三章 日粮、饲粮、饲料配方和配合饲料	132
第一节 日粮及日粮配合	133
一、饲养标准与饲养实践的关系	133
二、日粮配合的原则与方法	134
第二节 饲粮 (Diet)	140
一、饲粮的概念及意义	140
二、饲粮的营养指标	140
第三节 饲料配方	141
一、典型饲料配方	142
二、线性规划最低成本配方	142
三、配方的共性及特殊要求	146
第四节 配合饲料	148
一、概述	148
二、添加剂预混合饲料	149
三、浓缩饲料	154
四、全价配合饲料及精料混合料	156
第五节 各种饲料的品质检查与生产验证	157
一、实验室检测	158
二、动物饲养检验	159
三、广泛性生产验证	160
第六节 配合饲料及其原料的质量标准和饲料法规	160
一、配合饲料原料质量标准及检测方法	161
二、饲料添加剂质量标准及其检测方法	163
三、配合饲料产品的质量标准及检测方法	163

四、商品配合饲料的生产与质量监督	164
五、有关饲料法规问题	167
第四章 动物饲养实践	169
第一节 饲养实践中的动物行为与环境因素	169
一、与饲养有关的行为	169
二、环境因素与动物营养	171
第二节 动物的采食量调节	172
一、动物营养的稳恒性	172
二、影响动物采食量的因素	173
三、动物自身的采食量调节	174
四、采食量的人为控制	177
第三节 饲养标准	178
一、饲养标准的概念、发展及表达形式	178
二、营养指标的选择	181
第四节 标准化饲养的具体实施	181
一、饲养标准中营养指标的确定	181
二、平衡全价饲养的条件性	183
三、饲养标准规定指标外物质的添加	183
四、标准化饲养的经济效益与社会效益	184
第五节 饲喂技术	184
一、动物与饲养有关的生物学特点	184
二、饲养技术	185
三、更换饲料的原则与技术	188
四、限饲与丰饲的合理应用	189
五、饮水与供水	191
六、饲养日程与操作规程	193
附录 1 国家标准简介	194
附录 2 饲养标准简介	197
附录 3 最低成本饲料配方的 BASIC 语言简易程序	211
附录 4 中国饲料成分及营养价值表 (1994 年修订版, 中国饲料数据库)	216
参考文献	224

绪 论

畜牧业、水产养殖业和各种动物养殖业，是国民经济中的重要组成部分。在先进地区，养殖业在农业总收入中所占比例已达到 $\frac{1}{3}$ 以上，而且还在不断加大。

所有养殖动物，包括哺乳动物和禽类乃至水生动物，都不能直接利用太阳能合成营养物质，而是靠食用各种植物或动物性来源的饲料来满足自身对营养物质的需要。

饲料是养殖动物的食物，是畜牧业及各种动物养殖业存在和发展的物质基础。尽管养殖业经营者有动物育种工作者提供的各种各样的优良品种和杂交后代，有兽医卫生工作者设计的免疫防病和良好卫生条件，但为了获得 1kg 畜产品都要耗用 2kg 以上乃至 8kg 的饲料。从养殖经营成本上看，饲料仍然占有最大的比重，一般情况下要占到 70% 左右。可见饲料的地位是如何重要。

我国动物养殖业的迅速发展，带来饲料工业大发展。十几年的时间，我国饲料工业从无到有，从小到大，不断发展。现在已经达到年产配合饲料 4000 万 t 以上。按国家《1984—2000 年全国饲料工业发展纲要》规划，到 2000 年我国配合饲料的年产量为 1 亿到 1.2 亿 t。

饲料与饲养学是紧密围绕动物生产又直接为养殖业服务的一门应用科学。它研究并阐明动物的营养源——饲料的营养价值和各种饲料在动物营养需要背景下的科学配合，以发挥动物的最大生产潜力。同时也指出如何合理而高效地使用各种饲料满足动物生产的一般性规律。

饲料与饲养学的任务是：阐述饲料的种类来源及其营养价值；如何评定饲料的营养价值及其评定和检验方法；针对各种动物的营养需要科学而又经济地用各种饲料组成饲粮；为饲料工业提供配合饲料的科学配方；论述旨在提高饲用效率的不同饲料和饲草的加工处理方法；适用于不同生产情况下的动物饲养一般要求和原则。

饲料与饲养学和动物营养学是由过去的动物饲养学分化而成的姊妹学科。随着生产实践和科学研究的发展，这两个学科必然要进一步协同前进，为我国农业现代化和国民经济实力的增强发挥应有的指导和推动作用。

饲料与饲养学的先行课程是动物生理学、动物生物化学和动物营养学。在这些学科阐明的动物消化、代谢和营养需要的基本原理之上，进一步解决如何由饲料提供营养物质全面满足动物生产的各方面需求。饲料和饲养学还涉及有关学科的应用知识，例如分析化学、微生物学和计算数学等。

十几年来，我国的动物养殖业和饲料工业发展迅速，形成并扩大了农业和工业两大部门的巨大产业系统，但与发达国家相比还有差距。这都要求我们大力发展饲料和饲养学科，服务生产并推动生产大步前进。

注：ppm 已废除。1ppm = 10^{-6} ，即百万分之一，如： $\mu\text{g/g}$ 、 mg/kg 、 g/t （固体）； mg/L 、 $\mu\text{g/ml}$ 、 $\mu\text{L/L}$ （液体）； $\mu\text{L/L}$ 、 ml/m^3 、 cm^3/m^3 、 g/m^3 （气体）等。本书中凡出现 ppm 的地方，都可酌情按此换算。

第一章 饲料营养价值

在营养学、饲料与饲养学中经常用到“饲养”这一名词。所谓饲养，就是经口供给动物生命活动和生产必需的物质。饲料通常指能提供给动物营养物质的食物，饲粮则是全面供给动物营养的饲料混合物。日粮是指供给动物一日营养所需的各种饲料总量。动物为了生存、繁殖后代和生产产品，必须由饲料获得其所必需的各种元素的化合物，这些化合物统称为饲料的营养物质或营养成分。饲料营养成分的含量变异很大，一般饲料可含有大约50种以上的营养成分。畜禽对这些营养成分的需要量，少者低于1mg，多者达到几千克。为了合理供给动物饲料，满足动物对营养的需要，必须对饲料的营养成分进行分析测定，并且对饲料的营养价值进行相应的评定。评定饲料的营养价值有助于计划供应饲料，购买质价相称的饲料，以及饲料的进出口贸易，也有助于评估各种动物饲养的效果和评价新的饲料品种。

饲料营养价值的评定随着生产力和自然科学的发展而发展，从1809年Thaer提出“干草等价”到今天的180多年间，大致经历了三个阶段。

最先是Thaer根据水、稀酸、稀碱及酒精处理饲料的结果，同时参照实际饲养效果，来判别饲料的相对营养价值。到1860年，经德国Weende试验站的Henneberg与Stohmann二人开创了分析测定水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维与无氮浸出物的饲料传统分析方案，即沿用至今的常规分析法。该法测得的分析结果实际上为笼统的各类物质，而非化学上某种确定的化合物，也非动物完全可利用的物质。

第二阶段是以可消化营养物质为评价指标的阶段。德国人Henneberg与Stohmann在消化试验的基础上测定了饲料的粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物的消化率，由此算出可消化营养物质，即可消化粗蛋白质、可消化粗脂肪和可消化碳水化合物的总和，作为评价饲料营养价值的综合指标。Wolff(1874)首次使用了“总消化营养物质(TDN)”概念，后经Henry修订推广，作为表示饲料综合营养价值的参数。这一阶段已孕育了有效能量的概念，把可消化营养物质总量折算成对应能量的形式。

第三阶段由德国人Kuhn(1894)首倡按能量直接衡量饲料的营养价值。各个学派的衡量指标不同(消化能，代谢能，净能)，表达形式各异。能量的表达单位有卡(Calorie)、Therm(Mcal)、焦耳(Joule)或相当于一定量净能的物质单位，如淀粉价(2356 kcal)、大麦单位(1650 kcal)、燕麦单位(1414 kcal)。这一阶段的工作在本世纪20年代间曾盛极一时。当时欧洲以德国的Kellner为中心，美国的Armsby为另一中心，进行了大量的研究工作。

进入本世纪30年代，评价饲料的重点转移至维生素、矿物质和氨基酸。蛋白质营养价值的评定从本世纪初才有所认识，Thomas(1909)提出蛋白质生物学价值的概念。40年代后还建立了氨基酸的微生物分析方法以及50年代的化学分析法，为以后的定量评定饲料蛋白质营养价值提供了手段。随着化学、动物生理学、生物化学、微生物学以及分析手段的

完善，现在已经能够更准确地测知饲料的能量和蛋白质的价值。除传统的常规饲料分析法外，还有许多分析方法在预测饲料营养价值上更具有特色，如近红外光谱法用于奶和食品以及饲料的干物质、蛋白质和脂肪等成分的快速测定等。这种方法简捷快速，分析一个样品不到 1min，但对于测定饲料营养物质的生物效价等方面，却有待深入开展研究。

饲料营养价值评定的发展，同步于化学、生理学、生物化学和微生物学的发展。分析过程的改进和其他相关学科的完善，使得营养学家能更迅速而准确地测定动物对饲料和其他营养条件的反应。饲料评定体系的未来发展，会有更多关于特定消化尾产物与动物生产性能之间的资料，进一步加深理解动物和微生物代谢、饲料成分以及各种因素对饲料利用的影响，尤其是计算机的应用，能够同时考虑更多的因素来配合饲料。同时，随着生物技术发展，使得人们将能够改变动物和饲料作物的遗传结构。将生物技术应用用于动物营养领域，可大大提高饲料与畜产资源的利用率。

第一节 饲料组成成分及分析

饲料有动物性、植物性和矿物性三种来源，但饲料绝大部分由植物的根茎叶和籽实所构成。所以，了解植物的结构有助于理解饲料的营养特性。

一、植物的构成

(一) 植物组织 植物由许多种组织构成。每种组织又由一定类型的细胞组成，细胞类型及其功能列如表 1—1。由于植物对生存环境的适应，每种植物的特定器官内各种组织的比例变异很大。

表 1—1 植物的组织及其功能和组成

组织 (细胞类型)	功 能	细胞壁	细胞内容物
表皮 (包括气孔和刚毛)	保护作用	壁薄, 有时木栓化, 外有角质、蜡质	含有色素、二氧化硅, 叶绿素少见
韧皮部 (筛胞、伴胞、纤维细胞、薄壁细胞)	输导和贮藏养分	功能丧失时, 细胞壁木质化	活原生质体, 分泌物, 如树脂
木质部 (管胞、导管)	输导水分	壁厚, 木质化, 有纹理, 穿孔	细胞成熟时, 内容物丧失
薄壁组织 (包括叶肉、髓、胚乳)	代谢和贮藏	壁薄, 未木质化, 有时增厚	活原生质体、叶绿素、液胞及贮藏物
厚角组织	嫩组织支撑	壁增厚, 初生壁偶尔木质化	活原生质体、叶绿素
厚壁组织 (纤维细胞、石细胞)	强力支撑	壁厚, 全木质化	成熟后无原生质体

(二) 细胞内容物 主要是原生质。原生质的生物特性至今还未完全弄清。细胞内容物中的细胞器 (叶绿体、线粒体、高尔基体) 用光学显微镜看不清, 在电子显微镜下可见高

度复杂的结构。膜和颗粒是细胞代谢功能的基本结构，能合成具有特定细胞功能的物质，分泌前暂时聚集在液泡内。有贮存功能的细胞内，碳水化合物、脂肪以淀粉颗粒、糊粉粒和脂肪滴的形式贮存。植物细胞内的液泡占据细胞的大部分空间，具有长期贮存功能。细胞内容物在动物消化道内容易消化，在植物死后也易分解。

(三) **细胞壁** 几乎每种植物细胞都有一个相对较厚的细胞壁包围着原生质。这层细胞壁在性质上主要是多糖，由各种胶状基质纤维构成。木质素和硅酸盐沉积后变硬。细胞壁的外表面粘合连接起来，与动物的骨骼和皮肤所完成的支撑和保护功能相似。细胞壁不能被动物消化道内的消化酶所降解，而主要靠微生物的作用才能被降解。用电子显微镜观察，成熟的细胞壁为多层结构，十分复杂。植物枝叶随着生长成熟会变得粗硬，细胞内容物所占比例降低，从而导致饲料营养价值下降。

(四) **饲料的元素组成** 在已知的 100 多种元素中，至少有 20 余种构成饲料的各种营养成分，其名称、符号和原子量见表 1—2。这些元素或单独存在或化合起来构成各种营养物质存在于饲料中。

表 1—2 饲料中的主要元素与原子量

元 素	符 号	原 子 量	元 素	符 号	原 子 量
碳	C	12	钴	Co	59
氢	H	1	铜	Cu	63.5
氧	O	16	氟	F	19
氮	N	14	锰	Mn	55
磷	P	31	锌	Zn	65.4
钾	K	39	钼	Mo	96
碘	I	127	硒	Se	79
硫	S	32	铬	Cr	52
钙	Ca	40	硅	Si	28.08
铁	Fe	55.8	锡	Sn	118.69
镁	Mg	24.3	钒	V	50.94
钠	Na	23	镍	Ni	58.70
氯	Cl	35.5			

(五) **饲料的化学组成** 动物体含有较多的蛋白质，而植物含有较多的碳水化合物。按全干基础计算，成年动物的体成分大约含蛋白质 40%、脂肪 50%、矿物质 10%，碳水化合物的含量不到 1%。然而谷物籽实含碳水化合物 70%—80%，蛋白质 10%—14%，脂肪含量一般较低。鉴于饲料主要来自植物，所以碳水化合物的性质在饲料营养的评定中占据重要的位置。

(六) **酯类** 酯的主要特点取决于碳氢键结构，其中碳原子间由单键连接者，为饱和键，由双键连接者称为不饱和键。植物中含有的主要酯类如表 1—3。

酯类是适宜的能量密集贮存形式。酯类的主要代表是中性脂肪，也就是三脂肪酸甘油酯。当脂肪的一个脂肪酸由磷酸和醇取代即构成磷脂，由醌基取代则构成糖脂。蜡质则是植物外表面所特有的。在植物中脂肪主要贮存于种胚和果实内。

(七) **碳水化合物** 碳水化合物含有碳、氢和氧，其中氢和氧的摩尔比同水一样。多数

由己糖即 6 碳糖构成，有时也含有 5 碳糖。4 碳、3 碳和 2 碳的化合物仅少量存在，作为营

表 1-3 植物中的主要酯类

酯类名称	组成成分
脂肪酸	长链羧酸
油脂	脂肪酸甘油酯
蜡	脂肪酸与长链醇形成的酯
角质	羟化脂肪酸的聚合物
类胡萝卜素	异戊间二烯的聚合物
甾体	多环烃

养物质一般并不重要。

1. 单糖 单糖共同的化学分子式为 $C_6H_{12}O_6$ 。在植物体内通过光合作用按照下列反应完成： $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ 。上述反应在动物体内逆向进行，单糖氧化分解而供能。在自然界内，只有较少数量是以单糖形式存在。单糖通常是在植物光合、水解或发酵过程生成。主要的单糖有：

(1) 戊糖 共同的分子式为 $C_5H_{10}O_5$ 。在自然界，单一戊糖状态少见，多以戊聚糖状态存在，戊聚糖水解则生成戊糖。例如，木材、干草、秸秆中所含的木聚糖经水解而形成木糖。

(2) 己糖 $C_6H_{12}O_6$ ，这一类大多为饲料碳水化合物的主要成分。另外，己糖作为动物体内的代谢物质在营养上起重要作用。己糖中有葡萄糖、果糖、半乳糖、甘露糖等，但在自然界内游离存在的是葡萄糖和果糖。尽管己糖的分子式一样，但其结构式有醛式和酮式之分。前者称为醛糖，后者称为酮糖。葡萄糖是醛糖，果糖是唯一的酮糖。由于己糖碳原子的不对称性，所以有旋光性，也有碳原子结构异构性。

①葡萄糖 天然的葡萄糖为 D 形，即右旋糖。葡萄糖有 α -葡萄糖和 β -葡萄糖两种异构形态。葡萄糖除在植物体内以游离状态存在外，还作为其他碳水化合物的组成成分而存在。葡萄糖的甜味不高，仅为蔗糖的 $3/4$ 。

②果糖 具有 L 旋光性，所以又叫左旋糖。与葡萄糖共同存在于成熟的果实和蜂蜜中，也以结合状态存在于碳水化合物内。果糖在所有糖中是最甜的，易于发酵。

③半乳糖 属醛糖，与葡萄糖结合在一起构成乳糖，并作为脑苷脂类的成分存在于动物神经系统内。

④甘露糖 为右旋糖。作为多糖类的甘露糖成分广泛分布于植物体内。

2. 双糖 是两个单糖去掉一分子水缩合而成，其分子式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 。重要的双糖有：

(1) 蔗糖 蔗糖由葡萄糖和果糖缩合而成，水解后生成葡萄糖和果糖。酵母和消化液中的蔗糖酶能使蔗糖水解生成葡萄糖和果糖。蔗糖主要存在于甘蔗、甜菜和成熟的果实内。蔗糖有甜味，在饲料中主要用作甜味剂。

(2) 麦芽糖 大量地存在于麦芽内。麦芽糖是由两分子的葡萄糖缩合而成，经酸和麦芽糖酶水解淀粉可生成葡萄糖。麦芽糖的甜度仅为蔗糖的 $1/4$ 。

(3) 乳糖 乳糖存在于动物的乳中。在植物性饲料中通常不含。乳糖由一分子半乳糖和一分子葡萄糖构成。

3. 多糖类 多糖是 n 个分子单糖去掉 $n-1$ 个分子的水聚合而成。其中有由一种单糖形成的，也有由两种以上单糖形成的。它受酸和酶作用而水解，最终生成构成该多糖的单糖。多糖是自然界内分布最广的碳水化合物，是植物性饲料中所含的主要营养物质。根据能否被动物分泌的酶所消化，将多糖类碳水化合物分为可溶性碳水化合物和不溶性碳水化合物两类，前者包括淀粉、糖元、糊精，后者包括纤维素、半纤维素、木质素、葡聚糖和果胶。

(1) 淀粉 许多植物以淀粉的形式贮存能量。淀粉主要存在于植物的籽实和根茎内，茎叶中也含有少量淀粉。淀粉是多数动物饲料的主要成分，并且易被消化。因此，它是动物主要的能源物质。淀粉在植物体内呈粒状存在，因植物种类和部位不同，淀粉粒的形状和大小各不相同。谷物和薯类因种类不同，淀粉粒的形状是不一样的。

(2) 糖元 是动物体内贮存的碳水化合物。因为它和淀粉性质相似，所以有时也叫做动物性淀粉。糖元仅存在于动物体内，主要分布在动物肝脏、肌肉等组织内。糖元经酶水解生成麦芽糖，然后生成 α -葡萄糖。

(3) 糊精 是淀粉水解或在动物消化过程中生成的中间产物，淀粉加热也能形成糊精。糊精易溶于水，易被消化。发芽种子也含有糊精。

(4) 菊粉 与淀粉类似，但最终的水解产物不是葡萄糖，而是果糖。菊粉在自然界的分布不很普遍，仅菊芋中含量较高。

(5) 纤维素 是植物细胞壁的主要组分之一。占细胞壁成分的 35%—60%，天然的纤维素是由 D-吡喃式葡萄糖以 β -1,4 键构成的分子链。所以 D-吡喃式葡萄糖是纤维素的结构单位。X-射线衍射研究表明，纤维素是由结晶与无定形交错连接而成的二相体系，其中还存在有相当的空隙系统。天然纤维素的原细纤维之间有 1nm 的间隙，细纤维之间有 10nm 的间隙，木质素和半纤维素等就聚集于此。纤维素大分子间以及分子内存在大量的氢键，对纤维素的吸湿性和溶解度影响较大。另外，纤维素分子内无分支的 β -1,4 键的化学紧密联结使纤维素具有高的抗张强度。

(6) 半纤维素 是指植物来源的聚糖类。含有 D-木糖、D-甘露糖、D-葡萄糖、D-半乳糖、L-阿拉伯糖、4-O-CH₃-D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖醛酸以及各种氧甲基化的中性糖基。半纤维素在化学上介于糖和淀粉与纤维素之间，多数半纤维素比纤维素易于消化降解，但不及糖和淀粉。

(7) 木质素 主要由 C、H、O、三种元素组成，木质素是苯基丙烷单元构成的高分子聚合物。在老化的植物中，如干草、秸秆和荚壳中含有木质素。木质素仅与半纤维素有共价键结合，而不是与纤维素联结，所以通常文献中出现的“木质化纤维素”一词易造成混乱。用碱可从单子叶植物中提取出相当多的木质素。因此，用碱处理草和秸秆对其消化率的提高有明显作用。所有的动物都不能消化木质素，它还影响其他养分的消化，尤其是纤维素的消化率。木质素仅作为与营养物质共存的填充物，有无其他的营养作用至今尚未证明。

(8) β -葡聚糖和果胶 这两种多糖在植物中的含量较少，在饲料中的意义不大。

(八) 含氮化合物 饲料有机物中另一重要组分是含氮化合物，一般称之为粗蛋白质。蛋白质平均含氮 16%，所以将凯氏定氮测值乘以 6.25 作为粗蛋白质的含量。

不同种类的饲料粗蛋白质组成和含氮量是有区别的。通常，植株和种子中非蛋白含氮物和游离氨基酸的数量较少。旺盛生长期的青饲料、青贮料和某些根茎类，可能含有较多的非蛋白含氮物。动物性来源的饲料如乳、肉、蛋、骨粉等，通常只有少量游离氨基酸，极少含非蛋白含氮物。昆虫和水产甲壳类动物作饲料，则带有较大比例的氨基糖聚合物——角质，而微生物饲料如酵母和单细胞蛋白则含较多的核酸。

1. 蛋白质和氨基酸 饲料含氮物中的主要组分是蛋白质，而蛋白质又是由多种氨基酸以肽键相连形成的各种各样的大分子化合物。除易受酸、碱水解的肽键外，蛋白质分子还有其他键连结各氨基酸，如双硫键等。由于各氨基酸 α 碳原子的侧基不同，氨基酸顺序不同，整个蛋白质分子的立体结构也各不相同，因而其亲水程度和接受酶消化作用也大不相同。

结构性蛋白，在植物存在于细胞壁，数量极低。在动物存在于皮、毛、角、蹄中，所占比例很大。这类蛋白不易溶于水，较难受酶作用而被消化，因此其营养价值不高。但经化学或物理方法水解后，其氨基酸和小肽可被动物利用。

一些酶和抗酶类物质也是蛋白质。植物，特别是豆类籽实，含有尿酶、抗胰蛋白酶、凝集素等，对动物营养是有害的。

蛋白质受热可引发变性，从而使一些有害的酶和抗酶失活，对营养有利，但也能发生所谓的梅拉德反应，降低蛋白质中赖氨酸等的利用率，又是不利的。

蛋白质水解则生成各种氨基酸。饲料蛋白质含有的各种必需氨基酸的数量和比例是决定其营养价值的重要基础。

2. 核酸 核酸的结构单位是核苷酸，由含氮的嘌呤或嘧啶碱基和一个核糖及一个磷酸分子构成。各核苷酸由磷酸同糖残基结合以酯键联结成核酸。

核糖核酸（RNA）广泛存在于细胞中。在细胞分裂旺盛的快速生长期，核糖核酸含量较高。尤其是微生物如酵母和单胞菌藻类中，含量丰富。

在动物体内，生物化学反应中起重要作用的三磷酸腺苷、酶和一些维生素等也是含有氮元素的化合物，但其营养功用并不是作为蛋白质的来源。

二、概略养分分析方法

饲料中最重要的营养物质有如下几类：碳水化合物、蛋白质、酯类、矿物质、维生素，其中每一类都有营养上的特殊功能。德国人 Henneberg 和 Stohmann 于 1862 年在 Weende 试验站提出了概略养分分析方法。根据这一方法的分析方案，将饲料成分划分为水分、粗灰分、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪、无氮浸出物。其中每一类都包括相当杂的多种物质，所以称为“粗养分”。这种方法自建立以来在教学和科研中一直沿用，尽管做了许多修正，但基本上无大变化。其分析方案框图如图 1—1。

（一）采样 当评价一种饲料时，通常是从中取出部分作为代表，构成样品进行分析。因此，所取样品能否代表整个饲料，直接影响结果的可靠性。尤其在现代分析仪器中，一般所需的样品不多于 2g。这就使得采样在饲料与营养研究中显得十分重要。为了保证样品能代表整个饲料，在实际取样时应遵循采样规则。

（二）水分与干物质 饲料的养分含量变化很大，要想比较它们，必须以同一基础表示。由于饲料的水分含量不稳定，一般认为以无水基础（干物质基础）表示饲料的养分含量比

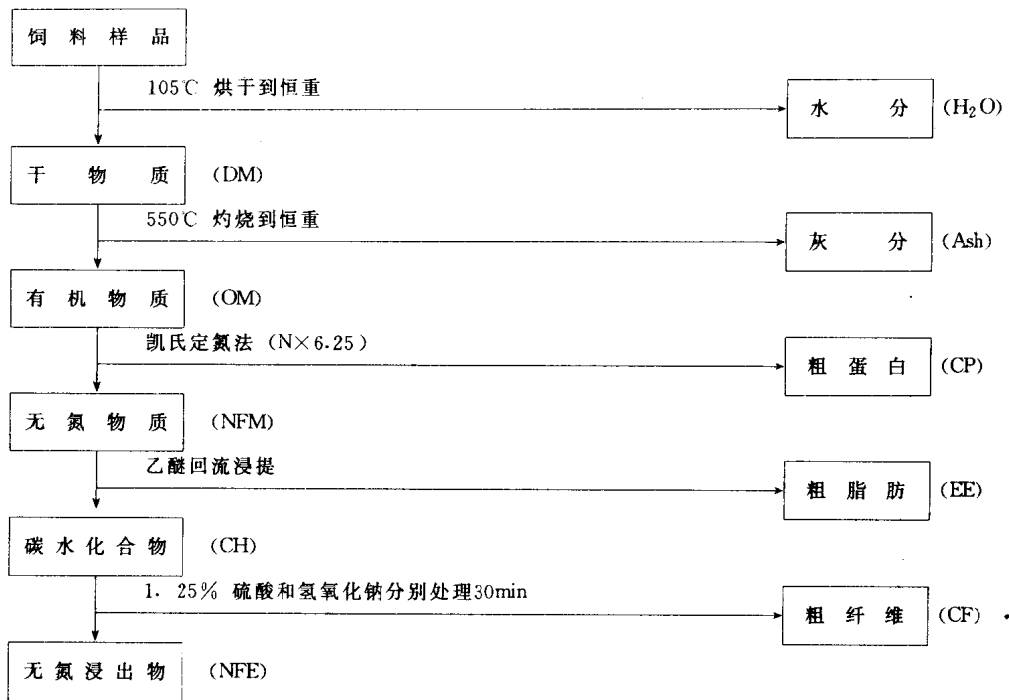


图 1—1 饲料常规概略养分分析方案

较合理，这就需要测定饲料的水分。在此基础上可以判断饲料的保存期，以及为配合饲料生产和贮存、比较、鉴评不同产地及来源的饲料。

测定饲料的水分是将已知的饲料样品在一定的条件下干燥，干燥后的失重量为含水量。水分和干物质含量一般以原始样品重的百分数（%）表示。饲料样的干燥条件取决于饲料的性质。单一或混合饲料的一般干燥条件为 103℃ 下持续干燥 4h。对于谷物、面粉、去壳谷物及其粉碎物，需在 130℃ 下干燥 2h。对于蔗糖或乳糖含量高的混合料、水解后的各种饲料、干甜菜渣、鱼汁、糖浆或含无机盐高的饲料，应在减压下（13.3kPa）80—85℃ 干燥 4h。

但是在某些情况下，当饲料样品干燥至恒重时，并非所有的水分都能除去，如纤维内存在的水，在 103℃ 时，它的蒸汽压较低，因而需要在负压下干燥。有些饲料需要在低于 100℃ 的温度下干燥，免得某些成分逸失，例如水分蒸发的同时，也能使 NH_3 、短链脂肪酸和乙醇一类的化合物挥发掉。这些物质在干燥过程中挥发掉误算作水分，则表明低估了家畜可利用的养分。所以，测定发酵饲料和青贮料的干物质含量必须十分注意。此外，还必须测定乙酸、丁酸及含氮的挥发性碱的含量。

（三）粗灰分与有机物 饲料中的干物质包括有机物和无机物。无机物的测定是在高温下灰化饲料样品至全部有机物被氧化除掉，所余残渣就是粗灰分。粗灰分是饲料样品中全部无机成分的氧化物和盐类。测定灰分含量时，已知重量的样品在高温电炉中 $550 \pm 5^\circ\text{C}$ 的条件下灼烧，至灰白色。灰化炉的温度必须注意，当温度超过 550℃ 时，会导致某些无机物的损失。粗灰分含量通常表示为原样重的百分数（%）。原样干物重与粗灰分重之差就是有机物含量。测定饲料的粗灰分含量，对评定饲料矿物质营养价值意义不大。

(四) 粗蛋白质 蛋白质的基本结构是氨基酸。氨基酸分子的特点是含有氨基，这一特性被用于测定饲料中粗蛋白质的结构和含量。根据凯氏 (Kjeldahl) 法，粗蛋白质是由测得的氮量算出的。在凯氏定氮中，一定量的饲料样品在催化剂存在下用浓硫酸消化，将饲料中所有的氮转化为 NH_3 ，并以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 存在于消化液中。然后加入浓 NaOH 溶液蒸馏，使 NH_3 释放出来，再用硼酸吸收 NH_3 ，并用已知浓度的 HCl 滴定所收集的 NH_3 。饲料粗蛋白质的含量为饲料的含氮量乘以 6.25。粗蛋白质的含量一般表示为饲料原样或干物质中的百分数。

用饲料含氮量乘以 6.25 来估计蛋白质的含量，并不适合所有的饲料。某些饲料含有大量的含氮化合物而不是蛋白质，这些含氮化合物通称为非蛋白氮 (NPN)。这一部分主要包括氨化物、有机胺、含氮的葡糖甙和磷脂等，其中氨化物和有机胺最多，当植物生长迅速时含量较高。在某些青饲料、青贮料、发芽的谷物和甜菜中，其含量可高达总蛋白质的 1/3。当这些饲料用于非反刍动物时，测定非蛋白氮极为重要。

(五) 粗脂肪 粗脂肪包括了饲料中可溶于乙醚 (或其他有机溶剂) 的所有成分，因此通常把粗脂肪称为醚浸出物。粗脂肪的测定是在索氏 (Soxhlet) 提取器中回流浸提，浸提后将溶剂挥发并回收，残留物置于 75°C 的真空干燥箱中干燥 1.5h，然后放入干燥器中冷却后称重。粗脂肪表示为原始样重的百分数。

(六) 粗纤维 饲料中的碳水化合物可划分为两部分，即粗纤维和无氮浸出物，也就是结构碳水化合物和非结构碳水化合物。粗纤维包括纤维素、部分半纤维素和木质素以及果胶物质。前面提到的木质素，严格地讲不属于碳水化合物，但它对饲料的消化率有显著的影响。测定粗纤维应表明细胞壁成分的总含量。

粗纤维的测定过程是将饲料样品分别用一定浓度的 H_2SO_4 和 NaOH 溶液处理，使淀粉、糖、蛋白质和酯类溶解。残渣水洗后，干燥，称重，灰化。残渣灰化前后的重量差就是饲料中粗纤维的含量。

(七) 无氮浸出物 从 100% 中减去水分、灰分、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪的百分含量之和，所得之差被定义为无氮浸出物 (%)。无氮浸出物主要包括糖和淀粉，但也有一些半纤维素和木质素，后两者含量的多少取决于植物的种类和成熟期。所以无氮浸出物不仅含有易于消化的非结构碳水化合物，而且还有其他的物质 (表 1—4)。

表 1—4 概略养分分析法的各种粗养分中成分

粗 养 分	组 成 成 分
水 分	水、挥发性酸
粗 灰 分	必需元素——大量:K、Mg、Na、S、Ca、P、Cl 微量:Fe、Mn、Cu、Co、I、Zn、Mo、Se、F 非必需元素——Si、Cr、Ni、Ti、Al、V、B、Pb、Sn
粗 蛋 白 质	蛋白质、氨基酸、有机胺、含氮的糖苷、磷脂、B族维生素、硝酸盐
粗 脂 肪	脂肪、蜡质、有机酸、脂溶性色素、甾体、脂溶性维生素
粗 纤 维	纤维素、半纤维素、木质素
无氮浸出物	淀粉、糖、果聚糖、半纤维素、果胶、木质素、有机酸、树脂、单宁、水溶性色素、水溶性维生素