

饲料原料学

SILIAO YUANLIAO XUE

白元生 主编



中国农业出版社

饲料原料学

白元生 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

饲料原料学/白元生主编. —北京: 中国农业出版社,
1999.12

ISBN 7-109-06017-9

I. 饲… II. 白… III. 饲料 IV. S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 33490 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 郭永立

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1999 年 12 月第 1 版 1999 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 16.5

字数: 384 千字 印数: 1~3 000 册

定价: 23.20 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

为了适应畜牧业和饲料工业迅速发展的需求,合理开发与综合应用各类饲料资源,满足生产与教学的需要,我们特编写《饲料原料学》一书,作为动物营养与饲料加工专业及畜牧专业的教学用书。

全书共分十二章,主要内容有:饲料原料概述;饲料原料分类;青饲料、青贮饲料、粗饲料、能量饲料、蛋白质饲料、矿物质饲料等原料的种类、特性、饲用价值、加工和合理利用;利用饲料原料配制日粮;饲料原料的质量鉴定等。书后附有饲料原料的质量标准、卫生标准、部分畜禽饲养标准及常用饲料成分和营养价值表。

本书内容广泛,取材新颖实用,力求反映国内外饲料科学领域的新成果。本书可供农业、粮食院校畜牧专业和动物营养与饲料加工专业师生、畜牧与饲料科研人员、基层科技人员使用与参考。

主 编 白元生

副主编 张延利

编 委 白元生 张延利 岳文斌

孙 洁 杨慧清 王海平

目 录

第一章 概论	1
第一节 饲料的分类	1
第二节 饲料的养分及其功能	5
第三节 我国饲料资源状况	12
第二章 青饲料	16
第一节 青饲料的营养特性及其影响因素	16
第二节 牧草及青饲作物	18
第三节 叶菜类饲料	22
第四节 水生饲料	24
第三章 青贮饲料	25
第一节 青贮的意义	25
第二节 一般青贮发酵原理	26
第三节 青贮方法	27
第四节 青贮饲料的品质及营养价值	30
第五节 青贮饲料的饲用	32
第四章 粗饲料	34
第一节 干草与干草粉	34
第二节 秕粒饲料	39
第三节 枝叶饲料	42
第四节 粗饲料的加工	46
第五章 能量饲料	50
第一节 谷实类饲料	50
第二节 糠麸类饲料	60
第三节 块根块茎及瓜类饲料	64
第四节 油脂类饲料	69
第六章 蛋白质饲料	76
第一节 植物性蛋白质饲料	76
第二节 动物性蛋白质饲料	106
第三节 单细胞蛋白质饲料	122
第四节 非蛋白氮饲料	126

第七章 食品工业副产品饲料	133
第一节 制糖工业副产品	133
第二节 发酵工业副产品	137
第三节 豆腐及淀粉加工副产品	141
第四节 果品加工副产品	145
第八章 其他饲料	148
第一节 乳制品饲料	148
第二节 动物废物饲料	152
第九章 矿物质饲料	159
第一节 常量矿物质饲料	159
第二节 微量矿物质饲料	164
第三节 天然矿物质饲料资源的利用	166
第十章 饲料添加剂	170
第一节 微量元素添加剂	170
第二节 维生素添加剂	173
第三节 氨基酸添加剂	176
第四节 非营养性添加剂	178
第十一章 饲料原料的质量鉴定	190
第一节 饲料原料质量鉴定方法	190
第二节 常用饲料原料鉴定举例	194
第十二章 配合饲料	204
第一节 概述	204
第二节 配合饲料的配制	206
附录	221
一、饲料原料标准	221
二、饲料级矿物质原料标准	230
三、饲料卫生标准	233
四、部分畜禽饲养标准	235
五、中国饲料成分及营养价值表	252
主要参考文献	258

第一章 概 论

饲料是发展畜牧业的物质基础。各类畜产品如肉、奶、蛋、皮、毛以及役用家畜的劳役等，都是家畜采食饲料中的养分经体内转化而产生的。如果饲料数量不足、品质不良，就不可能获得量多质优的畜产品。饲料成本占动物饲养总成本的 70% 左右，饲料利用的合理与否，直接影响着畜牧业生产的经济效益。

畜牧业的发展经历了三个阶段，即由家庭副业到专业饲养，再发展到现代化的集约型畜牧业。我国畜牧业正处于向现代化集约型畜牧业转化的新时期，饲料工业是实现畜牧业现代化的支柱，而饲料原料又是发展饲料工业的物质基础。研究动物营养、发展饲料工业和合理组织饲养，就必须研究饲料资源及其科学利用的理论与技术。

第一节 饲料的分类

饲料是指能被动物采食并能提供给动物某种或多种养分的物质。广义上讲，能强化饲养效果的某些非营养物质如添加剂，也应属于饲料。在饲料工业上，以一种动物、植物、微生物或矿物质等为来源的饲料称为饲料原料或单一饲料，这是相对于配合饲料而言的。

饲料的种类繁多，从采源方面可分为植物性饲料、动物性饲料、矿物性饲料等天然饲料及人工合成饲料；从形态方面可分为固态的饲料和液态的饲料；从所提供的养分种类和数量方面，又可分为精饲料和粗饲料等。以上这些习惯性或经验性的分类方法，不能适应现代化畜牧业和饲料工业的要求。因此，饲料的科学分类对养殖业和饲料工业是非常必要的。

一、国际饲料分类趋势

目前世界各国饲料分类尚未完全统一。美国学者哈里斯 (L.E.Harris, 1963) 根据饲料的营养特性，将饲料分为八大类，并对每类饲料冠以相应的饲料编码，应用计算机技术建立国际饲料数据管理系统。这一分类系统在全世界已有近 30 个国家采用或认可。

国际饲料编码的模式为 0—00—000，从左向右排列为第一节 1 个位数空档、第二节 2 个位数空档及第三节 3 个位数空档。八大类饲料分别用 1~8 代表，放于第一节 1 位数的空档中。至于第二节 2 位数的空档和第三节 3 位数的空档，共计 5 位数依次为万、千、百、十与个位数，用以填写每一个饲料标样的号数。例如苜蓿干草的编码为 1—00—092，表示其属于粗饲料类，位于饲料标样总号数的第 92 号。又如玉米粒的编码为 4—02—879，表示其为能量饲料，位于饲料标样的 2879 号。5 个位数的空档，最多可容纳 99999 个饲料标样，总共可容纳饲料 $8 \times 99999 = 799992$ 种。

八大类饲料的编码形式及划分依据如下：

1. 粗饲料（1—00—000） 干物质中粗纤维含量大于或等于 18%，以风干物为饲喂形式的饲料。
2. 青绿饲料（2—00—000） 天然水分含量在 60% 以上的新鲜饲草及以放牧形式饲喂的人工栽培牧草、草原牧草等。
3. 青贮饲料（3—00—000） 以新鲜的天然植物性饲料为原料，以青贮方式调制成的饲料。
4. 能量饲料（4—00—000） 干物质中粗纤维含量小于 18%，同时粗蛋白质含量小于 20% 的饲料。
5. 蛋白质补充料（5—00—000） 干物质中粗纤维含量小于 18%，同时粗蛋白质含量大于或等于 20% 的饲料。
6. 矿物质饲料（6—00—000） 可供饲用的天然矿物质及化工合成无机盐类。
7. 维生素饲料（7—00—000） 由工业合成或提纯的维生素制剂，但不包括富含维生素的天然青绿饲料在内。
8. 饲料添加剂（8—00—000） 为保证或改善饲料品质，防止质量下降，促进动物生长繁殖，保障动物健康而加入饲料中的少量或微量物质，但合成氨基酸、矿物质和维生素不包括在内。

二、我国现行饲料分类方法

我国疆域辽阔，饲料种类繁多，以往的传统分类方法难以反映出饲料的营养特性，也不便于国际饲料情报交流。20 世纪 80 年代初，在张子仪研究员主持下，将我国传统饲料分类法与国际饲料分类原则相结合，提出了我国的饲料分类方法与编码系统。1987 年由农业部正式批准筹建中国饲料数据库，迄今还在不断地将建国以来积累的，经过整理、核对和筛选的各种饲料成分分析和营养价值资料输入数据库中。

具体分类和编码的方法为：首先根据国际饲料分类原则将饲料分成 8 大类（表 1-1），然后结合我国传统分类习惯分为 16 亚类（表 1-2），两者结合，迄今可能出现的类别有 34 类。对每一类饲料冠以相应的中国饲料编码（Feeds number of China, CFN），共 7 位数，模式为 0—00—0000，其首位数 1~8 分别对应国际饲料分类的 8 大类饲料，第 2、3 位数安排 01—16 的亚类饲料，第 4 至第 7 位数为饲料顺序号。由此可见，我国饲料分类的编码系统最多可容纳 $8 \times 16 \times 9999 \approx 1279872$ 种饲料。数量比国际分类多，且增加了第 2、3 位码层次，这样在划分饲料种类上更清楚明确。用户既可以根据饲料分类原则判断饲料性质，又可以根据传统习惯，从亚类中检索出饲料资源出处，是对国际饲料分类编码系统的重要补充。

表 1-1 中国饲料分类依据原则

序 号	饲料类名	划分饲料类别依据(%)		
		天然水分含量	干物质中粗纤维含量	干物质中粗蛋白质含量
1	粗饲料	< 45	≥ 18	
2	青绿饲料	≥ 45		

(续)

序 号	饲料类名	划分饲料类别依据(%)		
		天然水分含量	干物质中粗纤维含量	干物质中粗蛋白质含量
3	青贮饲料	≥45		
4	能量饲料	<45	<18	<20
5	蛋白质饲料	<45	<18	≥20
6	矿物质饲料			
7	维生素饲料			
8	添加剂			

表 1-2 中国现行饲料分类编码

亚类序号	饲料种类名	前三位编码的可能形式	分类依据条件
01	青绿植物类	2-01	天然含水量
02	树叶类	1-02, 2-02, 5-02, 4-02	水、纤维、蛋白质
03	青贮饲料类	3-03	水、加工方法
04	块根、块茎、瓜果类	2-04, 4-04	水、纤维、蛋白质
05	干草类	1-05, 4-05, 5-05	水、纤维、蛋白质
06	农副产品类	1-06, 4-06, 5-06	水、纤维
07	谷实类	4-07	水、纤维、蛋白质
08	糠麸类	4-08, 1-08	水、纤维、蛋白质
09	豆类	5-09, 4-09	水、纤维、蛋白质
10	饼粕类	5-10, 4-10, 1-10	水、纤维、蛋白质
11	糟渣类	1-11, 4-11, 5-11	纤维、蛋白质
12	草籽树实类	1-12, 4-12, 5-12	水、纤维、蛋白质
13	动物性饲料类	4-13, 5-13, 6-13	来源
14	矿物质饲料类	6-14	来源、性质
15	维生素饲料类	7-15	来源、性质
16	添加剂及其它	8-16	性质

关于我国饲料分类中 16 亚类的具体说明如下:

1. 青绿植物类 以天然水分含量为第一条件, 不考虑其部分失水状态、风干状态或绝干状态时的粗纤维含量或粗蛋白质含量是否构成粗饲料、能量饲料或蛋白质饲料的条件。凡天然水分含量大于等于 45% 的新鲜牧草、草原牧草、野菜、鲜嫩的藤蔓、秸秧类和部分未完全成熟的谷物植株等皆属此类。CFN 形式: 2—01—0000。

2. 树叶类 有两种类型: 其一是刚采摘下来的树叶, 饲用时的天然水分含量尚能保持在 45% 以上, 这种形式多是一过性的, 数量不大, 国际饲料分类属青绿饲料, CFN 形式: 2—02—0000; 另一种类型是风干后的乔木、灌木、半灌木的树叶等, 干物质粗纤维含量大于等于 18% 的树叶类, 如槐叶、银合欢叶、松针叶、木薯叶等, 按国际饲料分类

属粗饲料。CFN 形式为：1—02—0000。

3. 青贮饲料类 有 3 种类型：①由新鲜的天然植物性饲料调制成的青贮饲料，或在新鲜的植物性饲料中加入各种辅料（如小麦麸、尿素、糖蜜）或防腐、防霉添加剂制作成的青贮饲料，一般含水量在 65% ~ 75%，CFN 形式为 3—03—0000。②低水份青贮饲料（low moisture silage），亦称半干青贮饲料（haylage），是用天然水分含量为 45% ~ 55% 的半干青绿植物调制成的青贮饲料，CFN 形式与常规青贮饲料相同。③随着钢筒青贮或密封青贮窖的普及，从 20 世纪 50 年代后，欧美各国盛行的谷物湿贮（grain silage）。目前常见的是以新鲜玉米、麦类籽实为主要原料的各种类型的谷物湿贮，其水分约在 28% ~ 35% 范围内。从其营养成分的含量看，符合国际饲料分类中的能量饲料标准，但从调制方法分析又属青贮饲料，在国际饲料分类中无明确规定。CFN 形式为 4—03—0000。

4. 块根、块茎、瓜果类 天然水分含量大于等于 45% 的块根、块茎、瓜果类，如胡萝卜、芜菁、饲用甜菜、落果、瓜皮等。这类饲料脱水后的干物质中粗纤维和粗蛋白质含量都较低。鲜喂则 CFN 形式为 2—04—0000；干喂则 CFN 形式为 4—04—0000，如甘薯干、木薯干等。

5. 干草类 人工栽培或野生牧草的脱水或风干物，其水分含量在 15% 以下（霉菌繁殖水分临界点），水分含量 15% ~ 45% 的干草罕见，多属半成品或一过性。干草有三种类型：第一类为干物质中的粗纤维含量大于或等于 18% 者，应属于粗饲料，CFN 形式为 1—05—0000；第二类是干物质中粗纤维含量小于 18%，且粗蛋白质含量小于 20% 者，属于能量饲料，CFN 形式为 4—05—0000；另有一些优质豆科干草，如苜蓿或紫云英，干物质中的粗蛋白质含量大于等于 20%，且粗纤维含量低于 18% 者，按国际饲料分类原则应属于蛋白质饲料。CFN 形式为 5—05—0000。

6. 农副产品类 指农作物收获后的副产品，如藤、蔓、秸、秧、荚、壳等。有三种类型：其一是干物质中粗纤维含量大于或等于 18% 者，属于粗饲料，CFN 形式为 1—06—0000；其二是干物质中粗纤维含量小于 18%，且粗蛋白质含量也小于 20% 者，属于能量饲料，CFN 形式为 4—06—0000；其三为干物质中粗纤维含量小于 18%，且粗蛋白质含量大于或等于 20% 者，按饲料分类原则属于蛋白质饲料，CFN 形式为 5—06—0000。后两种类型罕见。

7. 谷实类 粮食作物的籽实中除某些带壳的谷实外，粗纤维、粗蛋白质的含量都较低，在国际饲料分类中属能量饲料，如玉米、高粱、稻谷等。CFN 形式为：4—07—0000。

8. 糠麸类 干物质中粗纤维含量小于 18%，粗蛋白质含量小于 20% 的各种粮食的碾米、制粉副产品，如小麦麸、米糠、玉米皮、高粱糠等。在国际饲料分类中属于能量饲料，CFN 形式为 4—08—0000。粮食加工后的低档副产品或在米糠中掺入无实际营养价值的稻壳粉等，其中干物质中的粗纤维含量多大于 18%，按国际饲料分类原则属于粗饲料，如统糠、生谷机糠等，CFN 形式为 1—08—0000。其他类型罕见。

9. 豆类 豆类籽实中可供作蛋白质饲料者占多数，CFN 形式为 5—09—0000。但也有个别豆类的干物质中粗蛋白质含量在 20% 以下的，如广东的鸡子豆和江苏的爬豆，则不属于蛋白质饲料，而应属于能量饲料，CFN 形式为 4—09—0000。干物质中粗纤维含量大于或等于 18% 者罕见。

10. 饼粕类 有3种类型：干物质中粗纤维含量小于18%，粗蛋白质含量大于或等于20%的饼粕类，按国际分类应属蛋白质饲料，CFN形式为5—10—0000；干物质中粗纤维含量大于或等于18%的饼粕类，即使其干物质中粗蛋白质含量大于或等于20%，按国际饲料分类原则仍属于粗饲料类，如有些多壳的葵花饼及棉籽饼等，CFN形式为1—10—0000；还有一些低蛋白质、低纤维的饼粕类饲料，如米糠饼、玉米胚芽饼等，则属于能量饲料，CFN形式为4—08—0000。

11. 糟渣类 干物质中粗纤维含量大于或等于18%者归入粗饲料，CFN形式为1—11—0000；干物质中粗蛋白质含量低于20%，且粗纤维含量也低于18%者属于能量饲料，如粉渣、醋糟、酒糟、甜菜渣、饴糖渣中的一部分皆属此类，CFN形式为4—11—0000；干物质中粗蛋白质含量大于或等于20%，且粗纤维含量小于18%者在国际饲料分类中属蛋白质饲料，如啤酒糟、饴糖渣、豆腐渣等，CFN形式为5—11—0000。

12. 草籽树实类 干物质中粗纤维含量在18%及18%以上者属粗饲料，CFN形式为1—12—0000；干物质中粗纤维含量在18%以下，且粗蛋白质含量小于20%者属能量饲料，如稗草籽、沙枣等，CFN形式为4—12—0000；但也有干物质中粗纤维含量在18%以下而粗蛋白质含量大于或等于20%者，较罕见，CFN形式为5—12—0000。

13. 动物性饲料 来源于渔业、畜牧业的产品及其加工副产品。按国际饲料分类原则，干物质中粗蛋白质含量大于或等于20%者属于蛋白质饲料，如鱼、虾、肉、皮、毛、血、蚕蛹等，CFN形式为5—13—0000；粗蛋白质及粗灰分含量都较低的动物油脂类属能量饲料，如牛脂、猪油等，CFN形式为4—13—0000；粗蛋白质及粗脂肪含量均较低，以补充钙磷为目的者属矿物质饲料，如骨粉、贝壳粉、蛋壳粉等，CFN形式为6—13—0000。

14. 矿物质饲料 可供饲用的天然矿物质，如石灰石粉、白云石粉、大理石粉等，但不包括骨粉、贝壳粉等来源于动物体的矿物质及化工合成或提纯的无机物。CFN形式为6—14—0000。

15. 维生素饲料 由工业提纯或合成的饲用维生素，如胡萝卜素、硫胺素、核黄素、烟酸、泛酸、胆碱、叶酸、维生素A、D、E等，但不包括富含维生素的天然青绿多汁饲料。CFN形式为7—15—0000。

16. 添加剂及其他 指为了补充营养物质，提高饲料利用率，保证或改善饲料品质，促进动物生长繁殖，保障动物的健康而加入到饲料中的少量或微量营养性或非营养性物质。如促生长剂、抗氧化剂、防霉剂、驱虫保健剂、粘结剂、流散剂及载体等。CFN形式为8—16—0000。随着饲料资源的开发和饲料科研水平的不断提高，凡出现不符合上述1~15亚类的分类原则者，皆暂归入此类。

第二节 饲料的养分及其功能

动物为了生存、繁殖后代和生产产品，必须由饲料中获得其所必需的各种元素的化合物，这些化合物统称为养分，亦称为营养物质或营养素。为了合理利用饲料，科学饲养动物，了解饲料养分的种类与功能、测定及表示方法是非常必要的。

一、饲料的元素组成

在已知的 100 多种元素中，至少有 26 种动物所必需的元素参与构成饲料的各种养分，其名称、符号及原子量见表 1-3。其中以碳、氢、氧、氮等 4 种有机元素的含量最多，约占饲料干物质总量的 90%；其次是钾、钠、钙、镁、硫、磷、氯等 7 种常量矿物元素，其含量较多；其余是微量元素，约有 15 种，如铁、铜、锰、锌、碘、硒、钴、氟、硅、钼、钒、铬、砷、镍、锡等。此外，锶、钡、溴、硼和其他一些元素也可能属于饲料养分中必不可少的元素。

表 1-3 饲料中的化学元素及其原子量

元素	符号	原子量	元素	符号	原子量	元素	符号	原子量
碳	C	12	镁	Mg	24.3	氟	F	19
氢	H	1	硫	S	32	硅	Si	28.1
氧	O	16	铁	Fe	55.8	钼	Mo	96
氮	N	14	铜	Cu	63.5	铬	Cr	52
磷	P	31	锰	Mn	55	砷	As	74.9
钙	Ca	40	锌	Zn	65.4	钒	V	50.9
钾	K	39	碘	I	127	镍	Ni	58.7
钠	Na	23	硒	Se	79	锡	Sn	118.6
氯	Cl	35.5	钴	Co	59			

二、饲料养分的种类

养分是由单一化学元素或由若干化学元素相互结合而成，存在于任何饲料之中。一般饲料可含有大约 50 种以上的养分，可概括为六类如图 1-1。

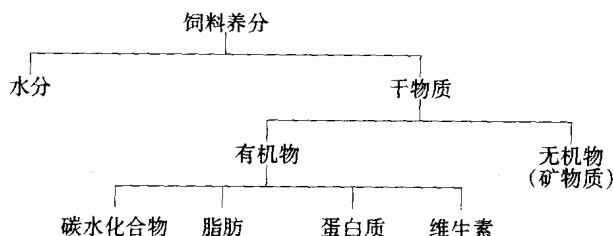


图 1-1 饲料养分

(一) 水分 水分存在于一切饲料中，风干饲料中约有 10% 左右，而青绿多汁饲料可达 60% 以上。饲料中水分一般以两种形式存在，一种含于细胞间，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，形成胶体外面的水膜，难以挥发，称结合水或吸附水。水分含量与饲料的营养价值及贮藏性有密切关系，一般饲料水分低则易于贮存，其营养价值相对高一些，而饲料水分过高会使饲料发热、发霉或变质，影响饲料的质量。

(二) 碳水化合物 碳水化合物由碳、氢、氧三种元素组成，一般氢与氧之比为 2:1，同水的组成相同，故称碳水化合物。饲料中的碳水化合物，据其单糖的聚合度可分为 3 类，即单糖、寡糖和多糖。

1. 单糖 单糖是碳水化合物中最简单的形式。根据碳原子的数目，单糖可分为三碳糖、四碳糖、五碳糖、六碳糖及七碳糖等。其中以六碳糖即己糖为重要，己糖有葡萄糖、果糖、半乳糖和甘露糖等，分子式为 $C_6H_{12}O_6$ 。

(1) 葡萄糖。葡萄糖属右旋糖，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。果糖是左旋性的酮糖。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。果糖是所有糖中最甜的，易于发酵。

(3) 半乳糖。属醛糖，是乳糖的组成部分，以乳糖的形式存在于乳汁中，饲料中通常不以游离形式存在。

(4) 甘露糖。为右旋糖，是糖蛋白的组成成分，不以游离形式存在。

五碳糖即戊糖，其分子式为 $C_5H_{10}O_5$ ，有木糖、阿拉伯糖等，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. 寡糖(低聚糖) 寡糖是由少数几个分子的单糖(2~6 个)结合形成的糖类，均溶于水，多有甜味。寡糖的种类较多，但以双糖分布最为普遍，意义也较大。双糖是两个单糖去掉一分子水缩合而成，分子式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 。重要的双糖有：

(1) 蔗糖。由葡萄糖和果糖缩合而成，在消化道经蔗糖酶水解可生成葡萄糖和果糖。蔗糖主要存在于甘蔗、甜菜和成熟的果实内。蔗糖味甜，可在饲料中作甜味剂。

(2) 麦芽糖。由两分子葡萄糖缩合而成，可经酶或酸水解生成葡萄糖。麦芽糖主要在谷物发芽及淀粉水解时产生，其甜度仅为蔗糖的 1/4。

(3) 乳糖。由一分子葡萄糖和一分子半乳糖构成，主要存在于动物乳汁中，植物性饲料中通常不含乳糖。

其他低聚糖常见的有棉籽糖(rafinose)、水苏糖(stachyose)等。棉籽糖属三糖类，由葡萄糖、果糖和半乳糖各一分子构成，广泛存在于植物中，尤以棉籽、甜菜中含量多。水苏糖属四糖类，由果糖、葡萄糖各一分子和二分子半乳糖构成，常见于豆科籽实及水苏属植物中。

3. 多糖 多糖是一类结构复杂的高分子化合物，由许多单糖分子经脱水缩合而成。多糖是自然界分布最广的碳水化合物，也是植物性饲料中所含的主要营养物质。根据其是否能被动物分泌的酶所消化，可将多糖分为可溶性和不溶性两类，前者包括淀粉、糊精、糖元，后者包括纤维素、半纤维素、木质素和果胶等。

(1) 淀粉。由许多个分子的葡萄糖聚合而成，以微颗粒形式大量存在于植物种子、根茎及干果中。淀粉一般由直链淀粉和支链淀粉两部分组成。天然淀粉中直链淀粉一般占 15%~25%，支链淀粉占 75%~85%，但糯米、黏高粱中支链淀粉可占 99%，而有的豆类淀粉则全部是直链淀粉。淀粉是多数动物饲料的主要成分，易被消化，故它是动物的主要能源物质。

(2) 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。发芽种子中也含有糊精。

(3) 菊粉。也称菊糖，由许多果糖构成的一种多糖。菊粉在自然界分布不很普遍，仅菊芋、牛蒡等植物的根内含量较高。

(4) 糖元。与支链淀粉结构相似，是动物体内糖的一种存在形式，在一般饲料中含量很少，而在酵母中含量约占干物质的 3% ~ 20%。

(5) 纤维素。纤维素是植物细胞壁的主要成分之一，由大量 D-葡萄糖以 β -1,4 苷键构成。纤维素的化学性质稳定，不溶于水，仅能吸水膨胀。亦不溶于稀酸、稀碱，仅在强酸作用下发生水解生成葡萄糖。纤维素在动物体内可依靠微生物产生的酶如纤维素酶而得以降解。

(6) 半纤维素。大量存在于植物的木质化部分，是植物贮备物质与支持物质的中间类型。半纤维素是多缩戊糖、多缩己糖、葡甘露糖等的混合物。其中由木糖以 β -1,4 键缩合而成的木聚糖，是植物茎叶、秸秆的骨架；由果糖以 β -2,6 键和 β -2,1 键结合的果聚糖，为植物体的贮备物质，牧草中含量丰富。另外也存在阿聚糖、甘露聚糖等。半纤维素在化学上介于淀粉与纤维素之间，大多半纤维素比纤维素易于消化降解，但没有淀粉和糖易消化。

(7) 木质素。是高分子苯基-丙烷衍生物的复杂聚合物，比碳水化合物含碳多，氢氧的比例与碳水化合物不同，且常有氮存在，所以并不是碳水化合物，其准确的化学结构至今尚不完全清楚。所有动物都不能消化木质素，并且它还会影响其它养分的消化，尤其是纤维素的消化率。

(8) 果胶。果胶主要存在于植物细胞壁的间隙中，有粘着细胞和运输养分的功能，是植物界分布很广的胶状多糖类物质。果胶分子的主链是由 α -1,4-苷键相连的半乳糖醛酸单位与由 1,2-苷键相连的鼠李糖单位所形成的聚合物。它可被热水或冷水浸出而成胶状物，动物消化道分泌的酶不能使其水解，但在微生物作用下可被消化。

(三) 蛋白质 饲料中的含氮化合物统称粗蛋白质，包括蛋白质和非蛋白质含氮物（游离氨基酸、胺类、酰胺类、硝酸盐、生物碱、核酸、尿素等）两部分。各种蛋白质含氮量很接近，平均为 16%，还含有碳（约 50%）、氢（约 7%）、氧（约 23%）及硫和磷（各约为 0~3%）等。

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质含氮物的数量较少。生长旺盛期中的青饲料、青贮料及某些根茎类，则可能含有较多的非蛋白质含氮物。动物性饲料如乳、肉、蛋、骨粉等，通常只有少量游离氨基酸，而极少含非蛋白质含氮物。昆虫和水生甲壳类动物作饲料，则有较大比例的氨基糖聚合物—几丁质。微生物饲料如酵母、细菌中则含较多的核酸。

蛋白质是由多种氨基酸以肽键连接而成的高分子化合物。天然蛋白质结构复杂，种类繁多，按化学组成、分子形状及溶解性等可将其分为三大类，即纤维状蛋白（胶原蛋白、硬蛋白等）、球状蛋白（白蛋白、球蛋白、组蛋白、精蛋白等）、结合蛋白质（糖蛋白、脂蛋白、磷蛋白等）。蛋白质水解后则生成各种氨基酸，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。

(四) 脂肪 脂肪与碳水化合物及蛋白质共为生物体的三大组分，它不仅是天然饲料中主要的营养物质，也是高能配合饲料中不可缺少的重要原料。脂肪包括中性脂肪和类脂肪，它是广泛存在于动植物体内的一类化合物。

1. 中性脂肪 中性脂肪由碳、氢、氧三种元素组成。它是一分子甘油和三分子脂肪酸构成的酯类化合物，故又名甘油三酯。构成甘油三酯的脂肪酸可多达近百种，包括饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。饱和脂肪酸以棕榈酸与硬脂酸最为普遍；不饱和脂肪酸中则以油酸、亚油酸和亚麻酸最为普遍。

2. 类脂肪 类脂肪是指含磷、含糖或含有其他含氮物的脂肪，它虽不属于中性脂肪，但在结构上或性质上却与真脂肪相近。主要包括磷脂、糖脂、固醇和蜡。

(1) 磷脂。磷脂是一种复合脂肪，在结构上除含有磷酸根、甘油和脂肪酸外，还有含氮的有机碱。它是动植物细胞的重要组成成分，动物的各组织器官（如脑、心脏等）均有大量磷脂，植物则以种子中含量较多。常见的有卵磷脂和脑磷脂。

(2) 糖脂。糖脂的分子中含有糖（半乳糖或葡萄糖）、脂肪酸及神经鞘氨基醇，但无磷酸及甘油。糖脂是禾本科和豆科青草中粗脂肪的主要成分，最多可达 60% 以上，以半乳糖脂居多，动物外周和中枢神经组织中也有分布。

(3) 固醇。固醇是一类高分子的一元醇，在动植物界分布很广，在化学结构上属环戊烷多氢菲的衍生物。固醇类化合物中最重要的有胆固醇和麦角固醇。

(4) 蜡。蜡是由高级脂肪酸与高级一元醇所生成的酯。一般为固体，不易水解，故无营养价值。动物的毛、羽中因蜡的存在而具有一定的防水特性。

(五) 维生素 维生素是调节动物生长、生产、繁殖和保证动物健康所必需的一类微量营养物质。它既不是动物的能源物质，又不是结构物质，但却是机体物质代谢过程的必须参加者，缺乏时会引起动物代谢障碍。

通常维生素分为脂溶性（维生素 A、D、E、K）和水溶性（维生素 B 族及维生素 C 等）两种。一些维生素如维生素 K 及 B 族维生素可由消化道微生物合成，还有的维生素如维生素 C 和 D₃ 可在机体组织器官合成，这两者被称为内源性维生素，而饲料中提供的则为外源性维生素。大多数动物的内源性维生素不能满足需要，一般天然饲料中所含维生素也不多，特别是处于逆境的高产动物，有的维生素几乎全部要靠饲料添加来满足。

(六) 矿物质 矿物质是一类无机营养物质。在动植物体所含的元素中，除了碳、氢、氧和氮主要以有机化合物形式出现外，其余的各种元素无论含量多少，统称为矿物质，也称作无机盐或灰分。

在动物营养中，一般把占动物体重 0.01% 以上的元素称为常量元素，包括钙、磷、镁、钠、钾、氯和硫等 7 种；把占动物体重 0.01% 以下的元素称为微量元素，包括铁、铜、锰、锌、硒、碘、钴、钼、铬、氟、硅、砷、锡、镍、钒等十五种目前已知的必需元素。

三、饲料养分的测定

测定饲料中各种养分含量是了解和评定饲料营养价值的一种基本方法。测定方法可分为两类，即概略养分分析法（Proximate analysis）和纯养分分析法。

(一) 概略养分分析法 概略养分分析法是德国学者 Henneberg 和 Stohmann 于 1862 年在 Weende 试验站创立。根据其分析方案, 将饲料成分划分为水分、粗灰分、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪和无氮浸出物等 6 类。由于每一类都包括有多种复杂的物质, 故称概略养分, 也称粗养分。该方法比较简便实用, 自建立以来在教学、科研或生产上一直沿用, 尽管做了许多修正, 但基本上无多大变化。

1. 水分与干物质 饲料养分含量变化很大, 要想比较它们, 必须以相同基础来表示, 通常认为以无水基础(干物质基础)表示饲料的养分含量较为合理, 这就需要测定饲料中的水分。

水分测定是将已知的饲料样品在一定条件下干燥, 所失重量即为水分含量, 剩余重量为干物质。干燥条件取决于饲料的性质, 风干样品(仅含吸附水)的干燥条件为 105℃ 下持续干燥 3h; 对新鲜样品如青绿多汁饲料则应先测定初水分, 即 65℃ 下干燥 5~6h 后的失重, 再进行上述条件下的测定。对于含糖分高的、易分解或易焦化的样品, 应采用减压法(70℃, 80kPa 以下, 干燥 5h)测定水分。

2. 粗灰分与有机物 饲料中的干物质包括有机物和无机物。无机物即粗灰分, 是饲料样品在 550℃ 下高温灼烧后所得的灰白色残渣。其中主要是氧化物和盐类, 也包括混入饲料中的砂石、泥土等。干物质重与粗灰分重之差就是有机物含量。

3. 粗蛋白质 粗蛋白质是饲料中含氮物质的总称, 包括纯蛋白质和非蛋白质含氮物。测定时采用凯氏定氮法, 饲料样品在催化剂存在下用浓硫酸(H_2SO_4)消化, 使所有的氮转化为氨(NH_3), 并以硫酸铵($(NH_4)_2SO_4$)存在于消化液中, 消化液在浓碱($NaOH$)作用下蒸馏, 使 NH_3 释出来, 用硼酸吸收后, 以已知浓度的盐酸(HCl)滴定, 测出含氮量, 乘以氮与蛋白质的平均换算系数 6.25, 即得出饲料中粗蛋白质含量。

4. 粗脂肪 粗脂肪也称醚浸出物(ether extract), 指饲料中可溶于乙醚或石油醚的成分。饲料样品在索氏(Soxhlet)脂肪提取器中回流浸提, 浸提后将溶剂(乙醚)挥发并回收, 残留物经干燥、冷却后称重即为粗脂肪量。粗脂肪中除中性脂肪外尚含有蜡、有机酸、磷脂、脂溶性维生素及色素等。

5. 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。饲料样品分别用一定浓度和一定容量的 H_2SO_4 和 $NaOH$ 溶液处理, 再经乙醇、乙醚处理, 除去淀粉、糖、蛋白质及脂类后的残渣经高温灼烧后的损失重即为粗纤维量。粗纤维并非确切的化学实体, 其中以纤维素为主, 还包括部分半纤维素和木质素。

6. 无氮浸出物 无氮浸出物不是直接测定的, 而是根据饲料中其它养分的测定结果, 按下列公式计算得出的。无氮浸出物% = 100% - (水分% + 粗蛋白质% + 粗脂肪% + 粗纤维% + 粗灰分%)。无氮浸出物主要包括淀粉和糖, 也有一些半纤维素、木质素、果胶、有机酸等。

(二) 纯养分分析法 纯养分分析法是用来测定饲料中纯养分含量, 包括各种常量矿物质、各种微量元素和各种维生素, 以及蛋白质中的各种氨基酸与粗纤维中的纤维素、半纤维素、木质素, 还有无氮浸出物中的淀粉、五碳糖、六碳糖及粗脂肪中的各种不同脂肪与脂肪酸等。

四、饲料养分的表示方法

(一) 养分的表示单位

1. 百分比(%) 表示 100 单位重(kg、g、mg、μg 等)的饲料中含有多少单位(kg、g、mg、μg 等)的养分。
2. mg/kg 表示每千克饲料中含有多少毫克饲料养分。

(二) 养分的表示基础

1. 原样基础 也称为新鲜基础或潮湿基础,以这种基础表示的饲料养分含量,因干物质含量的不同,变异很大,不易比较。
2. 风干基础 饲料在空气中放置而干燥后称风干饲料(air dry feed),在此基础上干物质含量约为 88%左右。这种基础有助于比较不同水分含量的饲料,大多数饲料都以风干状态饲喂,所以风干基础比较实用。
3. 绝干基础 无水状态或 100%的干物质状态。绝干基础排除了因水分变化而带来的差异,故常用于比较不同水分含量的饲料。

应用简单的比例关系,可将饲料养分的一种基础表示数值,改变为另一基础表示的数值。

$$\frac{\text{饲料中某养分在某基础的数值}(\%)}{\text{饲料在同一基础的干物质数值}(\%)} = \frac{\text{该饲料中某养分在另一基础的数值}(\%)}{\text{该饲料在另一基础的干物质数值}(\%)}$$

例如,某种饲料在新鲜基础时含水分 80%,含粗蛋白质 4%,那么风干基础(干物质 88%)和绝干基础(干物质 100%)的粗蛋白质含量计算如下:

$$\frac{4}{20} = \frac{x}{88} \quad x = 17.6(\%)$$

$$\frac{4}{20} = \frac{y}{100} \quad y = 20(\%)$$

该饲料风干基础的粗蛋白质含量为 17.6%,绝干基础的粗蛋白质含量为 20%。

五、饲料养分的一般功能

饲料养分对动物体有四项一般功能,其中三项可归为基本功能,另一项为附属功能。

(一) 基本功能

1. 饲料养分是构成和维持动物基本结构的物质 养分为动物机体生长发育所必需,是构成动物机体的骨骼、肌肉、皮肤、结缔组织、牙齿、羽毛、蹄角等器官组织的物质。同一种养分既是建造动物机体所必需的物质,也是维修动物机体所必需的物质。如蛋白质、脂肪、矿物质和水等均具有这种功能。
2. 饲料养分是动物保持体温、役用和沉积脂肪的能量来源 动物为维持体温和随意运动,必需供给能量。这种能量来自于饲料中的养分,如碳水化合物、脂肪和蛋白质都可氧化分解供能。动物可在机体组织中沉积脂肪,作为能量的贮备形式,以备急需时动用。
3. 饲料养分可调节和控制动物机体的生命过程或动物产品的形成 有些养分能对动物体的各种功能、生命过程和生产性能起调节和控制作用,如维生素、酶、激素、矿物质